

다중 집광성 UV-LED 경화형 코팅의 경화특성에 관한 연구

정찬권¹, 김범수², 박대희^{3*}

¹원광대학교 ICT융합 그린에너지 연구원, ²송백이엔에스, ³원광대학교 정보통신공학과

A study on the curing characteristics of multi-concentrating UV-LED Curable Coating

Chan-Gwon Jung¹, Beom-Su Kim², Dae-Hee Park^{3*}

¹ICT Fusion Green Energy Research Institute, Wonkwang University

²CEO, SongBaek E&S Corporation

³Department of Information Communication, Wonkwang University

요 약 본 논문은 기존의 단일 파장의 UV(Ultraviolet: 자외선)-LED(Light-Emitting Diode) 경화형 코팅 방법과 달리 UV 파장에서 동작되는 LED를 중첩한 다중 집광성 UV-LED 경화형 코팅의 경화 특성에 대해 연구하였다. 각각 365nm, 395nm, 420nm, 450nm 단일 파장의 UV-LED 광원을 선정하여 광원의 광속, 지향각 등 광 특성을 분석하였으며, 또한 UV-LED 광원의 파장별 경화 특성에 대해 분석을 통하여 복합 파장에 대한 LED를 최적화를 진행하였다. 다파장 UV 광원이 중첩되었을 경우 경화 성능 상태를 전산모의 실험을 통해 예측하였으며 실제 설계 및 제작을 하였다. 내부 고속경화도 향상을 위해 각각의 LED를 집광시켜 동일한 위치에서 다파장이 합성, 집광되는 multi-spot 방식 모듈을 제작하여 파장 조합 조건을 달리하여 경화제의 접착력 및 표면, 내부 경화도를 실험하였다. 경도계와 FT-IR 분석 장비를 이용하여 표면 경화와 내부 경화 상태를 비교 분석하였다. 그 결과, 단일 파장보다 UV-LED 4파장을 중첩한 multi-spot방식이 표면 및 내부 경화도의 특성이 높아짐을 확인할 수 있었다.

Abstract We investigated the curing properties of cured coatings for a multi-focal UV-LED. The coatings are for LEDs that operate at multiple UV wavelengths, unlike conventional single-wavelength UV-LEDs. Using UV-LED light sources with wavelengths of 365, 395, 420, and 450 nm, we analyzed the optical characteristics such as the direction of light flux and light source. We also analyzed the curing characteristics at each UV-LED wavelength to optimize the LED for composite wavelengths. The curing performance state was predicted through computer simulation for when the multiple wavelengths of UV light sources are superimposed, and then actual LEDs were designed and fabricated. To improve the internal high-speed curing, a multi-spot module was fabricated, in which each LED is condensed, and multiple wavelengths are synthesized and condensed at the same position. The adhesive strength, surface hardness, and internal hardness of the curing agent were tested by varying the wavelength combination conditions. The surface hardening and internal hardening were compared and analyzed using a hardness tester and FT-IR analyzer. As a result, the characteristics of the surface and internal hardness were improved by a multi-spot method in which four wavelengths were overlapped in a UV-LED rather than a single wavelength.

Keywords : UV-LED, curing, multi-spot, adhesive strength, hardness

본 논문은 2017학년도 원광대학교 교내지원에 의해서 수행되었음.

*Corresponding Author : Dae-Hee Park(Wonkwang Univ.)

Tel: +82-63-850-6349 email: parkdh@wku.ac.kr

Received July 20, 2018

Revised (1st August 21, 2018, 2nd August 27, 2018)

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

1. 서 론

현재 산업체에서 주로 사용되는 UV 경화 방법은 제품을 보호하거나 특성을 향상시키기 위해 UV 코팅 및 인쇄를 하는 방식으로 기존 방식의 문제점인 표면강도의 단점을 보완하기 위해 연구가 시작되었다[1-2].

코팅이나 인쇄 후 잉크를 건조하는 데는 코팅액이나 잉크에 섞여 있는 용제를 열로 건조하는 방법인 열 건조 방법이 수 백 년 간 사용되어 왔다. 그러나 기존의 열 건조 방법으로는 소비자가 원하는 경도나 광택을 얻기 어렵고, 생산성이 높은 제품을 생산하는데 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 UV 경화형 잉크나 수지로 코팅한 후 UV로 경화하는 새로운 방법이 독일, 이태리에서부터 연구개발 되었다. UV를 이용하여 인쇄하거나 코팅하는 공법으로 개발된 제품은 표면 경도, 표면 광택, 전기 절연성 등에서 기존의 열건조 제품에 비해 특성이 더 우수하고, 특히 생산성은 수배~수십 배로 높아지고 제품의 부가가치도 30~100[%] 향상되었다[3-4].

현재 200~450[nm]의 파장 영역을 사용하는 중압 수은 램프, 고압 수은 램프, 메탈할라이드 램프 등이 주로 자외선 경화 코팅에 주로 이용되고 있으며, 이러한 UV 램프에는 몇 가지 문제점들이 있다. 첫째, 광원에서 방출되는 동안 UV 램프는 열과 오존이 발생하기 때문에 열에 민감한 기재의 코팅에는 적용이 제한되고, 발생된 열과 오존을 방출하기 위해 UV 경화기에는 반드시 냉각장치와 배출구를 설치해야 한다. 두 번째는 높은 소비전력을 필요로 한다는 것이다. 그리고 마지막으로 수은과 같은 중금속을 사용하기 때문에 환경 친화적이지 못하다. 이러한 UV 램프의 단점들로 인해 최근에는 자외선 영역인 파장에서 방출되는 UV-LED에 대한 관심이 높아지고 있다. UV-LED는 UV 램프의 단점으로 지적되었던 발열 문제를 완화시킴으로서 활용범위가 넓고 최대의 효율을 제공하는 시스템으로 주목받고 있다. 과도한 열 방출로 인해 기존 UV 램프의 경우에는 경화 제품의 변형 및 작업 환경의 위험 방지를 위해서 반드시 냉각시스템이 필요하지만, UV-LED의 경우에는 발광 방향에서는 열이 전혀 발생되지 않기 때문에 냉각시스템의 추가 구성이 필요 없으므로 경화 장치가 매우 소형화되고 효율적이며, UV-LED는 단일 파장광원으로 구성되기 때문에 기존의 UV 램프에 비해 자외선에 의한 위험성이 매우 적고 환경 친화적인 광원이다. 또한 소비전력이 상대적

으로 작기 때문에 산업전반에 에너지 절감효과도 매우 크다[5-6].

현재 개발되어 응용되고 있는 UV-LED는 365[nm], 395[nm] 그리고 405[nm]의 단일 파장 영역으로 기존 UV 램프에 비해 장파장 영역의 광이 방출된다. 이러한 장파장 영역의 방출은 박막의 투명코팅 보다 오히려 후막경화 및 접착제 분야에 응용이 더 효과적이다[7-17].

따라서 본 연구에서는 단일파장대인 UV-LED의 표면 및 후막경화의 단점을 보완하고자 365[nm], 395[nm], 420[nm], 450[nm] 파장의 UV-LED를 이용한 복합파장 방식의 구조를 만들어 경화도의 표면 및 내부경화도의 특성 강도를 연구하였다.

2. 본 론

2.1 UV-LED 모듈 특성 평가

LED를 전산모사 하는 경우는 제품의 사양서에 제시된 광속 또는 광도 값과 스펙트럼 파장, 그리고 지향각 데이터를 입력하여 제품을 설계할 수 있다. 또한 샘플 LED 제품을 직접 측정하여 원하는 데이터를 추출한 후, 이것을 기본으로 광학 특성을 입력하는 방식이 있다.

본 논문에서는 후자의 방식을 적용하여 연구를 진행하였으며, LED 패키지의 광학적 특성을 파악하기 위하여 OL770(OPTRONIC LABORATORIES 社)과 OPI-100(광전자정밀 社)을 사용하여 LED 패키지의 광학적 특성을 측정하였다.

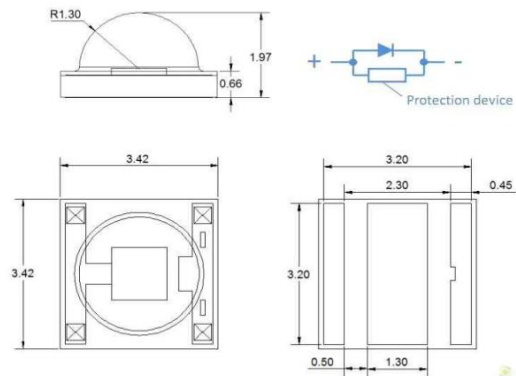


Fig. 1. Design of Package

fig. 1은 LTCC형 세라믹 패키지 형태 및 모식도이다.



Fig. 2. Manufactured UV-LED module

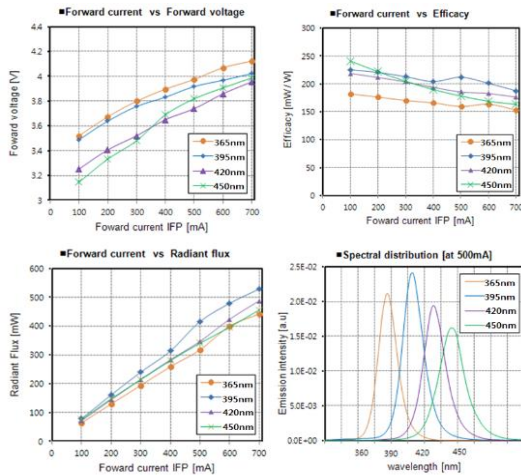


Fig. 3. Electrical and optical characteristics of UV-LED modules

fig. 2는 경화도 향상을 위해 350~460 blue chip(Genesis Photonics 社)과 높은 집적도 및 수직적응능력 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic)형 세라믹 패키지를 이용하여 365[nm], 395[nm], 420[nm], 450[nm] UV-LED 모듈을 제작한 장파장대 패키지이다. LTCC 패키지를 적용한 UV-LED 소자의 전류에 따른 Intensity, 지향각 및 전기적 특성을 측정하였다.

fig. 3은 365[nm], 395[nm], 420[nm], 450[nm] 단일 파장 UV-LED 광원을 선정하여 광원의 광속, 지향각을 특성을 측정하였고 표 1과 같은 특성을 얻었다. 분석을 바탕으로 UV-LED를 광학설계 프로그램으로 3D 모델링하여 동일한 UV-LED 특성을 갖도록 구현하고, UV-LED 파장별 경화특성 및 최적 파장에 대한 LED 배치의 최적화를 진행하였으며, 정격 500[mA]를 인가했을 때 365[nm], 395[nm], 420[nm], 450[nm]에서 300[mW] 이상의 광 효율을 얻었다.

Table 1. Properties of Electrical and Optical for packages 365[nm], 395[nm], 420[nm], 450[nm]

No.	1	2	3	4
Type[nm]	365	395	420	450
Source[mA]	500	500	500	500
Vf [V]	3.97	3.74	3.20	3.27
Wp [nm]	368	395	420.9	439.6
Wd [nm]	596.6	411.9	433.4	445.6
Fw [nm]	15	17.2	15.7	17.1
Wc [nm]	367.5	396.2	421.2	439.3
φc [mW]	409.3	346.7	411.5	11131.4

2.2 Multi-spot UV-LED 모듈 구조 설계

365[nm], 395[nm], 420[nm], 450[nm] 4개의 UV-LED chip을 적용하여 Spot system을 이용하여 동일한 Wavelength/Distance에서 한 지점에 집광되도록 하였으며, 각도는 미세 조절이 가능하게 Tilting system으로 fig. 4와 fig. 5에서와 같이 3D 시뮬레이션 Tool을 이용하여 현지 구조물을 설계하였다. 4개의 파장을 가지는 UV-LED 중 395nm와 420nm를 제외하고는 각각 다른 패키지형태이므로 패키지의 높이 및 사이즈 등을 고려하여 회전체 Body 결합부의 기구적 치수를 독립적으로 설계하여 적용하였다.

Multi-spot 모듈 설계를 위해 365[nm], 395[nm], 420[nm], 450[nm] 다파장 UV 광원이 중첩되었을 경우에 대해 경화성능 상태를 미리 예측하고 실제 제작하기 위해 광학설계 프로그램인 CODE-V을 이용하여 사전 3D 모델링을 진행하였다.

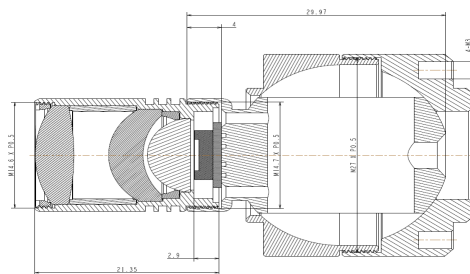


Fig. 4. The detail design of unit module 3D structure

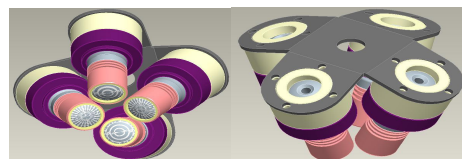


Fig. 5. The materialization of multi-wavelength each multi-spot module

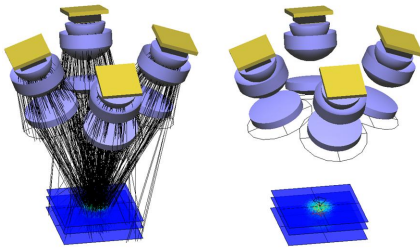


Fig. 6. Simulation of Multi-spot 3D module

3. 실험방법 및 결과

3.1 Slide glass cleaning

본 실험에 앞서 5×5[cm] 사이즈의 Slide glass를 먼저 사용하였다. Glass의 두께는 0.5[mm]이며, Glass 표면 세정은 IPA(isopropyl alcohol)와 증류수를 사용하였고, 각각 1분간 2회를 순차적으로 진행하였다. IPA는 glass 표면의 유기물과 particle을 제거하기 위해 진행하였다. 그리고 마지막으로 N2 Gun을 이용하여 건조를 하였다.

3.2 아크릴계 경화제 코팅

코팅 방식은 주로 Spray coating과 Spin coating, Bbar coating법이 쓰이는데, 균일한 코팅을 위해서 Bar coating방식을 이용하였다.

본 실험에서는 동일한 두께의 광경화성 코팅 도막을 얻기 위하여 Slide glass 주변부에 plastic tape를 이용하여 0.1[mm]의 두께 틀을 형성하였다. 또한 경화제(록타이트 3103) 코팅의 Uniformity를 위해 Bar printer를 이용하여 5[mm/sec] 속도로 Bar밀링을 진행하였다. fig. 7은 코팅 과정을 나타낸 모식도이다.

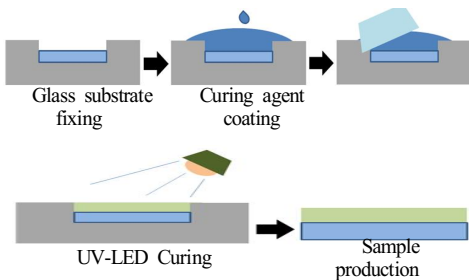


Fig. 7. Process of UV-Curing coating

3.3 Multi spot 광 조사

3개의 단일파장 UV-LED를 모듈화하여 경화제에 노광하였을 때의 특성을 확인하였다. 표 2와 같은 조건하에서 A, B, C, D 4가지의 복합파장을 조사하였고, 실험하였다. 샘플은 장파장부터 각각 3초씩 총 6초간 노광을 하여 경화를 진행시켰으며, 경화도 특성은 fig. 9와 같이 multi-spot 장비를 사용하여 측정하였다.

Table 2. Samples of UV-LED multi-wavelength

No.	Condition
A	365[nm]+395[nm]+420[nm]
B	365[nm]+395[nm]+450[nm]
C	365[nm]+420[nm]+450[nm]
D	365[nm]+395[nm]+420[nm]+450[nm]

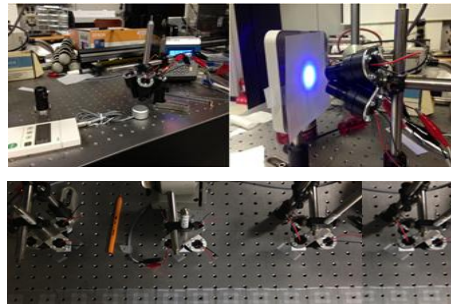


Fig. 8. Light source irradiation using multi-spot equipment

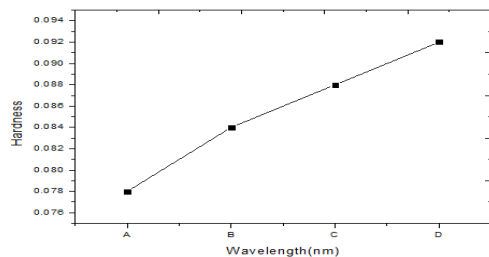


Fig. 9. Graph of curing measurement by A, B, C, D

fig. 에서와 같이 조건 A는 경도 0.078이며, 표면 경화와 metal bar 접착성 평가는 450nm정도의 밀립현상을 보였다. 조건 B 경도는 0.084이며, 표면 경화와 접착성 평가는 450[nm]정도의 동일한 밀립현상을 보였다. 조건 C 경도는 0.088정도 이며, 표면 경화와 접착성 평가는 조건 A, B와 달리 밀리지 않은 현상을 보였다. 조건 D의

경도는 0.092이며, 조건 C와 동일한 표면 경화 특성을 보였으며, 내부 접착성에도 밀리지 않는 현상을 보였다. 조건 D의 4파장 노광 시 가장 높은 경도를 보였다.

3.4 FT-IR 측정분석

fig. 10과 fig. 11은 UV-LED 3개 파장을 복합파장으로 조사하여 경화제를 노광하였을 때 조건 A, B, C와 UV-LED 4개 파장 조건 D에 대한 FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy) 분석 결과이다.

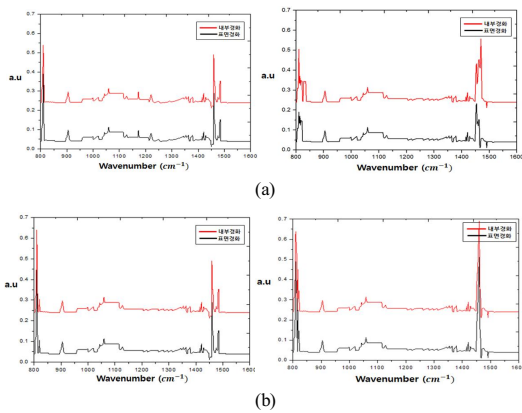


Fig. 10. The result of FT-IR for Multi-wavelength
(a) Multi-wavelength A and B
(b) Multi-wavelength C and D

fig. 10에서 조건 A와 B의 FT-IR 분석 결과, 파수 (wavenumber) $810[\text{cm}^{-1}]$ 에서 (CH₂=CH) peak로부터 알 수 있는 것은 표면결합보다 내부결합의 결합형성이 우수함을 확인할 수 있으며 표면결합은 결합수치가 상대적으로 낮은 것으로 볼 수 있으며, 조건 C의 파수에 따른 peak에서 CH₂=CH결합은 높은 수치를 보이고 있다. 내부결합에서는 조건 A, B와 같이 높은 peak를 보여주고 있는 반면에 표면경화에서 강한 peak를 보이고 있다. 이는 경화도 측정에서 알 수 있듯이 표면경화와 내부경화의 결합이 A, B보다 우수하게 형성되었음을 확인하였다. 3파장 복합파장에서는 조건 C가 내부, 표면결합에 있어서 높은 peak수치를 통해 A, B보다 우수함을 알 수 있다.

조건 D는 에너지 투과로 인해 표면결합 수치가 높지만, 파수 $1460[\text{cm}^{-1}]$ (CH₃-) 높은 peak로 인해 내부결합이 형성되었다고 판단된다. 하지만, 경도측정의 결과에

서 알 수 있듯이 내부결합 경화에는 peak 수치가 낮게 측정되었다. 이는 365nm , 395nm 파장의 표면 결합과 420nm , 450nm 의 에너지가 강한 파장대가 내부결합에 우수한 경화특성을 나타낼 수 있다.

실험을 통해 $365[\text{nm}]+395[\text{nm}]+420[\text{nm}]$ 일 때는 경도는 0.078이고 $365[\text{nm}]+395[\text{nm}]+450[\text{nm}]$ 의 경우 경도는 0.084을 보였다. 위 조건하에서 FT-IR 측정 시 파수 $810[\text{cm}^{-1}]$ 에서 peak의 CH₂=CH결합은 표면 결합보다 내부결합에 결합형성이 좋은 peak 값을 보였다. 하지만 표면결합 결합 수치가 상대적으로 낮은 것으로 확인하였다.

$365[\text{nm}]+420[\text{nm}]+450[\text{nm}]$ 에 대한 경도가 0.088일 때, 파수 $810[\text{cm}^{-1}]$ 에서 peak의 CH₂=CH 결합은 높은 수치를 보이고 있고, 경화도 특성에 비교하여 표면경화와 내부경화의 결합이 형성되어 우수한 경화특성을 확인하였다.

$365[\text{nm}]+395[\text{nm}]+420[\text{nm}]+450[\text{nm}]$ 의 경우에는 에너지 투과로 인해 표면결합 수치가 높지만, 내부경화 CH₃-band $1460[\text{cm}^{-1}]$ 결합의 Peak도 높게 측정되었다. 이는 $365[\text{nm}]$, $395[\text{nm}]$ 파장에서 표면 결합과 에너지가 강한 $420[\text{nm}]$, $450[\text{nm}]$ 의 파장에서 내부결합에 우수한 경화특성 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 기존의 단일 파장의 UV-LED광원을 이용한 경화방법과 달리 복합파장의 UV-LED 방식에 대한 경화 특성에 대해 설계 및 제작하였다. $365[\text{nm}]$, $395[\text{nm}]$, $420[\text{nm}]$, $450[\text{nm}]$ 의 단일파장의 광원이 경화제에 미치는 영향을 경도 및 FT-IR로 확인한 결과 단일 파장일 때는 경도 0.084, 0.080, 0.087, 0.092로 표면경화로 인하여 내부경화가 이루어지지 않아 내부접착성에 단점을 확인되었는데, 이러한 단점을 보완하고자 복합파장 광원을 선택하였고, 복합파장모듈을 제작하였으며 각 UV-LED의 광학적, 전기적 특성을 측정 분석하여 $300[\text{mW}]$ 의 LED를 모듈화 하였다. 또한 4개의 광원을 동시에 집중시킬 수 있도록 설계 및 제작을 하여 $365[\text{nm}]$, $395[\text{nm}]$, $420[\text{nm}]$, $450[\text{nm}]$ 파장을 삼중 복합, 사중복합 조건으로 실험하였다.

그 결과, 단일 파장 보다 UV-LED 4파장을 중첩한

multi-spot 방식이 표면 및 내부경화도의 특성이 높아짐을 확인할 수 있었다.

References

- [1] J. D. Cho, S. T. Hanb, J. W. Hong, "A novel in situ relative-conductivity-based technique for monitoring the cure process of UV-curable polymers". Polymer Testing, vol. 26, pp. 71-76, 2007.
- [2] J. D. Cho, J. W. Hong, "Photo-curing kinetics of the UV-initiated cationic polymerization of a cycloaliphatic diepoxide system photosensitized by thioxanthone", European polymer journal, vol. 41, pp. 367-374, 2005.
- [3] J. Feng, L. Zhu, C. Lu, S.Teng, M. W. young, C.G. Gogos, "A new fluidized bed coating process via photo-initiated cationic polymerization", Polymer Engineering and Science, vol. 49, pp. 1107-1116, 2009.
- [4] J. k. Sheu, S. j. Chang, C. H. Kuo, Y. K. Su, L. w. Wu, Y. C. Lin, W. C. Lai, j. M. Tsai, G. C. Chi, and R. K. Wu, "White-light emission from near UV InGaN-GaN LED chip precoated with blue/green/red phosphors". IEEE Photonics Technology Letters, vol. 15, pp. 18-20, 2003.
- [5] Y. D. Huh, J. H. Shin, Y. H. Kim, and Y. R. Do, "White light-emitting diodes of GaN-based Sr₂SiO₄:Eu and the luminescent properties", Applied Physics Letters, vol. 82, pp. 683-685, 2003.
- [6] Y. D. Huh, J. H. Shin, Y. H. Kim, and Y. R. Do, "Optical Properties of Three-Band White Light Emitting Diodes", Journal of The Electrochemical Society, vol. 150, pp. 57-60, 2003.
- [7] B. S. Kim, D. H. Park, "The study of polymer hardened characteristic using the UV-LED multiplex concentrate lighting method", Wonkwang University Master's thesis, 2017.
- [8] E. fred schubert, "Light Emitting Diodes", Cambridge University Press, 2006.
- [9] C. L. Tseng, M. J. Youh, G. P. Moore, and M. A. Hopkins, "Mechanism for the increased light transmission through Ni/Au/ZnO contacts on p-GaN for high power optoelectronic devices", Applied Physics Letters, vol. 83, pp. 3677, 2003.
- [10] K. H. Huang, J. G. Yu, C. P. Kuo, R. M. Fletcher, T. D. Osentowski, L. J. Stison, and M. G. Craford, "Twofold efficiency improvement in high performance AlGaInP light emitting diodes in the 555 - 620 nm spectral region using a thick GaP window layer", Applied Physics Letters, vol. 61, pp. 1045, 1992.
- [11] H. Sugawara, M. Ishikawa, and G. Hatakoshi, "High efficiency InGaAlP/GaAs visible light emitting diodes", Applied Physics Letters, vol. 58, pp. 1010, 1991.
- [12] Q. D. zhuang, "Molecular beam epitaxy(MBE) growth of nitride semiconductors", Woodhead publish, 2014.
- [13] Sina Ebnesajjad, "Handbook of Adhesives and Surface Preparation: Technology, Applications and Manufacturing", Elsevier, 2010.
- [14] H. Coyard, P. Deligny, N. Tuck, "Resins for Surface Coatings Volume 1 2nd edition", J. Wiley, 2001.
- [15] J. Segurola, N. Allen, M. Edge, I. Roberts, "Photochemistry and Photoinduced Chemical Crosslinking Activity of Acrylated Prepolymers by Several Commercial Type Far UV Photoinitiators", Polymer Degradation and Stability, vol. 65, pp. 153-160, 1999.
- [16] J. V. Crivello & K. Dietliker, "Photoinitiators for Free Radical Cationic & Anionic Photopolymerization", J. Wiley, 1998.
- [17] Norman S. Allen, "Photoinitiators for UV and Visible Curing of Coatings: Mechanisms and Properties", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, vol. 100, pp. 101-107, 1996.

정 찬 권(Chan-Gwon Jung) [정회원]



- 1998년 2월 : 원광대학교 전자공학과(공학석사)
- 2005년 8월 : 원광대학교 전자공학과(공학박사)
- 2007년 9월 ~ 2017년 12월 : 대한상공회의소 전북인력개발원 교사
- 2018년 2월 ~ 현재 : 원광대학교 ICT융합 그린에너지 연구원 연구교수

<관심분야>

정보통신, LED조명, 전기/전자, 임베디드

김 범 수(Beom-Su Kim) [정회원]



- 1997년 2월 : 군장대학교 (기계설계과 학사)
- 2015년 2월 : 원광대학교 경영대학 (경영학과 학사)
- 2017년 2월 : 원광대학교 정보통신공학 (정보통신공학 석사)
- 2009년 10월 ~ 2011년 7월 : 주식회사 누리 대표이사
- 2009년 7월 ~ 2016년 10월 : 송백E&S대표
- 2016년 11월 ~ 현재 : 주식회사 송백이엔에스 대표이사

<관심분야>

정보경영, 정보통신, LED조명, 전기/전자

박 대 희(Dae-Hee Park)

[정회원]



- 1983년 8월 : 한양대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : 오사카대학교 전기전자공학과 (공학박사)
- 1991년 9월 ~ 현재 : 원광대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

정보통신, 전기/전자, 전기전자재료, 광원기술, LED조명