



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



**저작자표시.** 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



**비영리.** 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



**변경금지.** 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2008年 2月  
碩士學位論文

자외선 경화형 광학 수지의  
광안정화와 다구찌 방법을 이용한  
자외선 경화 공정 최적화

朝鮮大學校 大學院

高分子工學科

金 權 石

자외선 경화형 광학 수지의  
광안정화와 다구찌 방법을 이용한  
자외선 경화 공정 최적화

Photostabilization of UV-curable optical resins and optimization of  
UV-curing process conditions using Taguchi method

2008 年 2 月 25 日

朝鮮大學校 大學院

高分子工學科

金 權 石

자외선 경화형 광학 수지의  
광안정화와 다구찌 방법을 이용한  
자외선 경화 공정 최적화

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 權 石

金 權 石의 碩士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 洪 鎭 厚 印

委 員 朝鮮大學校 教授 柳 志 江 印

委 員 朝鮮大學校 教授 金 炫 暻 印

2007 年 11 月

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

# 목 차

## *LIST OF FIGURES*

## *LIST OF TABLES*

## *ABSTRACT*

### 제 1 장 휴대 단말기 카메라 모듈용 *UV embossing* 간이설비의 공정조건 최적화

제 1 절. 서론 .....	1
제 2 절. 실험 .....	2
1. 실험장치 .....	2
2. 실험방법 .....	2
제 3절. 다구찌 방법을 위한 실험 .....	5
1. 인자 및 수준의 선정 .....	5
2. 인자의 할당 및 실험결과 .....	8
제 4절. 결론 .....	21

### 제 2 장 광안정제를 함유한 자외선 경화형 광학수지의 광안정화와 경화거동

제 1절. 서론 .....	22
제 2절. 실험 .....	23
1. 실험재료와 경화공정 .....	23

2. photo-differential scanning calorimetry .....	23
3. FTIR-ATR Spectroscopy .....	25
4. UV-visible Spectroscopy .....	25
5. QUV weatherometer .....	25
제 3절. 결과 및 고찰 .....	25
제 4절. 결론 .....	40
참고문헌 .....	41

## LIST OF FIGURES

Figure 1.1. Experimental setup of UV embossing equipment. ....	4
Figure 1.2. Reflection optical micrograph of a residual Vickers indentation impression in a optical resin. ....	11
Figure 2.1. Chemical structures of the UVA (Tinuvin 328, a) and the HALS (Tinuvin 292, b) used in this study. ....	24
Figure 2.2. Photo-DSC exotherms for the photopolymerization of UV-curable optical resin formulations A1-F1 at 30°C, Sample weight 1.0mg, light intensity : 35mW/cm <sup>2</sup> at 365 nm. ....	28
Figure 2.3. Photo-DSC exotherms for the photopolymerization of UV-curable optical resin formulations A2-F2 at 30°C, Sample weight 1.0mg, light intensity : 35mW/cm <sup>2</sup> at 365 nm. ....	29
Figure 2.4. Absorption spectra of Tinuvin 328 (the UVA) and Tinuvin 292 (the HALS) ....	32
Figure 2.5. FTIR-ATR spectra of formulation A1 according to the UV curing time, Sample thickness : ~100 μm, light intensity :14 mW/cm <sup>2</sup> at 365 nm. ....	33
Figure 2.6. FTIR-ATR spectra of formulation A2 according to the UV curing time, Sample thickness : ~100 μm, light intensity :14 mW/cm <sup>2</sup> at 365 nm. ....	34
Figure 2.7. FTIR-ATR relative intensity ratios of formulations A1-F1 after 60 s of UV curing. ....	36
Figure 2.8. FTIR-ATR relative intensity ratios of formulations A2-F2 after 60 s of UV curing. ....	37
Figure 2.9 Change in the yellowing index of fomulations A1-F1 subject to QUV ageing. ....	38
Figure 2.10 Change in the yellowing index of fomulations A2-F2 subject to QUV ageing. ....	39



## *LIST OF TABLES*

Table 1.1. Levels of selected factors. ....	7
Table 1.2. Table of orthogonal arrays and experimental results for optical resin A. ....	9
Table 1.3. Table of orthogonal arrays and experimental results for optical resin B. ....	10
Table 1.4. SN ratio of the results for optical resin A. ....	13
Table 1.5. SN ratio of the results for optical resin B. ....	14
Table 1.6. Factors affecting the Vickers hardness for optical resin A. ....	15
Table 1.7. Factors affecting the transmittance for optical resin A. ....	16
Table 1.8. Factors affecting the number of bubbles for optical resin A. ....	17
Table 1.9. Factors affecting the Vickers hardness for optical resin B. ....	18
Table 1.10. Factors affecting the transmittance for optical resin B. ....	19
Table 1.11. Factors affecting the number of bubbles for optical resin B. ....	20
Table 2.1. Formulations of UV-curable optical resins containing photostabilizers at various concentrations, Data values art weight percentages. ....	27
Table 2.2. Exotherms data obtained by photo-DSC on the photopolymerization of the formulations listed in table. ....	30

# *ABSTRACT*

## *Photostabilization of UV-curable Optical Resins and Optimization of UV-curing Process Conditions using Taguchi method*

Kwon-Seok, Kim

Advisor : Prof. Jin-Who, Hong Ph.D.

Department of Polymer Science &

Engineering, Graduate School,

Chosun University

(1) Wafer-scale UV embossing process technique is useful for fabricating mobile-phone camera module. In this study, the fabrication process of UV-embossed microlenses on the basis of wafer-scale-replica processing has been optimized using Taguchi method. Sensitivity analysis was performed using UV dosage, process temperature, applied pressure and degree of vacuum as the parameters. The experimental results showed that the conditions such as 3500 mJ/cm<sup>2</sup> UV dosage, 30 °C temperature, 0.1 Mpa pressure, and 80 Torr degree of vacuum gave the best result. This work demonstrates the effectiveness of wafer-scale-replica processing technique in fabricating wafer-scale UV-embossed microlenses.

(2) The photostabilization and cure kinetics of UV-curable optical resins containing various formulations of photostabilizers have been investigated to determine the system with the highest cure conversion and durability. Photo-DSC analysis revealed that increasing the concentration of a UV absorber(UVA) decreased both the crosslink density and the cure rate due to competition for the incident photons between the photoinitiator and the UVA, whereas including a hindered amine light stabilizer (HALS) hardly affected either the cure conversion or the cure rate due to its absorption being very low at 365nm. This result was confirmed by FTIR-ATR spectroscopy and UV-visible spectroscopy analysis. QUV ageing experiments showed that the cure conversion and durability were highest for the formulation with UVA and HALS at a ratio of 1:2, which is due to their synergistic action.

# 제1장 휴대 단말기 카메라 모듈용 UV embossing 간이설비의 공정조건 최적화

## 제 1 절 서론

자외선 경화형 재료들은 수초 내의 빠른 반응성, 환경 친화적 특성 및 전자재료, 광학소재, 코팅제, 접착제, 치과용 재료, 잉크 재료 등과 같은 다양한 응용분야에 적용이 가능한 장점을 갖고 있기 때문에 최근 들어 많은 각광을 받고 있다[1-3].

전자재료 산업분야에 있어서 자외선 경화형 재료들은 광식각 제조 공정(photolithographic fabrication process), 자외선 엠보싱 복제 공정(UV embossing replication process) 및 자외선 나노 임프린트 식각 공정(UV nano-imprint lithography process) 등에 널리 사용되어지고 있다[4-7]. 현재 휴대 단말기 제조 업계에서는 휴대성을 강조한 초박형 단말기 시장을 놓고 서로 치열한 경쟁을 벌이고 있는 상황이다. 휴대 단말기의 두께를 효과적으로 줄일 수 있는 한 가지 방법으로 카메라 모듈의 배열을 디스플레이 패널의 가장자리 부분에 새롭게 디자인하기 위해 매우 얇은 두께의 카메라 모듈을 사용하는 것이 고안되었다. 이 방법은 웨이퍼 스케일(wafer-scale)의 자외선 엠보싱 복제 공정을 이용하여 카메라 모듈을 제조하는 기술인데, 여기에 자외선 경화형 수지가 웨이퍼 스케일의 렌즈 배열을 복제하는 데 적용되어 렌즈 디자인의 다양성과 재료 선택의 폭을 넓혀주었다[7]. UV 경화형 수지를 응용한 휴대 단말기 카메라 모듈용 렌즈제작 기술이 중요성이 계속 커지고 있는 상황에서 경화공정상 최종 경화물성에 영향을 미치는 핵심 주요인자들의 제어기술이 시급히 요구된다. 이에 UV 경화공정 중 경화 및 광학물성에 영향을 미치는 주요 인자들을 분석하여 제어 가능한 공정최적화 기술을 확보함으로써 생산비용 절감, 쉬운 설계변경 및 품질 향상 등을 도모할 수 있을 것으로 보인다.

휴대 단말기 카메라 모듈용 렌즈제작 공정 중 UV embossing 공정에 있어서 중요한 인자들로는 UV 조사량, 공정온도, 압력, 진공도 등이 있다. 이러한 인자들

은 어떤 수식이나 이론으로 최적화시킬 수 있는 것이 아니라 실험을 통한 시행착오로 최적의 조건을 도출한다. 따라서 효과적인 실험방법을 통하여 실험횟수를 줄이면서 최적의 공정조건을 도출하는 것이 무엇보다 중요하게 된다.

본 연구에서는 이러한 의도로 위에서 언급한 핵심 주요인자들을 설계에 반영한 UV embossing 간이설비를 새롭게 제작하였다. 이 장치에서 최적의 공정조건을 찾기 위해서는 여러 개의 제어 가능한 설계인자와 제어할 수 없는 잡음인자 중에서 일정한 패턴을 만들 수 있도록 잡음에 강건하고 우수한 광학 물성을 갖기 위한 조건을 보다 합리적이고 빠르게 찾는 방법으로 다구찌 방법(Taguchi method)을 이용한 실험계획법을 이용하였다.

## 제 2 절 실험

### 1. 실험장치

새롭게 설계된 UV embossing 간이설비는 UV 조사부(UV irradiation system), 시료 이송부(sample loading system), 공정 챔버부(process chamber system) 세 가지 부분으로 나누어 볼 수 있다(Fig. 2.1). UV 램프는 metal halide lamp이며 UV intensity는  $18 \text{ mW/cm}^2$ 였다. 공정 챔버부에서는 온도 변화, 압력 변화, 진공도 변화를 줄 수 있도록 설계되었다.

### 2. 실험방법

#### 가. 재료

자외선 경화형 광학 수지는 ChemOptics사의 UV-curable acrylate 수지인 optical resin A(점도:  $\sim 100 \text{ cps @ } 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , 굴절률 :  $1.430 @ 1550\text{nm}$ )와 B(점도:  $\sim 400 \text{ cps @ } 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , 굴절률 :  $1.568 @ 1550\text{nm}$ )를 사용하였다. 이형 처리된 stamper는 삼성전기에서 공급받았으며, 제공된 stamper는 기재인 slide glass 크기( $75 \times 25 \times 1 \text{ mm}^3$ )를 고려해서 적당히 맞게 잘라서 사용하였다.

#### 나. *Micro-Vickers hardness* 측정

형성된 패턴의 굴곡부 단면의 Vickers 경도를 측정하기 위하여 Shimadzu사의

Micro Vickers Hardness Tester기를 이용하였다. 측정 시 인가 하중은 98.07 mN (HV 0.01)이며 인가 시간은 10초였다. 측정값은 5회 반복 측정하여 평균값을 기록하였으며 경도는 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$HV = 1.854 \left( \frac{P}{d^2} \right) \quad (1.1)$$

여기서  $HV$ 는 Vickers 경도이고,  $P$ 는 인가된 힘이며,  $d$ 는 Vickers indenter가 남긴 마름모꼴 모양의 두 대각선 길이 합의 평균값이다.

#### 다. *Transmittance* 측정

형성된 패턴의 투과도 측정을 위해 Minolta사의 CM-3500d spectrophotometer를 이용하였으며 550 nm에서 측정하였다. 측정값은 5회 반복 측정하여 평균값을 기록하였다.

#### 라. *Bubble* 수 측정

Bubble 수는 실험 편의상 일정 크기(20×20 mm<sup>2</sup>)의 패턴 내에 육안으로 확인할 수 있는 macro-bubble만을 계수하였다.



Fig. 1.1. Experimental setup of UV-embossing equipment.

### 제 3 절 다구찌 방법을 이용한 실험

#### 1. 인자 및 수준의 선정

UV embossing 공정에서 가공되는 패턴의 품위는 다양한 인자들에 의해 결정된다. 이러한 여러 인자들의 영향을 정량적으로 파악하기 위하여 모든 인자들의 조합을 고려하여 실험할 경우 실험횟수는 크게 늘어나게 된다. 따라서 실험횟수를 최소화하고 외부교란 인자가 작용해도 일정한 패턴이 가공되도록 할 필요가 있다.

다구찌 방법의 강건설계는 제어할 수 있는 영향력이 큰 인자를 찾아내어 이 인자들의 영향력을 최대화 하여 잡음의 영향력을 최소화 하는 것이다. 교란 인자의 영향으로부터 품질을 강건하게 유지하기 위하여 SN비(signal to noise ratio)를 사용한다. SN비는 신호 대 잡음의 비율을 뜻하는 것으로 신호 입력의 힘과 잡음이 주는 영향의 힘의 비율로서 나타낸다. 즉, 각각의 조절인자의 SN비를 크게 만드는 값은 잡음에 대하여 강건해진다.

SN비는 목적 함수, 즉 특성치에 의해 그 정의가 달라지게 되는데 특성치는 망목(normal is best), 망소(smaller is better) 및 망대(larger is better)특성으로 나뉘어진다. 본 연구에서 적용한 방법은 버블갯수(number of bubbles)는 작을수록 좋은 망소특성이므로 망소특성 분석에 준하여 실행하였으며 경도(Vickers hardness)와 투과도(transmittance)는 클수록 좋으므로 망대특성에 준하여 실행하였다.

망소특성의 경우 SN비는 다음과 같다[8].

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1.2)$$

식 (1.2)에서 n은 측정값의 수를 나타내고,  $y_i$ 는 측정된 특성값을 나타내고 기대값은  $E(y^2)$ 가 된다. SN비의 진수부분은  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$ 의 추정치라 볼 수 있다. 따라서 진수부분의 감소(기대값의 감소)는 SN비의 증가를 가져온다.

망대특성의 경우 SN비는 다음과 같다.



$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1.3)$$

망대특성의 경우에도 진수부분인  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$  은  $E(y^{-2})$ 의 추정량이라 볼 수 있고  $E(y^{-2})$ 는 망대특성의 경우 기대값이 되므로 결국 기대값의 최소화는 SN비의 최대화와 관계가 있다. 이와 같이 SN비 값이 큰 경우가 최적 공정조건에 바람직한 방향으로 기여함을 알 수 있다.

예비 실험을 통하여 UV embossing 공정에 의한 렌즈제작에 영향을 미칠 수 있는 인자 및 수준을 선정하였고 이를 Table 1.1에 나타내었다. 렌즈제작에 영향을 미치는 인자는 UV 조사량(UV dosage), 공정온도(temperature), 압력(pressure) 및 진공도(degree of vacuum)가 있다.

Table 1.1. Levels of selected factors

Factor	Level		
	1	2	3
A: UV dosage (mJ/cm <sup>2</sup> )	1500	2500	3500
B: Temperature (°C)	30	50	70
C: Pressure (MPa)	0.01	0.1	0.2
D: Degree of vacuum (Torr)	A.P. <sup>a</sup>	80	155

<sup>a</sup> Atmospheric pressure

## 2. 인자의 할당 및 실험결과

실험계획법에서 직교배열표를 사용하는 이유는 재현성, 바람직한 최적조건 결정 및 안정성에 대한 평가와 실험의 크기를 확대시키지 않고도 실험에 많은 인자를 넣을 수 있다는 데 있다. 본 실험에서는 총 9번의 실험횟수를 가지는 4인자 3수준 계 직교배열표( $L_93^4$ )를 적용하였다.

Table 1.2와 1.3에 각각 Optical resin A와 Optical resin B의 UV 조사량, 공정 온도, 압력 및 진공도의 인자들을 배치하였고 3개의 수준에 해당되는 값들을 정하여 나타내었으며 Tables 1.2-1.3의 1열에 UV 조사량(A), 2열에 공정온도(B), 3열에 압력(C), 4열에 진공도(D)를 할당하였다. 각 실험의 결과는 인자할당 오른쪽에 나타내었다. Vickers hardness는 Fig. 1.3에 나타낸 바와 같이 두 대각선의 평균값을 구한 후 식 (1.1)을 이용하여 계산하였다. 투과도(transmittance) 측정은 spectrophotometer를 이용하여 550 nm에서 행해졌다. 각 측정 결과값은 5회 반복 측정한 평균값이다. Bubble 수는 실험 편의상 일정 크기의 패턴 내에 육안으로 확인할 수 있는 macro-bubble만을 계수하였다.

Tables 1.2-1.3의 결과값으로부터 Optical resin A와 B의 특성을 비교해보면, Optical resin A의 경우 Optical resin B보다 투과도와 bubble 숫자 면에서 더 우수함을 알 수 있는데 이는 Optical resin A의 점도가 Optical resin B보다 훨씬 낮은 이유 때문으로 생각된다. 하지만 경도 측면에서는 Optical resin B가 더 우수함을 알 수 있다. 이는 앞장에서 살펴본 바와 같이 Optical resin B가 Optical resin A보다 경화도 더 크기 때문이다.

Table 1.2. Table of orthogonal arrays and experimental results for Optical resin A

Exp. No.	A	B	C	D	Vickers hardness (MPa)	Transmittance @ 550 nm (%)	Number of bubbles
1	1	1	1	1	2.40	84.0	10
2	1	2	2	2	2.71	82.8	6
3	1	3	3	3	3.04	79.7	6
4	2	1	2	3	2.85	84.1	11
5	2	2	3	1	3.00	83.1	16
6	2	3	1	2	3.29	79.2	3
7	3	1	3	2	2.94	84.0	5
8	3	2	1	3	3.09	82.9	11
9	3	3	2	1	3.56	79.2	4

Table 1.3. Table of orthogonal arrays and experimental results for Optical resin B

Exp. No.	A	B	C	D	Vickers hardness (MPa)	Transmittance @ 550 nm (%)	Number of bubbles
1	1	1	1	1	9.12	80.3	17
2	1	2	2	2	11.67	78.8	7
3	1	3	3	3	12.13	75.3	12
4	2	1	2	3	11.12	80.2	20
5	2	2	3	1	12.31	78.7	25
6	2	3	1	2	12.59	75.3	4
7	3	1	3	2	11.95	79.3	7
8	3	2	1	3	12.40	78.0	12
9	3	3	2	1	12.95	76.1	12

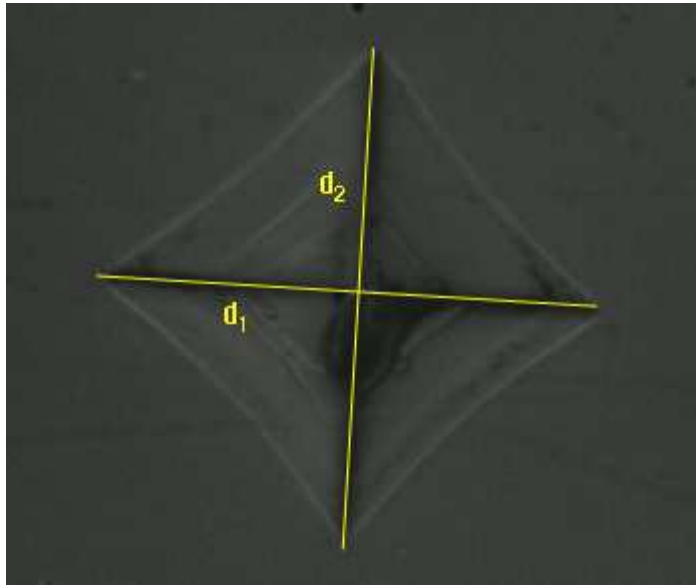


Fig. 1.2. Reflection optical micrograph of a residual Vickers indentation impression in a optical resin.

위에서 측정된 결과값으로부터 MINITAB을 활용한 다구찌 방법으로 Optical resin A와 B의 SN비를 계산하여 Table 1.4-1.5에 각각 나타내었다. 얻어진 SN비를 이용하여 각 인자별 수준의 효과를 구할 수 있다. 예를 들어, Vickers hardness에서 A인자, 수준 1의 효과  $A_{1eff}$ 는 실험번호 1,2,3에 해당되므로 SN비의 평균으로 다음과 같이 계산된다.

$$A_{1eff} = \frac{7.60 + 8.66 + 9.66}{3} = 8.64$$

위와 같은 방법으로 모든 인자와 수준에 그 효과를 계산할 수 있다. 한편, 수준차(deviation)는 인자의 수준별 효과의 최대값과 최소값의 차이를 뜻하며 기여율(percentage contribution)은 전 수준차의 합에 대한 백분율로 나타낸다. 이와 같이 계산한 인자 및 수준의 효과를 Optical resin A는 Table 1.6-1.8에, Optical resin B는 Table 1.9-1.11에 각각 나타내었다.

실험결과를 살펴보면 Optical resin A와 Optical resin B 모두 기여율이 가장 높은 인자는 B임을 알 수 있고 이는 B인자의 값이 조금만 바뀌어도 결과값에 큰 영향을 준다는 것을 의미한다. Optical resin A의 경우 Table 1.6-1.8에서 각 인자별 수준의 효과를 비교하여 최적의 인자별 수준을 찾으면 A3, B1, C2, D2가 된다. 즉, A3, B1, C2, D2의 공정조건으로 패턴을 형성할 때 잡음에 강건하고 원하는 결과값을 얻을 수 있음을 알 수 있다. Optical resin B의 경우는 Table 1.9-1.11에서 각 인자별 수준의 효과를 비교하여 최적의 인자별 수준을 찾으면 A3, B1, C3, D2가 된다. 즉, A3, B1, C3, D2의 공정조건으로 패턴을 형성할 때 잡음에 강건하고 원하는 결과값을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Table 1.4. SN ratio of the results for Optical resin A

Exp. No.	Vickers hardness (MPa)	Transmittance (%)	Number of bubbles
1	7.60	38.45	-20.00
2	8.66	38.36	-15.56
3	9.66	38.03	-15.56
4	9.10	38.50	-20.83
5	9.54	38.39	-24.08
6	10.34	37.97	-9.54
7	9.37	38.49	-13.98
8	9.80	38.37	-20.83
9	11.03	37.97	-12.04



Table 1.5. SN ratio of the results for Optical resin B

Run	Vickers hardness (MPa)	Transmittance (%)	Number of bubbles
1	19.20	38.09	-24.61
2	21.34	37.93	-16.90
3	21.68	37.54	-21.58
4	20.92	38.08	-26.02
5	21.81	37.92	-27.96
6	22.00	37.54	-12.04
7	21.55	37.99	-16.90
8	21.87	37.84	-21.58
9	22.25	37.63	-21.58

Table 1.6. Factors affecting the Vickers hardness for Optical resin A

Factor	Effect			Deviation	PC (%) <sub>a</sub>
	1	2	3		
<b>A</b>	8.64	9.66	<b>10.07</b>	1.42	<b>40.12</b>
B	8.69	9.33	10.34	1.65	46.58
<b>C</b>	9.25	<b>9.60</b>	9.52	0.35	<b>9.74</b>
D	9.39	9.46	9.52	0.13	3.55
Total				3.55	100

<sup>a</sup> PC: percentage contribution

Table 1.7. Factors affecting the transmittance for Optical resin A

Factor	Effect			Deviation	PC (%) <sub>a</sub>
	1	2	3		
A	38.29	38.29	38.28	0.01	1.87
<b>B</b>	<b>38.49</b>	38.37	37.99	0.50	<b>89.08</b>
C	38.28	38.28	38.30	0.03	4.54
D	38.28	38.27	38.30	0.03	4.52
Total				0.56	100

<sup>a</sup> PC: percentage contribution

Table 1.8. Factors affecting the number of bubbles for Optical resin A

Factor	Effect			Deviation	PC <sub>a</sub> (%)
	1	2	3		
A	-17.04	-18.15	-15.62	2.53	14.01
B	-18.27	-20.16	-12.38	7.78	42.99
C	-16.79	-16.14	-17.87	1.73	9.57
D	-18.71	-13.03	-19.07	6.04	33.42
Total				18.09	100

<sup>a</sup> PC: percentage contribution

Table 1.9. Factors affecting the Vickers hardness for Optical resin B

Factor	Effect			Deviation	PC (%) <sub>a</sub>
	1	2	3		
<b>A</b>	20.74	21.58	<b>21.89</b>	1.15	<b>30.48</b>
B	20.56	21.67	21.97	1.42	37.66
<b>C</b>	21.02	21.50	<b>21.68</b>	0.65	<b>17.36</b>
D	21.08	21.63	21.49	0.55	14.51
Total				3.77	100

<sup>a</sup> PC: percentage contribution

Table 1.10. Factors affecting the transmittance for Optical resin B

Factor	Effect			Deviation	PC <sub>a</sub> (%)
	1	2	3		
A	37.85	37.85	37.82	0.04	5.39
<b>B</b>	<b>38.05</b>	37.90	37.57	0.49	<b>74.69</b>
C	37.82	37.88	37.81	0.07	10.25
D	37.88	37.82	37.82	0.06	9.67
Total				0.65	100

<sup>a</sup> PC: percentage contribution

Table 1.11. Factors affecting the number of bubbles for Optical resin B

Factor	Effect			Deviation	PC (%) <sub>a</sub>
	1	2	3		
A	-21.03	-22.01	-20.02	1.98	14.01
B	-22.51	-22.15	-18.40	3.75	26.46
C	-19.41	-21.50	-22.15	0.65	4.56
<b>D</b>	-24.72	<b>-15.28</b>	-23.06	7.78	<b>54.96</b>
Total				14.16	100

<sup>a</sup> PC: percentage contribution

## 제 4 절 결론

본 연구에서는 UV embossing 공정을 통한 카메라 모듈용 렌즈제작에 있어 최적의 공정조건을 찾기 위해 행해야 하는 수많은 실험을 효율적으로 줄이고 어떠한 인자가 가공품위를 유지하는 데 지배적인지를 알기 위해 다구찌 방법을 이용하였다. UV 조사량, 공정온도, 압력, 진공도라는 네 가지 인자에서 최종 결과값은 공정온도에 많이 좌우된다는 것을 알았다. 이는 이 인자의 값이 조금만 바뀌어도 최종 결과값에 영향을 많이 끼침을 의미한다. 기여율을 바탕으로 UV 광학 수지인 Optical resin A와 Optical resin B의 최적 수준을 도출하면 Optical resin A의 경우 UV 조사량  $3500 \text{ mJ/cm}^2$ , 공정온도  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , 압력  $0.1 \text{ MPa}$ , 진공도  $80 \text{ Torr}$ 에서 가장 바람직한 결과값을 얻었으며, Optical resin B의 경우는 UV 조사량  $3500 \text{ mJ/cm}^2$ , 공정온도  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , 압력  $0.2 \text{ MPa}$ , 진공도  $80 \text{ Torr}$ 에서 가장 바람직한 결과값을 얻었다.

새로운 개념의 UV embossing 공정을 통한 카메라 모듈용 렌즈제작 기술의 개발을 위해서는 해결해야 할 문제점들이 많이 존재한다. 예를 들어, 이번 연구를 위해 핵심 주요인자의 영향을 알아볼 수 있도록 새롭게 설계된 UV embossing 간이설비에서 파생된 문제점들을 살펴보면, 공정온도 상승 시 stamper에 처리된 이형막의 변질, 진공도 부족으로 인한 bubble의 미제거 등을 들 수 있다. 하지만 이러한 문제점들은 설계변경을 통해 충분히 극복할 수 있으리라 생각된다. 마지막으로 이번 연구결과에서 파생된 문제점들로 인하여 만족할 만한 최종 결과값을 얻기에는 부족했지만 적용한 다구찌 방법은 새롭게 설계된 UV embossing 간이설비의 공정조건을 강건설계를 위한 효과적인 수단이라 할 수 있다.



## 제2장 광안정제를 함유한 자외선 경화형 광학수지의 광안정화와 경화거동

### 제 1 절 서론

기존의 사출성형으로 제조된 카메라 모듈에서는 고려되지 않았던 광분해, 변색 또는 투과도 저하 등과 같은 문제점들이 자외선 경화 후 엠보싱된 렌즈의 옥외 사용시 발생할 수 있었다.

내후성 증진을 위해 수지 배합에 적용되는 광안정제의 일종인 자외선 흡수제(UV absorber, UVA)는 경화된 수지의 광노화에 따른 내구성 저하를 방지할 뿐만 아니라 태양광선으로부터의 해로운 자외선도 효과적으로 차단시켜 경화된 유기 재료의 광분해 반응을 상당히 지연시켜 주는 역할을 수행한다[9-11]. 그러나 UVA의 강한 자외선 필터 효과(UV filter effect)로 인하여 경화 속도를 저하시키는 단점이 있다. 다른 종류의 광안정제인 아민계 광안정제(hindered amine light stabilizer, HALS)는 UVA에 비해 광안정화 효과는 떨어지지만 경화 속도에 거의 영향을 주지 않으면서 광분해 억제 작용에도 꽤 우수하다고 알려져 있다. 게다가 HALS의 첨가는 UVA의 존속기간(lifetime)도 연장시켜주는 시너지 효과도 발휘한다고 한다[9].

자외선 경화형 광학 수지의 내후성을 향상시키기 위해서는 유기 매트릭스 내에서 광안정제들이 경화 메커니즘과 동력학적 거동에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 이해하는 것이 무엇보다 중요하다. 광안정제를 포함한 경화 시스템의 정확한 동력학적 분석은 배합을 설계하고 경화 공정을 제어하는 데 많은 도움을 준다. 본 연구에서는 자외선 경화형 광학 수지의 내후성 향상을 위해 종류가 다른 광안정제들의 광안정화 효과를 평가하였다. 또한 본 연구의 목적은 광안정제들이 경화 거동과 광안정화 효과에 미치는 영향을 조사하여 경화성과 내후성 측면에서 최적의 광안정화 시스템을 도출하는 것이다. 이를 위해 photo-differential scanning calorimetry(photo-DSC), ATR 방식의 FTIR spectroscopy(FTIR-ATR), UV-visible spectroscopy 및 QUV weatherometer를 사용하였다.

### 제 2 절 실험

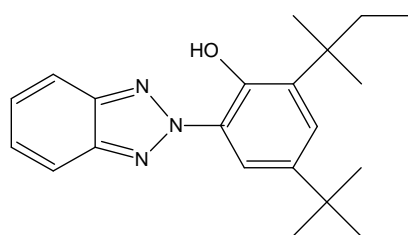
## 1. 실험 재료와 경화 공정

자외선 경화형 광학 수지는 ChemOptics사의 UV-curable acrylate 수지인 optical resin A(점도: ~ 100 cps @ 25 °C, 굴절률 : 1.430 @ 1550nm)와 B(점도: ~ 400 cps @ 25 °C, 굴절률 : 1.568 @ 1550nm)를 사용하였다. 광안정제로 Ciba Specialty Chemicals사의 UVA인 Tinuvin 328과 HALS인 Tinuvin 292가 사용되었다. 모든 물질들은 정제 없이 그대로 사용하였으며 광안정제의 구조는 Fig. 2.1에 나타내었다. 바 코터(bar coater)를 사용하여 배합액을 습도막 두께 100  $\mu\text{m}$ 로 유리 기체에 코팅한 후 질소 분위기 하에서 metal halide lamp(EFOS UV System)를 사용하여 경화시켰다. 이때 광량은 365 nm에서 14  $\text{mW}/\text{cm}^2$ 였다.

## 2. *photo-differential scanning calorimetry*

Photo-DSC 실험은 TA Instruments사의 TA 5000/DPC System 기기를 이용하여 행해졌다. 광원은 200 W 고압 수은 램프이며 광량은 365 nm에서 14  $\text{mW}/\text{cm}^2$ 였다. 각 시료는 약 1.0 mg 정도로 질소 분위기 하에서 경화되었다. 70 °C의 등온 과정에서 얻어진 발열량은 273 J/g이었고, 이를 완전 경화된 수지의 발열량( $\Delta H_{\text{total}}$ )으로 간주하였다. Photo-DSC 실험결과는 TA Instruments Software를 이용하여 분석하였다.

(a)



(b)

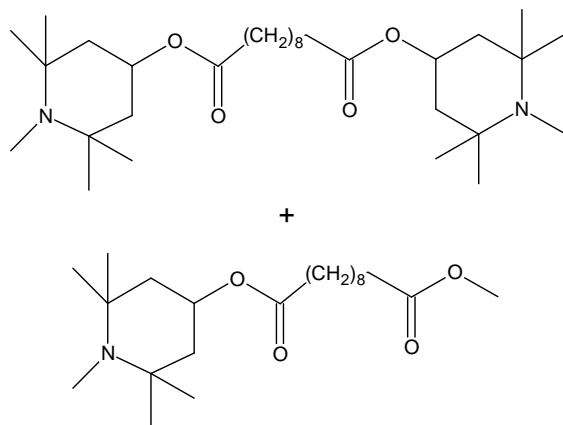


Fig. 2.1. Chemical structures of the UVA (Tinuvin 328, a) and the HALS (Tinuvin 292, b) used in this study.

### 3. FTIR-ATR spectroscopy

ATR(attenuated total internal reflectance) crystal(ZnSe, 45°) 위에 일정량의 수지를 도포한 후 spot cure system(EFOS Lite, 50W metal halide lamp)을 사용하여 시료를 경화시켰다. 이때 광원과 샘플과의 거리는 10 cm이고, 광량은 14 mW/cm<sup>2</sup>였다. 형성된 도막은 ATR accessory (PIKE Technology Inc.)가 장착된 FTIR spectrometer(Perkin-Elmer, Spectrum GX)를 사용하여 각각의 흡광도를 조사하였다. 파장( $\lambda$ )에 의존하는 침투 깊이( $D_p$ )는 다음 식으로부터 계산된다[12].

$$D_p = \frac{\lambda}{2\pi(n_1^2 \sin^2 \theta - n_2^2)^{1/2}} \quad (1)$$

여기서  $\theta$ 는 입사각이고  $n_1$ 과  $n_2$ 는 각각 reflection element와 시료의 굴절률이다.

### 4. UV-visible spectroscopy

광안정제(Tinuvin 328과 Tinuvin 292)의 흡수 스펙트럼은 Cary 3 Bio UV-visible spectrophotometer를 사용하여 얻어졌다. 시료는 염화 메틸렌 용액에 0.01 g/L의 농도로 희석되었으며, 석영 셀을 이용하여 측정되었다.

### 5. QUV weatherometer

내후성 실험은 Q-Panel Lab Products사의 축진 내후성 시험기를 사용하였다. 각 배합액을 약 100  $\mu$ m 두께로 유리 기재에 코팅한 후 자외선 경화시킨 시료를 알루미늄 샘플 홀더에 고정시키고, UVB-313 fluorescent lamp를 사용하여 자외선에 노출시켰다. 내후성 실험 주기는 70 °C에서 8시간 동안 자외선 조사 후 50 °C에서 4시간 동안 응축시키는 조건 하에서 2000시간까지 행해졌다. 이때 광량은 313 nm에서 0.6 W/m<sup>2</sup>였다.

## 제 3 절 결과 및 고찰

광안정제인 UVA와 HALS의 농도비를 달리하여 광학 수지 Optical resin A와

Optical resin B에 첨가하였으며 Table 2.1에 그 배합성분을 나타내었다. 광안정제를 함유한 자외선 경화형 광학 수지의 광중합 과정을 알아보기 위해 photo-DSC를 사용하여 동력학적 거동을 조사하였다. Photo-DSC 실험을 통해 동력학적 데이터를 얻을 수 있으며 여기서 측정된 열흐름(heat flow)은 최종 전환율과 중합속도로 곧바로 전환할 수 있다[13,14]. 하지만 본 연구에서 사용된 경화 거동 분석은 본질적으로 실험적인 데이터들이며 또한 얻어진 데이터는 시료의 전반적인 경화 반응을 나타낼 뿐 경화 메커니즘에 대한 정보는 제공하지 않음을 언급해둔다.

Figs. 2.2와 2.3은 자외선 경화형 광학 수지 Optical resin A와 Optical resin B 배합물들의 광중합 과정에서 발생한 발열곡선을 각각 보여준다. Figs. 2.2와 2.3으로부터 얻어진 발열량, 최종 전환율, 피크 최고점(peak maximum) 및 최대 중합속도( $R_{p,max}$ )를 Table 2.2에 나타내었다. Table 2.2에서 Optical resin A(배합물 A1)와 Optical resin B(배합물 A2)의 경우 각각 70 °C와 100 °C에서 최대의 발열량을 보였으며, 이때의 발열량( $\Delta H_{total}$ )을 100% 경화로 가정하고 나머지 배합물들의 최종 전환율을 계산하였다. 구성 요소를 모르는 미지의 시료인 경우 주로 이러한 방법을 사용한다. Optical resin A와 Optical resin B의 측정결과를 살펴보면 Optical resin A가 Optical resin B보다 발열량이 더 적고 경화 속도가 더 느림을 알 수 있는데, 이는 제공받은 재료 자체의 경화특성이므로 그 원인은 파악하기 어렵다.

Table 2.1. Formulations of UV-curable optical resins containing photostabilizers at various concentrations. Data values are weight percentages

Component	A1	B1	C1	D1	E1	F1	A2	B2	C2	D2	E2	F2
Optical resin A	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
Optical resin B	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100
UVA	0	1	0.67	0.5	0.33	0	0	1	0.67	0.5	0.33	0
HALS	0	0	0.33	0.5	0.67	1	0	0	0.33	0.5	0.67	1

<sup>a</sup> ChemOptics.

<sup>b</sup> UVA (Ciba Specialty Chemicals).

<sup>c</sup> HALS (Ciba Specialty Chemicals).

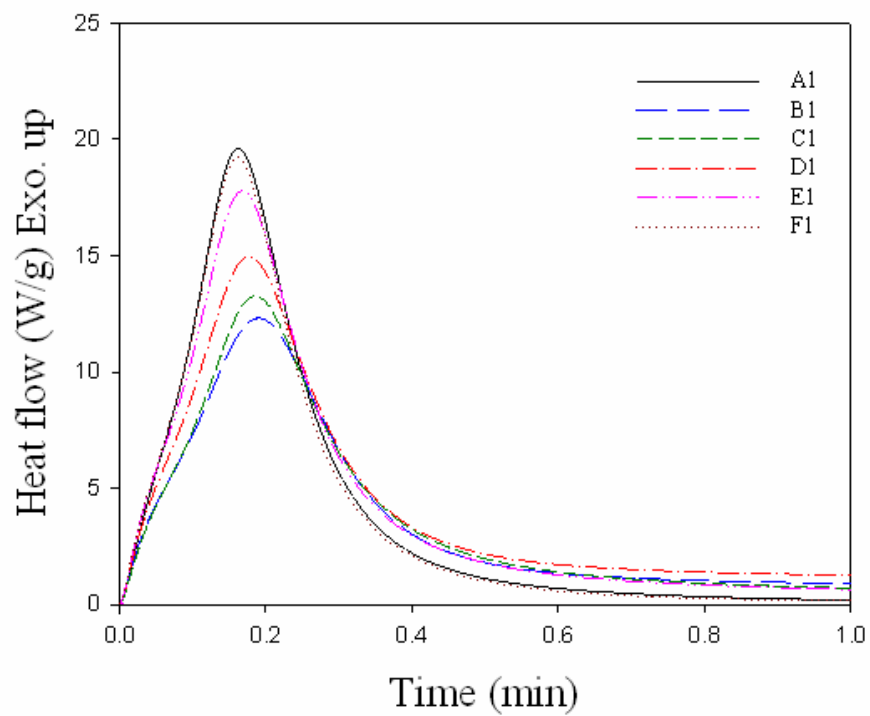


Fig. 2.2. Photo-DSC exotherms for the photopolymerization of UV-curable optical resin formulations A1–F1 at 30 °C. Sample weight: 1.0 mg, light intensity: 35 mW/cm<sup>2</sup> at 365 nm.

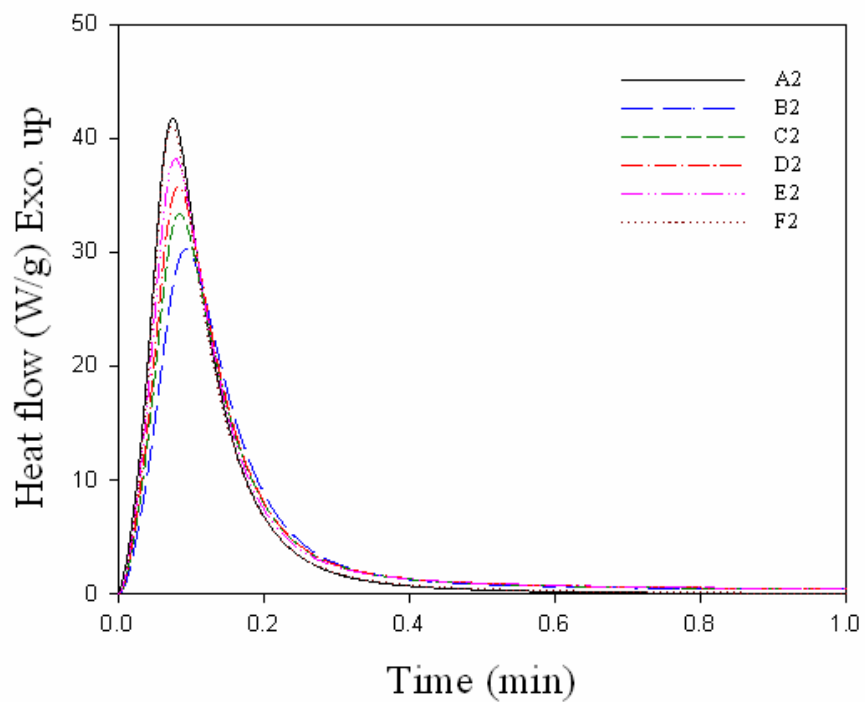


Fig. 2.3. Photo-DSC exotherms for the photopolymerization of UV-curable optical resin formulations A2–F2 at 30 °C. Sample weight: 1.0 mg, light intensity: 35 mW/cm<sup>2</sup> at 365 nm.



Table 2.2. Exotherm data obtained by photo-DSC on the photopolymerization of the formulations listed in Table.

Formulation	$\Delta H$ (J/g)	Conversion (%)	Peak maximum (min)
A1	240	88	0.163
B1	199	74	0.190
Optical resin A <sup>1</sup>	C1	207	76
	D1	218	80
	E1	229	84
	F1	235	87
A2	296	80	0.074
B2	256	69	0.093
Optical resin B <sup>2</sup>	C2	263	71
	D2	272	74
	E2	281	76
	F2	291	79

<sup>1</sup> The total heat ( $\Delta H_{\text{total}}$ ) for the fully cured optical resin A was 273 J/g.

<sup>2</sup> The total heat ( $\Delta H_{\text{total}}$ ) for the fully cured optical resin B was 371 J/g.

Table 2.2의 실험 데이터에서 예상한 바와 같이 두 광학 수지 모두 UVA 광안정제의 농도가 증가함에 따라 경화도(발열량과 최종 전환율)와 경화속도(피크 최고점과 최대 중합속도)가 점차 감소한다는 사실을 알 수 있었다. 이러한 결과는 광개시제(photoinitiator)와 UVA의 자외선 흡수 경쟁 때문으로 생각되며 이로 인해 낮은 경화 전환율과 느린 광중합 속도를 나타내게 되었다. 이와는 다르게 HALS 광안정제 존재 하에서는 다른 양상의 결과를 보여주었다. 1 wt%의 HALS만을 함유한 배합물 F1과 F2의 경우 배합물 A1과 A2를 비교할 때 동력학적 실험 데이터 상에서 큰 변화가 없음을 알 수 있는데, 이는 HALS가 경화 전환율과 경화속도에 거의 영향을 미치지 않음을 의미한다. 이러한 결과는 UV-visible spectroscopy를 이용한 추가적인 실험을 통해서 입증될 수 있다. Fig. 2.4는 200–500 nm 파장 범위에서 광안정제들의 흡수 스펙트럼을 나타내었다. 이 그림에서 UVA는 365 nm 파장에서 흡수를 많이 하는 반면, HALS는 365 nm 파장에서 거의 흡수를 하지 않음을 알 수 있다. 이는 UVA가 광개시제와의 사이에서 자외선 흡수 경쟁을 피할 수 없음을 나타낸다.

이번에는 자외선 경화반응 중 광학 수지 배합물들의 경화 메커니즘에 대한 정보를 얻기 위하여 FTIR-ATR spectroscopy를 이용하여 추가 실험을 행하였다. Figs. 2.5와 2.6에 경화시간에 따른 배합물 A1(Optical resin A)과 A2(Optical resin B)의 FTIR-ATR 스펙트럼을 나타내었다. 여기에서 Optical resin A의 경우 경화반응이 진행되는 동안 피크 변화가 거의 없는  $1600\text{ cm}^{-1}$  피크(aromatic C=C stretching vibration)를 기준 피크로 사용하였고, Optical resin B의 경우는  $1580\text{ cm}^{-1}$  피크(aromatic C=C stretching vibration)를 기준 피크로 사용하였다. 반면에 경화반응이 진행됨에 따라 피크의 크기가 감소하는  $810\text{ cm}^{-1}$  피크(acryl group의 =CH deformation modes)를 경화 반응의 척도로서 사용하였다.

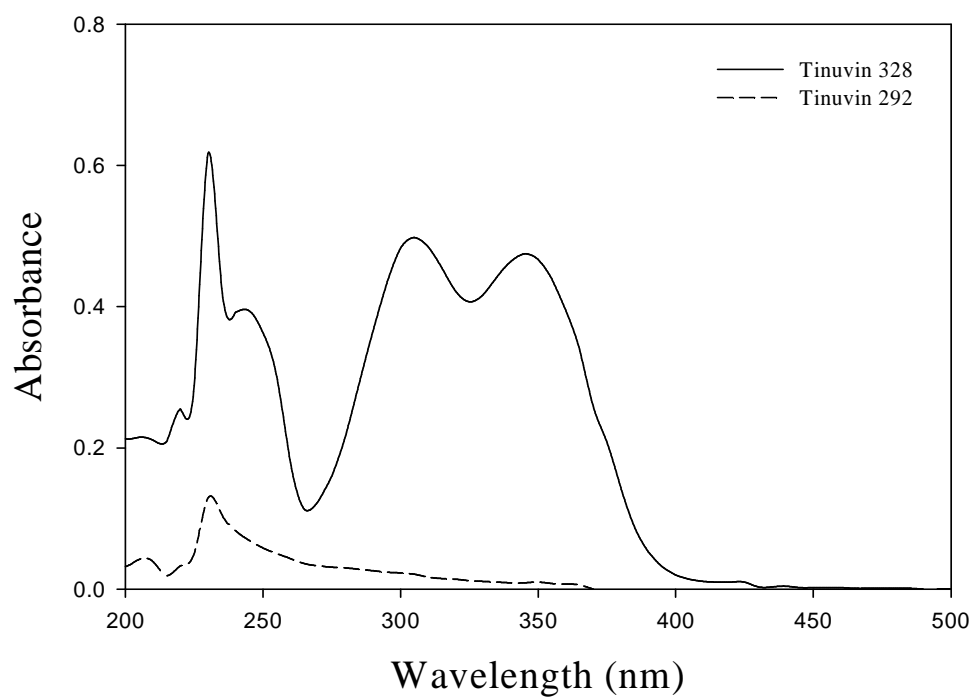


Fig. 2.4. Absorption spectra of Tinuvin 328 (the UVA) and Tinuvin 292 (the HALS).

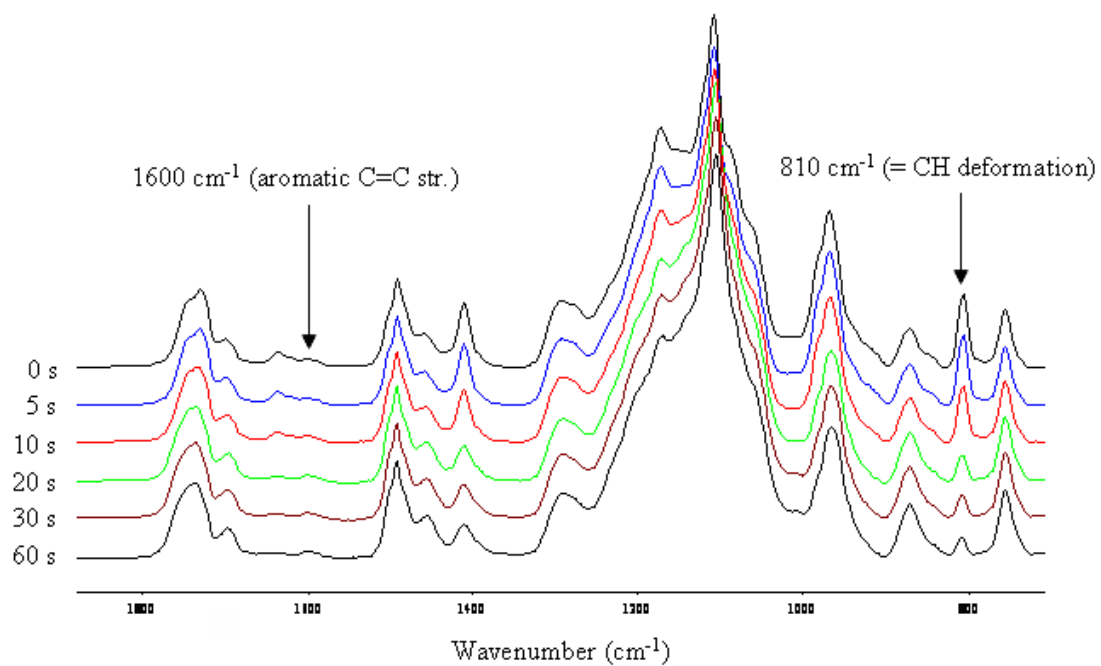


Fig. 2.5. FTIR-ATR spectra of formulation A1 according to the UV curing time. Sample thickness:  $\sim 100\ \mu\text{m}$ , light intensity:  $14\ \text{mW}/\text{cm}^2$  at  $365\ \text{nm}$ .

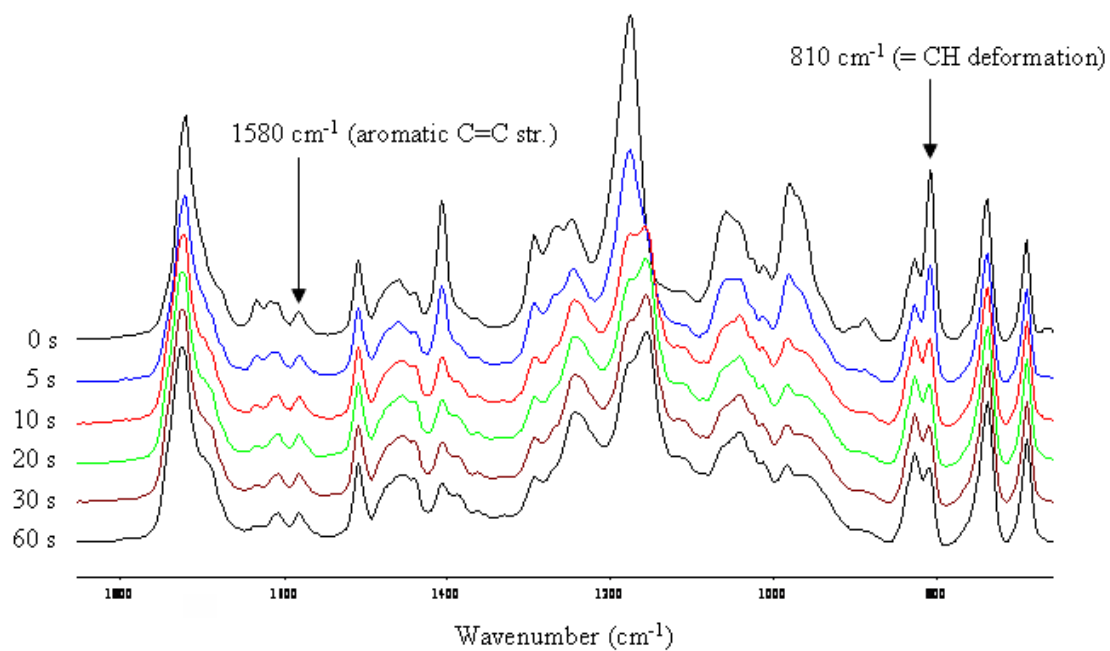


Fig. 2.6. FTIR-ATR spectra of formulation A2 according to the UV curing time. Sample thickness:  $\sim 100 \mu\text{m}$ , light intensity:  $14 \text{ mW/cm}^2$  at  $365 \text{ nm}$ .

배합물 A1-F1과 A2-F2의 60초 동안 자외선 경화 후 FTIR-ATR 스펙트럼의 상대 강도비를 Figs. 2.7과 2.8에 각각 나타내었다. 그림에서 UVA의 농도가 증가함에 따라 경화도가 감소함(상대 강도비의 증가는 경화도 감소를 의미)을 알 수 있으며 HALS는 경화도에 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 이는 photo-DSC 실험에서 얻은 실험결과를 뒷받침 해준다.

자외선 경화된 광학 수지 배합물들의 내후성을 평가하기 위해 QUV weatherometer를 사용하여 황변성을 조사하였다. Figs. 2.9와 2.10에 경화된 배합물들의 QUV 노화에 따른 황변지수(yellowness index, YI)를 각각 나타내었다. Figs. 2.9와 2.10으로부터 Optical resin B가 Optical resin A보다 자외선 폭로에 의한 황변에 더 취약함을 알 수 있는데, 이는 물질의 구조적인 차이 때문일 것으로 추측하고 있다. 또한, 광안정제를 함유하지 않은 Optical resin A(배합물 A1)와 Optical resin B(배합물 A2)보다 광안정제를 함유한 배합물 B1-F1과 B2-F2가 내후성이 훨씬 우수함을 알 수 있다. 여기서 광안정제를 함유한 배합물들을 비교해보면 QUV 노화 200시간 미만인 경우 즉, 자외선 폭로 초기 단계에서는 UVA의 농도가 증가함에 따라 YI값이 감소함을 알 수 있는데, 이는 UVA가 자외선 경화된 광학 수지의 광안정화에 크게 기여했음을 의미한다. 하지만 QUV 노화 500시간 이후부터는 반대의 결과가 나타남을 알 수 있다. 이러한 현상은 UVA의 내부 필터효과(inner filter effect)로 인한 불충분한 경화 전환을 때문인 것으로 생각된다(Table 2.2 참조). 다시 말하면, 자외선 경화 후 불충분한 경화로 인해 유기 매트릭스 내에 남아 있던 미반응 아크릴레이트 분자들이 경화된 수지의 황변을 촉진시키는 것으로 판단된다.

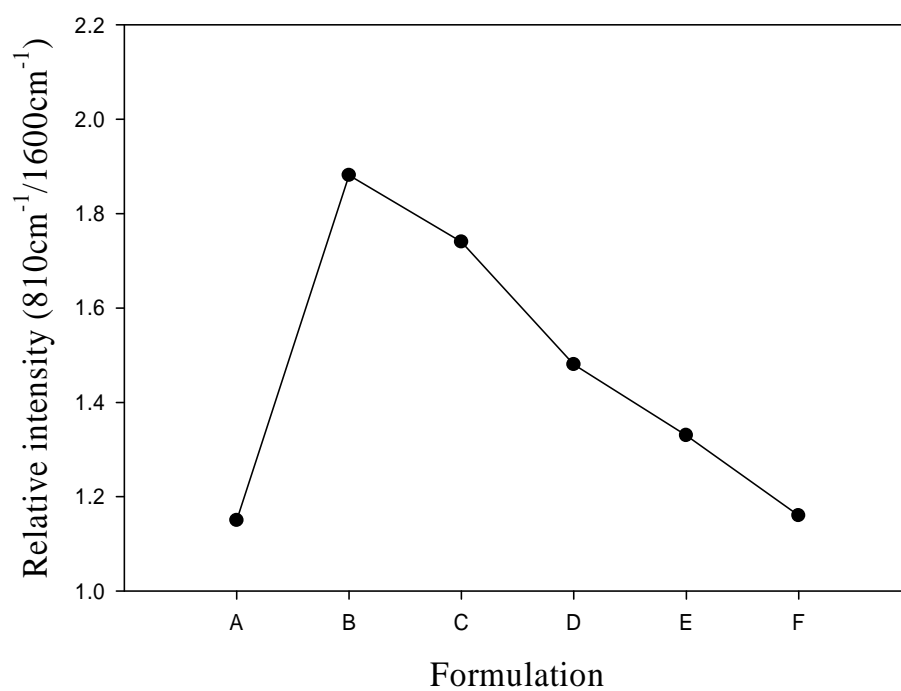


Fig. 2.7. FTIR-ATR relative intensity ratios of formulations A1–F1 after 60 s of UV curing.

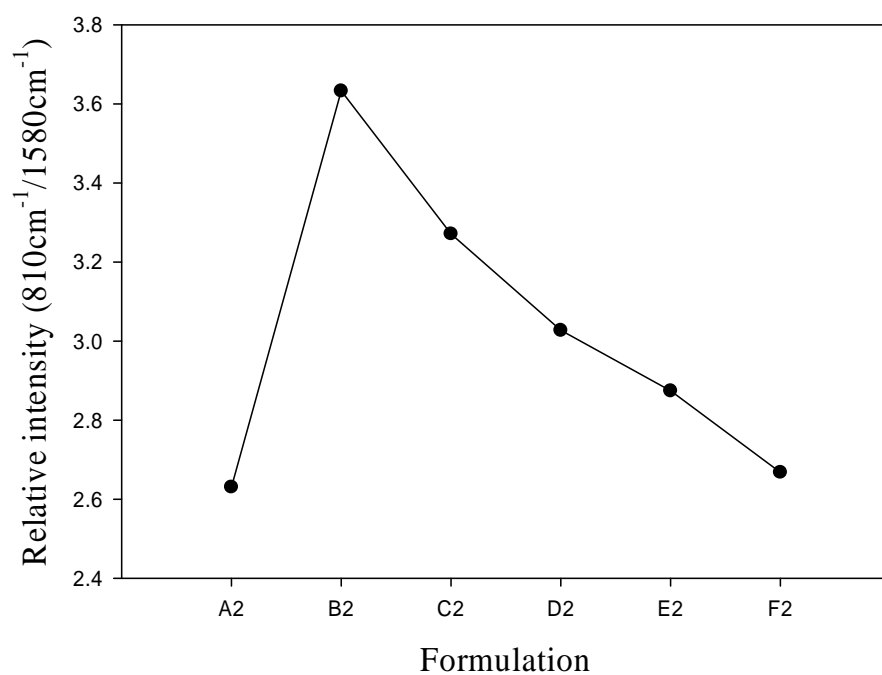


Fig. 2.8. FTIR-ATR relative intensity ratios of formulations A2–F2 after 60 s of UV curing.



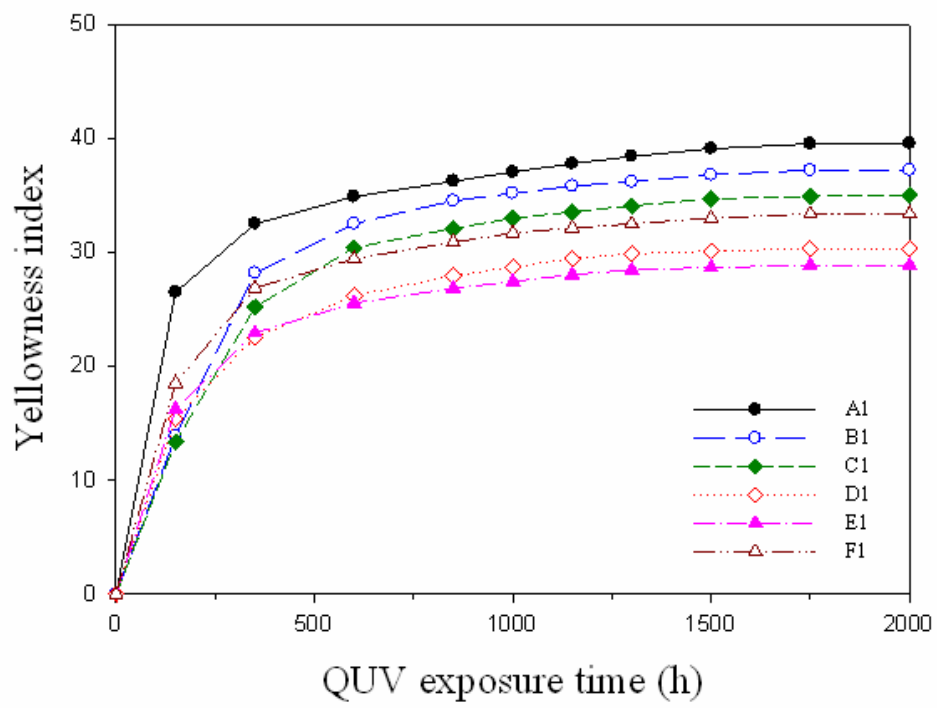


Fig. 2.9. Changes in the yellowing index of formulations A1–F1 subject to QUV ageing.

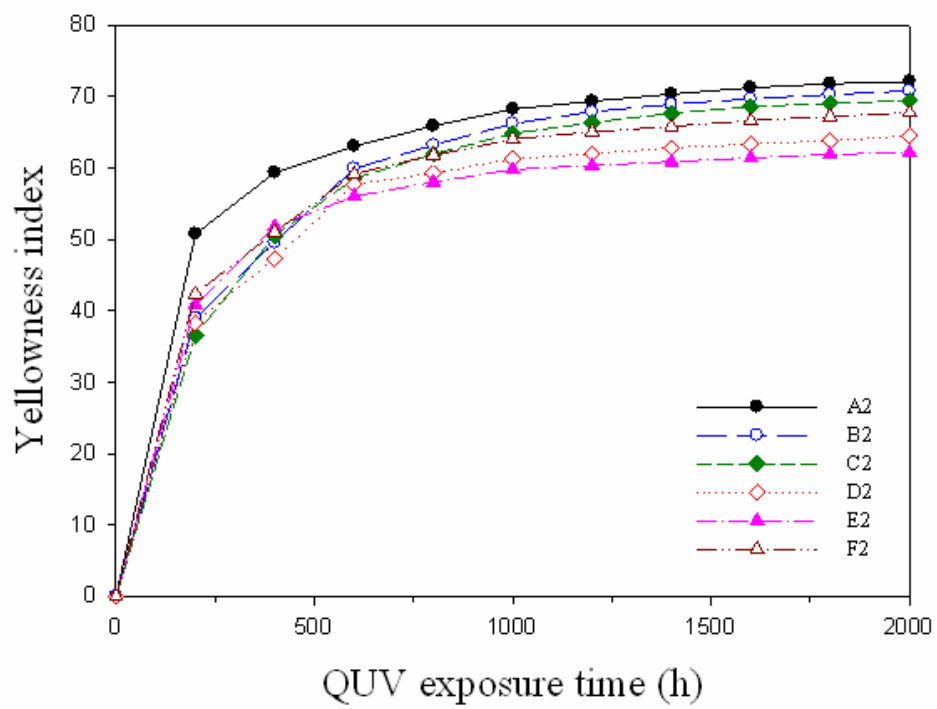


Fig. 2.10. Changes in the yellowing index of formulations A2–F2 subject to QUV ageing.

Figs. 2.9와 2.10에서 가장 좋은 광안정화 효과를 보인 배합물은 UVA 대 HALS 비율이 1:2로 배합된 수지(배합물 E1과 E2)임을 알 수 있는데, 이는 두 광안정제의 상호 시너지 효과(synergistic effect) 때문이다. 일반적으로 HALS 광안정제의 존재 하에서 UVA의 존속기간(lifetime)은 연장되며, 이로 인해 효과적인 광분해 억제 작용이 발휘되는 것으로 알려져 있다[8]. 한편, UVA 대 HALS가 같은 비율로 배합된 수지(배합물 D1과 D2)에서도 비교적 좋은 내후성을 보여주었다. 마지막으로 본 연구에서 자외선 경화형 광학 수지(Optical resin A와 Optical resin B)의 경화성과 내후성능을 동시에 고려했을 경우 가장 효율적인 광안정화 시스템은 UVA 대 HALS의 비율이 1:2인 배합물(E1과 E2)임을 알 수 있었다.

## 제 4 절 결론

1. 자외선 경화형 광학 수지 Optical resin A와 Optical resin B의 경화성과 내후성 향상을 동시에 고려한 최적 시스템 도출을 위해 photo-DSC, FTIR-ATR spectroscopy, UV-visible spectroscopy 및 QUV weatherometer를 이용하여 광안정제(UVA, HALS)를 함유한 광학 수지의 경화거동 및 내후성능을 조사하였다.
2. Photo-DSC 실험 결과, 예상대로 UVA 함량이 증가할수록 경화도와 경화속도가 감소하였는데, 이는 UVA와 광개시제의 UV 흡수 경쟁으로 인한 경화성 저하 때문이다. 반면, HALS는 365 nm에서 UV를 거의 흡수하지 않기 때문에 경화도와 경화속도에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 이 결과는 UV-visible spectroscopy 및 FTIR-ATR spectroscopy 실험을 통해서도 확인하였다.
3. QUV ageing 실험 결과, 내후성 향상에 기여하는 광안정제의 비율은 UVA 대 HALS의 비가 1:1과 1:2일 때임을 알 수 있었다. 특히, 1:2일 때가 가장 우수한 내후성능을 보여주었다.
4. 위 결과를 토대로, UV 경화형 광학 수지의 경화성과 내후성능을 동시에 고려했을 경우 UVA 대 HALS의 최적비는 1:2임을 도출하였다.

## 참고문헌

- [1] P.K.T. Oldring (Ed.), Chemistry & Technology of UV & EB Formulation for Coatings Inks & Paints, vols. 1 - 4, SITA Technology, London, 1991.
- [2] A. Reiser (Ed.), Photoreactive Polymers, Wiley, New York, 1989.
- [3] C.G. Roffey (Ed.), Photopolymerization of Surface Coatings, Wiley, New York, 1982.
- [4] L. Dellmann, S. Roth, C. Beuret, L. Paratte, G.-A. Racine, H. Lorenz, M. Despont, P. Renaud, P. Vettiger, N. de Rooij, *Microsyst. Technol.* 4 (1998) 147.
- [5] V. Seidemann, S. Bütetfisch, S. Büttgenbach, *Sens. Actuators A: Phys.* 97 - 98 (2002) 457.
- [6] Y. Hirai, S. Harada, S. Isaka, M. Kobayashi, Y. Tanaka, *Jpn. J. Appl. Phys.* 41 (2002) 4186.
- [7] D.I. Shin, S.H. Kim, H.S. Jeong, S.C. Lee, Y.S. Jin, J.E. Noh, H.R. Oh, K.U. Lee, D.H. Shin, S.H. Song, *Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging* 6068 60680Q-1 (2006).
- [8] 박성현, “다구찌 방법을 중심으로 한 응용 실험계획법”, 영지문화사, 1990.
- [9] C. Decker, S. Biry, *Prog. Org. Coat.* 29 (1996) 81 - 87.
- [10] C. Decker, K. Zahouily, *Polym. Deg. Stab.* 64 (1999) 293 - 304.
- [11] S. Zeren, *Macromol. Symp.* 187 (2002) 343 - 355.
- [12] J.D. Cho, S.G. Kim, J.W. Hong, *J. Appl. Polym. Sci.* 99 (2006) 1446 - 1461.
- [13] S.C. Clark, C.E. Hoyle, S. Jonsson, F. Morel, C. Decker, *Polymer* 40 (1999) 5063 - 5072.
- [14] J.D. Cho, E.O. H.T. Ju, Y.S. Park, J.W. Hong, *Macromol. Mater. Eng.* 291 (2006) 1155-1163.

## 감사의 글

지난 2년 동안의 대학원 생활은 저에게 많은 가르침을 주었고, 부족한 면을 일깨워준 소중한 시간이었습니다. 지금의 제가 있기까지 관심과 격려로 저에게 큰 힘이 되어 주신 모든 분들께 감사의 마음을 전합니다.

먼저 이 논문이 완성되기까지 지도는 물론 깊은 관심과 배려로, 때로는 질책으로 진정한 학문의 길을 몸소 보여주신 홍진후 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 그리고 많은 가르침과 조언을 아끼지 않으신 조병욱 교수님, 최재곤 교수님, 유지강 교수님 그리고 김준섭 교수님, 조훈 교수님, 김현경 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 자외선 imprint 연구에 있어 많은 가르침을 주신 큐시스의 김양배 박사님, 조정대 박사님과 관심과 배려를 아끼지 않으신 큐시스 임직원 분들께도 감사드립니다. 대학원 과정 동안 실험실에서 고락(苦樂)을 함께 했던 형태, 승택, 형규 선배님 그리고, 항상 곁에 있어 준 상섭, 기동, 덕형, 형준, 성원, 병훈, 승훈, 후배 미경, 기호, 창호, 민주, 종원, 춘희 및 대학원 생활동안 따뜻하게 챙겨주신 여러 선배님을 비롯한 대학원 선·후배님들께 감사의 말을 전하고 싶습니다.

마지막으로 지금의 제가 있기까지 여러 어려움 속에서도 아낌없는 사랑과 정성으로 배움을 허락해 주신 아버지와 어머니, 염려와 관심으로 지켜봐 주신 친지 분들, 그리고 사랑하는 동생에게 이 논문을 바치며 그 분들이 주신 큰사랑에 깊은 존경과 감사를 드립니다.

2007年 12月

金 權 石

# 저작물 이용 허락서

학 과	고분자공학과	학 번	20067103	과 정	공학석사
성 명	한글 : 김 권 석    한문 : 金 權 石    영문 : Kim kwon seok				
주 소	전남 장성군 남면 분향리 151번지				
연락처	E-MAIL : pstone7@naver.com				
논문제목	한글 : 자외선 경화형 수지의 광안정과 다구찌 방법을 이용한 자외선 경화 공정 최적화 영문 : Photostabilizaion of UV-curable Optical Resins and optimizaion of UV-curing process conditions using Taguchi method				

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
2. 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 허락 하였던 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 권 석    (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하