

축광노면표시의 실내 및 현장 휘도 성능분석과 디지털이미지를 이용한 휘도분석 사전연구

Performance Analysis of Laboratory and Field Luminance for Phosphorescent Line Marking and Preliminary Study of Luminance Analysis Using Digital Images

김상태	Kim, Sang Tae	정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 연구위원 · 교신저자 (E-mail : stkim99@pec.kr)
이용문	Lee, Yong Mun	정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 선임연구원 (E-mail : leeym@pec.kr)
김흥래	Kim, Heung Rae	정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 부사장 (E-mail : hrkpro@pec.kr)
최기주	Choi, Kee Choo	정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 교수 (E-mail : keechoo@ajou.ac.kr)

ABSTRACT

OBJECTIVES : Visibility at night can be improved by using retroreflection for short distances and phosphorescent line markings for long distances. In this study, we analyzed the characteristics of the phosphorescent line marking through a laboratory luminance test. Field performance analysis was performed through tests conducted on the road. We also examined the luminance measurement methods using the digital image obtained during the phosphorescent visibility evaluation.

METHODS : In this study, the laboratory luminance test of the phosphorescent line marking was conducted using seven specimens to characterize the luminance changes according to the type of the glass beads, the thickness of the phosphorescent line marking, and the brightness and irradiation time of the light source. Phosphorescent and general line markings were made at 150 m to investigate the field luminance performance. A preliminary review of the luminance measurement methods was made using a digital image from a digital single-lens reflex (DSLR) camera. The measured luminance ratio of the general and the phosphorescent line markings was compared with the calculated luminance ratio using luminance analysis.

RESULTS : Through the laboratory luminance test, it was seen that the change in luminance, which corresponds to the brightness of the light source, appears large but the influence of the thickness and irradiation time is low. The field performance test of the phosphorescent line marking conducted on the road involved measuring the luminance on the day the marking was made and 7 days after the marking was made. The luminance was found to be 190 mcd/m² at 30 min after sunset and approximately 10-12 mcd/m²4h after sunset. The results of the luminance test were captured using a digital image for each time group. The luminance ratio of the phosphorescent line marking, when compared to that of the general line marking, showed a similar trend within a 13% maximum error. Additionally, when this luminance ratio is compared to the direct field measurement, it could be confirmed that the luminance ratio, as captured in the digital image, showed a similar tendency.

CONCLUSIONS : 1) The change in luminance corresponding to the brightness of the light source is significant in comparison with that corresponding to the thickness and the irradiation time. In addition, the results of the field test for the phosphorescent line marking satisfied the phosphorescent fire protection standard. 2) We examined the validity of the luminance measurement method using a digital image and we concluded that the change in the luminance ratio shows a similar tendency in both the cases. The results can form the basis for luminance measurement methodology for the construction and maintenance of phosphorescent line markings.

Keywords

Phosphorescent line marking, Luminance performance, Night visibility, Digital image, Luminance measurement

Corresponding Author : Kim, SangTae, Research Fellow
R&D Institute, PyungHwa Engineering Consultants LTD,
401, Doosan Venture Digm, 415, Heungan-daero, Dongan-gu,
Anyang-si, Gyeonggi-do, 14059, Korea
Tel : +82.31.420.7338 Fax : +82.31.420.7331
E-mail : stkim99@pec.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Jun. 28, 2016 Revised Nov. 23, 2016 Accepted Nov. 24, 2016

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

2012년부터 3년간 교통사고 통계자료를 보면, 야간교통사고 발생건수는 전체사고의 47.7%로 해마다 조금씩 감소는 되고 있지만 거의 절반에 미치는 수준이며, 더욱이 야간 교통사고 사망자 수는 전체 교통사고 사망자의 52.8%로 절반 이상을 차지하는 수준에 이르고 있다.

이러한 야간교통사고는 야간에 도로교통 시설물에 대한 시인성 악화로 도로의 상황 예측정보 제공량이 낮아져 운전자의 사전 인지반응이 늦어지기 때문이며, 최근 이러한 야간 시인성 확보문제는 사회적 이슈가 되고 있다.

노면표시의 야간 시인성은 자동차 전조등에서 나오는 빛을 글라스비드에 의해 재귀반사 함으로써 이루어지지만, 글라스비드에 의한 재귀반사는 전조등 거리에 따른 시인거리에 한계가 있고, 전조등 빛이 닿지 않는 구간인 굴곡이 심한 산지부 도로나 커브가 있는 회전구간에서 시인거리가 극히 제한될 수밖에 없다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 대안으로, 축광노면표시에 글라스비드를 살포하여 자동차 전조등이 비추는 근거리에서는 재귀반사를 통한 시인성을 확보하고, 원거리에서는 축광에 의한 시인성을 확보할 수 있는 축광노면표시 개발을 수행 중에 있다(Lee et al., 2015a).

본 연구의 선행연구로, 축광안료를 배합한 노면표시용 도로개발을 위한 최적배합비 설계 실험을 수행하고 축광노면표시 성능 및 시공 특성에 대한 예비분석을 수행하였으며(Lee et al., 2015b), 축광노면표시의 도로특성이 「KS M 6080」기준을 만족하는지에 대한 분석 검토를 수행하였다(Lee et al., 2016).

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 축광노면표시의 실내 휘도특성 분석과 공용도로 현장 휘도성능 및 야간 시인성 평가를 위한 디지털이미지를 이용한 휘도분석을 수행하였다.

첫째, 축광노면표시의 휘도특성 분석에서는 글라스비드 굴절률, 노면표시 두께, 광원 밝기, 광원 조사시간에 따른 휘도성능을 분석하였다.

둘째, 축광노면표시의 현장 성능시험을 통한 야간 시인성 평가를 위하여 공용도로 현장시험 시공을 수행하여, 시간경과에 따른 축광노면표시의 휘도특성을 분석하였다.

셋째, 디지털이미지를 이용한 휘도분석을 통하여 야

간 시인성 평가 방법론에 대한 가능성을 검토하였다.

2. 관련 문헌 고찰

2.1. 축광노면표시

물질 중의 전자가 에너지를 흡수하면 바닥상태에서 들뜬 상태로 이동하게 되고, 이렇게 들뜬 상태의 전자가 다시 안정한 상태의 바닥상태로 되돌아갈 때, 그 에너지 차이에 해당하는 빛을 방출하게 되는데 이러한 현상을 발광(Luminescence)이라고 한다. 이 때 빛을 에너지 원으로 하는 것을 광 발광(Photoluminescence)이라 하며, 발광과정에 따라 형광(Fluorescence)과 인광(Phosphorescence)으로 구분한다. 형광은 빛에 의한 에너지의 공급이 중단되면 바로 발광을 멈추게 되지만, 인광은 빛의 공급을 중단해도 계속해서 빛을 내는 것인데 이는 전자가 바로 바닥상태로 떨어지지 않고 서서히 떨어지기 때문이다. 이처럼 빛을 머금고 있다가 천천히 방출한다는 의미에서 축광이란 용어가 인광과 같은 의미로 쓰이고 있다.

따라서 형광은 빛이 있는 가운데 더 밝고 선명하게 보여주는 성질이 있으므로 그래픽과 인쇄, 광고와 장식, 신호와 안전표지, 섬유와 의상 등에 활용되고 있으며, 축광은 빛이 없는 어둠 속에서 장시간 발광하는 성질이 있어 지하공간이나 건물의 비상 시 피난유도선 및 피난 유도표지 등으로 활용되고 있다.

기존 노면표시용 도료는 유동성을 주는 전색제(수지, 용제), 도막에 색채를 부여하는 안료, 물성을 증진시키는 보조제로 구성되는데, 축광노면표시용 도료는 기존 도료의 안료를 축광특성을 가지는 축광안료로 교체 배합하여 축광기능 구현이 가능하다.

국내에서는 도로교통공단 교통과학연구원(2014)에서 축광물질을 이용하여 노면표시 및 안전표지 시작품을 개발하고, 기능 평가 및 활용을 위한 가능성을 검토하였다. 축광펠렛 형태와 축광비드 형태로 노면표시에 적용하였지만 상용화를 위해서는 야간 색도나 휘도개선과 시공방법에 대한 보완이 필요한 것으로 확인되었다. 도로교통연구원(2014)에서는 건축용으로 한정되어 사용되는 발광도료를 도로의 차선에 적용이 가능하도록 다양한 실내 실험을 통해 발광차선 시험체를 개발하고, 개발된 차선형 발광도료를 고속도로 노면과 벽면 상에 시험시공하였으나 재료적 성능기준 정립에는 한계성을 보였다.

해외 연구사례로는 네덜란드 Heijmans社의 발광노면표시 시스템 개발과 시험시공이 대표적이다. 가로등

이 없는 도로에도 적용할 수 있는 대안으로 시작된 발광 차선은 단순한 차선도색이 아니라 발광도료와 축전시스템을 일체화하는 방식으로 개발하였으며 시험시공을 통한 모니터링을 수행하여 보완·검토 중에 있다.

국내의 연구사례를 보면 축광재료를 노면표시에 활용하는 다양한 기술이 개발되고 있지만, 아직까지 축광의 성능면에서의 한계성을 극복하고 실용화에 이르기까지는 상당한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

2.2. 디지털이미지를 이용한 휘도측정기법

디지털이미지를 이용한 휘도 측정은 수집된 디지털 이미지의 각 픽셀의 RGB특성을 YCbCr방식으로 변환하여 휘도(luminance)를 측정하는 방식이다. RGB색상값에서 밝기성분(Y)과 색차정보(Cb, Cr)를 분리하는 방식으로, Y, Cb, Cr은 0~255사이의 값을 가지고, Y값이 커지면 밝아지고 Y가 작아지면 어두워진다. 다음의 변환식을 이용하여 RGB특성값을 적용하여 Y(휘도)값을 추출하게 된다.

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

디지털이미지를 이용한 휘도측정 관련연구는 다수의 연구가 수행되어 왔다. 이원수(2009)는 야간경관의 휘도정보를 쉽고 편리하게 얻고자 디지털이미지로부터 야간경관 휘도분석과 DSLR카메라의 면측정방식을 통한 휘도측정기법을 제안하였다. 염현주(2012)는 보정작업을 하지 않은 일반 DSLR로 LED조명기구를 촬영하여 Photolux프로그램을 통해 변환된 상대휘도값과 점휘도계로 측정된 절대휘도값 사이의 상관관계를 파악하고 각 R, G, B, W 소자별 적정 셔터속도를 분석하였다. 선은혜(2013)는 카메라 영상을 이용하여 면휘도계의 휴대성과 경제성의 단점을 보완하며 조명의 전체적인 측정 방법을 제안하였다. 최기주(2014)는 다양한 기상상황 및 기하구조 상에서 노면표시와 교통안내표지의 성능평가에 디지털이미지를 활용하는 방법론을 제시하였다. 지금까지의 대형장비를 이용하거나 육안에 의한 정성적 평가 대신 디지털이미지의 휘도분석을 통하여 노면표시와 교통안내표지를 활용할 수 있는 시간과 장소에 구애받지 않고 주행 중 정량적이고 객관적인 평가 가능한 방법을 제시하였다.

디지털이미지를 이용한 휘도측정 관련 연구는 다수 수행이 되고 있으나, 조명기구나 야간경관의 휘도측정이 주로 수행되고 있어 본 연구에서와 같이 축광과 같은

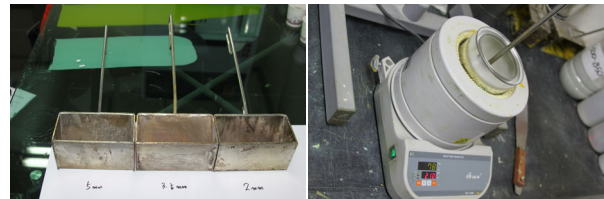
저휘도를 측정하기 위한 방법론에 대한 구체적인 검토는 미비한 것으로 판단된다.

3. 축광노면표시 실내 성능시험

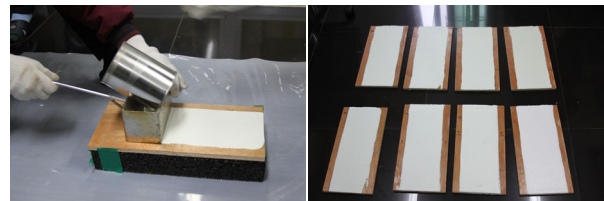
3.1. 휘도시험 개요

Table 1. Test Specimens of Phosphorescent Line Marking

	Case	Thickness	Glass beads
1	T2.0/G(1-1)	2.0 mm	1-1
2	T2.0/G(1-3)	2.0 mm	1-3
3	T2.0/G(2-1)	2.0 mm	2-1
4	T2.0/G(X)	2.0 mm	-
5	T3.5/G(X)	3.5 mm	-
6	T5.0/G(X)	5.0 mm	-
7	T2.0/Normal	2.0 mm	-



(a) Jig(2.0mm, 3.5mm, 5.0mm) (b) Blending Materials



(c) Painting Phosphorescent Line (d) Test Specimens

Fig. 1 Test Specimens of Phosphorescent Line Marking

축광노면표시는 기존 도료(4종 용착식)에 성능 및 경제성을 고려하여 축광안료를 40% 배합하여 제작하였다. 글라스비드 굴절률별 재귀반사도 및 휘도를 측정하기 위해 글라스비드는 1종 1호, 1종 3호, 2종 1호를 선정하였다. 또한, 노면표시 두께에 따른 휘도를 측정하기 위해서 제작한 지그를 통해 2.0mm, 3.5mm, 5.0mm로 축광노면표시의 두께를 조절하였다.

시편 제작은 200×400(mm) 크기의 나무판을 사용하였으며, 도료와의 접착성을 높이기 위해 미리 프라이머를 도포한 후 건조하여 사용하였다. 축광노면표시와의 비교를 위해서 4종 용착식 도료를 사용한 시편을 포함하여 총 7개의 시편을 제작하였다.

축광노면표시 시편의 휘도시험은 기존 노면표시 기준

상 측광에 대한 성능시험 기준이 없으므로 「측광표지의 성능인증 및 제품검사의 기술기준(2015년 개정)」을 준용하여 수행되었다. 상기 기준의 휘도시험에서는 측광 유도표지 및 측광위치표지의 표시면을 0lx 상태에서 1시간 이상 방치한 후 200lx 밝기의 광원으로 20분간 조사시킨 상태에서 다시 주위조도를 0lx로 하여 휘도시험을 실시하여 5분후 110, 10분후 50, 20분후 24, 60분후 7mcd/m² 휘도기준을 제시하고 있다.

3.2. 휘도시험결과

3.2.1. 글라스비드 굴절률에 따른 휘도시험

측광노면표시(두께 2.0mm)의 글라스비드 굴절률에 따른 휘도시험 결과, 측광노면표시 시편 모두 측광표지 관련 휘도기준을 만족하였다(Lee et al., 2016).

또한 글라스비드를 살포한 측광노면표시 시편의 휘도값이 글라스비드를 살포하지 않았을 때 보다 높은 것으로 나타났다. 글라스비드 1종 1호와 1종 3호를 살포한 측광노면표시 시편의 휘도값은 거의 동일한 수준이지만, 글라스비드 2종 1호를 살포한 시편의 휘도값은 글라스비드 1종 보다는 높게 측정되었다(Table 2).

Table 2. Luminance Test Results according to Refractive Index of Glass Beads

Case (mcd/m ²)	T2.0/G(X)	T2.0/G(1-1)	T2.0/G(1-3)	T2.0/G(2-1)	Standard
5 min	160	172	170	197	110
10 min	92	99	99	117	50
20 min	48	53	54	64	24
60 min	15	17	18	22	7

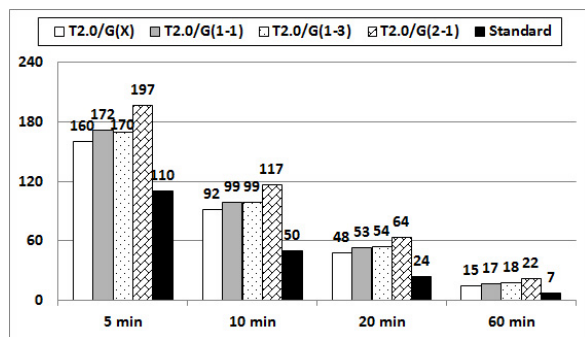


Fig. 2 Luminance Test Results according to Refractive Index of Glass Beads

이와 같이 측광노면표시에 글라스비드 살포 시 측광 성능이 개선됨을 확인하였고, 글라스비드 굴절률이 높아질수록 휘도 값 또한 증가하는 것을 알 수 있었다.

3.2.2. 두께에 따른 휘도시험

글라스비드를 살포하지 않은 측광노면표시 시편의 두께에 따른 휘도 시험 결과, 두께 3.5mm와 5.0mm의 측광노면표시 시편의 휘도값은 두께 2.0mm의 시편에 비해 높은 것으로 나타났다(Lee et al., 2016). 하지만 두께 3.5mm와 5.0mm의 측광노면표시 시편의 휘도는 거의 유사한 수준으로 나타났다(Table 3). 이는 측광노면표시의 두께가 두꺼워질수록 휘도가 증가하긴 하지만 일정 두께 이상으로는 성능이 포화상태가 되어 두께가 두꺼워져도 휘도가 높아지지 않는 것으로 판단된다.

Table 3. Luminance Test Results according to Thickness

Case(mcd/m ²)	T2.0/G(X)	T3.5/G(X)	T5.0/G(X)	Standard
5 min	160	168	166	110
10 min	92	97	96	50
20 min	48	52	52	24
60 min	15	16	17	7

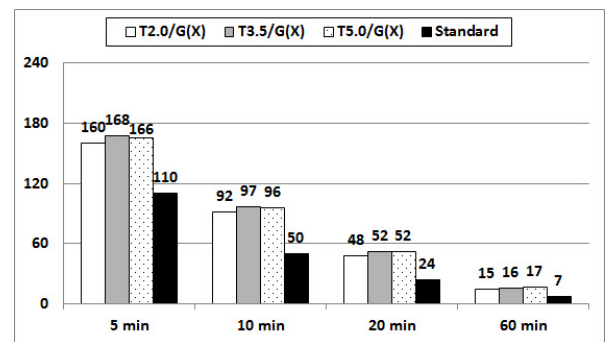


Fig. 3 Luminance Test Results according to Thickness

3.2.3. 광원 밝기에 따른 휘도시험

광원의 밝기에 따른 측광노면표시의 휘도특성 파악을 위해 광원을 200lx에서 13,000lx까지 변화시켜 가며 20분간 동일하게 조사시킨 후 휘도를 측정하였다. 광원은 흐린날 오후 5시경 일사광(13,000lx)과 실내 조명장치(200, 2000, 4000lx)를 이용하였으며, 참고로 일몰 후 실외 조도는 약 150~200lx로 측정되었다.

광원에 따른 휘도 시험 결과, 광원이 밝기가 클수록 측광노면표시의 휘도 값은 증가하였다. 글라스비드를 살포하지 않은 측광노면표시의 경우, 광원 200lx 대비 광원 13,000lx의 휘도는 약 2배 정도 증가하였으며, 한 시간 후의 휘도는 25mcd/m²로 측정되었다. 한편, 글라스비드를 살포한 측광노면표시의 휘도값이 글라스비드를 살포하지 않은 측광노면표시의 휘도값보다 다소 크게 나타났으나 광원 13,000lx 한 시간 후의 휘도는 30mcd/m² 수준이었다.

Table 4. Luminance Test Results according to Brightness of Light Source

mcd/m ² Time	T2.0/G(X)				T2.0/G(2-1)			
	200lx	2,000lx	4,000lx	13,000lx	200lx	2,000lx	4,000lx	13,000lx
5 min	160	304	323	390	197	363	386	450
10 min	92	156	159	202	117	184	201	230
20 min	48	78	81	101	64	92	102	115
60 min	15	23	25	30	22	28	30	30

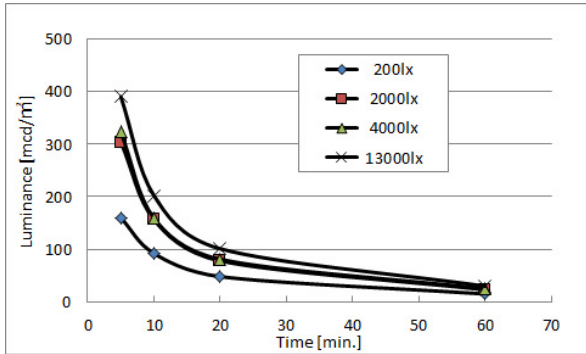


Fig. 4 Luminance Test Results according to Brightness of Light Source

3.2.4. 광원 조사시간에 따른 휘도시험

동일한 광원인 4,000lx 밝기에서 조사시간을 20분에서 120분까지 변화시켜 조사시킨 후 휘도를 측정하였다.

Table 5. Luminance Test Results according to Irradiation Time of Light Source

Irrad. Time	T2.0/G(X)			T2.0/G(2-1)		
	20 min.	60 min.	120 min.	20 min.	60 min.	120 min.
5 min	323	338	329	386	408	414
10 min	159	168	170	201	197	204
20 min	81	78	83	102	96	99
60 min	25	25	25	30	29	30

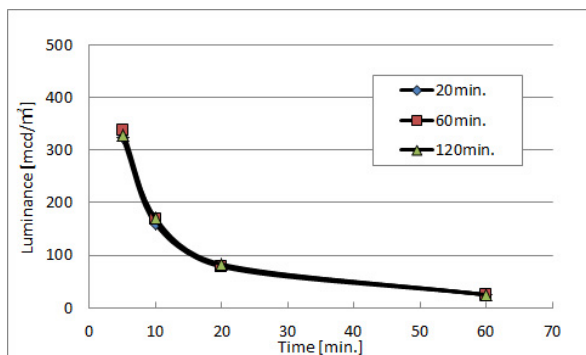


Fig. 5 Luminance Test Results according to Irradiation Time of Light Source

조사시간에 따른 휘도 시험 결과, 조사시간에 따른 축광노면표시의 휘도 값 차이는 미미한 것으로 나타났다.

따라서, 축광노면표시의 축광특성은 광원의 조사시간 보다는 광원의 밝기에 훨씬 더 민감한 것으로 판단된다.

한편, 글라스비드를 살포한 축광노면표시의 휘도 값이 글라스비드를 살포하지 않은 축광노면표시의 휘도 값보다 다소 크게 나타났으며 조사시간에 따른 휘도 특성은 동일한 결과를 나타내었다.

4. 축광노면표시 현장시험 및 시인성분석

4.1. 현장시험개요

본 연구에서 개발한 축광노면표시를 공용도로에 시공하여 현장 성능시험을 수행하였다. 시험시공은 경기도 평택시 고덕면 해창리 문화마을길에 일반 융착식 차선과 KS규격(KS M6080)을 만족하는 축광차선을 도로 가장자리에 150m씩 시공하였다(Fig. 6).



Fig. 6 Test Construction Site

시험시공 직후 재귀반사 휘도계(LTX-XL DELTA사)를 이용하여 재귀반사도를 측정하였으며, 자연광 조사 3시간 뒤 일몰 후 부터 30분 간격으로 융착식 차선과 축광차선의 휘도변화를 점휘도계(LS-100, KONICA MINOLTA사)를 이용하여 측정하였다.

또한, 시공 일주일 후 일사광을 하루종일 조사하고 일몰 후 부터 동일한 측정방법으로 휘도변화를 측정하였다. 휘도측정은 노면표시상에서 1m 높이에서 점휘도계를 이용하여 측정하고 매회 측정 시 동일한 세 지점에서 세 번씩 측정한 평균값을 Table 6에 정리하였다.

Table 6. Luminance Test Results of the General and Phosphorescent Line Marking

Time [min]	3hrs. after marking			7days after marking		
	General	Phosphorescent	Ratio	General	Phosphorescent	Ratio
0	71,390.0	79,460.0	1.11	8201.0	14380.0	1.75
30	121.0	188.7	1.56	97.7	188.0	1.92
60	8.7	35.0	4.02	10.0	31.0	3.10
90	6.0	23.3	3.88	8.0	25.0	3.13
120	6.3	19.7	3.13	9.0	19.0	2.11
150	5.7	16.0	2.81	7.0	15.0	2.14
180	5.7	14.0	2.46	8.0	14.0	1.75
240	5.3	10.0	1.89	7.3	12.0	1.64

4.2. 현장시험 결과

시공 직후 용착식 차선과 축광 차선의 재귀반사도 측정결과는 경찰청 재귀반사 기준인 240mcd/(m²·lux)를 모두 만족하였으며, 축광 차선의 재귀반사도가 일반 용착식 차선의 재귀반사도보다 높은 것으로 나타났다.

휘도측정 결과는, 전체적으로 축광 차선의 휘도가 용착식 차선보다 높은 것으로 나타났으며, 일몰 1시간 후에 축광 차선의 휘도가 급격하게 감소하고 그 이후로는 서서히 휘도가 감소하는 동일한 경향을 나타내었다.

또한, 시공 당일과 시공 일주일 후에 휘도는 비슷한 수준으로 나타났으며, 조사시간에 따른 휘도 차이는 미미한 것으로 판단된다. 일몰 30분 후 측정된 축광 차선의 휘도는 약 190mcd/m²로, 1시간 후 30, 2시간 후 20, 3시간 후 14, 4시간 후는 10~12를 나타내었다(Fig. 7).

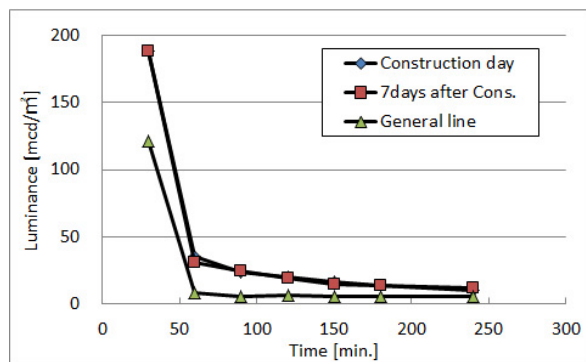


Fig. 7 Luminance Test Results of the General and Phosphorescent Line Marking

한편, 시공 당일과 시공 일주일 후의 기존 용착식 노면표시 대비 축광노면표시의 휘도비를 비교하였다. 기존 노면표시의 휘도는 일몰후 급격히 감소되는 반면 축광식 노면표시의 휘도는 상대적으로 서서히 감소되면서 휘도비는 약 1~2시간대에 큰 값을 나타내고 있으며, 이러한 경향은 시공 당일과 시공 일주일 후 모두 유사하였다(Fig. 8).

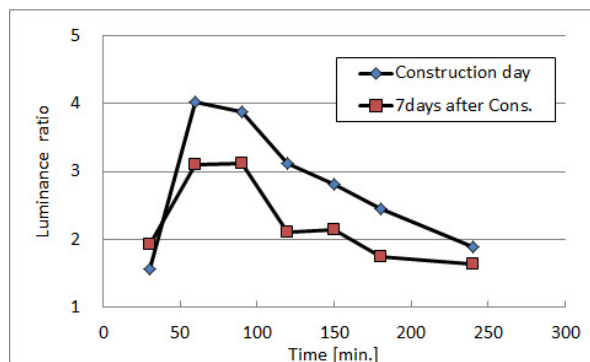


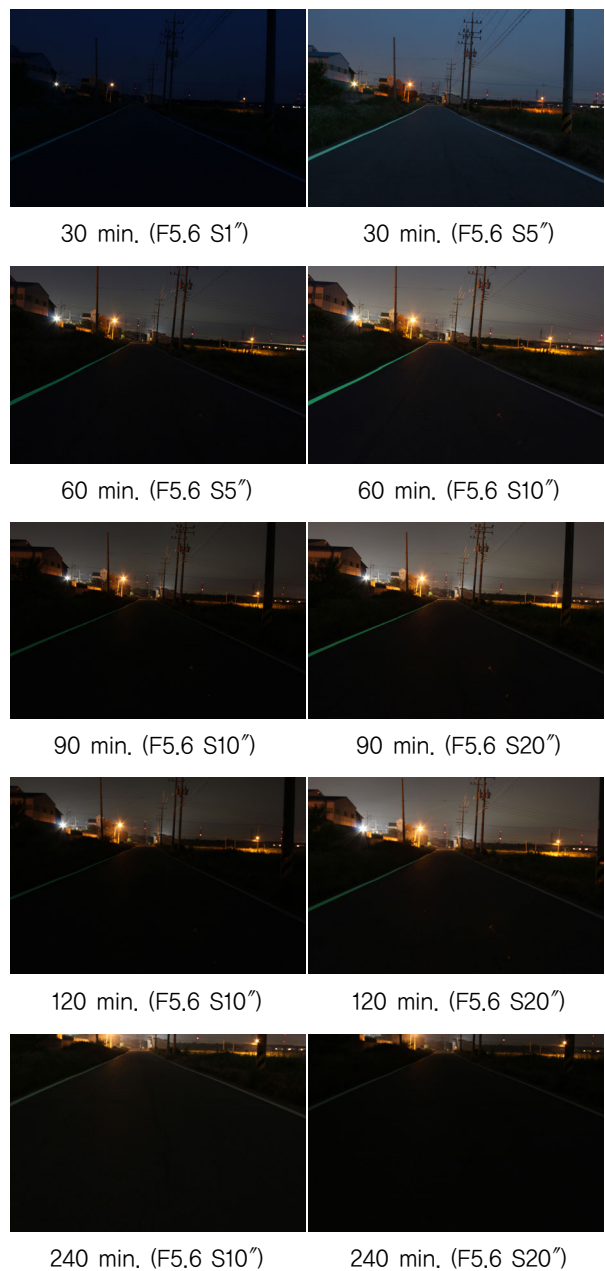
Fig. 8 Luminance Ratio between Construction Day and 7Days after Cons.

4.3. 디지털이미지를 이용한 휘도분석

기존 용착식 노면표시와 축광노면표시의 휘도변화를 파악하기 위하여 점휘도계를 이용한 휘도측정과 더불어 디지털이미지를 이용한 휘도분석도 수행하였다. 점휘도계를 이용한 휘도측정과 축광과 같은 저휘도의 면 휘도 측정 방법론 적용가능성을 검토하여 향후 축광노면표시의 시공 및 유지관리를 위한 간이 휘도측정 방법론 제시를 위한 사전연구를 수행하였다.

본 연구에서는 Canon EOS 500D DSLR을 사용하여 일몰후 부터 자정까지 시간대별로 촬영한 이미지를 휘도

Table 7. Visibility Change of Phosphorescent Line Marking(Left) & General Line(Right) between Short and Long Exposure Time



분석에 이용하였다. 동일 지점에서 수동방식으로 조리개(F)는 5.6으로 일정하게 유지하고, 노출시간을 두 가지 그룹(주로 10초와 20초)으로 설정하여 촬영하였다.

축광 시인성평가를 위해서는 부족한 광원 하에서 디지털이미지를 촬영하게 되고, 이를 위해서는 주변 광량에 따라 노출시간을 길게 설정해야 촬영이 가능하게 된다. 이렇게 노출시간을 달리한 휘도분석 값이 실제 측정된 휘도 값들과 어떤 관계가 있는지를 분석하여 디지털 이미지를 이용한 휘도분석 방법론의 타당성을 검토하고자 하였다. 상세한 촬영정보는 Table 7에 수록하였다.

촬영한 디지털이미지 상에서 노면포장, 융착식 노면표시, 축광노면표시 영역의 임의의 5개 지점에서 RGB 값을 추출하고(Fig. 9), 추출된 RGB값에서 Eq. (1)를 이용하여 밝기성분인 휘도값(Luminance value)으로 변환하여 평균휘도값을 산출하여 Table 8에 정리하였다.

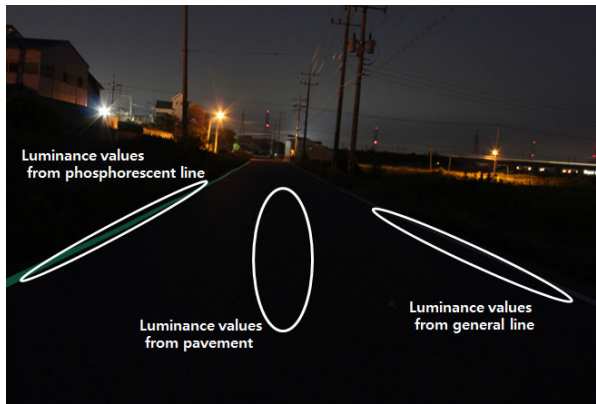


Fig. 9 Luminance Value Calculated from Phosphorescent Line, Pavement and General Line

Table 8. Calculated Luminance Value and Luminance Value Ratio of Two Groups (Short and Long Exposure Time)

Time [min.]	Group A (Short exposure)				Group B (Long exposure)				Error rate (B/A)
	Pavement(a)	General (b)	Phosphorescent(c)	Ratio (c/b)	Pavement(a)	General (b)	Phosphorescent(c)	Ratio (c/b)	
0	89	179	195	1.09	89	179	195	1.09	0.0%
30	4	13	25	1.92	23	61	102	1.67	13.0%
60	7	19	52	2.74	13	40	96	2.40	12.3%
90	4	14	34	2.43	9	24	60	2.50	2.9%
120	4	11	26	2.36	8	23	50	2.17	8.0%
240	6	17	24	1.41	12	32	47	1.47	4.0%

각 시간대별 융착식 일반노면표시 대비 축광노면표시의 휘도비는 최대 약 13%의 오차율 범위 내에서 유사한 휘도비를 나타내었다.

또한 현장에서 직접 측정한 휘도비와 비교하여 볼 때

분석한 휘도비와 유사한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 10). 따라서 야간 시인성 평가 시 특히, 축광의 휘도 성능평가를 위한 광량이 상당히 부족한 경우이라도 노출시간을 길게 하여 촬영한다면 디지털 이미지를 이용한 휘도측정은 가능할 것으로 판단된다.

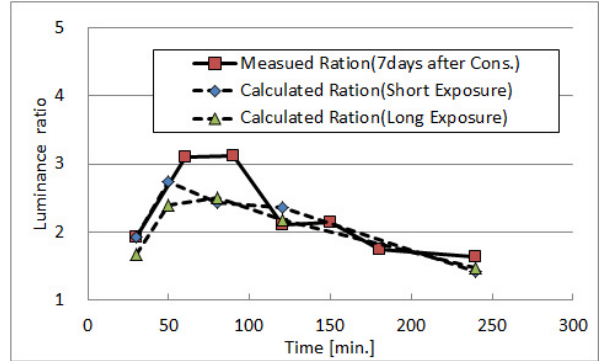


Fig. 10 Comparison of Measured Luminance Ratio and Calculated Luminance Value Ratio

5. 결론

본 연구에서는 축광안료를 배합하여 도로 노면표시 도로 품질기준에 부합되는 축광노면표시를 개발하는 과정에서 축광노면표시의 실내 휘도시험을 통한 축광특성 분석과 공용도로 시험시공을 통한 축광노면표시의 현장 성능시험을 수행하였다. 또한 축광 시인성 평가를 위해서 디지털 이미지를 이용한 휘도측정 방법론을 검토하였다. 본 연구를 수행하며 도출한 결론은 다음과 같다.

1. 노면표시 흰색 색도기준을 만족하는 축광노면표시는 축광표지의 휘도기준($7\text{mcd}/\text{m}^2$)을 만족하였으며, 글라스비드를 살포한 시편이 살포하지 않은 시편보다 휘도가 높게 나타났다.
2. 축광노면표시의 두께가 2mm보다 두꺼울수록 휘도는 다소 높게 나타나지만, 발광 1시간 후 두께 5mm 시편과의 휘도차이는 거의 없는 것으로 판단된다.
3. 광원 밝기에 따른 휘도는 광원의 밝기가 클수록 축광노면표시의 휘도는 높게 나타났으며, 광원 200lx 대비 광원 13,000lx의 휘도는 약 2배 정도 증가하였다. 하지만, 광원 조사시간에 따른 휘도는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.
4. 축광노면표시의 현장 성능시험을 위해 공용도로에 시험시공을 하였으며, 시공 당일과 시공 일주일 후 휘도는 일몰 30분 후 약 190, 1시간 후 30, 4시간 후 $10\sim 12\text{mcd}/\text{m}^2$ 를 나타내었다.

5. 노출시간이 다른 그룹간의 디지털이미지를 이용하여 휘도분석한 결과, 시간대별 용착식노면표시 대비 축광노면표시의 휘도비는 최대오차 13% 내에서 유사한 경향을 나타내었으며, 현장에서 직접 측정한 휘도비와 비교하여 볼 때 분석한 휘도비와 유사한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 디지털이미지를 이용한 휘도측정 방법론의 타당성을 검토한 것으로, 향후 축광노면표시의 시공 및 유지관리를 위한 휘도 측정 방법론 제시에 기초가 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 축광노면표시의 실내시험 및 현장시험을 통하여 휘도성능을 검토하였으며, 또한 내마모도시험을 통한 재귀반사 성능이 KS 기준에 만족하는지를 확인하였으나, 휘도성능의 내구성에 대한 검토는 미비한 상황이다. 향후에는 축광노면표시의 내마모도시험을 통한 휘도성능 분석을 통하여 내구성을 검토하고 축광노면표시의 차선재료로서의 적용 가능성을 보완하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(15CTAP-C078004-02)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Choi, K.C., Lee, S.H., Yun, I.S., and Yi, Y.G. (2014), "A Methodology Development for Estimating the Retroreflectivity of Pavement Markings and Traffic Guide Signs Using Digital Images", *Journal of KSCE*, Vol. 34, No. 1, pp.185-194.

KoRoad (2014), Traffic safety signs development and utilization test study using a phosphorescent material.

Korea Expressway Corporation Research Institute (2014). A Study on the Application of Luminescent Lanes of Expressway, 2014 Research report.

Lee, Y.M., Kim, H.R., and Kim, S.T. (2015a). "A Study on the Application of Glow Line Marking Technology Development for Reducing Traffic Accidents at Nighttime", *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 17, No. 3, pp.59-68.

Lee, Y.M., Kim, S.T., and Kim, H.R.(2015b). "Determination of Optimal Mixing Ratio of Phosphorescent Pigment to Develop Phosphorescent Paint for Road Line Marking", *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 17, No. 5, pp.67-73.

Lee, Y.M., Kim, S.T., Jeong, W.S., and Kim, H.R. (2016). "A Study for the Night Visibility Evaluation of Phosphorescent Line Marking", *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 18, No. 4 (In press) .

Lee, W.S. and Chung, K.W. (2009). "A Study on luminance Measurement Method of Lightscape using DSLR", *Journal of KIIEE*, Vol. 23, No. 2, pp.10-17.

Sun, E.H., Jeong D.H. and Kim, Y.T. (2013). "A Study on Luminance Measurement Method using images of DSLR camera", *Conference on Information and Control System*. Vol. 2013, No. 10, pp.16-17.

Youm, H.J., Kim, I.T., and Choi, A.S. (2012). "A Study on Luminance Analysis of LED Luminaire using DSLR", *Proceedings of KLES Conference 2012*.