

## 야간 악천후 시 발광형 차선 시인성 평가

박원일<sup>1,2</sup>, 김용석<sup>2</sup>, 박기수<sup>2,3</sup>, 이석기<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 건설환경공학부, <sup>2</sup>한국건설기술연구원 도로교통연구본부, <sup>3</sup>과학기술연합대학원대학교 건설환경공학부

### Visibility Evaluation of Luminescent Lane in case of Adverse Weather at Nighttime

Wonil Park<sup>1,2</sup>, Yongseok Kim<sup>2</sup>, Kisoo Park<sup>2,3</sup>, Sukki Lee<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Environmental Engineering, Seoul National University

<sup>2</sup>Department of Highway&Transportation Research,

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

<sup>3</sup>Civil & Environmental Engineering, University of Science & Technology

**요약** 야간 악천후의 도로 환경은 운전자가 안전한 주행환경을 유지하기에 많은 시각적 제약이 있다. 특히, 주행 차선의 시인성이 저하되면 차량이 차로를 이탈하고 교통사고가 발생하기도 한다. 일반적으로 차선에 유리알 비드(Bead)를 살포한 후 재귀반사 효과를 통해 차선의 시인성을 확보하고 있으나, 야간 및 악천후 시에는 효과가 적고 일정 시간이 경과하면 그 성능은 급격하게 저하된다. 따라서, 국내외에서는 야간 악천후 시 차선의 시인성을 확보하기 위해 발광형 차선을 개발하고 있다. 그러나 이에 대한 검증은 부족한 실정이며 특히, 운전자에게 가장 위험한 환경인 야간 악천후 환경에서의 성능 검증은 거의 전무하다. 따라서, 본 연구에서는 실규모의 야간 악천후 환경을 구현하고 다양한 외부 조명 조건에서 일반 차선 대비 발광형 차선의 성능을 휘도 값 비교를 통해 검증 하였다. 그 결과로 백색차선과 발광형 차선의 휘도 차이는 최대  $4.65\text{cd/m}^2$ 를 보였다. 또한, 발광형 차선은 백색차선 대비 악천후 시 휘도 감소율이 낮았으며, 외부조명이 전혀 없는 경우에도 일정 휘도 값을 보여 종합적으로 야간 악천후 시 백색차선 대비 높은 휘도 성능을 보였다.

**Abstract** Driving at nighttime is a difficult task for drivers mainly due to visual restrictions. In particular, higher accident risk at nighttime compared to daytime explains this difficulty. Especially, a lowered visibility of pavement markings leads to run-off-the road accidents. A conventional pavement marking utilizing a glass bead with the retro-reflecting mechanism has been widely used in practice. However, the loss of a considerable portion of glass beads with time diminishes the visibility dramatically leading to serious problems. Recently, luminescent lane marking has been under development to overcome the problems associated with glass bead markings by fertilizing the physical property of the luminescent. However, the validation of visibility robustness of a luminescent lane under adverse weather conditions needs to be performed to derive its superiority over conventional markings. To this end, this study simulated real scale weather proving ground and tested the performance of a luminescent lane by measuring the luminance. The results suggested that the luminance difference between conventional and luminescent markings was  $4.65\text{cd/m}^2$ . In addition, luminescent markings showed higher performance in terms of reduction rate due to adverse weather. Under worst-case scenarios such as roads without lightings and vehicle headlights, luminescent markings provided higher luminance than pavement. Moreover, no difference was observed between conventional lane marking and a pavement background. It means that the safety margin was attained in the luminescent marking condition even under worst-case road-illuminated conditions.

**Keywords** : Luminescent Lane, Road Lane, Road Marking, Adverse Weather Road, Real Scale Test

본 논문은 국토교통부 / 국토교통과학기술진흥원 국가연구개발사업의 지원으로 수행되었음.

(과제번호 : 21POQW-B155189-03, 과제명 : 외부자금 감응형 자체 발광형 도로 노면표시 기술 개발)

\*Corresponding Author : Sukki Lee(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: oksk@kict.re.kr

Received October 20, 2021

Accepted December 6, 2021

Revised November 30, 2021

Published December 31, 2021

## 1. 서론

야간, 우천, 안개와 같은 도로 악조건 상황은 도로를 주행하는 운전자가 안전하게 주행을 하는데 시각적 제약을 주어 교통사고를 유발한다.

도로교통공단에서 제시한 교통사고 통계분석에 따르면, 2020년 기준으로 맑은 날 치사율이 1.4명/100건 인 것에 비해 우천 시에는 2.0명/100건, 안개 시에는 4.8명/100건에 달하여 정상 대비 기상 악천후 시 사고 치사율이 높음을 시사하고 있다. 시간대별 교통사고는 야간에 해당하는 18시~20시에 사고건수가 14.2%, 사망자가 11.6%로 가장 많았다[1].

야간 및 악천후 시 교통사고 발생 원인은 다양하나 시인성 악화로 인해 운전자의 시각적 정보 수집이나 해석에 제약을 주는 점이 가장 큰 이유 중 하나로 볼 수 있다. 이러한 시인성 문제는 도로의 주행차로를 구분하면서 교통안전 운행을 지원하는 차선표시 부분에서 사회적 이슈가 되고 있다[2].

야간에 기상악화로 인해 주행차선에 대한 시인성이 떨어지면 주행 안전성이 저하되고 원활한 교통흐름의 균형이 어긋나 차대차 사고 또는 주행차선 이탈사고와 같은 교통사고를 유발시키게 됨으로써 교통성이 저하될 수도 있다[3]. 이러한 실정에도 불구하고 야간 악천후 시 차선 시인성을 높이기 위한 연구는 미진하고, 특별한 해결책이 부재하여 차량 전조등의 재귀반사 효과를 극대화 시키는 비드(Bead) 적용에 의존하고 있는 상황이다. 그러나 비드의 경우는 전조등의 범위를 벗어나는 곳에서는 재귀반사가 이루어지지 않아 시인거리 확보에 한계가 있고, 노후화된 차선의 경우에는 비드의 마모와 탈리로 인해 효율이 감소해 시인성이 크게 감소하는 문제 등을 야기하고 있다.

이러한 문제를 해소하기 위해 국내외에서는 발광형 차선 기술이 지속적으로 개발 되고 있다. 발광형 차선은 차량 전조등, 도로조명 유무에 상관없이 자체적으로 발광하여 차선으로써 야간 및 악천후 시 도로 선행 시인성 확보가 가능하고 동시에 야간 도로조명의 설치 및 운영비를 줄일 수 있는 효과가 있다[4]. 발광형 차선은 실내 실험, 현장 시공 등을 통해 그 성능이 연구된 바가 있다. 그러나, 운전자에게 가장 위험할 수 있는 환경인 야간 악천후 도로 상황에서는 재현의 어려움으로 인해 그 성능을 입증한 바는 국제적으로 거의 전무하다.

따라서, 본 연구에서는 실제 도로 환경에서 발광형 차선을 설치하고, 실 도로 규모의 강우와 안개를 구현해 일

반 차선과의 성능을 비교 하여 악천후 시 발광형 차선의 실효성을 검증하였다.

## 2. 선행연구 고찰

### 2.1 차선 시인성 확보의 중요성

악천후 시 제 기능을 하지 못하는 비드 적용 차선을 대신하여, 고기능 차선을 설치해, 설치 전·후 비교를 통해 41.7%의 사고 감소효과가 있음을 제시한 연구결과가 있으며[2], 미국의 경우 아이와주의 3년 자료를 통해 노면 표시의 재귀반사도와 사고 발생률간의 상관관계를 분석한 연구에서는 2차로 도로와 고속도로의 차선이 재귀반사도가 높을수록 발생률이 낮아지는 연구 결과를 보였다[5].

### 2.2 기존 차선 기술의 한계점

야간 악천후 시 차선의 시인성 확보를 위해 차선에 고 굴절의 비드를 적용하는 등의 기술이 개발 되고 있다. 그럼에도 불구하고 사실상 악천후 시 기존의 차선들은 안전한 시인거리를 확보하지 못한다. 그 예로 실증 실험을 통해 비드 적용 페인트 차선, 표지병, 공사구간 임시 차선 등의 시인거리가 정상조건 대비 강우조건에서는 평균 50.1%, 안개 조건에서는 46.8%가 저하 되는 것을 규명한 연구 결과가 있다[6]. 더욱이, 비드를 포설한 차선은 시공 후 일정기간이 경과한 후에는 교통량, 날씨 등의 영향을 받아 마모와 탈리 등으로 인해 품질이 급격하게 저하되고, 이로 인해 야간 교통사고의 빈도가 커진다[7,8]. 따라서, 차선의 시인성 저하 현상은 설치 후 시간이 경과할수록 더욱 심해지게 된다.

### 2.3 발광형 차선 연구 동향

국내에서는 비드를 대체하기 위해, 축광 캡슐을 도로와 함께 사용하는 발광형 차선을 비롯해 여러 실내실험을 통한, 발광형 차선 시험체가 개발되고, 고속도로 상에 시험 시공 되고 있으나 다양한 실험이 추가적으로 진행되어야 할 필요성이 언급되고 있다[3].

네덜란드 Heijmans社は 축광과 축전이 가능한 발광형 차선 시스템을 구성하였다. 발광 차선의 시인성, 마모성, 내염성 등이 성능기준 이상으로 발휘하고 있다고 보고 된 바 있다[9].

## 2.4 시사점

기존 비드를 살포하여 재귀반사도를 확보해 차선 시인성을 확보하는 방식은 악천후 시 운전자 시인거리가 많이 줄어들고, 일정 기간 경과 시 그 성능이 급격하게 저하되는 등 한계점을 가지고 있다.

발광형 차선이 국내외에서 개발되고 실제 일부 도로에서 적용되고 있으나, 이에 대한 성능검증은 부족한 실정이며 특히 실규모 악천후 상황에서 그 성능을 검증화 하고 정량화한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 실제 도로 환경에서 발광형 노면표시를 설치하고, 실 도로 규모의 강우와 안개를 구현해 일반 노면표시와의 성능을 비교 하여 악천후 시 발광형 차선의 실효성을 검증할 필요성이 높다.

## 3. 실험 방법

### 3.1 실 규모 기상재현 실증 실험장

실제 도로와 동일한 환경 모사를 위해 Fig. 1과 같이 한국건설기술연구원 연천SOC실증연구센터에 실험장을 조성하였다. 센터 내 위치한 200m 구간의 터널은 월광 및 건물조명 등 외부 조도의 영향을 받지 않도록 통제된 조건에서 실험 수행이 가능하다.



Fig. 1. Adverse Weather Proving Ground: Yeoncheon SOC Research Center

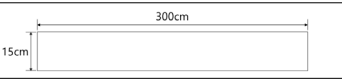
### 3.2 차선 조건

설치 초기 상태의 성능을 평가하기 위하여, 시험 구간 내에 실제 도로에서 일반적으로 사용되고 있는 KS M 6080 5종 규격의 상온경화형 acrylic 계열의 바인더가 적용된 백색차선을 새롭게 설치하고, 완전 건조 후 발광형 차선을 도포하였다[10]. 발광형 차선에 적용된 발광체는 고효율 발광 및 장잔광 특성을 갖는 SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>계 발광

체를 적용하였으며, 입도 약 70 $\mu$ m, 흡수파장 365nm, 발광파장 525nm의 특징을 갖는다.

본 실험에 활용된 발광형 차선은 백색차선 표면의 일부 영역에 도포하여, 주간에는 백색차선의 역할을 하고 야간에는 발광형 차선의 역할을 하는 방식이다. 본 실험에서 사용된 발광형 차선의 유형은 편측 3cm, 편측 5cm의 두 종류를 선정하였다. 즉, 본 연구 실험시료는 Table 1과 같이 크게 일반 백색차선, 편측 3cm 발광형 차선, 편측 5cm 발광형 차선으로 구분할 수 있다. 편측 도포는 기존차선을 보조하는 측면에서의 활용성을 평가하기 위한 목적으로 설치하였다.

Table 1. Installation status by lane type

| Lane type                          | Installation status                                                                                                                                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| White lane                         |       |
| Luminescent lane (3cm on one side) |    |
| Luminescent lane (5cm on one side) |   |

### 3.3 악천후 기상 조건 구현

연천SOC실증센터는 실제 도로에서 겪을 수 있는 다양한 강도의 강우와 안개를 구현할 수 있다. 강우나 안개의 정도가 심할수록 악조건의 도로이며, 운전자에게 어려운 시 환경을 조성한다. 본 연구에서는 보다 열악한 상황에서의 평가를 위해 일반적인 악천후보다 악조건의 환경을 조성하였다.

안개조건의 경우 안개 시정거리 분류 중 가장 짙은 농도인(Dense Fog)에 시정거리 40m 이하의 안개를 Fig. 2와 같이 조성하였다[11].



Fig. 2. Foggy weather conditions in the test section

강우조건인 경우 국립기상과학원에서 제시한 국내 평균 강수강도 15.7mm/h의 약 2배에 해당하는 30mm/h의 환경을 Fig. 3과 같이 조성하였다[12].



Fig. 3. Rainfall weather conditions in the test section

### 3.4 도로조명 및 전조등 조건 조성

실제 도로에서는 도로조명이 설치되어 있지 않은 경우가 상대적으로 많으며, 전조등 또한 고장 등으로 인해 작동하지 않는 경우가 있을 수 있다. 이에 본 실험에서는 다양한 야간 도로환경을 반영하기 위해 도로조명과 차량 전조등의 점등/소등에 따른 성능을 평가하였다. 실제 야간 도로와 유사한 환경을 조성하기 위해 KS A 3701 규격의 도로조명등급을 만족하는 지주식 조명과 실제 도로상 주행되고 있는 일반 승용차의 전조등을 사용하였다[13].

### 3.5 휘도 측정 방법

우리나라에서는 차선의 설치 및 성능 평가에 관한 사항을 경찰청「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」에서 규정하고 있다[14]. 일반적으로 차선의 성능은 재귀반사도를 정량화하여 평가한다. 재귀반사는 차량의 전조등에서 조

사된 빛이 차선의 비드 등에 의해 반사되어 다시 운전자에게 돌아온 빛을 의미한다. 그러나 발광형 차선의 경우 외부 광원이 없어도 자체적으로 발광하므로 재귀반사로 그 성능을 측정하는 것은 적합하지 않을 수 있다. 발광형 차선의 경우 성능 측정방법이 규정되어있지 않다. 따라서 도로조명, 도로전광표지 등 자체적으로 빛을 방출하는 대상물의 성능을 측정하는 성능지표인 휘도를 통해 그 성능을 측정하였다. 특히, 본 연구에서는 발광형 차선 자체의 발광 성능을 평가하기 위해 Fig. 4와 같이 차선 위 수직의 위치에서 휘도를 측정하였다. 휘도 측정은 동영상 휘도계인 ELF-SYSTEM을 사용하였다.

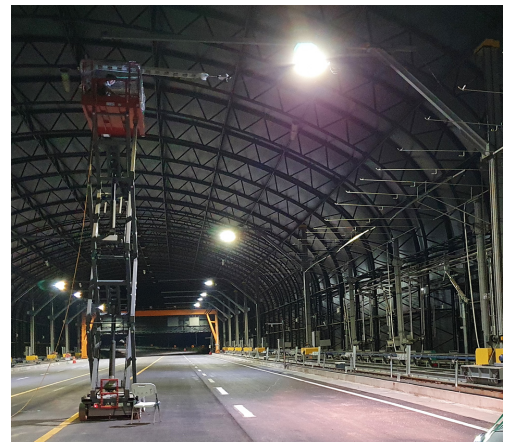


Fig. 4. Luminance measurement method in the test section (height 8.5m)

Fig. 5는 휘도 측정 결과(프로그램 결과화면) 예시이다. 분석 영역은 차선 전체로 설정하여 차선 전체 영역의 평균 휘도 값을 측정하였다.

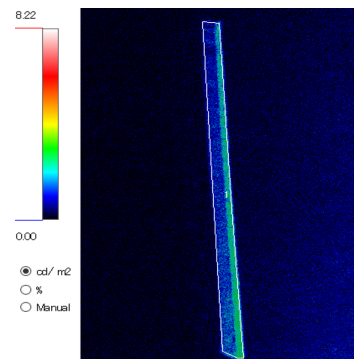


Fig. 5. Luminance analysis method of road marking

Table 2. Luminance distribution by weather conditions with headlight and pole light

| Weather conditions                         | Luminance distribution |                                    |                                    |
|--------------------------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                                            | White lane             | Luminescent lane (3cm on one side) | Luminescent lane (5cm on one side) |
| Normal                                     |                        |                                    |                                    |
| Foggy<br>(Meterological distance<br>≤ 40m) |                        |                                    |                                    |
| Rainfall<br>(Rain Intensity:<br>30 mm/h)   |                        |                                    |                                    |

## 4. 측정결과

### 4.1 도로조명 및 전조등 점등 시 비교

차량의 전조등과 도로조명이 모두 점등되어 있는 도로 환경에서의 기상조건 별 일반 백색차선과 발광형차선의 차선의 휘도 분포는 Table 2와 같다. 휘도분포를 통해 발광형 차선 부분이 눈에 띄게 다른 휘도분포를 보이는 것을 확인 할 수 있다. 휘도 측정 결과 값은 Fig. 6, Table 3과 같다.

Table 3. Luminance by weather conditions with headlight and pole light

| Lane type                          | Weather conditions | Luminance (cd/m <sup>2</sup> ) | Rate (% Compare with normal) |
|------------------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------|
| White lane                         | Normal             | 19.66                          | -                            |
|                                    | Foggy              | 8.76                           | -55.3                        |
|                                    | Rainfall           | 8.48                           | -56.9                        |
| Luminescent lane (3cm on one side) | Normal             | 23.73                          | -                            |
|                                    | Foggy              | 13.19                          | -44.4                        |
|                                    | Rainfall           | 20.31                          | -14.4                        |
| Luminescent lane (5cm on one side) | Normal             | 24.31                          | -                            |
|                                    | Foggy              | 12.35                          | -49.2                        |
|                                    | Rainfall           | 19.36                          | -20.4                        |

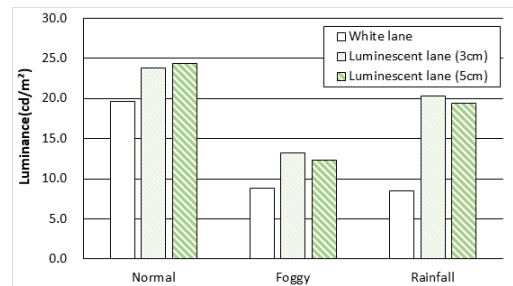
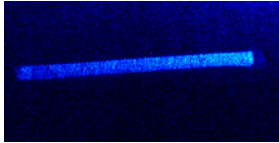
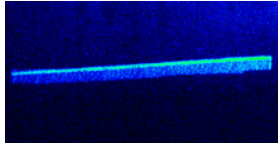
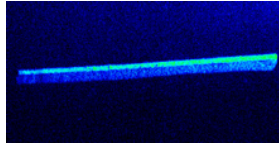
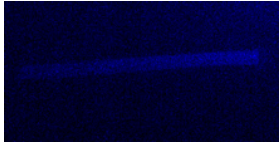
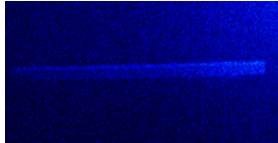
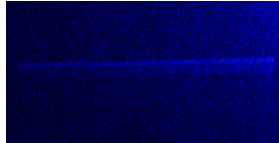
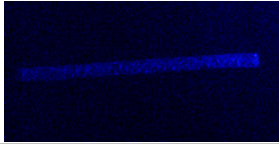
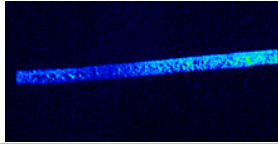
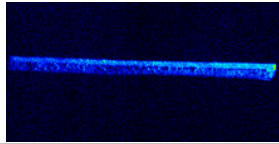


Fig. 6. Luminance measurement results by weather conditions with headlight and pole light

정상기상에서 일반 백색차선의 휘도는 19.66cd/m<sup>2</sup>, 편측 3cm 발광형 차선의 휘도는 23.73cd/m<sup>2</sup>, 편측 5cm 발광형 차선의 휘도는 24.31cd/m<sup>2</sup>로 발광형 차선의 영역이 많아질수록 높은 휘도를 보이는 것으로 나타났다. 안개 및 우천 기상에서 편측 3cm, 5cm 발광형 차선은 백색차선에 비해 정상 기상과 같은 휘도 성능을 유지하였다. 휘도 감소율로 성능을 비교 한 결과, 정상 기상 기준 백색 차선은 안개 시 55.3%, 우천 시 56.9% 감소하였으나, 편측 3cm 발광형 차선은 안개 시 44.4%, 우천 시 14.4% 감소 하였으며, 편측 5cm 발광형 차선은 안개 시 49.2%, 우천 시 20.4% 감소하여 악천후 시 백색차선에 비해 낮은 휘도 감소율을 보였다. 특히, 우천 상황에서 낮은 감소율을 보였다. 즉, 이를 통해 도로조명과 전조등이 점등된 상황에서는 발광형 차선이 일반 백색차선에 비해 악천후 시 높은 휘도 성능을 유지하는 것

Table 4. Luminance distribution by weather conditions with headlight

| Weather conditions                            | Luminance distribution                                                            |                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | White lane                                                                        | Luminescent lane (3cm on one side)                                                | Luminescent lane (5cm on one side)                                                 |
| Normal                                        |  |  |  |
| Foggy<br>(Meterological distance $\leq 40m$ ) |  |  |  |
| Rainfall<br>(Rain Intensity: 30 mm/h)         |  |  |  |

을 알 수 있었다. 실험결과의 특이점으로, 정상기상에서 편측 5cm 발광형 차선이 편측 3cm 발광형 차선에 비해 휘도가 높았음에도, 악천후 시에는 편측 3cm 발광형 차선보다 조금 낮은 값을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 안개와 우천을 재현하는 실험 환경 상 휘도 측정지점에서 바람 등 외부요인에 의해 강우 및 안개 시정미세하게 변화된 영향이 반영된 것으로 보인다.

#### 4.2 도로조명 소등 및 전조등 점등 시 비교

실제 도로에는 도로조명이 설치된 지역보다 도로조명이 설치되지 못한 지역이 상대적으로 많다. 도로조명 소등 및 전조등 점등 상황은 도로조명이 없는 구간의 환경을 묘사한다. 도로조명이 없는 구간의 운전자는 시인거리를 확보하기 힘들어 차로 유지를 위해 다른 도로시설보다 특히 차선에 의존하여 주행하므로, 이러한 환경에서는 특히 차선의 시인성이 중요하다. 도로조명 소등 및 전조

등 점등 상황에서 백색차선과 발광형 차선의 휘도분포는 Table 4와 같으며, 측정결과는 Fig. 7 및 Table 5와 같다.

Table 5. Luminance by weather conditions with headlight

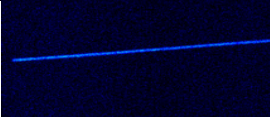
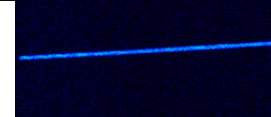
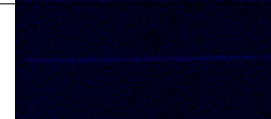
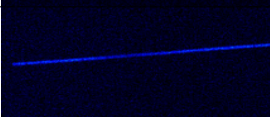
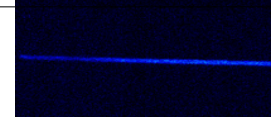
| Lane type                          | Weather conditions | Luminance ( $cd/m^2$ ) | Rate (% Compare with normal) |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|
| White lane                         | Normal             | 1.17                   | -                            |
|                                    | Foggy              | 0.37                   | -68.4                        |
|                                    | Rainfall           | 0.38                   | -67.5                        |
| Luminescent lane (3cm on one side) | Normal             | 1.43                   | -                            |
|                                    | Foggy              | 0.68                   | -52.4                        |
|                                    | Rainfall           | 1.36                   | -4.9                         |
| Luminescent lane (5cm on one side) | Normal             | 1.52                   | -                            |
|                                    | Foggy              | 0.51                   | -66.4                        |
|                                    | Rainfall           | 1.03                   | -32.2                        |



Fig. 7. Luminance measurement results by weather conditions with headlight

도로조명 없이 차량의 전조등만 점등된 건조 도로에서는 일반 백색차선의 휘도는  $1.17cd/m^2$ , 편측 3cm 발광형 차선의 휘도는  $1.43cd/m^2$ , 편측 5cm 발광형 차선의 휘도는  $1.52cd/m^2$ 로, 도로조명이 점등되었던 상황과 같은 양상으로 발광형 차선의 영역이 많을수록 해당 차선은 높은 휘도 성능을 보인다. 안개 및 우천 시에서 편측 3cm, 5cm 발광형 차선이 백색차선에 비해 높은 휘도 성능을 보인다. 휘도 감소율로 휘도 성능을 비교하면, 정상 상황을 기준으로 백색차선은 안개 시 68.4%, 우천 시 67.5% 감소하였고, 편측 3cm 발광형 차선은 건조 시 대비 안개 시 52.4%, 우천 시 4.9% 감소, 편측 5cm 발광형 차선은 안개 시 66.4%, 우천 시 32.2% 감소하여 백색

Table 6. Luminance distribution by weather without headlight and pole light

| Weather conditions                         | Luminance distribution                                                            |  |                                                                                    |  |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                                            | Luminescent lane<br>(3cm on one side)                                             |  | Luminescent lane<br>(5cm on one side)                                              |  |
| Normal                                     |  |  |  |  |
| Foggy<br>(Meterological distance<br>≤ 40m) |  |  |  |  |
| Rainfall<br>(Rain Intensity:<br>30 mm/h)   |  |  |  |  |

차선에 비해 낮은 휘도 감소율을 보였다. 도로조명이 소등된 상황에서도 마찬가지로 발광형 차선이 일반 백색차선에 비해 특히, 우천상황에서 낮은 휘도 감소율을 보였다. 즉, 도로조명이 없이 차량의 전조등만 있는 상황에서도 발광형 차선이 일반 백색차선에 비해 높은 시인성을 유지할 수 있는 것으로 판단된다. 주목 할 만한 점은 도로조명과 전조등 모두 점등 된 환경과 마찬가지로 악천후 시 편측 5cm 발광형 차선의 휘도가 편측 3cm 발광형 차선의 휘도에 비해 낮은 것을 확인할 수 있다.

#### 4.3 도로조명 및 전조등 소등 시 비교

일반적인 도로 상황은 아닐 수 있으나, 도로조명도 없고 차량의 전조등도 작동하지 않는 상황에서의 일반 백색차선의 휘도와 발광형 차선의 휘도를 분석하였다. 도로조명이 없는 구간에서 운전자의 시인거리는 차량의 전조등이 조사하는 범위까지이다. 즉, 발광형 차선이 도로조명도 없고 전조등이 닿지 않는 범위에서도 자체 발광하

여 운전자의 눈으로 확인가능하다면, 운전자는 야간상황에서도 전조등 도달 범위보다 멀리까지 도로 선형이 확인 가능하여 보다 안전한 주행이 가능할 것이다. 도로조명 및 전조등이 모두 소등 된 상황에서의 휘도분포는 Table 6과 같으며, 측정결과를 Fig. 8 및 Table 7과 같다.

Table 7. Luminance by weather conditions without headlight and pole light

| Lane type                             | Weather conditions | Luminance<br>(cd/m <sup>2</sup> ) | Rate<br>(%, Compare with normal) |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| White lane                            | Normal             | -                                 | -                                |
|                                       | Foggy              | -                                 | -                                |
|                                       | Rainfall           | -                                 | -                                |
| Luminescent lane<br>(3cm on one side) | Normal             | 0.50                              | -                                |
|                                       | Foggy              | 0.22                              | -56.0                            |
|                                       | Rainfall           | 0.43                              | -14.0                            |
| Luminescent lane<br>(5cm on one side) | Normal             | 0.62                              | -                                |
|                                       | Foggy              | 0.23                              | -62.9                            |
|                                       | Rainfall           | 0.51                              | -17.7                            |

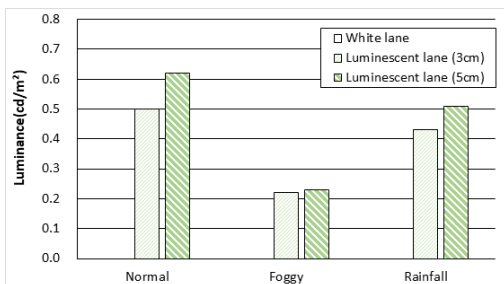


Fig. 8. Luminance measurement results by weather conditions without headlight and pole light

도로조명 및 차량 전조등 뿐 아니라 무월광, 건물 조명 등에 의한 외부 조명이 전혀 없는 경우에는 일반 백색차선의 휘도는 0cd/m<sup>2</sup>이다. 그러나, 어떠한 외부조명이 없어도 발광형 차선은 자체 발광을 하므로 건조 상황에서 편측 3cm 발광형 차선은 0.5cd/m<sup>2</sup>, 편측 5cm 발광형 차선은 0.62cd/m<sup>2</sup>로 휘도 값을 나타냈으며, 발광형 차선의 영역이 넓을수록 높은 휘도 값을 나타낸다. 건조 상황 대비 안개 시 편측 3cm 발광형 차선은 56.0% 감소,

편측 5cm 발광형 차선은 62.9% 감소, 우천 시 편측 3cm 발광형 차선은 14.0% 감소, 편측 5cm 발광형 차선은 17.7% 감소하는 경향을 보였다. 이를 통해 발광형 차선은 안개 시에 비해 우천 시 그 성능을 잘 유지하는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 연구

기존 차선의 한계를 개선하여 야간 악천후 시에도 시인성을 확보하기 위해 개발된 발광형 차선의 실증평가를 위해 야간 환경에서 안개 및 강우 조건 별 발광형차선의 광향 성능평가를 수행하였다. 성능평가를 위해서는 대상물의 밝기를 정량적으로 표현하는 휘도를 평가지표로 설정하였다. 다양한 야간 도로환경을 반영하기 위해 도로조명과 차량의 전조등 점등 및 소등 상태에서 측정을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 도로조명 및 전조등의 점등 유무와 관계 없이 발광형 차선은 건조, 안개, 우천 상황에서 일반 백색 차선에 비하여 높은 휘도 값을 보인다. 그 값의 차이는 도로조명과 전조등이 모두 점등된 상황에서 편측 5cm 발광형 차선 기준  $4.6\text{cd/m}^2$ 로 가장 크다.
2. 건조 상황 대비 악천후 시 차선 휘도 감소율은 일반 백색차선에 비해 발광형 차선이 상대적으로 적으며, 안개 시 보다 우천 시 감소율은 더욱 적다.
3. 외부조명이 전혀 없는 상황에서 일반 백색차선의 휘도는  $0\text{cd/m}^2$ 이나, 발광형 차선은 편측 3cm 설치 기준 건조 시  $0.50\text{cd/m}^2$ , 안개 시  $0.22\text{cd/m}^2$ , 우천 시  $0.43\text{cd/m}^2$ 의 값을 보인다.

즉, 이러한 결과를 통해 발광형 차선이 악천후 시 일반 백색 차선보다 높은 휘도 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 특히, 외부조명이 전혀 없는 상황에서도 발광형 차선은 일정 수준의 휘도 값을 보여, 도로조명이 없는 구간이나 도로 기하구조가 열악한 구간에서 도로선형 인지거리를 길게 확보할 수 있는 수단으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 휘도계를 통해 도출된 정량적 수치를 토대로 분석한 결과이며, 비교적 제한된 환경에서 수행된 실험으로서 각 도로 조건 환경 별 일반 백색차선과 발광형 차선의 휘도 수치가 절대적이라고 하기엔 무리가 있을 수 있으나 모든 환경에서 발광형 차선의 휘도가 높은 경향을 보이므로 악천후 시 발광형 차선이 일반 백색차선에 비해 시인성 확보에 우수한 성능을 갖는 경향은 확연

하다고 볼 수 있다. 또한, 본 실험은 일반적인 악천후보다 열악한 환경에서 실험이 수행되었으므로 향후 강우강도 조건과 안개 농도를 다양한 범위로 나누어 기상조건별 발광형차선과 일반 백색차선의 차이를 측정한다면 더욱 심도 있는 연구결과가 도출 될 수 있을 것이다. 추가적으로, 피험자를 활용해 실험 조건별 차선 시인거리를 실험 결과에 반영한다면 유의미한 결과가 도출 될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구 결과를 토대로 향후 발광형 차선의 개발 방향 정립에 기초자료로 활용하고, 기하구조가 열악한 구간이나 안개 다발구역 등 운전자의 시야 확보가 중요한 도로 구간에서는 일반 백색차선을 대신하여 발광형 차선 설치를 검토해볼 필요성이 있다.

## References

- [1] Road Traffic Authority, Statistical analysis of traffic accidents for the 2021 version (statistics for 2020), Korea, p.22, p30.
- [2] M. H. Lee, K. C. Choi, I. S. Oh, J. H. Kim, "Analysis of Traffic Accident Reduction Performance of High-quality and Long-life Pavement Marking Materials", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.35, No.4, pp.921-929, Aug. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.4.0921>
- [3] J. J. Park, C. Y. Lee, C. G. Lee, I. K. Seo, A Study on the Application of Luminescent Lanes of Expressway, Korea Expressway Corporation Research Institute, Korea, p.1.
- [4] Y. M. Lee, H. R. Kim, S. T. Kim, A Study on the Application of Glow Line Marking Technology Development for Reducing Traffic Accidents as Nighttime, *International Journal of Highway Engineering*, Vol.17, No.3, pp.59-68, Jun. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2015.17.3.059>
- [5] O. Smadi, R. R. Souleyrette, N. Hawkins, "Pavement Marking Retroreflectivity : Analysis of Safety Effectiveness" *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, pp.1-13, Dec. 2008. DOI: <https://doi.org/10.3141/2056-03>
- [6] S. K. Lee, W. I. Park, M. S. Jin, Y. S. Kim, "Relationship Between Pavement Marking Types and Visibility Distance Under Adverse Weather Conditions", *International Journal of Highway Engineering*, Vol.22, No.5, pp.85-93, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2020.22.5.085>
- [7] C. G. Lee, J. H. Park, H. H. Oh, "Abrasion-Resistant Road Markings for Improved Durability Lane to Wear Simulators Test", *International Journal of Highway*

*Engineering*, Vol.13, No.3, pp.75-82, Sep. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2011.13.3.075>

- [8] G. S. Lee, H. S. Rho, Y. H. Yang, "Maintenance Plan for Retroreflective Performance of Lane", *International Journal of Highway Engineering*, Vol.19, No.1, pp.44-47, 2017.
- [9] Y. G. Seo, "Development of the Dutch light-emitting road information system and its implications", *Road Policy Brief, Korea Research Institute for Human Settlements*, No.85, pp.8-9, Nov. 2014.
- [10] Korea Standard Association, KS M 6080 : 2019 Road marking materials, Korea, p.2.
- [11] A. H. Perry, L. J. Symon, Highway meteorology, Department of Geography, University College, Wales. 2003.
- [12] J. W. Kim, K. O. Bu, J. T. Choi, Y. H. Byoen, 100 Years of Climate Change on the Korea, Ministry Institute of Meteorological Sciences, 2018, p.17.
- [13] Korea Standard Association, KS A 3701 : 2014 Lighting for Roads, Korea, pp.7-8.
- [14] National Police Agency, Traffic Signal Setting & Management Manual, Korea, 2012.

#### 박 원 일(Wonil Park)

[정회원]



- 2016년 2월 : 과학기술연합대학원 대학교 교통물류 및 ITS공학과(공학석사)
- 2020년 8월 : 서울대학교 일반대학원 건설환경공학부 (공학박사수료)
- 2016년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원

<관심분야>

교통안전, 자율주행, 교통공학

#### 김 용 석(Yongseok Kim)

[정회원]



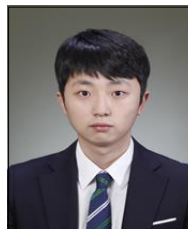
- 1994년 2월 : 아주대학교 일반대학원 교통공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 도시공학과 (공학박사)
- 1994년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

도로안전, 교통공학

#### 박 기 수(Kisoo Park)

[정회원]



- 2017년 2월 : 한양대학교 공학대학원 교통공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 ~ 2021년 1월 : 한국건설기술연구원 신진연구원
- 2021년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 건설환경공학부 (박사과정)

<관심분야>

도로공학, 교통공학

#### 이 석 기(Sukki Lee)

[정회원]



- 2003년 8월 : 단국대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 : 단국대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2003년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원
- 2021년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>

교통안전, 자율주행, 교통공학