

LED 광원의 눈부심 현상을 감소시키기 위한 표면 실장형 CR 렌즈 개발

박용민^a, 방현철^a, 서영호^a, 김병희^{a*}

Development of Surface-mount-type Crown-shaped Lens for Reducing Glare Effect of Light-emitting Diode Light Source

Yong Min Park^a, Hyun Chul Bang^a, Young Ho Seo^a, Byeong Hee Kim^{a*}^a Department of Mechanical and Mechatronics Engineering, Kangwon National University, 1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon 200-701, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

| | | | |
|----------|----|----------|------|
| Received | 6 | January | 2014 |
| Revised | 12 | February | 2014 |
| Accepted | 14 | February | 2014 |

Keywords:

Crown-shaped LED lens
 Butterfly wing profile
 Glare effect
 Lambertian light distribution

ABSTRACT

This paper introduces the use of a crown-shaped (CR) lens to effectively diffuse the light from a light-emitting diode (LED) without any loss in the light intensity, in contrast to polymer-bulb-type diffusers. The diffusion lens was designed based on the Snell's law, which describes the physical path of a ray passing through the boundary between different media. CR lenses were fabricated by polydimethylsiloxane (PDMS) casting and UV-embossing processes, which used a pre-designed metal mold and UV-curable resin, respectively. Through experiments and optical evaluations, it was verified that the newly proposed CR lens not only decreased the vertical light strength and glare effect from an LED light source but also improved the diffusion characteristics while maintaining the quality of the LED's light intensity.

1. 서론

LED (Light Emitting Diode)는 소형화를 비롯한 다양한 형상의 디자인이 용이하고 빠른 응답특성에 의해 스위칭이 많은 다양한 장치의 표시램프(display lamp)로 사용되어 왔으며^[1,2], 광 출력 개선에 대한 진보로 최근에는 일반조명을 비롯한 가로등, 보안등의 옥외조명으로써 적용 가능한 새로운 광원^[3]으로 각광 받고 있다. 이와 같은 조명으로써의 LED광원은 효율, 수명, 광 제어 및 환경적인 면에서 기존의 조명대비 우수한 특성^[4]을 나타내는 반영구적인 광원이지만, 상대적으로 제조비용이 크며, 특히 LED 광원이 갖고 있는 고유의 광 프로파일은 눈부심 효과(glare effect)를 야기시켜 사용자로 하여금 눈의 피로를 유발하는 등의 문제^[5]가 발

생하고 있다. 이와 같은 문제의 원인은 Fig. 1(a)에서와 같이 LED 소자가 램버시안(lambertian) 배광(light distribution)^[6]을 갖는 점 광원 특성을 가지고 있기 때문이며, LED 소자로부터 방출되는 빛은 주변부에 비해 중심부의 광 밀도가 집중되어 높은 휘도를 나타내는 특징을 갖는다. LED 소자의 발광(luminous) 특성과 이에 따른 국부적인 광 집중에 의한 눈부심 현상은 반사컵(reflector)^[7]과 렌즈나 확산판(diffuser plate)^[8] 및 확산벌브(diffusion bulb)와 같은 2차 광학계(optical system)^[9] 적용을 통해 소자로부터 방출되는 빛을 확산시킴으로써 문제를 해결해온 것이 일반적이었다.

앞서 언급된 기존의 방법들은 근본적으로 광 손실을 피할 수 없으므로 효율 감소에 따른 다수의 LED 소자 사용과 같은 2차적인 문제를 발생시킨다. 또한 LED 조명시스템으로부터 일정 거리의

* Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6374

Fax: +82-33-259-5551

E-mail address: kbh@kangwon.ac.kr (Prof. Byeong Hee Kim).

영역에 대해 고른 빛 분포를 형성하는 것은 여전히 기술적인 난제로 이를 해결하기 위한 방안들이 연구 보고 되어 왔다. 균일한 빛의 분포와 눈부심 현상을 감소시키기 위해 제안된 대표적인 연구로는 2차원 표면에 대한 미세 구조화방법^[10]과 렌즈 형상변화^[11] 등이 있으며, 이 방법들은 2차 광학계로써 LED 선단부에 실장하거나 확산시트(diffusion sheet)에 적용하여 문제를 해결하고자 하였다.

이들 연구의 공통적인 목표는 LED가 가진 점광원 특성을 해결하기 위하여 LED 선단부에 광학계를 추가하여 Fig. 1(b)와 같은 나비날개 형상의 광 프로파일(butterfly wing profile)^[12,13]을 가지는 배광 특성을 부여하는 것으로써, 광 집중에 의한 눈부심 방지와 일정 영역에 대해 균일한 광 분포를 구현하는 것을 목적으로 하고 있다. 이와 같은 접근 방법은 렌즈의 형상제어를 통해 방출되는 배광 특성을 임의로 조정할 수 있는 장점이 있으며, 과거에는 단순한 형상의 2차 광학계가 주를 이루었다면 최근에는 형상의 다양화와

고성능화된 광학설계가 도입되고 있다. 그러나 렌즈 형상의 변화는 복잡한 설계 과정뿐만 아니라 제조공정개발이 수반되어야 하기 때문에 실질적인 조명 시스템으로의 적용에는 아직 한계를 가지고 있다.

본 연구는 효과적인 광 출력 제어가 가능하며 간단한 제작 공정을 가진 CR 렌즈(crown-shaped lens)의 설계기법을 제안하고 있다.

CR 렌즈의 형상은 스넬의 법칙을 기반으로 설계되었으며, PDMS 캐스팅과 UV-엠보싱 공정을 통하여 표면실장형 CR 렌즈를 제작하였다. 또한 제안된 방법에 의해 제작된 렌즈를 LED 소자 선단부에 실장한 후 광 출력검증을 통해 성능평가를 수행하였다.

2. CR 렌즈 설계 및 제작

2.1 CR 렌즈 형상 설계

다수의 LED 소자를 사용한 조명시스템은 실내 및 옥외 조명에 적용되고 있으나, 이들 조명모듈이 포함하는 광학계의 단점을 보완하기 위해서는 배광특성을 결정짓는 핵심 부품인 LED 2차 렌즈의 설계가 필요하다. 본 연구에서 제안한 LED 2차 렌즈는 기존의 단순한 형상을 갖는 LED 실장용 반구형 렌즈와 달리 나비날개 형상의 광 프로파일 배광특성을 갖는 자유 곡면 형태의 렌즈이다.

CR 렌즈의 형상설계는 LED 소자로부터 방출되는 광원의 특성과 광원이 맞닿게 되는 조명영역을 고려하여 진행되었으며, 기본적으로 매질의 경계에서 빛의 입사 광(incident light)과 굴절 광(refracted light)의 방향 사이에 성립되는 스넬의 법칙을 기반으로 하여 설계되었다. 입사된 빛의 경로는 Fig. 2(a)와 같이 굴절률이 n_1 과 n_2 로 각각 상이한 두 매질에 맞닿는 경계 면에서 굴절 되는데 그 정도를 입사각과 굴절각인 θ_1 과 θ_2 로 정의하며, 렌즈의 표면 기울기를 나타낼 수 있다. Eq. (1)은 일반적으로 알려져 있는 굴절률에 대한 입사각과 굴절각 간의 관계^[14]를 나타내며,

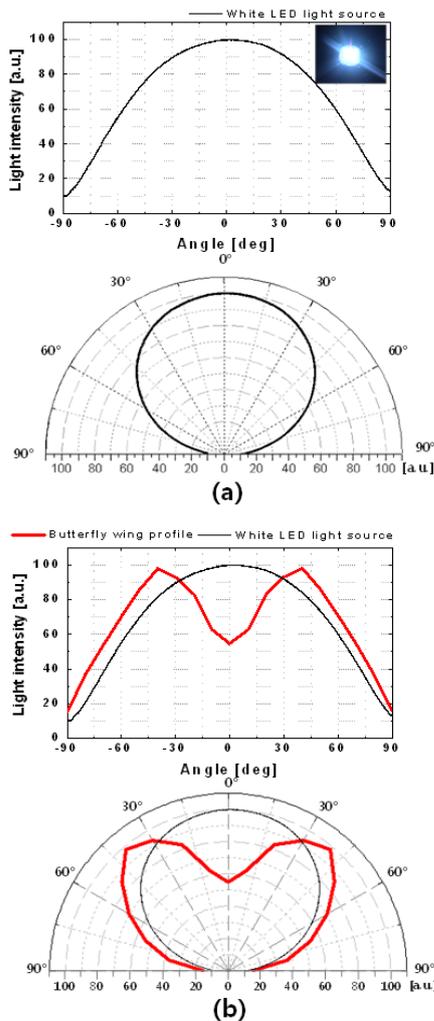


Fig. 1 Light distribution characteristics of LED light source: (a) Lambertian light distribution; (b) butterfly wing shaped light distribution

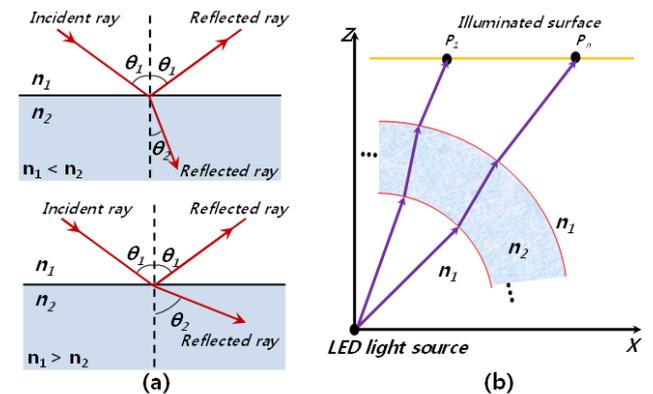


Fig. 2 Ray path at medium boundaries (a) Snell's law; (b) geometric relationship of ray path at the multi boundaries

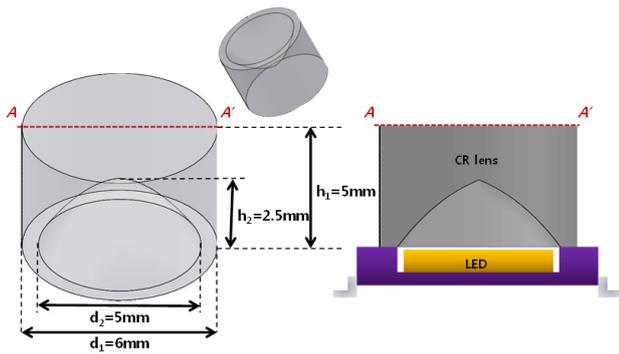


Fig. 3 Dimension of surface-mount type CR-lens and cross sectional view

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

전반사를 나타내는 임계각(critical angle, CA)^[15]에 대한 관계는 다음의 Eq. (2)와 같다.

$$CA = \sin^{-1}(n_2/n_1) \quad (2)$$

이와 같이 매질 사이의 경계면에서 나타나는 빛의 경로 변화 특성을 적용하면 Fig. 2(b)에서 나타난 것과 같은 복합 구조에 대해 빛의 경로를 예측할 수 있으며 투과된 빛이 맞닿는 조명 영역에서의 좌표 및 광량을 예측하게 되어 목적하는 배광 특성과 빛의 균일도를 얻을 수 있게 된다.

Fig. 3은 앞서 언급되었던 방법을 적용하여 설계된 CR 렌즈의 형상을 보여주고 있으며, LED 소자 표면에 실장할 수 있도록 일반적으로 사용되는 소자의 크기로 설계하였다. 그림을 통해 알 수 있듯이 LED 소자와 접합되는 렌즈 하부에 형성된 원뿔부가 LED 빛의 경로를 제어하여 나비날개 형상의 배광특성을 구현하고, 국부적으로 집중되는 광을 분산시키는 역할을 하게 된다. 또한 원기둥 모양으로 설계된 CR 렌즈의 전체 형상은 원뿔부를 지난 빛이 렌즈 밖으로 나갈 때 다양한 임계각을 유도하여 수직방향 광량은 더욱 감소시키고 광 확산 효과는 더욱 강화시키는 특성을 가진다.

2.2 CR 렌즈 제작

매질의 경계면에서 발생하는 빛의 경로차를 이용하여 임의의 조명영역 상에 나비날개 형상의 배광 특성을 부여하기 위해 설계된 CR 렌즈는 LED 소자 표면에 쉽게 실장할 수 있도록 기존의 공정 방법에서 벗어난 저가의 간단한 제작방법이 사용되었다. 일반적으로 LED 조명시스템에 적용되는 돔형상의 렌즈는 밀링공정을 통해 제작된 성형 몰드를 이용하여 사출성형^[16]에 의해 제작되어 왔으

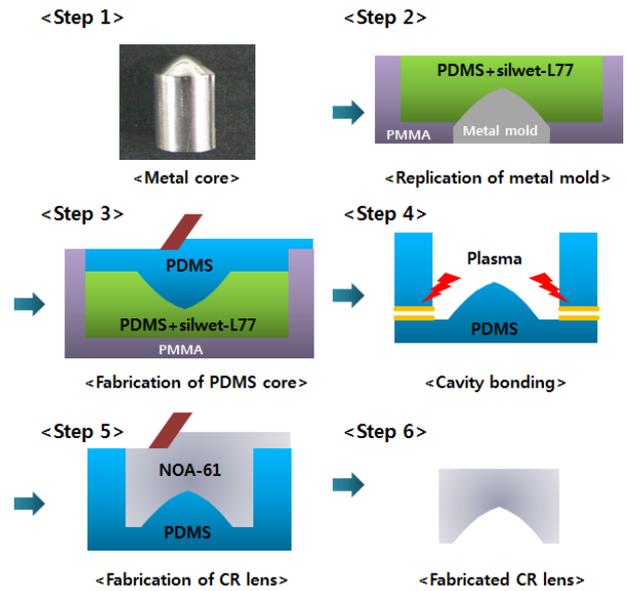


Fig. 4 Fabrication method of CR-lens using PDMS casting and UV-embossing process

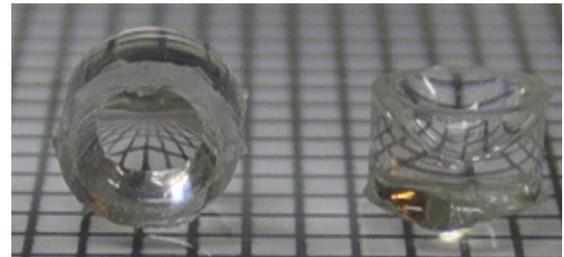


Fig. 5 Fabricated CR lenses

나, 다양한 형상을 갖는 렌즈를 제작하기 위해서는 제작 용이성과 비용 그리고 제작에 소요되는 시간이 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 4와 같은 새로운 형태의 CR 렌즈 제조공정을 제안하였다. CR 렌즈는 PDMS 몰딩과 UV 경화성 수지를 이용한 UV 성형공정을 통해 제작되었다. CR 렌즈의 배광구조를 형성하기 위하여 스넬의 법칙에 의하여 설계된 렌즈형상의 역상으로 금속코어를 먼저 제작한 후(Step 1), 복제공정을 이용하여 렌즈의 형상을 결정짓는 PMMA-PDMS 결합몰드를 구성하였다(Step 2). 이때 PDMS에 계면 활성제인 Silwet L-77 (Momentive Performance Materials Inc.)^[17]를 첨가하여 이형성을 증가시켰다. 복제된 PDMS-PMMA 몰드와 닥터 블레이딩(doctor blading) 공정을 이용하여 PDMS 코어를 제작한 후(Step 3), 이형된 PDMS 코어 상부에 O₂ 플라즈마 공정을 이용하여 성형 캐비티를 형성하였다(Step 4). CR 렌즈 재료로는 UV 경화성 수지인 NOA 61(Norland Products Inc. reflective index 1.56)을 사용하였으며, 닥터 블레이딩과 UV 성형 공정을 통해(Step 5) 최종적인 CR 렌즈를 제작하였다(Step 6). 특히 렌즈성형에 사용된 최종적인

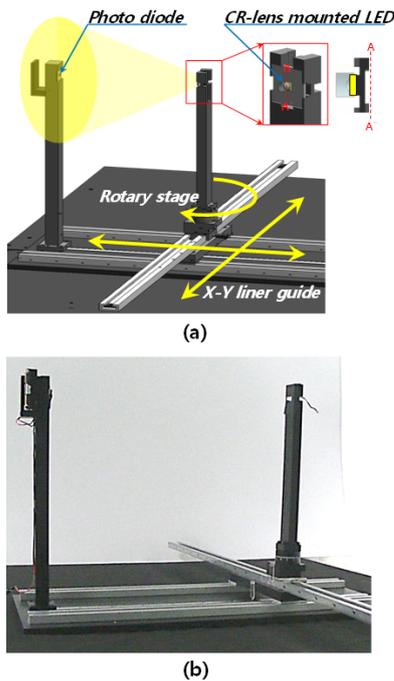


Fig. 6 Measuring equipment (a) configuration of measuring equipment; (b) photograph of system

PDMS 몰드는 유연성을 가지는 폴리머 탄성체로 제품의 이형이 수월한 장점을 가지고 있다. Fig. 5는 최종적으로 제작된 CR 렌즈 시제품을 보여주고 있다.

3. CR 렌즈 성능 평가

3.1 LED 광 측정 장비 설계 및 제작

제작된 CR 렌즈를 실장한 LED 소자의 광특성 평가를 위해 Fig. 6과 같은 측정시스템을 구성하였다. Fig. 6(a)는 측정시스템의 개략도를 보여주며 그림을 통해 알 수 있듯이 CR 렌즈가 실장된 LED 소자(Smd 5050, Avago Technologies US, Inc.)와 방출된 광량을 측정하기 위한 포토다이오드(TFA1001 W, Siemens-Allis, Inc.)를 마주보게 설치하고, 광원으로부터 방출되는 빛에 대한 각도와 거리변화에 따른 광 특성을 분석하기 위해 회전 스테이지 및 X-Y 스테이지를 도입하였다. Fig. 6(b)는 실제 측정시스템을 나타내며 그림에는 생략되었지만 측정 시 외부 광원에 의한 영향을 제거하기 위하여 암실분위기의 케이스 내에서 모든 측정이 수행되었다.

3.2 CR 렌즈 실장 단일 LED 광특성 평가

Fig. 7은 일반 LED 소자와 CR 렌즈 실장 LED 소자를 포토다이오드를 기준으로 150 mm 거리에 위치하고 LED 소자의 0°~180° 회전과 좌우방향 위치 이동에 따른(총 스트로크 ± 400 mm)

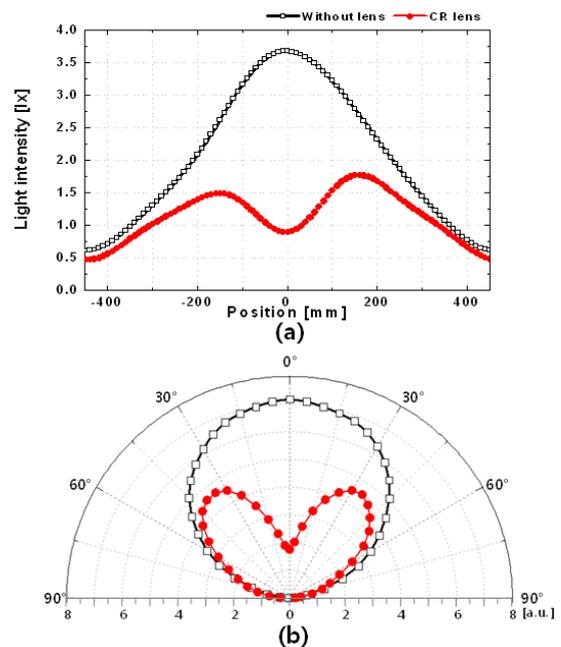


Fig. 7 Optical characterization of conventional LED lighting system (PC bulb type) (a) light intensity according to rotating angle; (b) light intensity according to position

광도를 측정 하여 비교한 결과이다. CR 렌즈 실장용 LED는 일반 LED 소자 선단에 CR 렌즈를 UV 경화성 수지를 이용하여 접합하여 제작하였다.

Fig. 7(a)와 (b)의 비교 그래프 통해 알 수 있듯이 기존의 LED 램프는 램버시안 배광특성에 따른 국부적인 광 집중에 의해 LED 램프에 수직된 방향(0° 위치)에서 가장 큰 광도를 나타내고 있으나, 본 연구에서 제안한 CR 렌즈의 경우 나비날개 형상의 배광특성에 따라 수직된 방향의 약 60% 정도 감소시켰으며 빛의 분산도 효과적으로 발생하고 있음을 알 수 있다.

즉, 일정거리의 조명 영역 내에서 LED 소자로부터 방출된 빛의 중심부 광량은 감소시키고 주변부 광량은 증가시킴으로써 광원의 중심부와 주변부 간의 광량 편차를 최소화하여 눈부심 현상 제거와 광 확산 효과를 동시에 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

CR 렌즈가 실장된 단일 LED소자의 성능 평가결과는 향후 LED 램프와 같은 조명시스템에 적용할 때에 요구되는 조명 영역에 대한 균일한 배광 특성과 눈부심 현상의 감소로 인해 기존 조명 시스템 대비 LED 소자의 감소의 효과를 얻을 수 있으며, 확산 벌브(diffusion bulb)와 같은 2차 광학계의 제거가 가능하여 원가절감의 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 조명 시스템에서 문제시되었던 LED 광

원의 램버시안 배광특성에 따른 눈부심 현상과 불 균일한 광 분포에 대한 해결방안을 제시하였으며, 저가의 간단한 제작방법을 도입하여 광 특성이 향상된 LED 소자 실장용 CR 렌즈를 개발하였다.

LED 소자 표면에 쉽게 실장할 수 있도록 설계된 CR 렌즈는 매질의 경계면에서 발생하는 빛의 경로차이를 이용하여 임의의 조명 영역 상에 나비날개 형상의 배광 특성이 나타날 수 있도록 렌즈의 곡면 제어와 광량 예측을 통해 설계되었으며, 일반적으로 알려져 있는 PDMS 성형 공정과 UV 성형공정을 통해 제작되었다. PDMS 성형 몰드가 가지고 있는 재료적 특성에 의해 이형에 문제가 없음을 확인하였고, 이를 통해 개발된 성형공정이 향후 다양한 형상을 갖는 렌즈의 대량생산에 필요한 성형 몰드로써 적용 가능한 공정임을 검증하였다.

또한, 제작된 CR 렌즈의 광특성 평가를 위해, 측정대상의 위치와 각도를 임의로 변경할 수 있는 측정 시스템을 설계, 제작하였으며, LED 소자의 성능 평가를 통해 수직광량 60% 감소와 광원의 중심부와 주변부의 광량 편차를 최소화하는 효과를 구현하였다.

본 연구를 통해 제안된 CR 렌즈는 향후 조명시스템으로의 적용시 확산기능이 있는 2차 광학계의 제거와 적용되는 LED 소자의 개수를 감소시킴에 따라 에너지 절약 및 원가절감의 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20134030200240)입니다.

또한 부분적으로 강원대학교의 2013년 전임교원 기본연구비지원사업(과제번호-120131293)의 지원을 받았습니다.

References

- [1] Zheludev, N., 2007, The life and times of the LED-100-year history, *Nature Photonics* 1:4 189-192.
- [2] Song, Y. J., Hong, M. S., 2011, A Study on the Optimal Design for Optical Efficiency of LED, *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers* 20:3 361-367.
- [3] Sun, C. C., Lo, Y. C., Tsai, C. C., Lee, X. H., Chien, W. T., 2012, Anti-glare LED projection lamp based on an optical design with a confocal double-reflector, *Optics Communications* 285:21-22 4207-4210.
- [4] Chen, W. C., Lai, T. T., Wang, M. W., Hung, H. W., 2011, An optimization system for LED lens design, *Expert Systems with Applications* 38:9 11976-11983.
- [5] Kasahara, T., Aizawa, D., Irikura, T., Moriyama, T., Toda, M., Iwamoto, M., 2006, Discomfort Glare Caused by White LED Light Sources, *Journal of Light & Visual Environment* 30:2 95-103.
- [6] Shei, S. C., Lin, N. M., Chang, S. J., Wu, Y. X., 2011, Optical design of a freeform lens based on multi-chip-on- single-board LED light source for 140W street lamp, *International Journal of Science and Engineering* 1:1 31-33.
- [7] Chen, E., Yu, F., 2013, Design of LED-based reflector-array module for specific illuminance distribution, *Optics Communications* 289:15 19-27.
- [8] Song, S., Sun, Y., Lin, Y., You, B., 2013, A facile fabrication of light diffusing film with LDP/polyacrylates composites coating for anti-glare LED application, *Applied Surface Science* 273:15 652-660.
- [9] Chen, C., Xianhui, Z., 2011, Design Secondary Optical System Applied in White-LED General Illumination, *Journal of Physics: Conference Series* 276:1 012159(6 page).
- [10] Giel, B. V., Meuret, V., Thienpont, H., 2007, Using a fly's eye integrator in efficient illumination engines with multiple light-emitting diode light sources, *Optical Engineering* 46:4 043001(6 page).
- [11] Wang, K., Liu, S., Chen, F., Qin, Z., Liu, Z., Luo, X., 2009, Freeform LED lens for rectangularly prescribed illumination, *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics* 11:10 105501(10 page).
- [12] Lo, Y. C., Huang, K. T., Lee, X. H., Sun, C. C., 2012, Optical design of a Butterfly lens for a street light based on a double-cluster LED *Microelectronics, Reliability* 55:5 889-893.
- [13] Chen, H. C., Lin, J. Y., Chiu, H. Y., 2013, Rectangular illumination using a secondary optics with cylindrical lens for LED street light, *Optics express* 21:3 3201-3212.
- [14] Wolf, K. B., Krotzsch, G., 1995, Geometry and dynamics in refracting systems, *European Journal of Physics* 16:1 14-20.
- [15] Simons, R. H., Ben, A. R., 2001, *Lighting Engineering applied calculations*, Elsevier Ltd..
- [16] Yoo, S. C., Yoo, K. S., Hyun, D. H., 2013, A Study on Aspheric Optics Research for Improving the Luminous Efficiency of the LED MR16, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers* 22:3 480~487.
- [17] Park, Y. M., Kim, B. H., Seo, Y. H., 2013, Three-Dimensional Antireflective Hemispherical Lens Covered by Nanoholes for Enhancement of Light Transmission, *Appl. Phys. Express* 6:11 115202(4 page).