

전기차 내장 감성 조명용 FILM DECO GARNISH의 휘도 균일도 향상에 관한 연구

전상권¹, 전오환¹, 김옥환^{2*}, 한수현³
¹시그마(주), ²공주대학교 기계자동차공학부, ³공주대학교 대학원 기계공학과

A Study on the Improvement of Luminance Uniformity of FILM DECO GARNISH for Emotional Lighting in Electric Vehicle

Sang-Kwon Jeon¹, Oh-Hwan Jeon¹, Ok-Hwan Kim^{2*}, Su-Hyeon Han³

¹Sigma Corporation

²Dept. of Mechanical & Automotive Eng., Kongju National University

³Dept. of Mechanical Eng., Kongju National University

요약 차량의 기능적인 측면뿐 아니라 디자인과 감성적인 효과가 중요시되면서, 많은 기업이 차량의 감성 품질을 향상시키기 위하여 다양한 연구와 노력을 하고 있다. 본 연구에서는 FILM DECO GARNISH 기존제품의 낮은 휘도와 휘도의 균일도를 높이는 방안을 제시하였으며, 제시된 방안을 도입하여 개선제품을 설계하였다. FILM DECO GARNISH의 휘도 균일도를 높이기 위하여 Light Guide Plate의 패턴 형상을 기존제품의 반구형 패턴에서 프리즘 패턴 형태로 변환하여 설계하였다. Light Guide Plate 각 위치에서의 패턴 프리즘의 깊이와 피치를 변화시키는 방식으로 휘도 균일도를 향상시켰다. computer simulation으로 설계된 개선제품의 성능을 확인한 후, 개선제품의 시제품을 제작하였다. 시제품의 휘도를 측정하여 개선된 제품의 적정성을 보였다. 또한 휘도 측정값을 simulation의 값과 비교 검토하여 simulation의 적정성을 확인하였다. 개선된 FILM DECO GARNISH는 기존의 제품에 비하여 휘도 균일도가 65.3% 향상되었다.

Abstract As the design, emotional effects and functional aspects of vehicles become important, many companies are examining ways to improve the emotional quality of vehicles. This paper proposes a method of increasing the low luminance and the uniformity of luminance of the existing FILM DECO GARNISH products. An improved product was designed by introducing the proposed method. The pattern shape of the Light Guide Plate was designed to increase the luminance uniformity of FILM DECO GARNISH, by converting it from the hemispherical pattern of the existing product to the prism pattern shape. The luminance uniformity was improved by changing the depth and pitch of the pattern prism at each position of the light guide plate. After confirming the performance of the improved product designed with a computer simulation, a prototype of the improved product was produced. The luminance of the prototype was measured to show the appropriateness of the improved product. In addition, the luminance measurement was compared with the simulation to confirm the appropriateness of the simulation. The improved FILM DECO GARNISH has a 65.3% improvement in luminance uniformity compared to the existing product.

Keywords : Film Deco Garnish, Luminance Uniformity, Light Guide Plate, Emotional Lighting, Electric Vehicle

본 논문은 2022년도 교육부 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체대학협력기반지역혁신사업(2021RIS-004)의 연구개발과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Ok-Hwan Kim(Kongju Univ.)

email: owkim@kongju.ac.kr

Received March 9, 2023

Revised March 30, 2023

Accepted April 7, 2023

Published April 30, 2023

1. 서론

차량의 기능적인 측면뿐 아니라 디자인과 감성적인 효과가 중요시되면서, 소비자들은 차량을 단순한 이동 수단으로 보는 것이 아니라 자신만의 공간으로 인식하게 되었다. 이러한 인식 변화는 기업들이 제품 홍보에서 감성 마케팅을 강조하게 된 배경이 되었고, 기업들은 감성 품질을 향상시키기 위한 다양한 연구와 노력을 하고 있다[1].

감성 마케팅이 강조되면서 감성 조명(emotional lighting)에 관한 연구도 활발해지고 있다. 자동차 실내 조명색의 감성 연구를 위한 기초자료를 제시한 연구부터 LED를 이용해 선루프용 무드 조명을 설계하는 연구, LED 감성 조명 제어를 위한 시스템을 제시하는 연구까지 감성 조명에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다[2-6].

감성 조명에 관한 다양한 연구가 진행됨에 휘도(luminance)와 휘도 균일도(luminance uniformity) 개선에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. Lee[7]는 밝기 제어장치 및 색상 제어장치 그리고 기존의 제어장치와의 호환성을 갖는 통합 인터페이스 제어장치를 설계하고 제작하였다. Bae 등[8]은 도광판(LGP: Light Guide Plate)이 부착된 백라이트 유닛(BLU: Back Light Unit)의 광학적 성능을 향상시키기 위해 LGP 패턴이 BLU의 밝기 및 시야각 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위하여 LGP의 여러 형태의 패턴을 설계하고 광학 시뮬레이션을 통해 그들의 광학적 특성을 계산했다. Park 등[9]은 레이저로 가공된 평면 산란패턴을 가지는 LGP에 대하여, LGP 후면에 레이저를 이용하여 LGP 내부에서 특징적인 기울기를 가지는 산란패턴을 만들으로써 LGP 상부로 방출되는 광의 균일도를 향상시키는 연구를 하였다. Park 등[10]은 최근 10여 년간 LED BLU의 괄목할만한 성장을 가능하게 한 LGP의 산란 패턴 형성에 관한 연구와 광원의 배치 및 구성 기술을 소개하고, 이러한 LGP 기술을 최근 주목을 받고 있는 LED 조명기구 설계에 적용한 대면적 평판형 조명시스템에 대해 소개하였다.

최근 전기차의 실내에는 감성 조명으로 Fig. 1과 같은 FILM DECO GARNISH(FDG)가 많이 사용되는 추세이다. 전기차에 사용되는 FDG는 감성을 높이기 위해 휘도 균일도와 휘도의 세기가 중요한데, 기존에 상용으로 사용하고 있는 제품은 휘도의 균일성이 떨어지고, 휘도의 세기가 작은 단점이 있어서 이의 개선이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 기존제품의 낮은 휘도와 휘도의 균일

도를 높이는 방안을 제시하고, 이를 통해 개선제품을 설계하여 simulation으로 설계품의 성능을 확인한 후, 이를 바탕으로 제작한 시제품을 검사하여 최종 개발품의 성능을 확인하고자 한다.

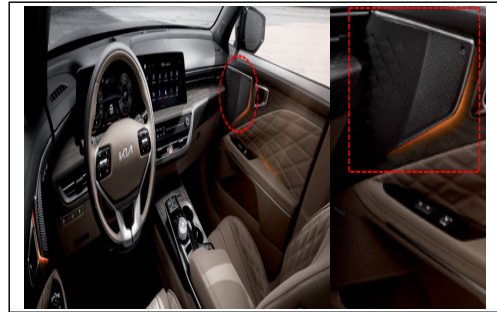


Fig. 1. FILM DECO GARNISH in an electric vehicle door

2. 휘도 및 휘도 균일도 개선

전기차에 사용되는 FDG는 Fig. 2와 같은 구조로 되어 있다. LED에서 방출된 빛은 LGP에 의하여 구멍이 뚫려 있는 FDG cover로 반사되어, 탑승자는 커버의 구멍으로 통과된 빛을 보게 된다.

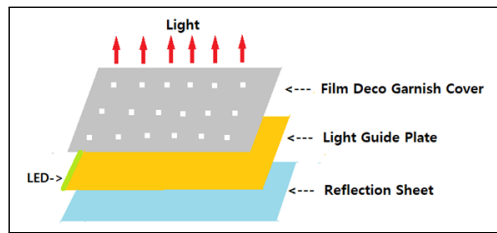


Fig. 2. FILM DECO GARNISH in an electric vehicle door



Fig. 3. FILM DECO GARNISH cover

Fig. 3은 FILM DECO GARNISH cover이다. FDG에 사용되는 광원은 모두 2 lumen의 LED를 사용하였다. 기존의 FDG에는 반구형의 패턴을 갖는 LGP를 사용하였는데, 반구형 패턴의 지름은 $60\mu\text{m}$ 으로 설계되었으며, FDG cover 각 구멍의 휘도를 균일하게 하기 위하여, 광도가 큰 위치에는 패턴의 밀도(단위 면적당 개수)를 작게 하고, 광도가 작은 위치에는 패턴의 밀도를 크게 한다. LGP의 재질은 PMMA이며, 사출로 생산하고, 생산하는 금형의 패턴 부분 가공에는 레이저 가공으로 하는데, 이를 수가공 함으로써 금형가공 시간이 길고, 작업자의 숙련도에 따라 각 위치의 패턴의 밀도가 설계값과 달라지게 가공되어, LGP의 성능이 크게 달라지며, 따라서 휘도의 균일성이 나빠진다. 한편 기존제품의 광원은 4개의 LED를 사용하였다. Fig. 4에 현재 상용으로 사용되고 있는 제품의 LGP를 보인다.

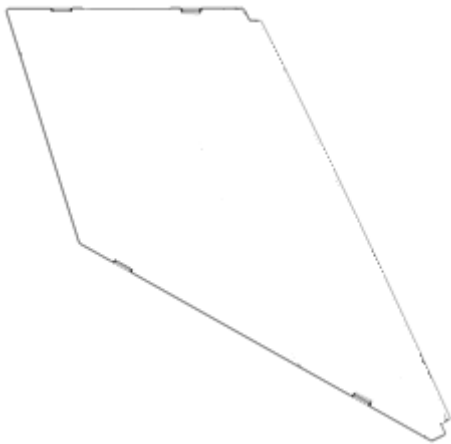


Fig. 4. LGP of the existing product

개선된 FDG의 휘도를 높이기 위하여 광원을 8개의 LED로 하는 한편, 금형가공 시간을 줄이며, 가공 품질 향상을 위하여 개선된 LGP의 패턴 형상을 Fig. 5와 같은 프리즘 형태로 하고자 한다.

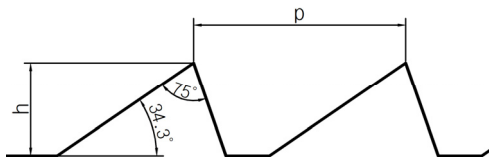


Fig. 5. Prism pattern shape for improved LGP

개선된 LGP의 프리즘 패턴의 치수는 반사면의 경사각 34.3° , 꼭지각 75° , 길이는 5mm, 깊이 h는 $0.11\sim 0.8\text{mm}$, 피치 p는 $0.61\sim 2.03\text{mm}$ 로 설계하였다. 휘도 균일도를 향상시키기 위하여, 프리즘 패턴 형상을, 광도가 센 곳은 피치를 크게, 깊이를 작게 하고, 광도가 약한 곳은 피치를 작게, 깊이를 크게 하여 배치하였다. 프리즘 패턴을 배치하는 각 위치에서의 형상은 시행착오를 거쳐 결정하였다. 개선된 LGP는 FDG cover 구멍 위치에만 프리즘 패턴을 배치하였으며, FDG cover의 구멍 부분에만 빛이 필요하므로 프리즘 패턴의 길이는 지나치게 길 필요가 없다. Fig. 6에 개선 설계된 LGP를 나타내었다.

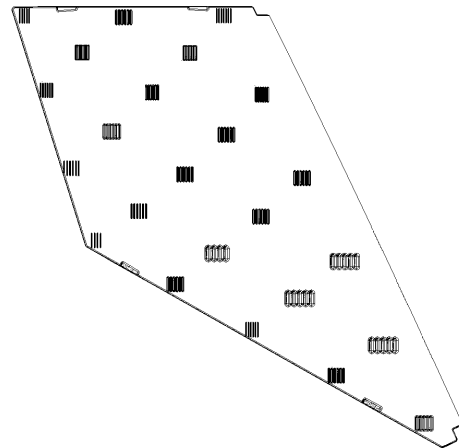


Fig. 6. LGP of the improved product

3. 휘도 해석

3.1 휘도 해석 조건

개선된 제품의 금형을 제작하기 전에 그 성능을 확인하기 위하여 computer simulation으로 휘도 해석을 하였다. 휘도 해석에는 광학설계 전문 소프트웨어인 스피어스(SPEOS)를 사용했다. 제품을 해석하기 위해 Fig. 7과 같이 3D 모델링 설계를 하였으며, 광원은 Fig. 8과 같이 배치하였다. 기존의 제품도 휘도 해석을 시행하였다. 설계된 제품의 부품별 재료와 VOP(Volume Optical Properties), SOP(Surface Optical Properties)를 Table 1에 나타내었다.

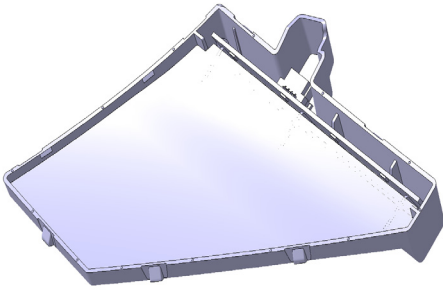


Fig. 7. Model used for analysis

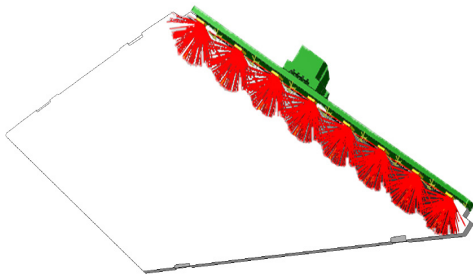


Fig. 8. LED locations in the luminance analysis model for improved product

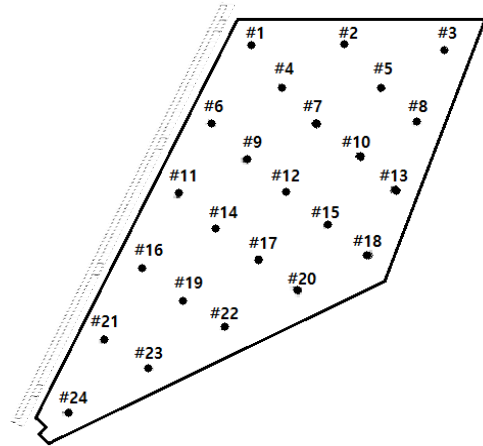


Fig. 9. Luminance measurement point of existing product

Table 1. Materials and VOP and SOP by parts

Parts	Material	Optical Properties	
		VOP	SOP
LGP	PMMA	PMMA	Optical Polished
Cover	ABS	Opaque	PC - White
LED PCB Ass'y	DS Dark Green	Opaque	Mirror 0%
Reflection Sheet	PET	Opaque	Mirror 82%

해석에 사용된 Ray의 수는 100,000k이며 해석에 사용된 LED Source는 ITSWELL E3536 RGB K3로 광원의 광선속은 2lm(lumen), 색은 화이트 단색을 사용했다. 메시 크기는 LGP 부분은 0.1mm, 그 외의 부분은 1mm로 주어 해석을 진행했으며, 휘도를 측정하는 점은 FDG cover의 구멍 부분 24점으로 해석을 진행했다.

3.2 휘도 해석 결과

개선된 제품의 성능과 비교하기 위하여 기존제품의 휘도를 측정하였다. Fig. 9에 기존제품의 휘도 측정점의 위치와 번호를 나타내었으며, Table 2에 기존제품에 대한 측정점의 휘도 값을 나타내었다.

Table 2. Luminance values of existing product

Point No.	1	2	3	4	5
Value [nit]	5.776	8.476	5.957	3.665	2.415
Point No.	6	7	8	9	10
Value [nit]	1.718	3.307	3.155	4.060	3.573
Point No.	11	12	13	14	15
Value [nit]	2.465	2.493	3.803	5.126	1.772
Point No.	16	17	18	19	20
Value [nit]	2.957	2.853	2.763	4.158	1.220
Point No.	21	22	23	24	
Value [nit]	0.715	2.683	3.320	0.616	

측정 결과 기존제품의 최대 밝기는 8.48nit, 최소 밝기는 0.62nit, 평균 밝기 3.29nit, 균일도 38.9%로 밝기와 균일도가 매우 저조함을 알 수 있다. 여기서 균일도를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{Uniformity} = (\text{Average}/\text{Max}) * 100 [\%] \quad (1)$$

Fig. 10에 개선제품의 휘도 해석 모델과 휘도 측정점의 위치와 번호를 나타내었으며, Table 3에 각 측정점의 휘도 값을 나타내었다.

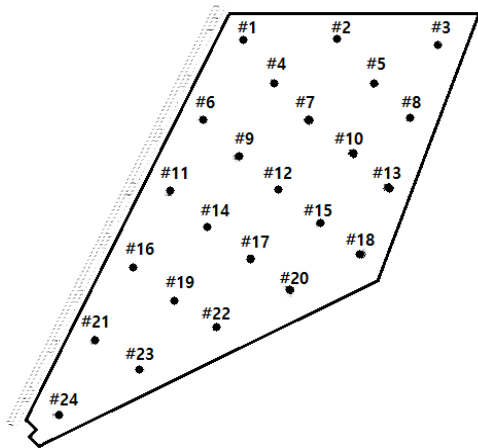


Fig. 10. Improved product model and luminance measurement point

Table 3. Luminance values from analysis results of improved product

Point No.	1	2	3	4	5
Value [nit]	11.407	11.706	13.982	10.614	8.405
Point No.	6	7	8	9	10
Value [nit]	7.752	7.383	9.331	6.306	8.562
Point No.	11	12	13	14	15
Value [nit]	7.062	6.559	10.981	9.608	8.287
Point No.	16	17	18	19	20
Value [nit]	7.866	9.739	11.392	7.772	7.140
Point No.	21	22	23	24	
Value [nit]	11.921	8.934	11.913	9.640	

개선된 제품의 최대 밝기 13.98nit, 최소 밝기 6.31nit, 평균 밝기 9.34nit이며 균일도는 66.8%로 해석되었으며, 휘도 균일도는 71.7% 향상되고, 평균 밝기가 기존제품보다 184% 크게 측정되었다.

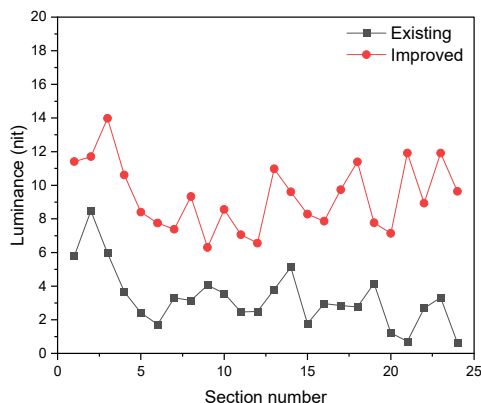


Fig. 11. Luminance of existing and improved products

Fig. 11은 Table 1과 Table 2의 값을 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 휘도와 휘도 균일도가 향상된 것을 알 수 있다.

4. 시제품 제작

해석에서 제시된 모델을 바탕으로 제작된 시제품을 Fig. 12와 Fig. 13에 나타내었다.

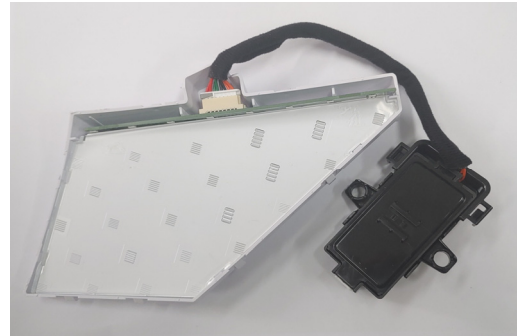


Fig. 12. Manufactured prototype of Improved product

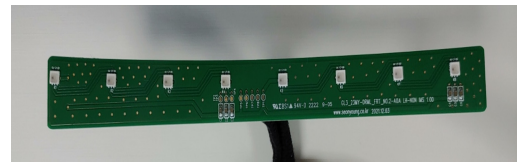


Fig. 13. LED of improved product

5. 휘도 측정

5.1 휘도 측정 조건

개선 설계로 제작한 시제품의 휘도를 측정하였다. 휘도 측정을 위한 장비와 소프트웨어로 코니카미놀타 대면 휘도계(CA-2000A)와 전용 소프트웨어 CA-S20W를 사용했다. Fig. 14는 휘도 측정 중인 모습을 보여준다. 개선 시제품과 휘도 측정 장비 사이에 550mm의 간격을 두고 측정을 진행했다.

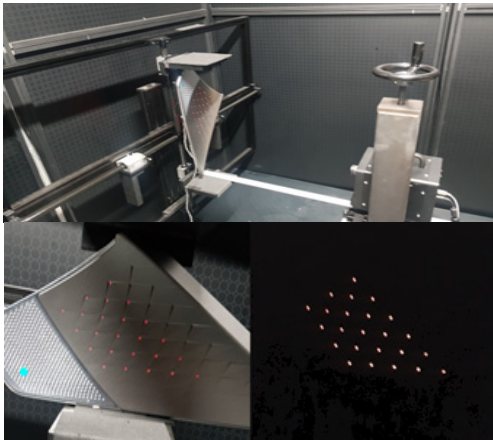


Fig. 14. Luminance measurement of test the product

5.2 휘도 측정 결과 및 분석

Table 4에 개선된 FDG에 대한 시제품의 측정된 휘도 값을 나타내었다.

Table 4. Luminance values of each point in the prototype

Point No.	1	2	3	4	5
Value [nit]	14.85	14.52	13.6	14.64	13.22
Point No.	6	7	8	9	10
Value [nit]	11.72	8.58	10.51	15.02	9.23
Point No.	11	12	13	14	15
Value [nit]	8.19	8.07	6.52	7.76	8.09
Point No.	16	17	18	19	20
Value [nit]	6.6	7.97	6.63	7.54	9.03
Point No.	21	22	23	24	
Value [nit]	9.44	6.65	7.34	6.19	

개선제품의 휘도 측정 결과 최대 밝기 15.02nit, 평균 밝기 9.66nit, 휘도 균일도는 64.3%로 측정되었다. 개선된 제품은 기존제품에 비하여 평균 밝기는 194%, 휘도 균일도는 65.3% 향상되었다.

Fig. 15에 개선된 제품에 대하여, simulation과 시제품의 휘도 측정값을 비교하기 위하여 이를 그래프로 나타내었으며, Table 5에 개선된 제품의 평균 휘도와 휘도 균일도를 수치로 제시하였다. 휘도 균일도는 simulation 값 66.8%, 시제품 값 64.3%로 약 3.7%의 오차를 보이며, 휘도 평균값은 simulation 값 9.34nit, 시제품 값 9.66nit로 약 3.4%의 오차를 보인다.

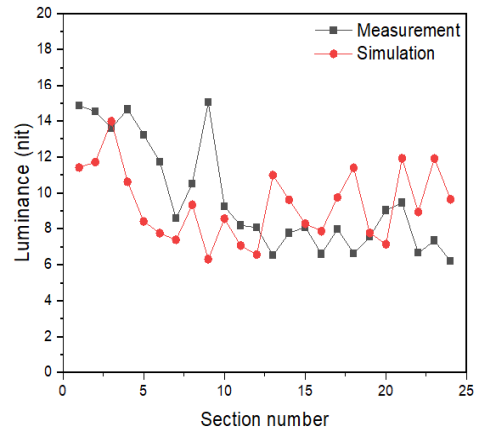


Fig. 15. Luminance values of measurement and simulation for improved product

Table 5. Luminance uniformity of improved product

	Simulation	Prototype	Error rate (%)
Average luminance [nit]	9.34	9.66	3.4
Luminance uniformity (%)	66.8	64.3	3.7

6. 결론

기존의 FILM DECO GARNISH(FDG)의 낮은 휘도와 휘도의 균일도를 높이는 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개선된 FDG는 기존의 제품에 비하여 평균 휘도 값을 194% 향상시켰다.
2. FDG의 휘도 균일도와 제조 신뢰성을 향상시킬 수 있는 Light Guide Plate를 제시하였다.
3. 개선된 FDG는 기존의 제품에 비하여 휘도 균일도가 65.3% 향상되었다.
4. 개선된 제품에 대하여 휘도 simulation 결과와 시제품의 휘도 측정값을 비교한 결과 휘도 simulation이 타당함을 보였다.
5. 개선된 제품에 대한 금형가공비를 기존제품에 비하여 줄일 수 있다.

References

- [1] K. W. Lee, Y. J. You, "A Study on automotive interior 3D lighting method", *2021 Korea Society of Automotive Engineers Autumn Conference and Exhibition*, pp.631-635, 2021.
- [2] J. A. Seo, Y. K. Park, "A Study on the sensibility of the automotive interior LED light color", *2012 Korean Society of Color Studies Fall Conference*, pp.37-41, 2012.
- [3] M. S. Ra, S. Y. Choi, C. M. Park, S. M. Gwak, S. K. Jung, "Design of mood lighting for sunroof glass using LED light guide", *2017 Korean Society of Automotive Engineers Autumn Conference and Exhibition*, pp.970-973, 2017.
- [4] Y. H. Yoon, N. H. Cho, "A Study on design development of FEELighting (Feeling + Lighting)", *Journal of the Korea Furniture Society*, Vol.26, No.1, pp.92-99, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.22873/kofuso.2015.26.1.92>
- [5] S. J. Cho, W. C. Jang, C. H. Moon, "Embedded System for LED Lighting Control", *CICS 2009 Conference on Information and Control Systems Symposium*, pp.243-244, 2009.
- [6] S. Y. Lee, J. K. Lee, "Implementation of contactless vehicular ambient lighting control system based on machine learning method", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.45 No.11, pp. 1932-1939, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7840/kics.2020.45.11.1932>
- [7] J. Y. Lee, "Implemented of integrated interface control unit with compatible and improve brightness of existing full color LED display system", *Information Technology Convergence Journal*, Vol.11, No.12, pp.90-96, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2021.11.12.090>
- [8] C. H. Bae, K. C. Heo, C. G. Jhun, B. J. Ryu, K. W. Koo, "Design and fabrication of pattern structures of the light guide plate for enhanced brightness of backlight unit", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 64, No.2, pp.310-314, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2015.64.2.310>
- [9] S. H. Park, S. S. Lee, H. J. Ma, E. S. Choi, Y. J. Shin, "Simulation of luminance and uniformity of LGP according to the laser scattering pattern", *Korean Journal of Optics and Photonics*, Vol.21, pp.225-229, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.3807/KJOP.2010.21.6.225>
- [10] S. H. Park, E. S. Choi, S. Y. Ahn, Y. J. Shin, "Research trends in light guide plates for LED backlight units", *Korean Journal of Optics and Photonics*, Vol.25, pp.314-326, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.3807/KJOP.2017.28.6.314>

전 상 권(Sang-Kwon Jeon)

[정회원]



- 2001년 2월 : 한국교통대학교 기계설계과 (공학사)
- 2009년 6월 ~ 현재 : 시그마(주) 기술연구소 이사

<관심분야>

자동차공학, 자동차 내장재

전 오 환(Oh-Hwan Jeon)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 산업기술공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사)
- 1986년 10월 ~ 2016년 2월 : 서연이화 연구소장/개발실장

- 2019년 1월 ~ 2020년 12월 : 한국자동차공학회 부회장
- 2022년 7월 ~ 현재 : 시그마(주) 사장

<관심분야>

자동차공학, 자동차 내장재

김 옥 환(Ok-Hwan Kim)

[총신회원]



- 1984년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1985년 5월 ~ 1988년 2월 : 린나 이코리아(주) 선임연구원
- 1988년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

응력해석, 기계설계

한 수 현(Su-Hyeon Han)

[준회원]



- 2023년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 (공학사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 기계공학과 석사과정

〈관심분야〉

구조해석, 머신러닝