



2008年 2月 碩士學位論文

# 광경화형 Maleimide에 의해 제조된 PDLC의 전기·광학적 특성 연구

## 朝鮮大學校大學院

高分子工學科

金 美 京

# 광경화형 Maleimide에 의해 제조된 PDLC의 전기·광학적 특성 연구

Studies of electro-optical properties of polymer dispersed liquid crystal prepared by photo-curable Maleimide system

### 2008年2月 25日

## 朝鮮大學校大學院

### 高分子工學科

美京 金

# 광경화형 Maleimide에 의해 제조된 PDLC의 전기·광학적 특성 연구

### 指導教授 洪鎭厚

이 論文을 工學碩士學位 申請論文으로 提出함 2007 年 10 月

## 朝鮮大學校 大學院

高分子工學科

金 美 京

## 金 美 京의 碩士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 <u>柳志江</u>印 委員朝鮮大學校 教授 <u>金 炫 暻</u>印 委員朝鮮大學校 教授 洪鎭厚 印

2007年 11 月

## 朝鮮大學校大學院

## 목 차

### ABSTRACT

## 제 1 장 광경화형 Maleimide에 의해 제조된 PDLC의 전기·광학적 특성 연구

제 1절 서론1
제 2절 Background
1. Maleimide와Vinyl ether의 Photopolymerization3
<i>2. PDLC</i> 의 구동원리 <i>6</i>
<i>3. PDLC</i> 의 제조방법 <i>8</i>
<i>4. PDLC</i> 의 전기・광학적 특성 <i>10</i>
제 3절 실험12
1. PDLC 시편 제작12
<i>2.</i> 측정
제 4절 결과 및 고찰
제 5절 결론
참고문헌

- | -

### LIST OF TABLES

Table 1. Formulations of EMI, VE, Thiol systems with 7PCH Liquid Crystal …… 19 Table 2. Formulations of EMI, VE, Acrylate system with 7PCH Liquid Crystal … 32 Table 3. Formulations of varying VE systems with 7PCH Liquid Crystal …… 44

### LIST OF FIGURES

Figure 1.	Cross-Propagation in EDA Copolymerization4
Figure 2.	General reaction of a maleimide in the presence of vinyl ether exposed
	to ultra-violet(UV) light5
Figure 3.	Operating principle of polymer dispersed liquid crystal7
Figure 4.	Definition of electro-optical parameters of PDLC11
Figure 5.	Chemical structure of monomers. (a) CHVE (b) BVE (c) IBVE (d)
	HBVE (e) DDVE (f) Trithiol (f) TTEGDA13
Figure 6.	Chemical structure of liquid crystal(7PCH)14
Figure 7.	Typical photo-DSC thermogram17
Figure 8.	Photo-DSC Thermogram of EMI and VE, Thiol mixtures
Figure 9.	Conversion profile for the photo-polymerization ratio of EMI and VE,
	Thiol mixture with liquid crystal21
Figure 10.	Idealized representation of a binary phase diagram between a liquid
	crystal and an isotropic monomer or polymer23
Figure 11.	Calculation of the spinodal lines for phase separation in an idealized
	binary PDLC system as a function of increasing molecular weight of
	the polymer phase24
Figure 12.	Light transmittance of EMI, VE and Thiol-7PCH mixture as a function
	of time26
Figure 13.	SEM of PDLC samples28
Figure 14.	Light transmittance at $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a function of applied
	voltage29
Figure 15.	Light transmittance at $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a degree of Viewing
	angle 30
Figure 16.	Conversion as a function of time for EMI-VE and HEA mixture with
	liquid crystal

- ||| -

Figure 1	7. Conversion as a function of time for EMI-VE and TTEGDA mixture
	with liquid crystal
Figure 18	8. Light transmittance of EMI, VE and HEA-7PCH mixture as a function
	of time35
Figure 1	19. Light transmittance of EMI, VE and TTEGDA-7PCH mixture as a
	function of time36
Figure 2	20. SEM of PDLC samples. (a)EMI/VE/HEA(1:1:1:) (b)EMI/VE/HEA(1:1:2)
	(c)EMI/VE/HEA(1:1:3) (d)EMI/VE/TTEGDA(1:1:1) (e)EMI/VE/TTEGDA
	(1:1:2) (f)EMI/VE/TTEGDA(1:1:3)
Figure 2	1. Light transmittance at $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a function of applied
	voltage
Figure 22	2. Light transmittance at $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a function of applied
	voltage40
Figure 2	3. Light transmittance at $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a degree of Viewing
_	angle 41
Figure 24	4. Light transmittance at $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a degree of Viewing
	angle
Figure 25	5. SEM micrograph of PDLC cell. (a) EMI/CHVE/TTEGDA(1:1:2)(b)
0	MI/BVE/TTEGDA(1:1:2)(c)EMI/IBVE/TTEGDA(1:1:2)(d)EMI/HBVE
	/TTEGDA(1:1:2) g)EMI/DDVE/TTEGDA(1:1:2)
Figure 26	6. Light transmittance at $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a function of applied
0	voltage
Figure 27	7 Light transmittance at <b>a</b> =650nm of PDLC cells as a degree of Viewing
- iguie Di	angle

– IV –

### ABSTRACT

## Studies of electro-optical properties of Polymer Dispersed Liquid Crystal prepared by photo-curable Maleimide system

Kim Mi-Kyoung

Advisor : Prof. Jin-Who, Hong Ph.D. Department of Polymer Science & Engineering, Graduate School, Chosun University

Novel polymer dispersed-liquid crystal (PDLC) materials have been developed by a photoinitiator-free photopolymerization (PIFP) system based on the electron-donor -accepter (EDA) concept. The PDLCs developed herein were obtained from a single liquid crystal and a mixture of vinyl ether (VE)/N-substituted maleimide (MI)/thiol or VE/MI/acrylate as precursors of the matrix. Photopolymerization kinetics have been studied by photo-differential scanning calorimetry (photo-DSC). The electro-optical properties and the morphology of resultant PDLCs were measured by visible spectrometer and scanning electron microscopy, respectively. The effects of the monomer feed ratio and chemical structure on the phase separation process, the photopolymerization behavior, the electro-optical properties, and the morphology have been discussed. The results show that the chemical structure of monomer and the monomer feed ratio are important parameters, which influence the final electo-optical properties and the morphology of PDLCs.

- 1 -

### 제 1 장 광경화형 Maleimide에 의해 제조된 PDLC 전기·광학적 특성연구 제 1절 서 론

Polymer dispersed liquid crystal(PDLC)는 polymer matrix내에 micron 크기의 액정 droplet이 분산되어 있어 polarizer를 사용하지 않고 전기장에 의해 투명, 불투명을 능 동적으로 조절할 수 있는 장치이다.

휘도, 대화면의 화상 표시가 가능한 액정 표시소자로서 액정/고분자 복합체(Polymer Dispersed Liquid Cystal)에 대한 관심이 높아지는 가운데, PDLC의 이론적 해석과 표시소자로의 실용화 연구가 본격화 되었다. PDLC 필름의 구동원리는 전기장에 의해 배열되는 액정의 굴절율과 고분자의 굴절율을 matching 시키는 데에 있다. 즉 액정의 굴절율(n<sub>o</sub>, ordinary refractive index)이 고분자 matrix의 굴절율(n<sub>p</sub>)과 일치하게 되면 필름은 광투과로 투명하게 되고, 전기장을 제거하면 고분자 굴절율(n<sub>p</sub>)과 액정의 상굴 절율(n<sub>o</sub>)이 서로 맞지 않으므로 입사된 광은 고분자와 분산상의 액정 droplet의 계면 에서 중복 광산란을 하게 되어 필름이 불투명하게 보인다[6]. 따라서 필름 양단에 걸리 는 전기장을 ON, OFF 함으로써 필름의 투명도를 능동적으로 조절 할 수 있게 된다.

전형적인 PDLC(Polymer dispersed liquid crystal)system에서는 미량의 광개시제를 중합 시 개시를 위해 사용한다. 중합이후 광개시제의 전부는 여전히 남아 있거나 광활 성을 하게 된다. 그러나 이러한 단점은 무광개시제 시스템으로 증명할 수 있으며 Maleimide를 개시제나 단량체처럼 사용함으로써 실용적인 PDLC 시스템을 제조하는데 적용할 수 있다.

Maleimide는 탄소-탄소 이중결합과 이미드 그룹을 가지는 고리 화합물로서 *N*-위치 에 기능성 치환기를 도입함으로써 향상된 Maleimide 단량체를 합성할 수 있고 이의 중합을 통해 기능화된 Maleimide 고분자를 만들어 다양한 산업에 사용될 수 있다. Maleimide 유도체를 이용한 주게/받게 공중합(Electron donor-acceptor copolymerizat ion)은 빠른 경화 속도와 공정 편의성을 가지므로 생산성을 향상 시킬 수 있고, 에너지 의 절감 설비 공간의 축소, 용제를 사용 하지 않기 때문에 원가절감과 같은 특정 기술 응용성, 물성 개선 특성, 자동화 기술 적용, 생산 폐기물과 재작업의 감소와 같은 장점 을 가지고 있다.

- 2 -

이와 같은 Maleimide를 이용한 연구들이 활발히 진행되었고 Charles Hoyle에 의해 서 소개되었다. 대부분 Maleimide와 Vinyl ether를 이용하여 Free-radical system처럼 개시가 되어 광개시제 없이도 광중합이 가능하다는 점이다. [1,2] 광개시제를 첨가함으 로써 빠른 반응속도를 얻을 수 있지만 반응 후 degradation이나 내후성이 저하되는 문 제점을 가지고 있기 때문에 무광개시제에 의한 광중합반응을 이용하여 PDLC(Polymer dispersed liquid crystal)에 적용을 한 연구도 있지만 Hybrid System에 적용하거나 다 양한 Composition에 대한 연구는 미흡한 실정이다.[3,10] 이번 연구에서는 말레이미드 와 비닐이서시스템인 Photoinitiator-free system을 Thiol, Acrylayte를 첨가하여 Three component system으로 PDLC(Polymer dispersed liquid crystal)에 적용하여 보았다.

광중합 반응을 이용하여 제조한 PDLC의 전기-광학적 특성은 액정 droplet의 크기, 분 포, 모양 액정분자의 configuration과 같은 내부구조에 의해 큰 영향을 받는다. Maleimide 와 Vinyl ether system에 Thiol과 Acrylate를 첨가하여 제조한 PDLC의 광중합 거동과 상분리 거동이 PDLC 구조형성에 미치는 영향 및 PDLC의 내부구조와 물성과의 상관 관계를 파악하고 적용함으로써 PDLC의 전기-광학적 특성에 미치는 영향에 대해서 연 구하였다.

- 3 -

#### 제 2절 Background

#### 2.1 Photopolymerization of Maleimide/Vinyl Ether

N-치환 Maleimide 단량체는 두 개의 카보닐기의 전자 흡입성 때문에 이중 결합부분
이 매우 δ + 성을 띠고, e 값은 +의 큰 값을 가지기에 π 결합이 radical로 되기 쉽다.
그 이유는 Maleimide 구조가 환상구조로 되어 있어서 입체 장애(sterichindrance)가 존
재하기 때문이다. 따라서 전자 결핍성 N-치환 Maleimide 유도체(acceptor)는 전자
풍부성 Vinyl ether와 같은 단량체(donor)를 혼합하여 주면 전하이동 착제(charge transfer complexs)의 상태로 Maleimide가 자유라디칼 사슬 중합으로 광 및 열 반응에
의한 EDA(electron donor acceptor)중합이 매우 빠르게 진행 되는 결과를 보인다.

Figure 1에서는 Maleimide유도체를 중합성 광개시제 단량체로서 이용하여 Vinyl ether와 함께 EDA(electron donor acceptor)를 광중합 시킨 그림을 나타낸 것이다. Figure 2에서는 Maleimide와 Vinyl ether의 광중합 메커니즘은 광개시제를 대신하는 Maleimide가 자외선을 흡수하여 여기 상태로 되고, 여기된 Maleimide는 공단량체 Vinyl ether 또는 바닥상태의 Maleimide에서 수소추출반응(Hydrogen abstraction)을 통하여 개시 반응하는 자유라디칼을 생성한다고 알려져 있다. 수소추출반응에 의한 라 디칼 생성이 주반응으로 알려졌고, 부반응으로 여기된 Maleimide와 Vinyl ether 짝에 서부터 exciplex 착체가 형성되고 이 착체가 수소주게 분자 DH에서 수소를 추출하여 자유 라디칼을 생성 하는 메커니즘을 알 수 있다.

- 4 -



Figure 1. Cross-Propagation in EDA Copolymerization.

- 5 -



Figure 2. General reaction of a maleimide in the presence of vinyl ether exposed to ultra-violet(UV) light.

- 6 -

#### 2.2 PDLC의 구동 원리

PDLC 필름의 구동원리는 Figure 3과 같이 전기장에 의해 배열되는 액정의 굴절율 과 고분자의 굴절율을 matching 시키는 데에 있다. 즉 고분자 matrix내에 분산되어 있 는 액정상 droplet 내의 네마틱 액정이 외부전기장의 세기에 따라 전기장의 방향과 수 직 또는 수평 배열하면서, 액정의 상굴절율(*n<sub>o</sub>*, ordinary refractive index)이 고분자 matrix의 굴절율(*n<sub>p</sub>*)과 일치하게 되면 필름은 광투과로 투명하게 되고, 전기장을 제거 하면 고분자 굴절율(*n<sub>p</sub>*)과 액정의 상굴절율(*n<sub>o</sub>*)이 서로 맞지 않으므로 입사된 광은 고분자와 분산상의 액정 droplet의 계면에서 중복 광산란을 하게 되어 필름이 불투명 하게 보인다[6]. 따라서 필름 양단에 걸리는 전기장을 ON, OFF 함으로써 필름의 투명도를 능동적으로 조절 할 수 있게 된다.

- 7 -



[Scattering - Power OFF] [Transparent - Power ON]

Figure 3. Operating principle of polymer dispersed liquid crystal.

- 8 -

#### 2.3 PDLC의 제조방법

PDLC film 제조방법에는 크게 상분리법(phase separation)과 유화법(emulsion)으 로 나누어진다. 이 두 가지 방법은 근본적으로 크게 다르다. 상분리 방법은 액정과 고 분자 화합물(prepolymer, 모노머)를 균일한 용액 상태로 섞은 후 고분자의 겔(gel)화나 고화 작용에 의해 액정이 균일한 용액에서 상분리를 이루어 droplet을 형성하는 것이 다. 반면 유화법은 고분자 용액내에 액정 emulsion을 형성한 후 이를 코팅, 건조하여 만들어진다[7, 12].

가) 상분리법

i) 고분자 중합에 의한 상분리법 ( PIPS : polymerization-induced phase separation)

중 합에 의 한 상분리 방법은 Doane에 의해 최초로 소개되었다. PIPS법은 액정이 prepolymer와 잘 섞이는 경우에 유용하다[2].

투명전극이 코팅된 기재에 균일한 용액상의 prepolymer와 LC 혼합물을 도포하여 UV 나 열에 의해 중합을 시킴으로써 PDLC film을 형성하는 방법이다. 중합과정에서 고분 자와 액정 간에 상용성이 감소함에 따라 상분리가 진행되어, 고분자 matrix안에 액정 들이 droplet을 형성하고, 고분자 matrix가 완전히 겔화될 때까지 droplet이 성장 한다. 여기서 droplet size는 경화속도, 액정과 고분자의 종류, 경화온도, 액정과 고분자의 혼 화성 등과 같은 물리적 상수에 크게 영향을 받는다[9].

ii) 열에 의한 상분리법 ( TIPS : thermally-induced phase separation)

West에 의해 처음 소개된 방법으로, 열가소성플라스틱의 용융 액에 액정을 섞어 만든 균일한 혼합 용액을 냉각시켜 고분자 분산형 액정(PDLC)을 만드는 방법이다. Droplet size는 냉각속도, viscosity 그리고 chemical potential 을 포함하는 물질 상수 에 의해 결정된다[13].

- 9 -

iii) 용매에 의한 상분리법 (SIPS : solvent-induced phase separation)

용매의 증발을 이용한 방법으로 액정이나 열가소성 플라스틱이 분해되는 온도보다 녹는점이 높은 경우나, 용액을 박막으로 형성할 때 유용하다. 액정이나 열가소성 플라스틱이 특정 용매에 녹는 경우, 두 물질을 용매에 용해시켜 균일한 혼합 용액을 얻을 수 있고, 용매를 증발시켜 droplet을 형성한다. Droplet size는 용매가 증발되는 속도에 따라 droplet의 크기가 결정되어 진다.

나) 유화법

유화법은 Fergason에 의해 처음으로 소개되었다[11]. PVA(polyvinyl alcohol)와 같은 수용성(water-borne)고분자 용액에 액정을 섞은 후, blender나 colloid mill을 사용하여 유제를 형성시킨다. 이 유제를 투명 전극이 형성되어 있는 기판위에 코팅한 후에, 건조 하여 박막을 형성하고 그위에 다른 투명 전극을 접합하는 방법으로 만들어진다.

PIPS법은 액정 droplet의 크기, 모양, 분산상태가 상대적으로 균일한 film을 얻을 수 있어 문턱전압 이후로 필름 투명도가 매우 균일해지는 이점이 있다. 특히 광경화 반응 을 이용한 PIPS법은 모노머와 올리고머의 prepolymer 선택의 폭이 넓고, 다양한 물성 과 모폴로지를 갖는 PDLC 제조가 용이한 장점이 있다.

- 10 -

#### 2.4 PDLC의 전기·광학적 특성

액정은 복굴절의 이방성과 유전율 이방성의 특성을 갖는다. 액정의 복굴절 (birefringence) 이방성은 액정의 단축 방향과 장축 방향으로 입사된 빛이 각각 서로 다른 굴절율을 갖게 되는 현상으로, extra-ordinary refractive index(*n<sub>e</sub>*)와 ordinary refractive index(*n<sub>o</sub>*)의 차가 클수록 복굴절 현상은 심하게 일어난다. 또 하나의 특성 인 유전율 이방성(dielectric anisotropy)현상은 액정의 장축 및 단축 방향으로의 유전율 차 이에 의해서 양 또는 음의 극을 가지게 되고, 이에 따라서 일정한 voltage 이상의 외부 전기장에 대해서 전기장의 방향에 평행 또는 수직으로 액정 분자들이 배열하는 현상이 다.

PDLC의 전기·광학적 특성에서 고분자 matrix와 액정의 굴절율 차이에 의한 산란 정도는 PDLC 시편의 투과도를 측정함으로써 해석이 가능하다. Figure 5는 전형적인 PDLC 전압과 투과도 곡선으로 나타낸 것이다, Figure 3에서 To와 T100은 각각 PDLC의 최소투과율과 최대투과율을 나타내며, V10과 V90은 상대 투과율이 각각 10% 및 90%가 되는 문턱전압(threshold voltage), 구동전압(operating voltage)을 나타낸다. contrast ratio는 최대투과율과 최소투과율의 비로 정의한다.

PDLC의 구동전압은 식(1)에 나타낸 것과 같이 droplet내에서의 액정의 배향, droplet size, droplet 계면에서 고분자의 인력으로 생기는 anchoring strength에 크게 의존 한다

$$V_{op} = \frac{1}{C} \frac{d}{R} \left( L^2 - 1 \right)^{1/2} \left( \frac{K}{\epsilon_{0} \bigtriangleup \epsilon} \right)^{1/2}$$
(1)

여기서 R은 droplet radius, d는 film thickness, L은 droplet anisotropy를 나타내고, K는 elastic constant이며  $\varepsilon_0$ 는 free space permittivity,  $\Delta \varepsilon$ 는 dielectric anisotropy를 의미한다[16].

- 11 -



Figure 4. Definition of electro-optical parameters of PDLC.

### - 12 -

#### 제 3절 실험

#### 3.1 PDLC 시편제작

본 연구에서 prepolymer로 Sigma Aldrich사의 N-Ethyl Maleimide(EMI)와 1,4-Cyc lohexanedimethanol divinyl ether(CHVE), Butyl vinyl ether(BVE), Hydroxy butyl vi nyl ether(HBVE), Isobutyl vinyl ether(IBVE), Dodecyl vinyl ether(DDVE), Trimetyl olpropane tris-3 mercaptopropionate(Trithiol), 2-Hydroxy Ethyl Acrylate(HEA), Tet raethylene Glycol Diacrylate(TTEGDA)를 사용하였으며, 액정은 4-trans heptyl cyclo hexyl cyanobenzene 인 7PCH를 사용하였다.

Maleimide와Vinyl ether는 각각 1mmol과 나머지 Thiol를 0.3mmol, 0.5mmol. 1.0mmol 로 하고 액정의 함량은 50%비율로 prepolymer와 혼합하여 각각의 시편을 제작하였다. 액정과 prepolymer의 혼합물을 상온에서 교반하여 액정과 prepolymer의 균일한 용 액을 형성하도록 하였다. 이와 같이 제조된 액정과 prepolymer 용액을 ITO coated glass 위에 도포하고 또 하나의 ITO coated glass를 엇갈려 덮고 일정한 압력으로 가 압한 후 자외선을 조사하여 PDLC 시편을 제작하였다. 이때 PDLC 시편의 두께를 일 정하게 유지하기 위하여 20μm 크기의 spacer를 사용하였고, 자외선은 Spectroline사의 ENF 240 lamp(1.5mW at λ =365nm)를 사용하였다.

- 13 -



Figure 5. Chemical structure of monomers. (a) EMI (b) CHVE (c) BVE (d) IBVE (e) HBVE (f) DDVE (g) Trithiol (h) HEA (i) TTEGDA

- 14 -



Figure 6. Chemical structure of liquid crystal(7PCH).

# 3.2 측정3.2.1 광중합 거동 측정

Differential Scanning Calorimeter(TA5000/Photo-DSC System)를 사용하여 자외선 조사에 의한 prepolymer의 광중합 거동을 측정하였다. 광중합 반응에서 수반되는 oxygen inhibition을 최소화하기 위해 질소분위기에서 실험을 진행하였다.

Figure 7은 전형적인 photo-DSC thermogram을 나타낸 것이다.

시간에 따른 Heat Flow(W/g)값을 적분하면 실험적인 △Ht값(J/g)즉 총 반응열을 얻 을 수 있고, 이론적인 반응열을 △Hr을 구하여 전환율(경화도)를 구할 수 있다[15].

즉 UV 경화의 경화과정 중 발생되는 총 반응열(△H)은 식(2)와 같이 반응 개시에서 반응 종료까지 적분하여 계산 한다.

$$\Delta H = \frac{1}{m} \int_{t_i}^{t_e} \frac{dV}{dt} dt$$
<sup>(2)</sup>

식(2)에서 △H = 총반응열, dV/dt = 온도변화에 대한 출력전압 ti = 반응개시시간 t0 = 반응종료시간 m = 시료량을 나타낸다.

이론적인 반응열은 식(3)와 같이 구할 수 있다.

$$A = \frac{BCD}{MW}$$
(3)

식(3)에서 A=Joules/gram of formulation, B=Number of sites/mole of monomer, C=Fraction of monomer in formula, D= Jolues/mole of reactive site, MW=Grams/mole for monomer를 각각 나타낸다.

이렇게 구한 총발열량(△Ht)을 이론적발열량(△Hr)으로 나누어준 값이 전환율(경화 도)이 된다. 전환율 구하는 식은 식(4)에 나타내었다. 여기서 α=전환율(%)을 나타낸다.

$$a = \triangle Ht / \triangle Hr \tag{4}$$

- 16 -

#### 3.2.2 상분리 거동 측정

Visble Spectrometer (Avantes. Crop., Avaspec-2048) 를 사용하여 광중합 과정에서 PDLC cell의 투과율 변화를 측정하였다. Light source로는 halogen lamp (Avantes. crop., Avalight-HAL)을 사용하였다.

#### 3.2.3 시야각 측정 및 구동전압측정

Visble Spectrometer (Avantes. Crop., Avaspec-2048)를 사용하여 시야각을 0°~75° 까지 7.5°간격으로 조절하여 PDLC cell 투과율 변화를 측정하였다. 구동전압은 λ =650 nm에서 5volt씩 전압을 가하면서 측정하였고 Light source로는 halogen lamp (Avante s. crop., Avalight-HAL)을 사용하였다.

#### 3.2.4 SEM

SEM 측정을 위해 PDLC cell을 n-hexane에 30분 침적시켜 droplet내의 액정을 제거 한 후, 이를 상온에서 3시간동안 건조하여 시료를 준비하였다. JEOL사의 JSM-6490 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 준비된 시료의 표면 morphology를 관찰하였다.

- 17 -



Figure 7. Typical photo-DSC thermogram.

- 18 -

#### 제 4절 결과 및 고찰

Table 1은 본 연구에서 사용된 Thiol을 첨가한 Three Component system의 배합조 성비이다. Maleimide와 Vinyl ether의 경우 1mmol로 고정하였으며 Thiol을 0.3, 0.5, 1.0,mmol로 하여 mol비를 다르게 하여 실험하였다. 액정은 배합된 Prepolymer의 50% 를 사용하였다. Photo-DSC는 시료를 자외선에 노출 시켰을 때 기준시료와 측정시료간 의 열호름(Heat Flow)의 차이를 측정함으로서 시료의 홉/발열의 차이를 측정하는 장 치이다[15]. Figure 8은 배합물의 Photo-DSC thermogram을 나타낸 것이다. 그림에 나 타난 바와 같이 Maleimide와 Vinyl ether의 경우보다 Thiol이 첨가되면서 반응속도가 크게 빨라짐을 보였고 반응이 끝나는 시간도 크게 차이가 남을 알 수 있었다. 이는 Maleimide 와 Vinyl Ether 시스템의 Hydrogen-abstraction보다 Thiol의 Hydrogen-ab straction이 더 빨리 진행 되어 Thiol radical의 형성이 쉬워져 반응속도가 빨라지고 반 응이 끝나는 시간도 빨라졌다고 생각한다. Maleimide와 Vinyl ether에 Thiol의 첨가된 경우 Thiol의 mol 비를 0.3mmol, 0.5mmol로 달리한 Photo-DSC thermogram에서는 Thiol이 1mmol일 때 가장 빠른 반응속도를 보였고 가장 높은 발열량을 보였다. Thiol 의 함량이 감소함에 따라 Thiol radical이 감소하여 반응속도가 감소하고 발열량이 낮아 지는 것으로 예상한다.

Figure 9는 시간에 대한 전환율(conversion)변화를 나타낸 것이다. Maleimide와 Vinyl ether에 thiol이 첨가된 경우 Maleimide와 Vinyl ether의 경우보다 빠른 전환율 증가를 확인 할 수 있었다. 즉 Maleimide와 Vinyl ether의 중합반응에 의해 형성되는 고분자에 비교해 액정과의 혼합물에서 형성되는 고분자 matrix내에 액정분자가 존재하 여 전체적으로 고분자 matrix가 높은 mobility를 유지하여 보다 최종적으로 높은 전환 율에 도달하는 것으로 예상된다. 그러나 Maleimide와 Vinyl ether의 경우에는 중합반 응 과정에서 액정의 상분리가 일어나지 못하고 고분자 matrix내에 존재함으로써 중합 반응에 액정분자가 불순물로 작용하여 낮은 전환율 증가를 보임을 확인 할 수 있었다. Thiol의 함량이 감소함에 따라 전환율이 증가하는 속도가 점점 늦어짐을 볼 수 있다. 이는 Thiol의 함량이 감소함에 따라 Thiol radical 생성이 감소하여 전환율이 증가하는 속도가 감소하는 것으로 예상한다.

- 19 -

Component	٨	D	С	D
(mmol)	A	D		
EMI	1.0	1.0	1.0	1.0
CHVE	1.0	1.0	1.0	1.0
THIOL	-	0.3	0.5	1.0

Table 1. Formulation of  $\ \mbox{EMI}, \ \mbox{VE}$  , Thiol systems with 7PCH Liquid Crystal



Figure 8. Photo-DSC Thermogram of EMI and VE, Thiol mixture with and without liquid crystal.





Figure 9. Conversion profile for the photo-polymerization ratio of EMI and VE, Thiol mixture with liquid crystal.

- 22 -

Figure 10는 액정과 고분자 혼합물의 전형적인 phase diagram을 나타낸 것이다. 액 정의 함량이 작고 온도가 높을수록 액정과 고분자는 높은 상용성을 갖는다. Figure 11 은 중합반응에 의해 고분자의 분자량이 증가함에 따른 phase diagram의 변화를 나타 낸 것이다[9]. 중합반응에 의해 고분자의 분자량이 증가하게 되면 고분자와 액정의 상 용성이 점차 감소하여 액정과 고분자의 상분리로 인해 고분자내에 액정이 droplet을 형성하게 된다. 중합반응 과정에서의 반응속도와 액정-고분자의 상분리 특성은 PDLC 필름 내부의 액정 droplet의 구조를 결정하는데 중요한 요소이다. Figure9에서 Maleimide와 Vinyl ether에 thiol이 첨가됨에 따라 전환율 증가의 속도 즉 분자량이 커 지는 속도가 달라지는데 이러한 다른 중합반응이 PDLC의 상분리 특성에 어떠한 영향 을 미치는 지 알아보기 위해 다음과 같은 실험을 하였다.

- 23 -



Figure 10. Idealized representation of a binary phase diagram between a liquid crystal and an isotropic monomer or polymer.[9]



Figure 11. Calculation of the spinodal lines for phase separation in an idealized binary PDLC system as a function of increasing molecular weight of the polymer phase.[9]

- 25 -

Figure 12 는 반응 시간에 따른 PDLC cell의 투과율 변화를 나타낸 그래프이다. 상 분리가 일어나면서 PDLC cell이 산란이 일어남으로 투과율이 변하는 시점을 상분리가 일어나는 시점으로 생각하였다. Maleimide와 Vinyl ether의 경우 150초 이후에 투과율 변화가 일어났고 200초 이후에 투과율이 일정해 짐을 볼 수 있었다. 초기 PDLC cell의 투과율에 비해 투과율의 변화는 크지 않았다. Maleimide와 Vinyl ether의 경우 Figure 9에서 본 것과 같이 분자량이 급격하게 증가하지 못하면서 액정이 고분자 matrix에서 상분리가 되지 못하여 산란을 일으킬 수 있을 정도의 droplet을 형성하지 못할 것으로 예상된다. 그러나 Thiol이 첨가된 경우는 분자량 증가가 급격하게 일어남으로써 고분 자와 액정의 상용성이 급격하게 감소하게 되어 Maleimide와 Vinyl ether의 경우보다 상분리가 일어나는 시점이 빨라져 투과율 변화가 급격하게 일어남을 볼 수 있었고 투 과율이 일정해지는 시점이 초기 투과율에 비해 매우 낮아짐을 알 수 있었다. 이는 액 정이 고분자 matrix에서 상분리가 충분히 일어나 산란을 일으킬 수 있는 droplet이 형 성됨을 알 수 있었다. Figure 9에서 본 것과 같이 Thiol의 함량의 차이에 의한 분자량 증가 속도의 차이에 의해 상분리 속도가 Thiol의 함량의 감소에 따라 상분리 시점이 점점 늦어짐을 알 수 있었다.

- 26 -



Figure 12. Light transmittance of EMI, VE and Thiol-7PCH mixture as a function of time.

- 27 -

Figure 13은 PDLC cell의 SEM micrograph를 나타낸 것이다. Maleimide와 Vinyl ether의 경우 figure 12에서 예상한 것과 같이 액정이 고분자 matrix에서 상분리가 충 분히 되지 못하여 산란을 일으킬 수 있을 정도의 droplet을 형성하지 못하였다. 그러나 Maleimide와 Vinyl ether에 thiol이 첨가된 경우에는 액정이 고분자 matrix에서 상분리 가 충분히 일어나 산란을 일으킬 수 있는 droplet이 형성됨을 볼 수 있다. Thiol의 함 량이 감소함에 따라 상분리 시점이 점점 늦어져 droplet 크기가 감소함을 볼 수 있다. PDLC cell의 인가전압에 대한 투과율 변화를 Figure 14에 나타내었다. Maleimide와 Vinyl ether의 경우 droplet을 형성하지 못해 전압에 대해 투과율이 변화하지 않음을 볼 수 있었고 Thiol 함량이 감소함에 따라 구동전압이 증가함을 볼 수 있었다. PDLC 의 구동전압은 식 (1)으로 계산된다. 이 식에서 PDLC의 구동전압은 액정 droplet의 크 기의 역수에 비례한다. Thiol의 함량에 감소함에 따라 droplet 크기가 작아지고 구동전 압이 증가함을 알 수 있었다.

Figure 15는 시야각에 따른 투과율변화를 나타내었다. Thiol의 함량이 0.3mmol일 때 시야각이 22.5°에서 가장 높은 투과율을 보였으며 0.5mmol 일 때는 30°에서 가장 높은 투과율을 보였다. 또한 Thiol 1mmol에서는 37.5°일 때 가장 높은 투과율을 보였다.

- 28 -







(b) EMI / VE / THIOL(1:1:0.3)



(c) EMI / VE / THIOL (1:1:0.5)



(d) EMI / VE / THIOL (1:1:1)

Figure 13. SEM of PDLC samples.



Figure 14. Light transmittance at  $\lambda$  =650nm of PDLC cells as a function of applied voltage.



Figure 15. Light transmittance at  $\lambda$  =650nm of PDLC cells as a degree of Viewing angle.

Table 2는 Acrylate를 첨가한 Three Component System의 배합물에 대한 조성비를 나타낸 것이다. Thiol system과 동일하게 Maleimide와 Vinyl ether를 1.0mmol를 하여 단관능 HEA와 이관능기를 갖는 TTEGDA를 1.0, 2.0, 3.0 mmol로 mol비를 다르게 하 여 실험하였다. Figure 16은 Maleimide와 Vinyl ether 시스템에 Acrylate인 HEA를 첨 가한 배합물의 시간에 따른 전환율(Conversion) 변화를 나타내는 것이다. HEA가 첨가 된 경우 mol비의 함량이 증가함에 따라 큰 변화는 보이지 않았다. Figure 17은 Maleimide와 Vinvl ether 시스템에 Acrylate인 TTEGDA를 첨가한 배합물의 시간에 따른 전환율(Conversion) 변화를 나타내는 것이다. TTEGDA가 첨가된 경우도 HEA가 첨가된 경우와 같이 mol비의 함량이 증가함에 따라 큰 변화는 보이지 않았다. 그러나 단관능인 HEA의 경우보다 이관능인 TTEGDA의 경우 더 빠른 전환율 증가를 보임을 확인하였다. 또한 Figure 9에서 와 비교하여 Maleimide와 Vinvl ether에 Thiol을 첨가 한 경우보다 Maleimide와 Vinyl ether에 Acrylate를 첨가한 경우가 더 느린 전환율 (Conversion) 증가를 나타내었다. Figure 18과 Figure 19는 Table 2의 배합물의 반응 시간에 따른 PDLC cell의 투과율 변화를 나타내었다. 상분리가 일어나면서 PDLC cell 이 산란이 일어남으로 투과율이 변하는 시점을 상분리가 일어나는 시점으로 생각하였 다. Maleimide와 Vinyl ether에 Acrylate를 첨가한 system이 Thiol이 첨가된 시스템의 경우보다 상분리 시점이 더 늦어짐을 확인 할 수 있었으며 단관능 Acrylate인 HEA를 첨가한 경우 2관능기 Acrylate인 TTEGDA의 경우보다 상분리 시점이 더 늦어짐을 보 였다. Acrylate에 따른 mol비 변화는 크게 보이지 않았다.

Figure 20은 PDLC cell의 SEM micrograph를 나타낸 것이다. Maleimide와 Vinyl ether에 Acrylate를 첨가한 경우는 Thiol과 다른 morphology를 형성하는 것을 관찰 할 수 있었다. Maleimide와 Vinyl ether에 Thiol이 첨가된 경우에는 액정이 고분자 matrix에서 상분리가 충분히 일어나 산란을 일으킬 수 있는 droplet이 형성됨을 볼 수 있었으나 Acrylate를 첨가한 경우에는 액정이 고분자 matrix에서 상분리가 되지만 상 분리가 충분히 되지 못하여 droplet을 형성 하지 못하고 Continuous phase의 Polymer-Ball type의 morphology를 갖는 것을 확인 할 수 있었다.

- 32 -

Component (mmol)	А	В	С	D	Е	F
(1111101)						
EMI	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
CHVE	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
HEA	1.0	2.0	3.0	_	_	_
TTEGDA	_	-	-	1.0	2.0	3.0

Table 2. Formulations with  $\operatorname{EMI,VE}$  , Acrylate and 7PCH Liquid Crystal

- 33 -



Figure 16. Conversion as a function of time for EMI-VE and HEA mixture with liquid crystal.

### - 34 -



Figure 17. Conversion as a function of time for EMI-VE and TTEGDA mixture with liquid crystal.

- 35 -



Figure 18. Light transmittance of EMI, VE and HEA-7PCH mixture as a function of time.

### - 36 -



Figure 19. Light transmittance of EMI, VE and TTEGDA-7PCH mixture as a function of time.

- 37 -



Figure 20. SEM of PDLC samples. (a)EMI/VE/HEA(1:1:1:) (b)EMI/VE/HEA(1:1:2) (c)EMI/VE/HEA(1:1:3) (d)EMI/VE/TTEGDA(1:1:1) (e)EMI/VE/TTEGDA(1:12) (f)EMI/VE/TTEGDA(1:1:3)

- 38 -

Figure 21과 Figure 22는 Three component system중 Acrylate를 첨가한 PDLC cell 의 인가전압에 대한 투과율 변화를 나타낸 것이다. Thiol을 첨가한 system보다 더 높 은 구동전압을 보였으며 단관능 Acrylate인 HEA와 이관능 Acrylate인 TTEGDA의 mol비에 따른 변화는 크게 나타나지 않았다. 그러나 단관능 Acrylate인 HEA가 이관능 Acrylate인 TTEGDA보다 더 낮은 구동전압을 보였는데 이는 단관능 Acrylate인 HEA 가 이관능 Acrylate인 TTEGDA보다 가교밀도가 떨어지므로 고분자 matrix내에서 액 정분자의 mobility가 증가하므로 더 낮은 구동전압을 갖는 것을 확인 할 수 있었다.

Three component system중 Acrylate에서 시야각에 따른 투과율 변화를 Figure 23 과 Figure 24에 나타내었다. Thiol이 첨가 되었을 때 보다 시야각이 더 넓은 분포를 갖는 것을 알 수 있었으며 단관능인 HEA와 이관능인 TTEGDA의 mol비에 따른 변화 는 보이지 않음을 확인 할 수 있었다. Maleimide와 Vinyl ether를 사용하므로 기존의 PDLC에 비해 이번 연구에서 제작된 PDLC는 더 넓은 시야각 분포를 갖는 것을 확인 하였다.

- 39 -



Figure 21. Light transmittance at  $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a function of applied voltage.

- 40 -



Figure 22. Light transmittance at  $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a function of applied voltage.

### - 41 -



Figure 23. Light transmittance at  $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a degree of Viewing angle.

- 42 -



Figure 24. Light transmittance at  $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a degree of Viewing angle.

- 43 -

Table 3은 Chemical Structure에 대한 영향을 보고자 다양한 Vinyl ether를 사용하 여 Three component system중 Acrylate에 적용한 배합물의 조성비를 나타내었으며 여기에서도 액정은 Prepolymer에 50%를 사용하였다.

Figure 25는 PDLC cell의 SEM micrograph를 나타낸 것이다. Vinyl ether 종류에 따른 morphology에 차이는 크게 보이지 않았다.

Three component system 중 Acrylate에 적용함으로써 Figure 20에서 본 것처럼 액정 이 고분자 matrix에서 상분리가 일어나지만 고분자 matrix내에서 고립된 상태인 액정 droplet 형태를 이루지 못하고 고분자 matrix내에 상분리 되지 못한 액정분자가 남아있 어 Continuous phase를 이루면서 Polymer-Ball type의 morphology를 갖는 것을 확인 할 수 있었다.

PDLC cell의 인가전압에 대한 투과율 변화를 Figure 26에 나타내었다. Table 3의 배 합 E5인 DDVE의 경우 가장 낮은 구동전압을 나타내었다. 이는 긴 alkyl chain으로 인 하여 고분자 matrix의 가교밀도가 떨어져 고분자 matrix내에서 액정분자의 mobility가 증가하므로 낮은 구동전압을 나타낸 것으로 예상한다.

Figure 27은 시야각에 따른 투과율 변화를 나타낸 것이다. Three component system 중 Thiol에 비해 더 넓은 분포의 시야각을 보임을 확인 할 수 있었다. Vinyl ether에 종류에 따른 시야각 변화는 크게 나타나지 않음을 알 수 있었다.

- 44 -

Component	<b>L</b> 1	<b>E</b> 9	<b>F</b> 2	F1	Б
(mmol)	EI	$\mathbf{E}\mathcal{L}$	Eð	E4	Eð
EMI	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
CHVE	1.0	-	-	-	-
BVE	-	1.0	-	-	-
IBVE	-	-	1.0	-	-
HBVE	-	-	_	1.0	-
DDVE	-	-	_	-	1.0
TTEGDA	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Table 3. Formulations with variety VE systems and 7PCH Liquid Crystal



Figure 25. SEM micrograph of PDLC cell. (a) EMI/CHVE/TTEGDA(1:1:2)
(b) EMI/BVE/TTEGDA(1:1:2)(c)EMI/IBVE/TTEGDA(1:1:2)(d)EMI/HBVE/TTEGDA
(1:1:2) g)EMI/DDVE/TTEGDA(1:1:2)

- 46 -



Figure 26. Light transmittance at  $\lambda$ =650nm of PDLC cells as a function of applied voltage.

- 47 -



Figure 27. Light transmittance at  $\lambda$  =650nm of PDLC cells as a degree of Viewing angle.

#### 제 5절 결론

본 연구에서는 전형적인 PDLC system에서 사용되는 미량의 광개시제를 통하여 빠 른 반응속도를 얻을 수 있지만 반응 후 degradation이나 내후성이 저하 되는 문제점을 가지고 있기 때문에 개시제를 사용하지 않고 광중합을 시킬 수 있는 Photoinitiator-free system인 Maleimide와 Vinyl ether를 PDLC에 적용하였다. 그러나 Maleimide와 Vinyl ether를 PDLC에 적용하였을 때 고분자 중합 시 낮은 반응성으로 인해 고분자와 액정 의 상분리가 충분히 일어나지 못하여 droplet을 형성하지 못하여 구동이 되지 않고 OFF 상태에 산란을 일으키지 못하는 문제점이 있다. 따라서 Thiol과 Acrylate와 같은 다른 Component를 사용하여 Three component system을 PDLC에 적용하게 되었다.

Thiol을 첨가한 Three component system에서는 Maleimide와 Vinyl ether에 비해 반응속도가 빨라지고 분자량 상승이 급격하게 이루어져 액정과 고분자의 상분리로 인 해 고분자내에 액정이 droplet을 형성하는 morphology를 갖는 PDLC가 제작되었으며 Acrylate를 첨가한 Three component system에서는 액정이 고분자 matrix에서 상분리 는 되지만 충분히 되지 못하여 droplet을 형성 하지 못하고 Continuous phase의 Polymer-Ball type의 morphology를 갖는 것을 확인 할 수 있었다.

Chemical Structure에 대한 영향을 보고자 Vinyl ether를 달리하여 Three component system중 Acrylate에 적용하여 보았는데 낮은 구동전압과 넓은 분포의 시 야각을 갖는 EMI/DDVE/TTEGDA(1:1:2)의 배합을 최적의 배합비로 도출할 수 있었 다. 기존의 PDLC 경우 보다 더 좋은 시야각을 얻을 수 있었는데 이는 Maleimide와 Vinyl ether 시스템을 적용 하였을 때 나타나는 현상으로 해석 할 수 있으며 추후 연 구가 필요할 것 같다.

- 49 -

#### 참고문헌

- 1. Christian Decker, Florence Morel, Sonny Jonsson, Shan Clark, Charles hoyle, Macromol. Chem. Phys. 200, 1005–1013 (1999).
- 2. Christian Decker, Catherine Bianchi, Florence Morel, Sonny Jonsson, Shan Clark, Charles hoyle, Macromo. Chem. Phys. 201, 1493-1503 (2000).
- 3. F.Morel, C. Deker, S. Jonsson, S. C. Clark, C. E. Hoyle, Polymer 40, 2447-2454 (1999).
- 4. Kwang-Duk Ahn, Jong-Hee Kang, Kynug Wook Yoo, Dong Joon Choo, Macrom ol. Symp. 254, 46-53 (2007).
- 5. Chau K. Nguyen, Charles E. Hoyle, Tai Yeon Lee, Sonny Jonsson, European Pol ymer Journal 43, 172–177 (2007).
- 6. C.E. Hoyle, S.C. Clark, S. Jonsson, M. Shimose, Polymer 38, 22 5695–5697 (1997)7. C. Decker, C. Bianchi, D. Deker. F. Morel, Progress in Organic Coatings 42, 253–266, (2001).
- 8. S. Jonsson, K. Viswanathan, C.E. Hoyle, S.C. Clark, C. Miller, F. Morel, C. Deke r Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 151, 268–278 (1999).
- 9. Paul. S. Drzaic, "Liquid Crystal Dispersion", World Scientific(1995).
- 10. C. E. Hoyle, S. Clark, C. Miller, J. Owens, J. Whitehead, S. Jonsson, P. E. Sun dell, M. Shimose, S. Katogi, F. Morel, and C. Deker, Radtech Asia Conference Proc eeding, 216–219 (1997).
- 11. Jin-Woo Han, Journal of Korea Physical Society, 49, 2 563-568 (2006).
- 12. Sonny Jonsson, Per-Erik G. Sundell, William R. Schaeffer, US Patent 5,446,073 (1995).
- 13. C. E. Hoyle, C, Clark, S. Jonsson, US Patent 6,855,745 (2005).
- 14. C. Clark Shan, E. Hoyle Charles, C. Deker; Polymer, 40, 5063(1999).
- 15. 홍진후, UV경화코팅, 조선대출판사
- 16. J. W. HAN, LIQUID CRYSTAL, 2001, 28, 10 1487-1493.
  - 50 -

- 17. J. G. Kloosterboer, Polymer, 1996, 37, 26, 5937-5942.
- 18. K. ZAHOUILY, RadTech 2004 Technical Proceeding.
- 19. John L. West, J. Appl. Phys, 69, 1605-1612, 1991.
- 20. Charles E. Hoyle, Rajamani Nagarajan, Christopher W. Miller, Shan Christopher
- Clark, E. Sonny Jonsson, Living Shao, US Patent 6,555,593.
- 21. Norbert Pietschmann, Macromol. Symp. 187, 225-234 (2002).

- 51 -

### 감사의 글

많은 배움을 통해 지금의 저로 성장할 수 있게 한 지난 대학원 생활은 아쉬움을 남긴 채 돌아서야 하지만 저에게 소중한 시간이었으며 즐거운 추억으로 기억 될 것 같습니 다.

먼저 이 논문이 완성되기까지 지도는 물론 깊은 관심과 배려로, 때로는 질책으로 진 정한 학문의 길을 몸소 보여주신 홍진후 교수님, 김현경 교수님께 진심으로 감사를 드 립니다. 그리고 많은 가르침과 조언을 아끼지 않으신 최재곤 교수님, 유지강 교수님 김 준섭 교수님, 조훈 교수님, 이창훈 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 PDLC 연구에 있어 많은 가르침을 주신 박수철 선배님과 관심과 배려를 아끼지 않으신 김양배 박사 님, 조정대 박사님 그리고 큐시스 임직원 분들께도 감사드립니다. 대학원 과정 동안 견 문을 넓히게 해주신 한국생산기술연구원의 김정철 박사님과 세심한 배려를 아끼지 않 으신 홍명혁 박사님께 감사드립니다. 실험실에서 많은 도움을 주었던 주형태, 한승택, 김순기, 박진성, 김형규 선배님 그리고 권석오빠, 창호오빠, 기호오빠, 환석오빠, 춘희언 니, 귀염둥이 민주, 파워마트 덕형오빠 힘이 되어준 소중한 친구들인 준연, 향숙, 은경, 정현, 미영에게 감사의 말을 전하고 싶습니다.

마지막으로 여러 어려움 속에서도 아낌없는 사랑과 정성으로 배움을 허락해 주신 아 버지와 어머니, 항상 많이 해주지 못해서 미안한 내동생 건화와 준희, 그리고 5년 동안 지켜봐주고 사랑해준 상섭오빠에게 논문을 바치며 그분들이 주신 큰사랑에 깊은 감사 와 존경을 표합니다. 더욱 정진하는 모습으로 보답하겠습니다.

2007년12월金 美 京

- 52 -

## 저작물 이용 허락서

학 과	고분자공학과	학 번	20067104	과 정	공학석사	
성 명	한글 : 김 미 경   한문 : 金 美 京 영문 : Kim mi kyoung					
주 소	광주광역시 서구 농성1동 329-3					
연락처	E-MAIL : shybbo2@naver.com					
논문제목	한글 : 광경화형 Maleimide에 의해 제조된 PDLC의 전기·광학적 특성 연구 영문 : Studies of elctro-optical properties of Polymer Dispersed Liquid Crystal prepared by photo-curable Maleimide system					

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함

위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함.
 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.

3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.

4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.

5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.

6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음

7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

#### 동의여부 : 동의( O ) 조건부 동의( ) 반대( )

2008 년 2 월 일

저작자: 김 미 경 (서명 또는 인)

## 조선대학교 총장 귀하