

## 대구경 파이프용 필라멘트 와인딩을 위한 UV 경화시스템

최재원,<sup>†</sup> 김세일,<sup>†</sup> 정용찬,<sup>†</sup> 전병철<sup>\*</sup>

인제대학교 나노공학부  
621-749 경상남도 김해시 어방동 607

수원대학교 <sup>†</sup>신소재공학과, <sup>‡</sup>화학과  
445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산 2-2

(2010년 7월 12일 접수; 2010년 10월 26일 수정본 접수; 2010년 10월 26일 채택)

## UV-Curing System for the Filament Winding of Large Diameter Pipe

Jae Won Choi,<sup>†</sup> Seil Kim,<sup>†</sup> Yong-Chan Chung,<sup>†</sup> and Byoung Chul Chun<sup>\*</sup>

School of Nano Engineering, Inje University,  
607 Eobang-dong, Gimhae, Gyungnam 621-749, Korea

<sup>†</sup>Department of Polymer Engineering and <sup>‡</sup>Department of Chemistry  
The University of Suwon  
San 2-2 Wawoo-ri, Hwasung-shi, Kyonggi-do 445-743, Korea

(Received for review July 12, 2010; Revision received October 26, 2010; Accepted October 26, 2010)

### 요 약

대구경 강관 표면 보호를 위해 사용되는 필라멘트 와인딩 공정에 불포화 폴리에스터 (unsaturated polyester: UP)를 이용한 자외선 (ultraviolet) 경화 방법을 적용하고자, UP를 이용한 최적의 UV 경화 조건을 찾아보았다. 기존의 유기계 과산화물을 개시제로 사용한 열경화 방법에서는 개시제의 불안정성, 휘발성 유기물 발생, 열에 약한 대상물질의 변형 등 문제점이 발생하므로 이에 대한 개선책으로 UV 경화 방법을 시도하였다. UV 경화에 사용되는 다양한 개시제 중에서 비교적 침투력이 높아서 두꺼운 고분자 층 형성이 가능한 개시제 2종(Irgacure 819 및 Darocure 1173)을 선정하여 이들의 조합비율에 따라 경화된 UP 고분자에 대한 열역학적, 기계적 물성을 비교 분석하여 우수한 경화조건 (개시제 함량 1.5 phr, 혼합 비율 1:1.2, UV 램프로는 갈륨램프)를 찾아내었다. 또한 UP 광경화수지의 경도, 충격강도, 굴곡강도 향상을 위해 유리섬유를 수지 내에 적층하여 복합재료를 제조하고 이들의 특성을 비교한 결과 충격강도가 매우 향상되었다.

주제어 : UV 경화, 불포화 폴리에스터, 필라멘트 와인딩, 개시제

**Abstract :** Optimum conditions for UV-radiated photopolymerization of unsaturated polyester that could be used as protecting layer of large diameter pipe were investigated in this paper. UV photopolymerization method was selected to solve the problems, arising when thermal polymerization by organic peroxide was used, such as the instability of peroxide initiator, the evolution of volatile organic compound, and thermal deformation of product. Two of the photo-initiators (Irgacure 819 and Darocure 1173) well known for its penetrating ability deep into the polymer layer were selected, and the optimum conditions for photopolymerization (1.5 phr initiator content, 1:1.2 initiator ratio, Ga lamp for UV source) were found from the thermal and mechanical test results of the resultant UP polymers. In addition, composite materials containing UP polymer and glass fiber were tested for hardness, impact strength, and flexural strength to find that the impact strength of composite significantly improved.

**Keywords :** Photo polymerization, Unsaturated polyester, Filament winding, Photo initiator

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail : bcchun@inje.ac.kr

## 1. 서 론

불포화 폴리에스터 수지는 가격이 저렴하고, 기계적 물성이 좋으며 우수한 내화학적 때문에 산업응용분야에서 열경화성 고분자 수지로서 뿐만 아니라 유리섬유강화 고분자복합재료의 매트릭스로 널리 사용되므로 Lee and Cho[1], Rot et al.[2], Toorkey et al.[3], Cook et al.[4] 등에 의해 많은 연구가 보고되었다. 불포화 폴리에스터를 경화시키는 방법은 두 가지가 있다. 하나는 Cook et al.[5]이 이용한 유기 과산화물 개시제를 이용하여 열에 의한 라디칼 중합법 이고, 다른 하나는 Wicks et al.[6]이 설명한 광 개시제를 사용한 광화학적 방법이다. 불포화 폴리에스터를 함유한 복합재료 경화에는 주로 고온에서 유기산화물 개시제 방법을 이용하는데, 과산화물의 불안정, 경화과정 중 발생하는 휘발성 유기화합물, 및 온도에 민감한 물질 (목재, 종이, 플라스틱 등)에 대한 비적합성 등으로 인하여 UV 경화 메카니즘으로 대체되는 방법이 고려되고 있다. 광화학적 경화에 사용되는 빛의 파장은 빠른 사슬 성장반응을 유발시키기 위해 고에너지를 갖는 단파장 영역을 광원으로 사용하고 있다. 전자기 스펙트럼에서 보면 UV (UVA, UVB, UVC) 영역을 주로 이용하고 있다. 좀 더 강한 에너지를 갖는 X선 영역에서는 원하지 않는 고분자 사슬의 분해를 일으킬 수 있으므로 UV 파장보다는 짧은 파장의 빛은 광원으로 사용하지 않는다. UV 경화과정에는 광 개시제를 사용하여 라디칼 중합과정을 유도하게 된다. UV 조사 (radiation) 기술은 미세 전자회로 제조, 수질개선, 살균처리 등 산업 전반에 널리 이용되고 있다. UV를 광원으로 한 라디칼 중합반응은 활동 에너지가 낮아서 상온에서도 중합속도가 빠르고 따라서 생산 공정에 적합하므로 Kim and Seo[7], Zhang et al.[8] 등에 의해 연구되었다. 또한 UV 경화과정 중에는 용매를 사용하지 않고서 액상 수지를 빠르게 고체로 전환시킬 수 있다고 Decker[9]에 의해 보고되었다. UV 경화에 이용되는 광개시제 중 하나인 phosphine oxide계열의 Irgacure 819는 380 nm 파장에서 비교적 두꺼운 고분자층의 경화도 가능하게 하며, Irgacure 819와 더불어  $\alpha$ -hydroxy ketone계인 Darocure 1173를 조합하여 좀 더 두꺼운 고분자층의 형성도 Peinado et al.[10], Bauera et al.[11], Bauera et al.[12] 등에 의해 시도되었다. 본 연구에서는 이러한 UV 경화과정을 대구경 강관의 표면 보호를 위한 필라멘트 와인딩 과정에 적용하고자 하였다. 구체적으로 UP 수지 경화에 필요한 UV 조사 파장, UV 램프, 조사 시간, 조사 거리 등의 조건을 변화하여 제조한 광경화 UP 수지에 대한 열역학적, 기계적 분석과정을 거쳐 최적의 UV 조사 조건을 찾아내고자 하였다. 또한 2 가지 종류의 개시제를 혼합하여 사용할 경우 개시제 조성 비율에 따른 UP 수지의 기계적 물성 변화를 분석하였다. 분석 결과 얻은 조건을 바탕으로 필라멘트 와인딩 과정에 적합한 UP 수지의 UV 경화시스템을 찾고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 재료

불포화 폴리에스터 수지는 세원화성(주)의 R2100 F/W를 공

급받아 그대로 사용하였으며, UP 수지의 상온경화에 사용된 경화제는 세원화성(주) PERMEK-N을 사용하였다. UP 수지의 UV 경화에 사용된 광개시제는 phosphine oxide계로서 Irgacure 819 (Ciba speciality INC, Swiss)와  $\alpha$ -hydroxy ketone계의 Darocure 1173 (Ciba speciality INC, Swiss)를 사용하였다.

### 2.2. UV 경화장치 및 조사

UV 조사는 400 W UVV 영역 Galrium lamp를 갖춘 ASPOT 400/T (Honle UV Technology Co. Germany) 또는 Hg lamp를 장착시킨 조사 장치를 사용하였다. 광량 측정에는 UV Power Puck® II (EIT Instrument Markets)를 이용하여 UVA, UVB, UVC, UVV 등 각 UV 영역의 total UV energy (mJ/cm<sup>2</sup>), peak intensity (mW/cm<sup>2</sup>) 등을 측정하였다. 광량 측정에는 UV 조사 장치 안정화를 위해 전원을 켜 후 40 분 후부터 측정하였다.

### 2.3. 시편 제작

알루미늄 슈트로 만든 3 가지 직육면체형 몰더 (가로 10 mm, 세로 80 mm, 높이는 1, 2, or 5 mm)를 UV 경화반응에 사용하였다. 제작된 몰더에 UP 수지 대비 개시제 농도를 달리한 용액을 채우고 UV 램프 조사시간을 변화하면서 분석용 경화시편을 제작하였다. 구체적으로, 두 가지 개시제 (Irgacure 819 및 Darocure 1173)는 혼합비율을 1:1, 1:1.2, 1:1.3, 1:1.6로 변화시키고, 혼합된 개시제 농도는 UP 수지 대비 각각 1, 1.2, 1.5, 2 parts per hundred rubber (phr)로 변화시켜 시편을 제작하고 물성을 분석하였다.

### 2.4. 열적특성 및 구조 분석

열적 특성 분석을 위해 TG/DTA (TG/DTA 6200, Seiko)는 10 K/min 승온 속도로 질소 분위기 하에서 측정하였고, DSC (DSC 7, Perkin-Elmer)는 10 K/min 승온 속도로 질소 분위기 하에서 측정하였다. ATR 장치를 갖춘 적외선 분광계 (Jasco 300 E)를 이용하여 고체상태의 고분자 시편에 대한 적외선 분광스펙트럼을 얻었다.

### 2.5. 물성분석

경도 측정은 쇼어 경도계 (D-2240, Asker)로 3 회 반복하여 평균값을 취하였다. 충격강도는 ASTM D-256에 의거하여 시편 (가로 10 mm, 세로 80 mm, 높이 1, 2, or 5 mm)을 Notched Izod type impact tester (TMI 43-02, Pendulum 75 kgcm, Testing Machine Inc.)를 사용하여 5 회 반복 후 최대 및 최소값을 제외한 나머지의 평균값을 택하였다. 충격강도 측정 후 파단면의 모폴로지 변화 관찰을 위해 파단면을 촬영하였다. 굴곡강도는 만능인장시험기 (LR 50K, Lloyd Instrument, UK)를 이용하여 ASTM D-790에 의거 규격 시편 (가로 10 mm, 세로 80 mm, 높이 1, 2, or 5 mm)에 대해 crosshead speed 10 mm/min 속도로 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. UV 경화용 개시제 최적 조건 확립

자외선은 파장에 따라 분류되는데 일반적인 특성은 파장이

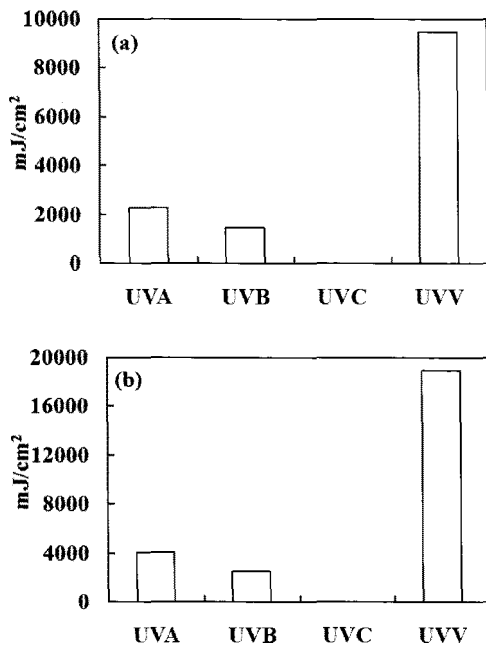
**Table 1. Comparison of UVs on the wavelength, energy level, and permeability**

Type	Wavelength (nm)	Energy Level	Permeability
UVA	315-420	Weak	Strong
UVB	280-315	Medium	Medium
UVC	180-280	Strong	Weak

**Table 2. Applications of UV lamps**

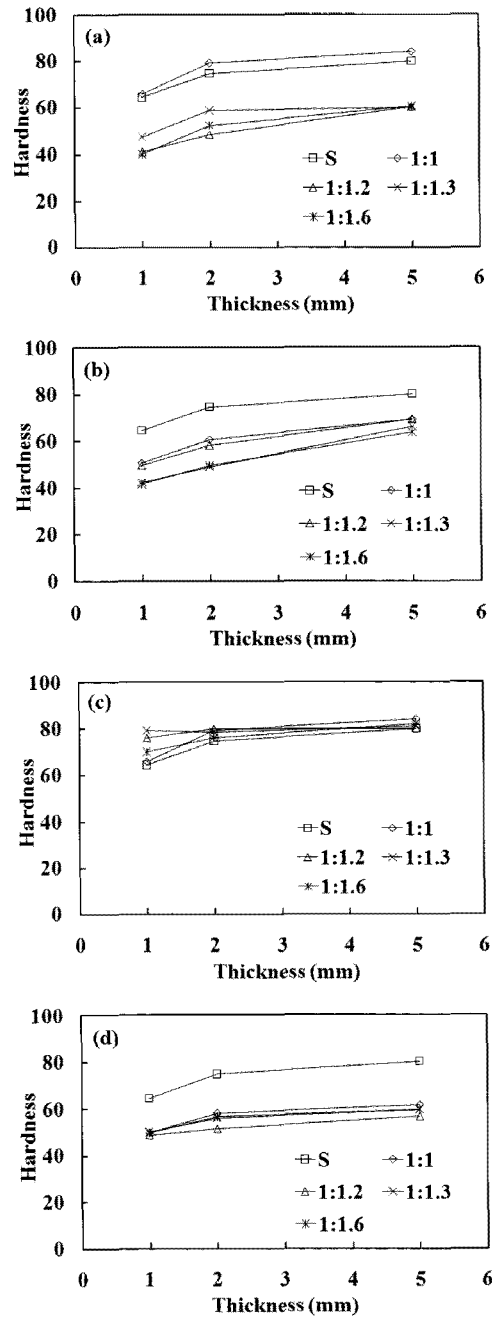
UV Lamp	Wavelength (nm)	Applications
Mercury	365 nm	UV curing for general purpose
Metal halide	260-420 nm	Curing for thick layer and black/white layer
Gallium	260-460 nm	Deep penetrating layer
Xenon	350-470 nm	Printing

짧을수록 에너지는 강하지만 침투력은 떨어진다. 또한 가시광선보다 높은 에너지로 인해 살균기능, 광화학반응, 그리고 산소로부터 오존발생 등을 일으킬 수 있다. 자외선은 파장에 따라 UVA, UVB, UVC로 분류하거나 보라색에 가까운 파장을 근 자외선, 더 긴 파장을 갖는 원 자외선, 그 중간 파장을 갖는 중 자외선으로 분류하기도 한다 (Table 1). 자연광인 태양광선에는 자외선, 가시광선, 적외선 등이 동시에 나오고 있지만, 상업적으로는 침투력이 강한 자외선 기술 중심으로 발전되어 왔다. 자외선 램프 종류에 따른 발생 파장, 일반적인 특징, 그리고 응용분야를 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서는 UV 경화를 위해 침투력이 높은 UVA 파장을 갖는 갈륨 (Gallium) 램프를 먼저 사용하였고,



**Figure 1. Comparison of UV energies radiated from a Ga lamp for (a) 40 sec and (b) 80 sec at 5 cm distance.**

동시에 UVA 파장을 갖는 수은램프로도 실험에 사용하였다. 갈륨램프로부터 발생하는 파장별 UV 에너지를 조사시간을 40 초 및 80 초로 달리하여 비교하였다 (Figure 1). 실험치는 20 회 이상 반복측정의 평균값을 나타내었는데, 조사시간에 비례하여 UV 에너지가 증가하였으며, 파장별로는 UVV 영역 에너지 발산이 가장 높았으며 조사시간에 관계없이 파장별 UV 에너지 발생량은 같은 경향을 보여주고 있다.



**Figure 2. The effect of initiator content ((a) 1, (b) 1.2, (c) 1.5, and (d) 2 phr) on hardness at various thickness under the conditions of 40 sec radiation for 1, 2 mm thickness, 80 sec radiation for 5 mm thickness and 5 cm radiation distance. S stands for thermally polymerized UP at room temperature.**

개시제의 함량을 UP 수지에 대해 1, 1.2, 1.5, 2 phr로 하고, 각 함량에 대해 개시제 2 종 (Irgacure 819 및 Darocure 1173)의 혼합비율을 1:1, 1:1.2, 1:1.3, 1:1.6 으로 달리하여 경화시킨 UP 수지에 대하여 경도를 3회 이상 측정하여 이들의 평균값을 비교하였다 (Figure 2). 개시제를 혼합하여 사용하는 이유는 하나의 개시제를 사용하는 경우보다 전반적으로 향상된 물성이 보이기 때문이다. 또한 시편 두께를 1, 2, 5 mm로 달리하였는데, 두께 증가에 따라 경도 역시 증가하였다. 두께 1, 2 mm는 UV 노출 시간을 40초로 고정하였으나, 5 mm 경우 늘어난 두께를 고려하여 UV 노출 시간을 80 초로 늘렸다. 1.5 phr 에서는 모든 개시제 혼합비율 및 시편 두께에서 다른 개시제 함량에 비해 우수한 경도 보여주고 있다. 특히 1.5 phr를 제외한 다른 개시제 함량에서는 상온 경화시편들이 오히려 모든 두께에서 더 우수한 경도를 보이고 있는데, 오직 1.5 phr에서만 UV 경화 시편이 상온 경화 시편에 비해 모든 두께에서 향상된 경도를 보여주고 있다. 1 phr에서는 1:1 비율을 제외하고 UV 경화 시편이 상온경화에 비해 경도 값이 많이 떨어져 있으며, 1.2 phr에서는 모든 개시제 혼합비율에서 UV 경화의 이점이 발견되지 않았다. 마지막으로 2 phr에서도 UV 경화 시편들이 상온경화 시편에 비해 모든 두께에서 매우 낮은 경도 값을 보이고 있다. 특히 2 phr 조건과 같이 많은 양의 개시제를 첨가함에 따라 모든 두께에서 경도 값이 상온 경화에 비해 악화되는 것을 볼 때, 개시제 농도를 적정값 이상으로 늘리지 않아야 한다고 판단된다. 이는 개시제 농도가 너무 높으면 분자량 저하를 일으킬 수 있기 때문이다. 전체 경도 결과 비교해 보면 1.5 phr을 제외한 다른 개시제 첨가량은 상온 경화에 비해 경도가 낮기 때문에 개시제 첨가량으로 1.5 phr이 가장 적합하며, 1.5 phr에서 비교적 우수한 개시제 혼합비율은 1:1.2 이었다. 뒤에 이어질 다른 분석 결과를 종합하여 최적 조건을 최종적으로 정하고자 하였다. 1.5 phr의 개시제 함량에서 개시제 혼합비를 달리하여 제조된 시편에 대해 적외선 분광스펙트럼 분석한 결과 개시제 혼합비에 관계없이 동일한 스펙트럼을 얻은 것으로 봐서 제조된 UP 고분자 구조는 동일한 것으로 판단된다(Figure 3).

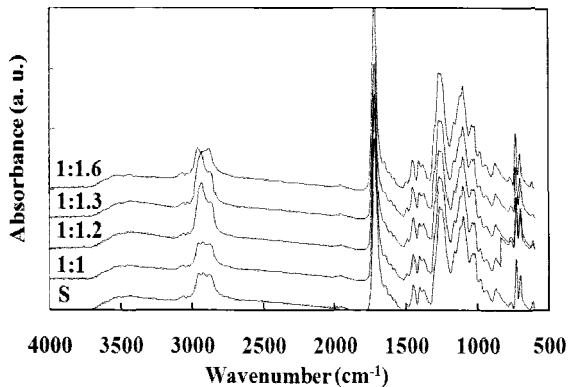


Figure 3. IR spectra of UV-cured UP polymer with various initiator mixing ratio under 1.5 phr and 5 mm thickness. S stands for thermally polymerized UP at room temperature.

### 3.2. 열적 특성 분석

광경화 시료에 대해 TG/DTA 및 DSC를 이용하여 열적특성을 분석하였다. 광개시제 함량은 앞의 경도 결과를 토대로 UP 수지 대비 1.5 phr로 고정하고, 개시제 비율을 달리하여 제조한 시료를 분석하였다. 먼저 TGA 결과를 보면 1, 2, 및 5 mm 시료 모두 623-633 K 범위에서 열분해가 일어나는 것이 확인되고, Darocure 1173 함량이 증가됨에 따라 열분해 온도도 미세하게 증가되는 것이 관찰되었다 (Figure 4). DTA 결과도 TGA 결과와 비슷하게 623-633 K 범위에서 열분해가 일어나는 것이 확인되었다 (Figure 5). 한편 DSC를 이용하여 573 K 까지 분자 운동 변화에 따른 상전이를 관찰한 결과 특이한 피크들이 관찰되지 않는 것으로 봐서 623-633 K 범위에서 일어나는 열분해를 제외하고 이전 온도에서는 분자운동의 뚜렷한 변화가 일어나지 않는다고 볼 수 있다 (Figure 6).

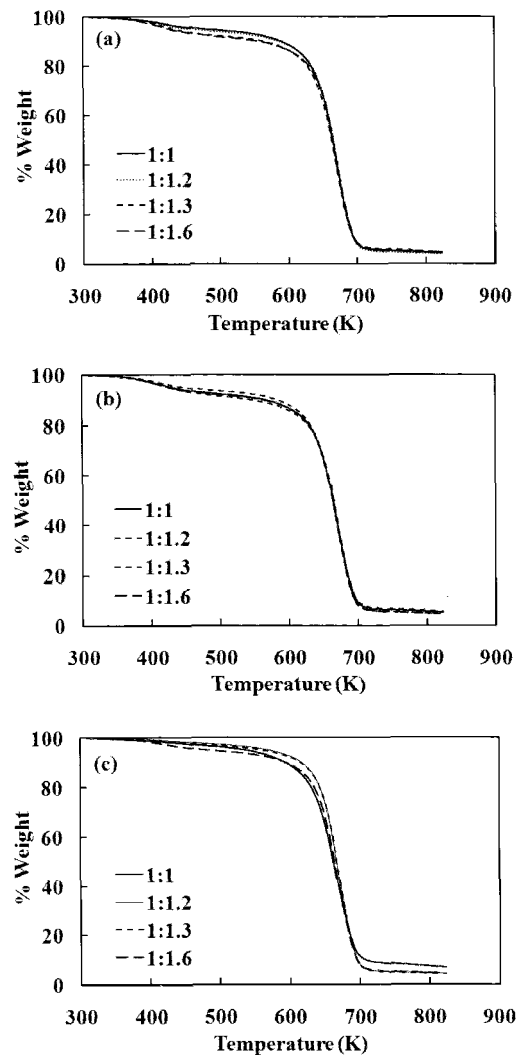


Figure 4. Thermogravimetric analysis of polymer with various thickness (a) 1, (b) 2, and (c) 5 mm under conditions of 1.5 phr, 40 sec radiation for 1 and 2 mm, 80 sec radiation for 5 mm and 5 cm radiation distance.

### 3.3. 충격강도

상온경화 시편 (S)과 UV 경화 시편의 충격강도를 서로 비교하였다 (Figure 7). 규격 시편 (가로 10 mm, 세로 80 mm, 두께 1, 2, or 5 mm)을 사용하였고, 가로 부분 2 mm에 위치한 notched charpy의 절단현상을 관찰하였다. 1.5 phr을 제외한 다른 UV 경화 시편들은 모든 두께에서 상온경화 시편보다 충격강도 값이 낮게 나타났다. 특히 2 phr 및 1:1.6 개시제 혼합비에서는 충격강도가 가장 낮은 결과를 보여주고 있다. 2 phr과 같이 과도한 개시제량과 잘못된 개시제 혼합비를 택하면 UV 경화 시편의 물성이 악화되는 현상이 경도결과에 이어서 충격강도 결과에도 나타나고 있다. 1.5 phr에서는 1:1.2 개시제 혼합비율만이 상온경화 시편 보다 우수한 충격강도 값을 보여주고 있으며, 나머지 혼합비율에서는 상온경화 시편 보다 충격강도 값이 모든 두께에서 떨어진다. 경도 결과와 마찬가지로 충격강도 결과에서도

1.5 phr의 개시제 함량 그리고 1:1.2의 개시제 혼합비율이 모든 두께에서 가장 우수한 UV 경화 조건임을 다시 한 번 알 수 있었다. 계속해서 이어질 다른 분석 결과를 가지고 최적 조건을 찾아보도록 하였다.

충격강도 시험 후 각 시료의 파단 단면 모습을 비교하였다 (Figure 8). UV 경화 시편들은 개시제 혼합비율에 관계없이 상온경화 시편에 비해 파단 단면에 나타난 crack이 다소 균일하게 진행된 것을 확인할 수 있었다.

### 3.4. 굴곡강도

상온 경화 시료와 UV 경화 시료들의 굴곡강도를 비교하였다 (Figure 9). 굴곡특성을 중요시 하는 이유는 굴곡특성이 인장 및 압축 같은 특성보다 재료디자인 및 소재 가공에 더 유용하며, 시편 제조상 잔류 변형이 적어서 시험결과의 신뢰성이 높기 때문이다. 개시제 함량을 1.0, 1.2, 1.5 및 2 phr로 각각 정하고, 각

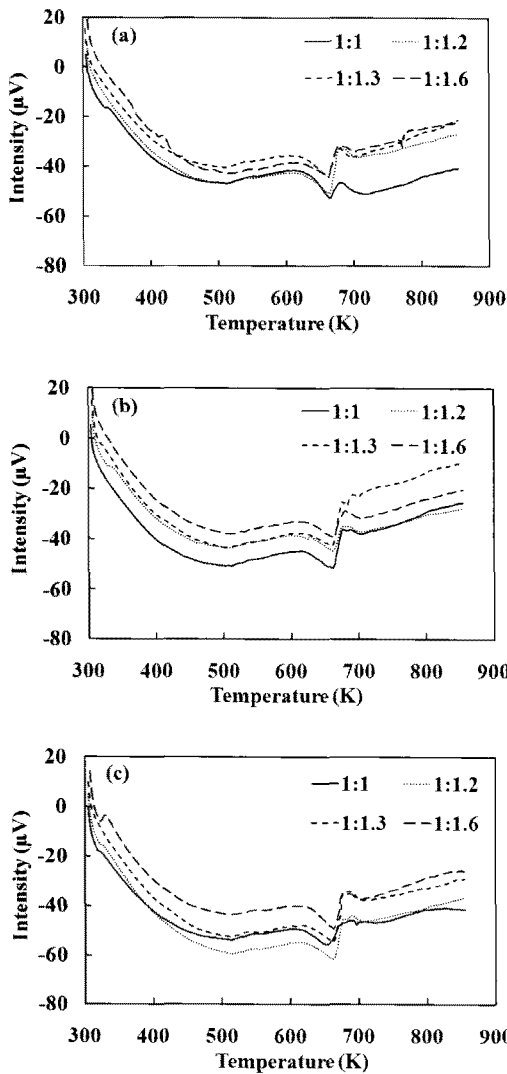


Figure 5. DTA analysis of polymer with various thickness (a) 1, (b) 2, and (c) 5 mm under the conditions of 1.5 phr, 40 sec radiation for 1 and 2 mm, 80 sec radiation for 5 mm and 5 cm radiation distance.

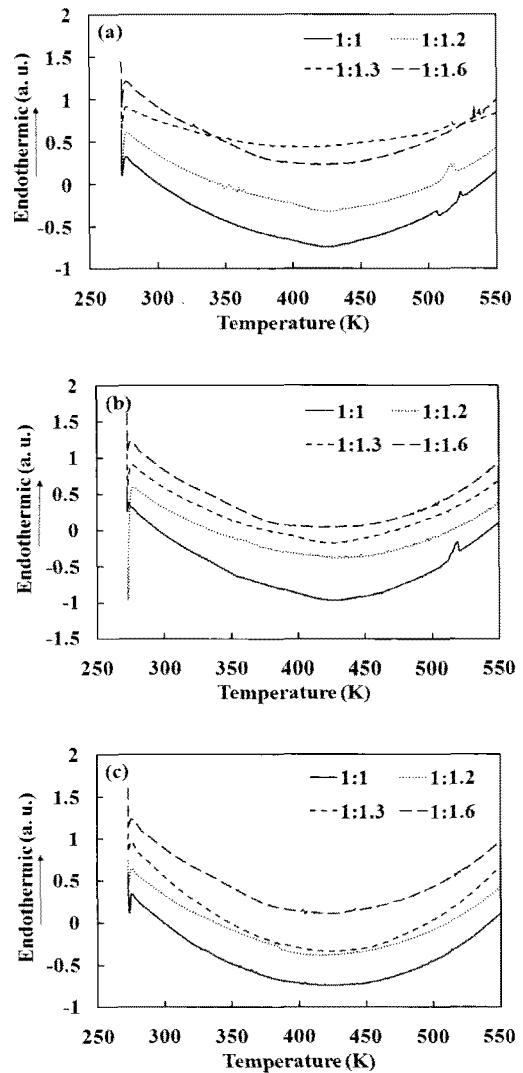


Figure 6. DSC analysis of polymer with various thickness (a) 1, (b) 2, and (c) 5 mm under the conditions of 1.5 phr, 40 sec radiation for 1 and 2 mm, 80 sec radiation for 5 mm and 5 cm radiation distance.

개시제 농도에서 개시제 혼합비를 1:1, 1:1.2, 1:1.3, 그리고 1:1.6으로 변화시켜 시편들을 제조하였다. 1.5 phr을 제외한 UV 경화 시편들은 모든 개시제 혼합비에서 상온 경화 시편에 비해 더 나은 점을 발견하기가 어려웠다. 그러나 1.5 phr에서는 전반적으로 UV 경화 시편들이 상온 경화 시편에 비해 우수한 굴곡강

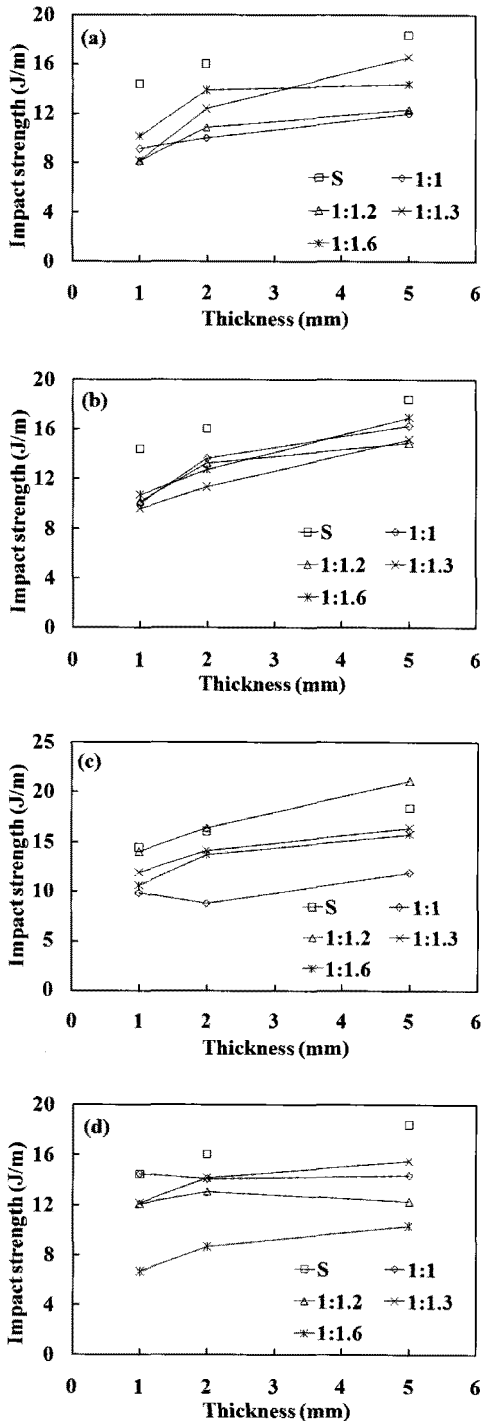


Figure 7. The effect of initiator content (a) 1, (b) 1.2, (c) 1.5, and (d) 2 phr on impact strength at various thickness under the conditions of 40 sec radiation for 1, 2 mm thickness, 80 sec radiation for 5 mm thickness and 5 cm radiation distance.

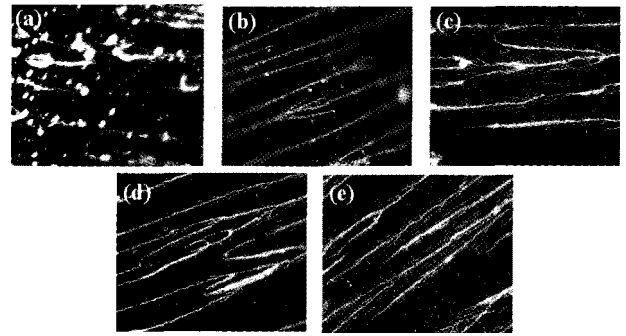


Figure 8. The fractured surfaces of (a) thermally-cured specimen, (b) UV-cured one (1:1 initiator mixing ratio), (c) UV-cured one (1:1.2 ratio), (d) UV-cured one (1:1.3 ratio), and (e) UV-cured one (1:1.6 ratio) prepared at 1.5 phr.

도를 보이고 있으며 특히 1:1.2 개시제 혼합비가 가장 우수한 굴곡강도를 나타내었다. 모든 시료에 대해 굴곡강도는 시편 두께에 비례하여 증가하는 경향을 보이고 있는데, 개시제 혼합비에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 앞의 경도 및 충격강도 결과와 마찬가지로 개시제 함량 1.5 phr 및 개시제 혼합비 1:1.2에서 가장 우수한 굴곡강도 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 현재까지의 기계적 물성 결과를 종합하여 1.5 phr 및 1:1.2 혼합비를 최적 UV 경화 조건이라고 선정하였고, 이 조건 하에서 다음의 물성 분석을 진행하였다.

### 3.5. 압축강도

앞의 기계적 물성 분석에서 찾아낸 최적 UV 경화 조건에 따라 개시제 함량 1.5 phr, 개시제 2 중 혼합비 1:1.2에서 제조된 시편에 대해 압축강도를 비교하였다 (Figure 10). 압축강도 측정용 시편 크기는 가로 10 mm, 세로 10 mm, 높이 5 mm로 고정하였고, 상온 경화 및 UV 경화 각각 5 개 동일 크기 시편 (상온 경화 시편 5 개 및 UV 경화 시편 5 개)에 대한 측정값을 서로 비교하였다. 상온 경화 시편에 비해 UV 경화 시편은 5 개 시편 모두에서 20-25 N/mm<sup>2</sup> 이상 우수한 값을 나타내어서 UV 경화 시편의 우수성을 확인 할 수 있었다.

### 3.6. UV 램프 비교

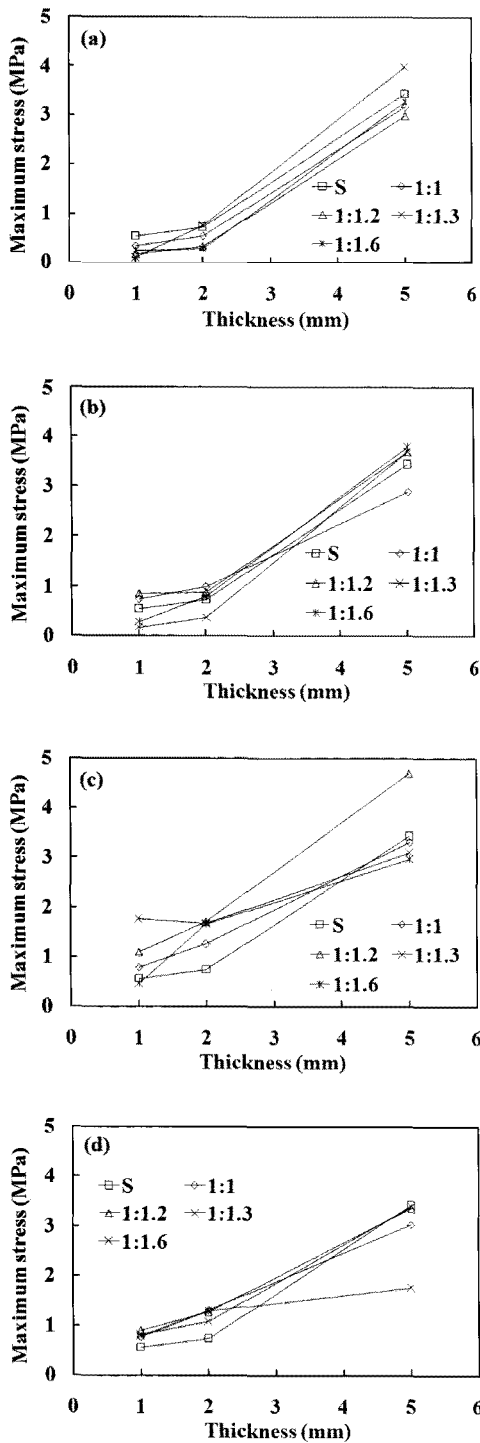
본 연구에서는 UP 수지의 UV 경화 반응 진행시 UV 침투성이 우수한 갈륨램프를 사용하였는데, 갈륨램프의 지속적 사용으로 인한 램프 노화가 일어나면 방출되는 UV 파장 영역이 UVA 영역으로 이동되어 수은램프와 같은 파장 영역으로 이동할 수 있다. 따라서 같은 UV 경화조건 (개시제 함량 1.5 phr 및 개시제 혼합비율 1:1.2)에서 갈륨램프와 수은램프를 사용하여 제조된 시편 각각에 대해 물성을 비교하여 좀 더 우수한 UV 경화 램프를 찾고자 하였다. 두 램프에서 방출되는 에너지를 같은 조사 조건 (조사시간 40 초, 조사거리 5 cm)에서 측정하여 Table 3에 나타내었다. 갈륨램프는 경우 UVV 영역에서 가장 높은 에너지를 방출하며, 수은램프는 UVA 영역에서 가장 높은 에너지를 방출하였다.

같은 개시제 함량 (1.5 phr) 및 혼합비 (1:1.2)에서 제조된 시료에 대하여 경도, 충격강도, 그리고 굴곡강도를 비교하였다. 갈륨램프를 사용한 경우 수은램프에 비해 모든 두께에서 경도가 더 우수하였는데, 이는 갈륨램프가 수은램프에 비해 표면 침투효

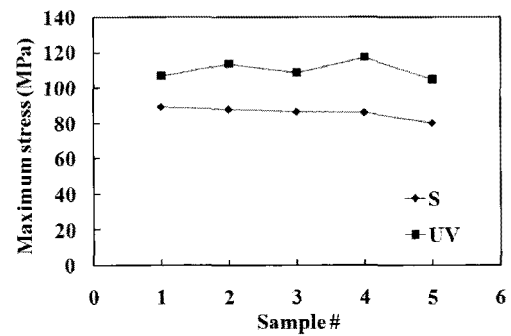
**Table 3. Comparison of light energies emitted from Ga and Hg lamp for 40 sec and at a distance of 5 cm**

	Ga Lamp (mJ/cm <sup>2</sup> )	Hg Lamp (mJ/cm <sup>2</sup> )
UVA	1853.882	7717.279
UVB	1230.857	3976.431
UVC	0.000	637.640
UVV	7022.765	4063.474

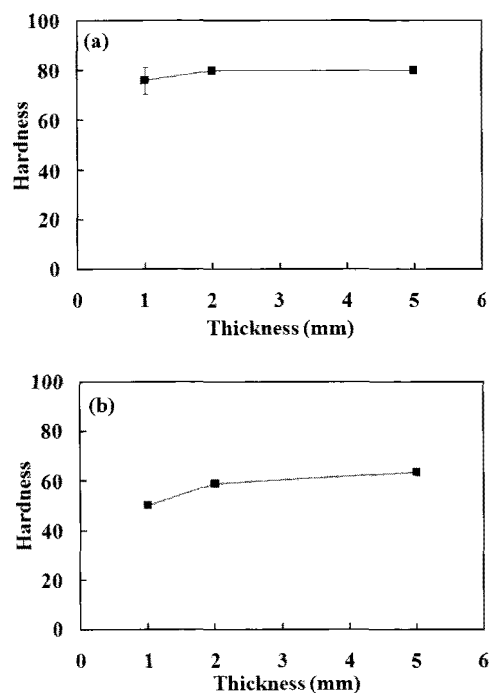
과가 우수하여 고분자화가 잘 일어나기 때문이라고 추정 된다 (Figure 11). 충격강도 및 굴곡강도 결과에서도 갈륨램프가 수은램프에 비해 모든 두께에서 더 우수한 특성을 나타내었다



**Figure 9. The effect of initiator content ((a) 1, (b) 1.2, (c) 1.5, and (d) 2 phr) on flexural strength at various thickness under the conditions of 40 sec radiation for 1, 2 mm thickness, 80 sec radiation for 5 mm thickness and 5 cm radiation distance.**



**Figure 10. Compressive strength of thermally cured specimen (S) and UV-cured one (80 sec duration, and 5 cm distance) for 5 mm thickness and 5 cm radiation distance.**



**Figure 11. Comparison of hardness of UV-cured UP polymer prepared under (a) Ga and (b) Hg lamp.**

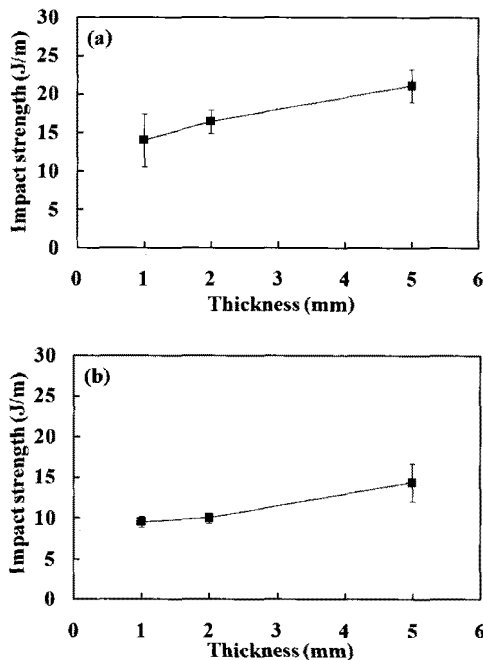
**Table 4. Comparison of impact and flexural strength of UP polymer impregnated with glass fiber**

Thickness of glass fiber	Impact strength	Flexural strength
1 Layer (1-1.5 mm)	300-800 J/m	1-3 MPa
2 Layer (2-2.5 mm)	300-1000 J/m	3-4 MPa

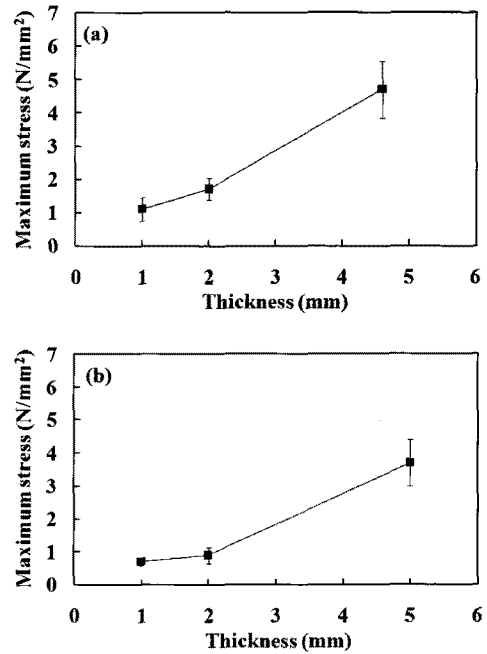
(Figures 12, 13). 예를 들어 두께 5 mm 시편을 비교해보면 수은 램프를 사용한 경우 경도 63, 충격강도 14 J/m, 굴곡강도 3.7 N/mm<sup>2</sup> 이었으나 갈륨램프를 사용한 경우 경도 80, 충격강도 21 J/m, 굴곡강도 4.7 N/mm<sup>2</sup> 이어서 경도는 27% 충격강도는 50% 굴곡강도는 27% 향상 효과를 나타내었다. 따라서 갈륨램프가 수은램프 보다 UV 경화과정에 더 적합하다고 판단된다.

**3.7. 유리 섬유 적층에 따른 UV 경화반응**

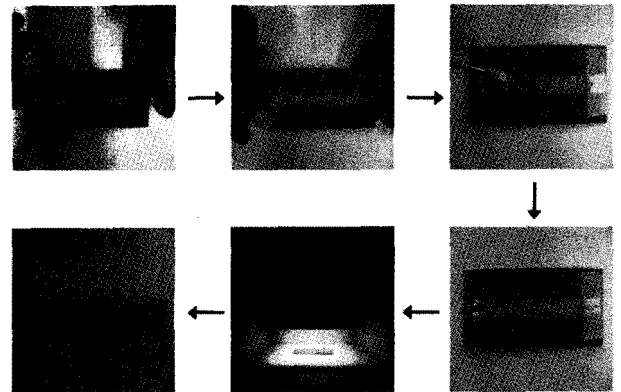
유리섬유를 내포하여 기계적 물성이 향상된 UV 경화 수지를 시험하기 위하여 UP 수지 내에 유리섬유를 미리 함침시키고 UV 경화를 진행하였다. 유리섬유가 적층된 UV 경화용 시편의 두께는 5 mm가 되도록 제작된 몰드를 사용하였고, 여기에서 제조된 시편에 대해 충격강도와 굴곡강도를 측정하였으며, 그 제작과정은 Figure 14에 나타내었다. 유리섬유 적층에 따른 강화 효과는 Table 4에 나타내었다. 충격강도는 같은 두께의 기존 UV 경화 수지에 비해 1 layer 및 2 layer에서 모두 1400%이상 증가하였고, 굴곡강도는 별다른 차이점이 발견되지 않았다. 따라서 유리섬유를 UV 경화 수지 내에 도입하여 충격강도의 큰 향상효과를 얻을 수 있었다.



**Figure 12. Comparison of impact strength of UV-cured UP polymer prepared under (a) Ga and (b) Hg lamp.**



**Figure 13. Comparison of flexural strength of UV-cured UP polymer prepared under (a) Ga and (b) Hg lamp.**



**Figure 14. Photo-polymerization process of UP polymer including glass fiber.**

**4. 결론**

UP 수지에 대한 UV 경화과정의 최적 조건을 찾기 위해 2 가지 개시제 (Irgacure 819 및 Darocure 1173)를 선정하고 이들의 UP 수지 대비 개시제 전체 함량 및 각각의 조합비를 달리하여 제조된 시편에 대해 기계적 물성 (경도, 충격강도, 굴곡강도, 및 압축강도)을 측정 한 결과 개시제 함량 1.5 phr, 혼합비 1:1.2인 경우 가장 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 UV 램프로는 갈륨램프가 수은램프에 비해 UV 경화 효율성이 우수하였다. UP 수지 단독으로 사용한 경우에 비해 유리 섬유를 적층한 복합재료는 충격강도가 매우 향상되었다. 따라서 최적의 개시제 첨가 조건을 이용한다면 UV 경화 방식을 기존 열경화 방식을



대체하여 대구경 파이프 제조에 필요한 필라멘트 와인딩 공정에 적용 가능하다고 판단된다.

## 감 사

본 연구는 중소기업청 생산환경혁신기술개발사업 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Lee, J., and Cho, D., "Cure Behavior, Thermal Stability and Flexural Properties of Unsaturated Polyester/Vinyl Ester Blends," *Polymer(Korea)*, **27**(2), 120-128 (2003).
2. Rot, K., Huski, M., Makarovi, M., Lakar, M., Ljubi, T., and Zigon, M., "Interfacial Effects in Glass Fibre Composites as a Function of Unsaturated Polyester Resin Composition," *Composite. Part A: Appl. Sci. Manuf.*, **32**, 511-516 (2001).
3. Toorkey, R. F., Rajanna, K. C., and Sai Prakash, P. K., "Curing of Unsaturated Polyester: Network Formation," *J. Chem. Edu.*, **73**(4), 372-379 (1996).
4. Cook, W. D., Simon, G. P., Burchill, P. J., Lau, M., and Fitch, T. J., "Curing Kinetics and Thermal Properties of Vinyl Ester Resins," *J. Appl. Polym. Sci.*, **64**, 769-781 (1997).
5. Cook, W. D., Lau, M., Mehrabi, M., Dean, K., and Zipper, M., "Control of Gel Time and Exothermic Behavior during Cure of Unsaturated Polyester Resins," *Polym. Int.*, **50**, 129-134 (2001).
6. Wicks, Z. W., Jones, F. N., and Pappas, S. P., *Organic Coatings Science and Technology*, 2nd ed., Wiley, New York, 1999.
7. Kim, D. S., and Seo, W. H., "Ultraviolet-curing Behavior and Mechanical Properties of Polyester Acrylate Resin," *J. Appl. Polym. Sci.*, **92**, 3921-3928 (2004).
8. Zhang, J. Y., Windall, G., and Boyd, I. W., "UV Curing of Optical Fiber Coatings Using Excimer Lamps," *Appl. Surf. Sci.*, **186**, 568-572 (2002).
9. Decker, C., "UV-radiation Curing Chemistry," *Pigm. Resin Technol.*, **30**, 278-286 (2001).
10. Peinadoa, C., Alonsoa, A., Salvadora, E. F., Baselgab, J., and Catalina, F., "Following in situ Photoinitiated Polymerization of Multifunctional Acrylic Monomers by Fluorescence and Photocalorimetry Simultaneously," *Polymer*, **43**(19), 5355-5361 (2002).
11. Bauera, F., Flyunta, R., Czihala, K., Langguthb, H., Mehnertb, R., Schuberta, R., and Buchmeisera, M. R., "UV Curing and Matting of Acrylate Coatings Reinforced by Nano-silica and Micro-corundum Particles," *Progr. Org. Coat.*, **60**(2), 121-126 (2007).
12. Bauera, F., Deckera, U., Czihala, K., Mehnertb, R., Riedelc, C., Riemschneiderd, M., Schuberta, R., and Buchmeiser, M. R., "UV Curing and Matting of Acrylate Nanocomposite Coatings by 172 nm Excimer Irradiation," *Progr. Org. Coat.*, **64**(4), 474-481 (2009).