

휘도 대비를 이용한 악천후 도로 노면표시 시인성능 평가

이석기^{1,2}, 박원일¹, 박기수^{1,2}, 김용석^{1*}

¹한국건설기술연구원 도로교통연구본부, ²과학기술연합대학원대학교 건설환경공학

Visibility Evaluation of Road Pavement Markings Using Luminance Contrast Ratio Under Adverse Weather Conditions

Sukki Lee^{1,2}, Wonil Park¹, Kiso Park^{1,2}, Yongseok Kim^{1*}

¹Department of Highway&Transportation Research,

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²Civil & Environmental Engineering, University of Science & Technology

요약 노면표시의 시인성은 노면표시(타겟)와 도로포장(배경)간의 휘도 대비와 직결된다. 그러나 현 국가기준은 노면표시만의 시인성능을 평가할 수 있는 재귀반사계수를 사용하기 때문에 노면표시 시인성능 평가에 한계가 있다. 이런 이유로 본 연구는 휘도 대비를 이용하여 노면표시의 시인성능 평가 방법을 제안하였고 악천후 기상환경별 휘도 대비 값을 정량화 하였다. 평가 결과 정상 기상조건에서 휘도 대비가 8.02로 나타났으나 안개 시는 0.70, 강우 시는 0.60, 강우 후 습윤 시는 0.71로 나타났다. 노면표시만의 휘도는 정상기상에서 3.82, 안개에서 1.98, 강우에서 3.67, 강우 후 습윤 노면에서 2.07로 나타났다. 특히 강우 및 습윤 조건에서는 노면표시 휘도에 비해 오히려 포장면의 휘도가 높게 나타나 사실상 노면표시의 기능발휘가 불가하다는 결론을 얻었다. 본 연구 결과는 향후 노면표시의 시인성능 기준으로 휘도대비가 반영되어야 하는 필요성을 반증한 것이며 향후 보다 다양한 노면표시 유형 및 기상환경 조건에서 실증 실험 범위를 확장하여 연구가 수행될 필요가 있다.

Abstract Visibility of pavement markings is directly related to the contrast between the luminance of markings and that of pavement. However, the current national standard uses the retro-reflective coefficient as a visibility index, but this index only covers the visibility of the markings, not the pavement. This study proposes using the luminance contrast as a visibility index. The luminance contrast corresponding to adverse weather conditions was quantitatively evaluated. The study results were a luminance contrast ratio of 8.02 in normal weather, 0.70 in foggy weather, 0.60 in rainy weather, and 0.71 in wetness after rain. The luminance of markings was 3.82 in normal weather, 1.98 in foggy weather, 3.67 in rainy weather, and 2.07 in wetness after rain. Luminance of a marking in rainy and wet conditions was lower than that of the background pavement, so it is almost impossible to achieve the functional requirement of markings. The study results show the refinement of the visibility index in the road standard to incorporate adverse weather conditions. As a further study, extended experiments need to be carried out to incorporate various marking types and weather conditions.

Keywords : Pavement Markings, Visibility, Luminance Contrast Ratio, Adverse Weather Conditions, Road Traffic Safety

본 논문은 2023년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임.

(과제번호 : 092021C56S02000, 과제명 : Lv.4 자율협력주행 대응 교통객체 인지고도화 및 악조건 해소기술 개발)

*Corresponding Author : Yongseok Kim(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: safey@safey.kict.re.kr

Received May 9, 2023

Revised July 13, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 30, 2023

1. 서론

1.1 연구배경 및 필요성

2021년 도로 교통사고로 사망자 2,916명이 발생하고 부상자가 291,608명이 발생하였다[1]. 교통사고는 재산상의 피해뿐만 아니라 개인의 심리적 상실감을 유발하는 문제로 시급한 대책이 필요한 사회 문제이다.

특히 영종대교 106중 추돌사고 등 악천후 교통사고는 정상 기상 대비 사고의 심각성이 큰 특징이 있으며, 교통사고 통계에 따르면 정상 기상에서 발생한 교통사고 치명성(사고 100건당 사망자 수)는 1.4임에 비해 우천 시에는 1.42배, 안개 시에는 3.42배 높은 특징을 갖고 있어 악천후 대응이 가능한 안전시설 설치로 사고를 미연에 방지할 필요가 있다[2].

악천후 대응 안전시설로는 조명시설, 노면표시, 시선유도시설 등이 있으며, 본 연구는 노면표시(차선)를 연구범위로 하였다. 노면표시는 도로를 따라 연속성을 가지고 설치되어 도로 선형변화를 운전자가 사전에 인지할 수 있도록 도와주는 교통안전시설이며, 규제(중앙선 등), 지시(방향), 안내(노면 속도표시 등) 기능을 하는 안전시설이다.

노면표시는 차량 전조등 빛을 운전자 방향으로 다시 돌려서 시인성을 확보하는 방식인데, 강우로 인해 수막이 형성되는 경우는 사실상 시인성 확보가 불가능하여 대안이 시급한 실정에 있다.

안개의 경우는 안개 입자가 자동차 전조등 빛을 흡수하여 빛의 세기가 감소되고, 산란으로 인해 노면표시 위에 막(vail)이 형성되는 효과로 재귀반사 성능이 감소된다.

현재 노면표시 재료로 가장 보편적으로 사용되는 형식은 글라스비드를 도로와 혼합한 재귀반사식(차량 전조등 빛을 운전자 방향으로 다시 돌려서 시인성을 확보하는 방식) 노면표시인데, 강우로 인해 수막이 형성되는 경우는 사실상 시인성 확보가 불가능하여 대안이 시급한 실정에 있다.

특히, 재귀반사식 노면표시는 Fig. 1에 보인 바와 같이 반드시 차량의 전조등이 조사되는 환경에서 시인성이 확보되는 구조를 가지고 있고, 이로 인해 전조등 조사 범위를 벗어나는 경우에는 충분한 시인성을 확보하는데 한계가 있다.

노면표시의 시인성은 노면표시(타켓)와 도로포장(배경)간의 휘도 대비와 직결된다. 그러나 현 국가기준은 노면표시만의 시인성을 평가할 수 있는 재귀반사계수를 사용하기 때문에 노면표시만의 시인성 평가에 국한되는 한계가 있다.

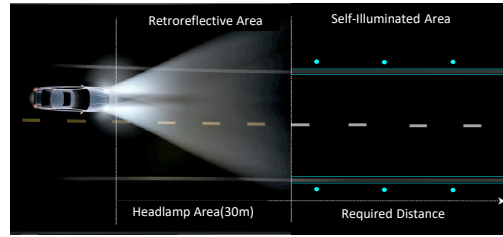


Fig. 1. Limitation of Retro-reflective Pavement Marking

1.2 연구 목적

본 연구는 현 노면표시 시인성 평가 한계를 극복하기 위하여 노면표시와 도로 포장면 휘도를 동시에 고려하여 평가가 가능한 휘도대비를 시인성 평가지표로 제안하고, 실외 악천후 기상재현 테스트베드에서 다양한 기상조건별 휘도 대비 값을 정량화하였다.

야간에는 전조등 빛 세기의 제약으로 인해 노면표시의 재귀반사 성능이 제한되는 상황이며 이는 정상기상 조건에 한정된 것으로 악천후 기상에서는 전조등 빛의 산란이나 흡수로 인해 빛 감쇄가 더욱 악화되는 환경으로 본 연구에서는 이를 규명하고자 하였다.

1.3 연구범위

본 연구는 악천후 시 교통사고 위험을 감안하고, 현 국가 기준에서 정하는 노면표시 시인성 평가기준의 한계점을 검토하였다. 본 연구의 시간적 범위는 외부 간섭광이 없는 야간 시간대를 이용하여 노면표시의 성능을 평가하였다. 공간적 범위는 연천 SOC 실증센터 내 기상재현 실증실험 시설 구간에서 정상, 강우, 안개, 습윤 기상조건을 재현하고 휘도대비를 이용한 악천후 노면표시 성능평가를 수행하였다. 내용적 범위는 국가에서 정한 재료기준인 재귀반사성능계수를 만족하는 시료를 설치하고 다양한 기상조건별로 휘도계를 이용하여 포장노면과 노면표시의 휘도 및 이를 이용한 휘도 대비를 도출하여 노면표시의 성능평가를 수행하였다.

1.4 연구방법

본 연구는 휘도 대비라는 시인성 평가척도를 토대로 악천후 기상재현 실증실험 환경에서 노면표시의 시인성을 정량적으로 규명하였다. 기존 국가 기준에서 제시하는 재귀반사 성능은 차량 전조등으로부터 받은 빛을 다시 시선물(노면표시)가 되돌려보내는 양을 가지고 측정하지만 안개 및 강우조건에서는 빛이 강우 및 안개입자

와 충돌하면서 산란되거나 흡수되기 때문에 정확한 성능 평가에 한계가 있다. 따라서 휘도계를 사용하여 포장과 노면표시에서 반사되는 빛을 각각 측정하고 이 둘의 대비 관계를 이용하는 휘도 대비를 이용하여 악천후 시 노면표시의 성능을 평가하는 방법을 제안하였다.

2. 악천후 안전과 노면표시 시인성

2.1 악천후 교통안전과 노면표시 시인성 관계

강우나 안개 등 악천후는 운전자의 시·지각 정보 취득에 장애를 주어 교통사고의 원인을 제공한다. 정상 기상 대비 강우 조건에서 교통사고 위험이 70% 수준으로 증가하는 것으로 보고되고 있다[3].

안개 시 교통사고는 후미추돌사고를 유발하기 때문에 여러 대의 차량이 포함된 다중 차량 사고가 빈번한 특징이 있다[4].

차선 설치로 인한 교통사고 감소효과 관련 연구는 길 가장자리 구역선 설치로 12~21%의 교통사고 감소 효과를 제시하였으며 특히 야간과 저 시정 기상에서 사고감소 효과가 큼을 제시하였다[5].

국내 연구에서는 차선 시인성 향상 및 표지병 설치로 교통사고 감소효과가 18~46%로 나타남을 제시하였으며 차선 시인성 개선방법으로 장소별 차선공법 차등 적용, 교통량 등을 고려한 비용 분석, 시인성 기준 상향, 악천후 시인성 개선을 위한 기준개선 등을 제안하였다[6].

도로 및 차선의 종류를 구분하여 각 상황별 사고발생 감소율을 추정한 연구에서는 다차로 고속도로와 2차로 도로 모두 중앙 차선(노면표시)의 재귀반사율이 높아질수록 사고발생은 감소하는 것으로 분석되었다[7].

다차로 고속도로에서 백색 길가장자리 구역선의 시인성 개선관련 연구는 재귀반사계수가 50 mcd/m²/lx 단위로 개선시마다 사고율이 약 18% 감소함을 제시하였다[8].

우천 시 사고위험이 큰 이유로써 1) 노면의 상태가 정상기상에 비해 차이가 있고, 2) 강우가 사물-배경 간 대비를 낮추며, 3) 차량 전면 유리창에 떨어지는 빗방울이 운전자의 시·지각 능력을 떨어뜨리기 때문이라고 설명하고 있다. 우천 시 노면 위 수막은 운전자에게 불능 글레어나 불쾌 글레어를 유발하며, 재귀반사 식 노면표시는 수막으로 인해 재귀반사성능이 크게 떨어지기 때문에 이를 극복할 수 있는 대책이 필요함을 제시하고 있다[3]. 불능글레어는 눈부심이 증가하여 앞이 잘 보이지 않는 글레어를 의미하며 불쾌글레어는 시각적 손실을 주는 수

준은 아니지만 정서적인 불쾌감을 주는 글레어를 의미한다.

2.2 악천후 시인성 저하 및 성능평가 기준

악천후 기상은 노면표시와 같은 안전시설의 성능을 크게 저하시킨다. 실제 기상 환경을 재현하고 다양한 재귀반사식 노면표시의 시인거리를 평가한 연구의 결과에서도 정상조건 대비 강우조건에서는 평균 50.1%, 안개 조건에서는 46.8%가 저하됨을 제시하였다[9].

노면이 습윤 상태의 경우는 여전히 재귀반사가 가능하지만 Fig. 2의 'c'와 같이 물에 잠기는 경우는 반사성질이 크게 변형되어 재귀반사 기능을 수행하는데 한계가 있다.

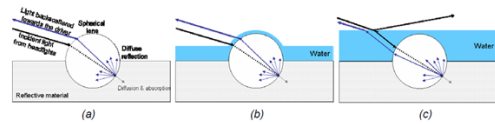


Fig. 2. optical mechanisms governing retro-reflection on pavement markings with encrusted beads in (a) dry, (b) humid and (c) wet conditions [10]

노면표시를 포함한 도로 시인성 관련 안전시설의 시인성 평가를 위한 척도는 Table 1과 같다.

Table 1. Optical Property of Road Safety Facilities

Road Safety Facilities	Optical Property(unit)	Light		
		input	output	
Road Delineation Facilities	Retro-reflective Coefficient (cd/m ² /lx)	Vehicle Light	Light Reflected to Drivers Eyes	
LED Raised Pavement Markers	Luminance Intensity (cd)	No-Input Light	Light from self illuminated from RPM	
Pavement Marking	Standard	Retro-reflective Coefficient (cd/m ² /lx)	Vehicle Light	Light Reflected to Drivers Eyes
	Proposed	Luminance Contrast Ratio (no unit)	Vehicle Light	Light Reflected to Drivers Eyes

대표적인 안전시설로 시선유도시설의 경우는 차량 전조등과 상응하여 재귀반사계수(단위 면적으로 환산 값)를 사용하고 표지병의 경우는 차량전조등을 이용한 빛 반사 재료의 경우는 재귀반사계수를 사용하고 LED를 이용한 자체발광의 경우는 광도(cd; candela)를 사용한다.

노면표시의 경우는 재귀반사계수를 사용하며 시선유

도표지와 마찬가지로 차량 전조등으로부터 조사된 빛(조도)을 글라스비드 굴절 특성을 이용해 되돌리는 빛의 양으로 나누어 광학성능인 재귀반사계수를 측정하고 평가하고 있다.

2.3 현 국가기준의 한계와 새로운 시인성능 평가척도 제안

노면표시의 국가기준[11]은 Table 2와 같이 노면표시의 재귀반사성능을 기준으로 시인성능을 평가하고 있다. 설치 시와 재도색 시를 구분하여 각각의 최소 재귀반사계수를 규정하고 있다. 그러나 현 국가기준은 노면표시만의 시인성능을 평가할 수 있는 재귀반사계수를 사용하기 때문에 노면표시 시인성능 평가에 한계가 있다.

특히 포장면의 경우는 아스팔트 콘크리트나 시멘트 콘크리트 등 재료의 외관 밝기 관점에서 큰 차이가 있기 때문에 이를 반영한 노면표시 시인성 평가기준이 필요하다고 할 수 있다. 그러나 현 국내 및 국외 기준에 포장면의 특성까지를 반영한 기준은 제시되지 않는 실정으로 향후 이 부분에 대한 국내외 관련 연구가 활발히 이루어질 필요가 있다.

Table 2. National Standard for Road Pavement Marking

Classification	Illumination angle	observation angle	Colour	
			White	Yellow
Newly Installation (Dry Surface)	88.76°	1.05°	240	150
Repair (Wet Surface)			100	70
Repair (Rainy)			60	40

본 연구에서 노면표시의 광학성능 평가를 위한 척도로 현 기준에 명시된 재귀반사계수가 아닌 휘도대비를 제안하는 이유는 노면표시가 여타 안전시설과 달리 최종적으로 운전자의 눈에 들어오는 노면표시의 밝기는 포장면의 밝기와 대비하여 현저성(Conspicuity) 관점으로 평가되기 때문이다.

또한, 강우나 안개 입자는 빛의 산란 및 흡수 현상을 통해 차량전조등 빛 세기를 감쇄하므로 실내 암실 또는 휴대용 재귀반사측정 장비를 통한 실험으로는 약천후 노면표시의 성능평가를 현실성 있게 수행하기 곤란하므로, 실 도로 규모의 기상재현 환경에서 휘도대비를 이용한

광학 성능평가가 불가피한 이유이다.

휘도대비는 다양한 운전 조건에 영향을 주는 중요한 요소로써 포장 면(배경) 대비 노면표시의 현저성을 나타내주는 것으로 시인성을 평가하는 가장 우수한 척도임을 제시하고 있다[12].

휘도는 특정 광원(예로 조명, 차량 전조등)으로부터 특정 면 위로 정해진 각도에서 조사된 빛의 양으로 정의할 수 있으며, SI 단위는 cd/m^2 으로 표현된다. 노면표시의 경우는 전조등으로부터 노면표시로 조사되고 다시 노면표시로부터 운전자의 눈으로 조사되는 빛의 양을 말한다.

휘도 대비는 노면표시의 면적에서 측정된 휘도와 포장 배경간의 휘도간의 차이에 대한 비를 의미하며 아래 Eq. 1과 같이 측정된다. 부연하면, 휘도 대비는 노면표시가 배경 포장 면과 연계한 현저성을 갖는지를 평가하는 척도가 된다.

$$Luminance\ Contrast\ Ratio = \frac{|L_t - L_b|}{L_b} \quad (1)$$

Where, L_t denotes luminance of Pavement Marking, L_b denotes Luminance of Background(Pavement)

2.4 연구 차별성 및 수행방향

노면표시는 자동차 전조등에 의한 빛을 운전자 쪽으로 되돌리는 구조이기 때문에 전조등의 성능에 지배를 받게 되는데, 약천후 시 전조등의 빛은 산란과 흡수로 인해 크게 감쇄되기 때문에 이를 정량화하여 안전 대책을 마련할 필요가 있다.

특히 노면표시는 여타 도로 시인성 관련 안전시설과 달리 도로 포장면의 밝기 정도에 따라 최종적으로 운전자에게 도달되는 시인성능이 달라지기 때문에 현 기준의 재귀반사계수로는 평가에 한계가 있어 노면표시와 포장면의 휘도를 각각 산출하고 두 휘도 간 차이를 반영하는 휘도 대비를 이용하여 약천후 노면표시의 시인성을 평가할 필요가 있다.

본 연구는 선행 연구 및 국내 현 기준이 여전히 정상 기상조건을 전제로 노면표시의 시인성능을 평가하는 것과 차별하여 약천후 기상환경에서 노면표시와 포장면 각각의 휘도를 측정하고 이들의 관계를 이용한 휘도대비를 이용하여 시인성능을 평가하였다.

측정 방법에 있어 차별점으로, 현재 국내 노면표시 시인성 평가척도는 재귀반사계수를 사용하고 있으나 이는 실험실에서 차량과 노면표시의 기하 구조적 관계를 관측각과 조사각을 이용하여 시뮬레이션하고 광학장치를

이용하여 평가하고 있는 실정이다. 그러나 실험실에서 악천후 기상조건을 실제 실험하고 평가하는 것에는 한계가 있기 때문에 본 연구는 실도로 규모(왕복 4차로 규모, 실차 전조등 사용) 실험환경에서 노면표시의 시인성능을 평가하였다.

3. 악천후 노면표시 휘도 측정

3.1 악천후 실증실험 및 휘도측정 절차

악천후 기상조건에서 노면표시 휘도 실증을 위한 실험 순서는 Fig. 3과 같다.

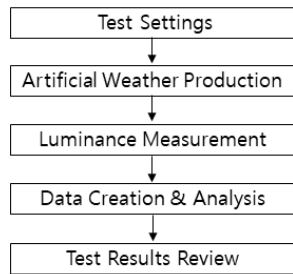


Fig. 3. Test Procedure for luminance measurement

악천후 기상조건에서 노면표시 휘도 실증을 위해 실도로 규모 기상실증구간(왕복 4차로 규모, 총 기상재현 연장 300m)을 활용하여 대상 시료(노면표시)를 설치하고 휘도 측정 장치를 이용하여 휘도를 측정하였다. 실험을 위한 외부 조도환경은 차량 전조등만 조사되는 환경으로 국한하였고, 기상조건은 크게 네 가지(정상/안개/강우/습윤)로 하였으며, 각 기상조건별 휘도계를 이용하여 휘도를 측정하였고 선행연구 결과의 비교검토 및 연구결과의 공학적 의미를 제시하였다. 결론에는 본 연구가 갖는 의미 및 향후 제도 개선과 실험 한계 극복을 위한 향후 연구를 제안하였다.

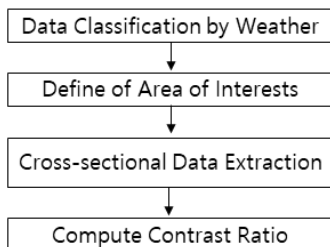


Fig. 4. Luminance Data Acquisition and Analysis

연천 기상재현 실증실험 환경에서 악천후 기상강도를 재현하고 실험시료에 대해 휘도를 현장 컴퓨터에 저장하고 실내에서 자료 분석을 수행하였다(Fig. 4 참조).

본 연구는 실 도로 규모(왕복 2차로)의 악천후 기상환경을 재현하기 위해 한국건설기술연구원 연천 SOC 실증연구센터 내 실험장을 활용하였다(Fig. 5). 본 연구에서 재현하는 강우는 터널 구조물 내 100m 구간에 조성하였으며 안개의 경우는 터널 구조물 내 200m 구간에 조성하였다. 실험은 야간에 수행되었으며, 실험장 외부는 미개발 지역으로 건물조명 등 간섭 광이 없는 환경에서 실증실험을 수행하였다.



Fig. 5. Adverse Weather Proving Ground: Yeoncheon SOC Research Center

안개 분사는 터널 구조물 내 도로를 따라 양측으로 설치된 20개의 안개 분사장치로부터 동시에 안개 입자를 분사하고, 현장 설치된 시정계를 이용하여 목표 농도(시정거리 30~50m)를 관리하였으며 강우 강도는 시간당 30mm/h 환경을 재현하였다.

3.2 안개 및 강우 강도 재현 범위

본 연구는 기상악천후 조건을 크게 안개와 강우로 구분하여 재현하였다. 안개 농도는 가시거리 30~50m 수준으로 제어하였으며, 강우강도는 시간당 30mm 수준으로 재현하였다.

Fig. 6은 안개 조건을 재현한 상황이다. 안개 재현강도는 국토교통부 4단계 안개 시정거리 분류에서 '심각' 상태로 분류되는 시정거리 50m 이내 짙은 안개 조건을 참조하여 정하였다[13].

강우 재현 강도는 집중 호우 상황을 모사하기 위해 국립기상과학원에서 제시한 국내 평균 강수강도 15.7mm/h의 약 2배에 해당하는 30mm/h의 환경을 Fig. 7과 같이 조성하였다[14].



Fig. 6. Foggy Weather Conditions in the Test Section



Fig. 7. Rainy Weather Conditions in the Test Section

3.3 실험 시료의 현 기준 만족도 평가

기상조건별 휘도 대비 성능평가를 위해 재귀반사식 노면표시 실험시료를 설치하였다. 재귀반사식 노면표시는 KS M 6080 4종 규격의 열경화성 수지계열의 바인더가 적용된 백색차선을 대상으로 하였다(Fig. 8 참조).

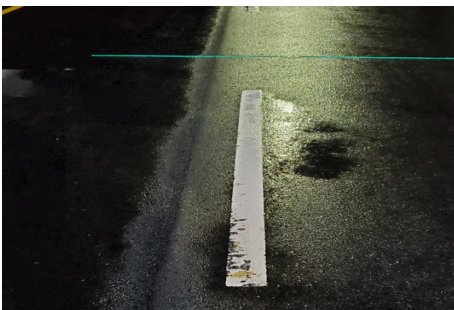


Fig. 8. Pavement Marking Target

실험 시료가 현 국가기준에서 정의하고 있는 재귀반사계수 성능기준을 만족하는지 여부를 확인하기 위해, 재귀반사계수 측정 장비(Delta 사 제조)를 활용하여 측정하였으며 국가 규정을 만족하는 것으로 나타났다(Table 3 참조).

Table 3. Retro-reflection Test Results

Coefficient of Retro-reflection (mcd/m ² /lx)	Reference Value (National Standard)	Pass/Fail
302 (N=3, s.d.=7.6)	240	Pass

3.4 휘도 측정 장비

본 연구는 휘도 대비를 이용한 시인성능 평가를 위해, 동영상 휘도계인 ELF-SYSTEM을 사용하여 휘도를 측정하였다. 차량 전조등으로부터 노면표시까지의 거리는 30m로 하였고 휘도계의 높이는 운전자 눈높이를 감안하여 1.0m로 하였다.

휘도는 노면표시를 포함하여 Fig. 9와 같이 도로 횡단 방향(차량진행방향과 직각)으로 2m 구간에 대해 1mm 간격으로 총 2,000 지점을 동시에 측정하였다.

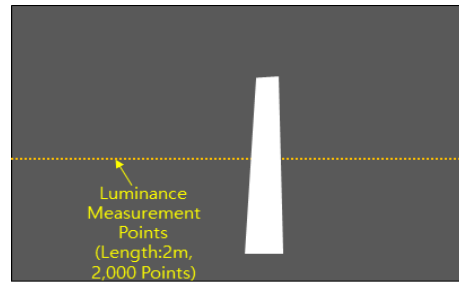


Fig. 9. Luminance Measurement Points

4. 휘도 측정결과

4.1 정상 기상 휘도 측정 결과

정상 기상 조건에서 휘도를 측정한 결과는 Fig. 10과 같다. 정상 기상에서는 노면표시와 배경(포장면)과 대비가 크게 나타났다.

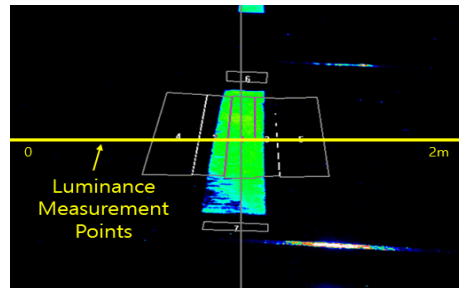


Fig. 10. Luminance Distribution under Normal Weather

정상 기상 조건에서 도로 횡단방향 2m 내 2,000개의 측정점에서 얻어진 휘도는 Fig. 11과 같다.

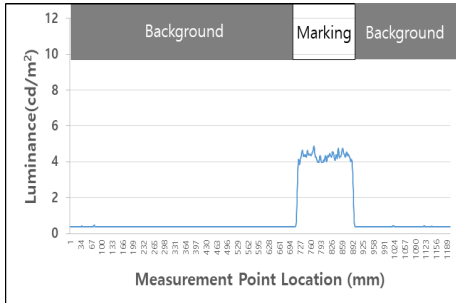


Fig. 11. Luminance Distribution under Normal Weather

4.2 안개 기상 휘도 측정 결과

안개 기상(시정거리 30~50m) 조건에서 휘도를 측정한 결과는 Fig. 12와 같다. 안개 기상 조건에서도 배경 대비 차선의 휘도가 높은 값으로 나타났으나, 안개로 인한 빛 입자의 흡수/산란 효과로 차선 자체의 휘도는 정상 조건에 비해 절반 수준으로 낮게 나타났다.

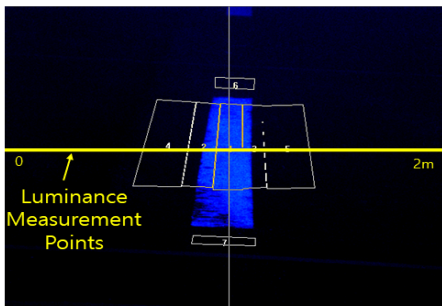


Fig. 12. Luminance Distribution under Foggy Weather

안개 기상 조건에서 도로 횡단방향 2m 내 2,000개의 측정점에서 얻어진 휘도는 Fig. 13과 같다.

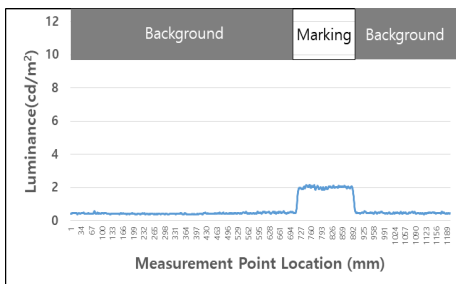


Fig. 13. Luminance Distribution under Foggy Weather

4.3 강우 기상 휘도 측정 결과

강우 기상(시간당 30mm) 조건에서 휘도를 측정한 결과는 Fig. 14와 같다. 강우 조건에서는 차선과 포장면(배경)이 동시에 높은 휘도 값을 나타냈다. 이런 이유로 강우 시 배경(포장면)이 동시에 밝기 때문에 차선이 두드러지게 보이지 않는 원인이 된다.

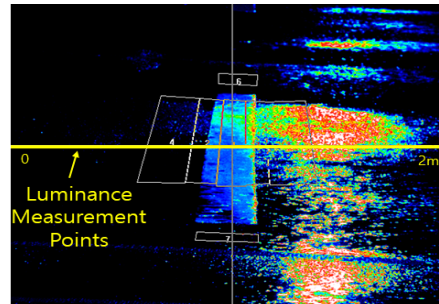


Fig. 14. Luminance Distribution under Rainy Weather

강우 기상 조건에서 도로 횡단방향 2m 내 2,000개의 측정점에서 얻어진 휘도는 Fig. 15와 같다. Fig. 12의 휘도를 보면 차선부분의 휘도 대비 배경 휘도가 더 크게 나타남을 알 수 있었으며, 이러한 특징이 강우 시 차선의 시인성능을 낮추는 원인이 된다.

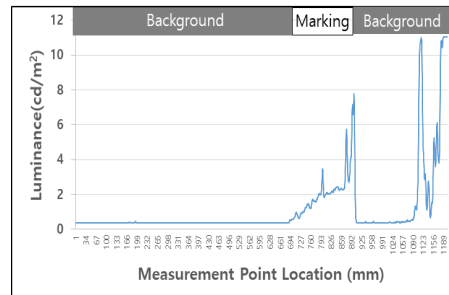


Fig. 15. Luminance Distribution under Rainy Weather

강우기상에서 측정된 휘도 분포(Fig. 15)를 보면 노면표시의 휘도(Marking)보다 포장면(Background)의 휘도가 높아 최종 운전자 관점에서 노면표시의 현저성이 크게 낮아짐을 알 수 있다. 노면표시 자체의 휘도 값은 정상기상과 큰 차이가 없으나 배경과의 대비 관계에서 노면표시의 식별이 어렵다는 것을 반증하는 것이다.

4.4 습윤 기상 휘도 측정 결과

습윤 기상(강우실험 후) 조건에서 휘도를 측정한 결과

는 Fig. 16과 같다.

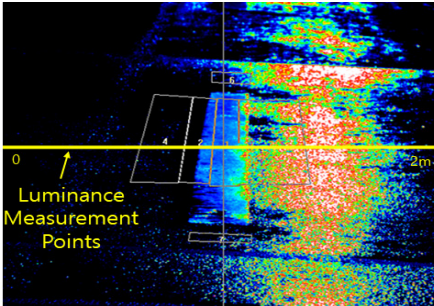


Fig. 16. Luminance Distribution under Wet Surface

강우 후 노면 습윤 상태에서 도로 횡단방향 2m 내 2,000개의 측정점에서 얻어진 휘도는 Fig. 17과 같다. 강우조건과 마찬가지로 포장 면에 여전히 강우가 남아있는 상태로 차선부분의 휘도 대비 배경 휘도가 더 크게 나타남을 알 수 있었으며, 이러한 특징이 강우가 내린 후에 일정 기간 동안은 차선의 시인성능이 크게 낮아지는 원인이 된다.

습윤 노면 기상 조건에서 측정된 휘도 분포(Fig. 17)의 경우도 강우조건과 마찬가지로 노면표시의 휘도(Marking)보다 포장면(Background)의 휘도가 높아 최종 운전자 관점에서 노면표시의 현저성이 크게 낮아짐을 알 수 있다. 이는 운전자 관점에서 노면표시의 현저성이 떨어짐을 의미하며 노면표시만의 반사성능을 측정하는 현 기준의 한계를 보여주는 실험결과라 할 수 있다.

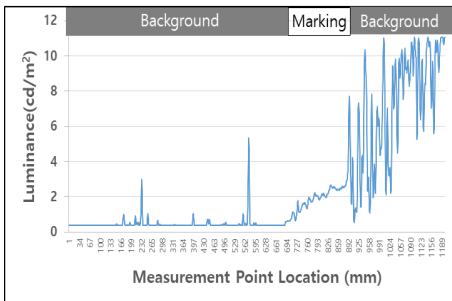


Fig. 17. Luminance Distribution under Wet Weather

4.5 실험 종합 결과

악천후 기상 재현 실증실험 시설을 통해 평가한 결과, 정상 기상조건에서 휘도 대비가 8.02로 나타났으나 안개 시는 0.70, 강우 시는 0.60, 습윤 시는 0.71로 나타났다 (Table 4 참조).

Table 4. Luminance Contrast Ratio by Weather Conditions

Weather Condition	Luminance(cd/m ²)		Luminance Contrast Ratio
	Marking	Background (Pavement)	
Normal	3.82	0.42	8.02
Foggy	1.98	1.16	0.70
Rainy	3.67	9.24	0.60
Wet	2.07	7.16	0.71

노면표시만의 휘도는 정상기상에서 3.82, 안개에서 1.98, 강우에서 3.67, 강우 후 습윤 노면에서 2.07로 나타났다. 눈으로 관찰되는 악천후 시인성능은 크게 차이가 나지만 노면표시만의 휘도 값에는 변별력이 없음을 감안할 때, 노면표시의 시인성능 평가척도로 노면표시만의 휘도가 아닌 배경과의 휘도 대비가 실제 육안으로 관찰되는 시인성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

현 기준은 노면표시의 시인성 평가를 노면표시만의 재귀반사성능을 통해 측정하기 때문에 강우나 습윤 기상에서 도로 포장면(배경)이 노면표시에 비해 더 밝아진 경우를 반영하지 못하는 한계가 있다. 이런 결과가 Table 4에 제시되어 있으며 이러한 부분이 노면표시의 광학적 성질만으로는 노면표시의 시인성능을 평가하기에 한계가 있음을 반증하는 것이다.

5. 결론 및 향후 연구

5.1 연구결과의 공학적 의미

본 연구가 갖는 의미는 첫째 노면표시가 국가에서 정한 재귀반사성능 기준만을 만족하는 것은 악천후 기상에 대응하여 실효성 있는 시인성능 평가에 한계가 있음을 실증실험 결과를 통해 입증하였으며 둘째 악천후 기상강도를 재현 가능한 수준으로 통제된 환경에서 노면표시의 시인성능을 평가한 점이다.

본 연구 수행결과, 악천후 조건에서는 정상기상과 달리 강우 및 습윤 기상 조건에서는 노면표시의 휘도보다 오히려 포장면의 휘도가 높게 나타나 노면표시만의 재귀반사성능을 측정하는 현재의 방식은 악천후에 적용하기 어려운 한계를 나타냈다.

따라서 본 연구는 휘도대비를 노면표시의 시인성능 평가기준으로 제안한다. 다만, 현 국가기준에서 제시하고 있는 재귀반사계수도 국내외에서 오랜 기간 사용되어 왔으며 교통사고 자료와 대비하여 다양한 연구가 수행되어

온 만큼 이 기준과 더불어 본 연구에서 제시한 휘도대비 기준을 병행하여 사용하는 것을 권장한다.

5.2 연구의 한계

본 연구는 특정 시료에 제한되어 실험을 수행한 한계가 있고 안개 및 강우 조건도 단일 조건으로 향후 다양한 기상 강도조건별로 실험을 확대할 필요가 있다. 또한 운전자의 육안평가 실험을 수행하여 휘도 대비라는 정량적 수치와 정성적인 실험값을 비교적으로 대응하여 휘도 대비 기준을 제안하는 형태로 발전시킬 필요가 있다.

본 연구는 악천후라는 특수한 시환경을 반영할 수 있는 평가지표로써 휘도를 제시하였다. 휘도를 이용한 악천후 노면표시 성능측정에 관한 국가 규정 마련을 위해서는 보다 구체적인 평가 체계가 마련될 필요가 있다.

References

- [1] Road Traffic Authority, "Statistical analysis of traffic accidents for the 2022 version (statistics for 2021)", 2022.
- [2] Road Traffic Authority, "Statistical analysis of traffic accidents for the 2021 version (statistics for 2020)", 2020.
- [3] J. Andrey, S. Yagar, "A Temporal Analysis of Rain-related Crash Risk", *Journal of Accident Analysis and Prevention*, Vol. 25, pp. 465-472, 1993.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(93\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0001-4575(93)90076-9)
- [4] M. Abdel-Aty, A. Ekram, H. Huang, k. Choi, "A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke," *Acci. Anal. Prev.*, vol. 43, pp. 1730-1737, Sept. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.003>
- [5] Carlson, P., Park, E. and Andersen, C., "Benefits of pavement markings: A renewed perspective based on recent and ongoing research" *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2107, pp. 59-68, Jan. 2009.
DOI: <https://doi.org/10.3141/2107-06>
- [6] Road Traffic Authority, "Research on Lane visibility Improvement for Reducing Traffic Accidents", 2009.
- [7] O. Smadi, R. R. Souleyrette, D. J. Ormand and N. Hawkins, "Pavement marking retroreflectivity analysis of safety effectiveness." *Transportation Research Record 2056*, *Journal of the Transportation Research Board*, pp. 17-24, Jan. 2008.
DOI: <https://doi.org/10.3141/2056-03>
- [8] E. T. Donnell, V. Karwa, and S. Sathyanarayanan, "Analysis of effects of pavement marking retroreflectivity on traffic crash frequency on highways in North Carolina." *Transportation Research Record 2103*, *Journal of the Transportation Research Board*, pp. 50-60, Jan. 2009.
DOI: <https://doi.org/10.3141/2103-07>
- [9] 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>
- [10] M. Hautière, E. Dumont, R. Brémond, V. Ledoux, "Review of the Mechanisms of Visibility Reduction by Rain and Wet Road", In proceedings of the 8th International Symposium on Automotive Lighting, ISAL 2000.
ISBN 978-3-8316-0904-8; TRN: DE10G3118
- [11] Korea National Police Agency, "Traffic Road Marking Installation Maintenance Guidelines", 2022.
- [12] Jyh-Hone Wang, Yong Cao, "Effects of Road Luminance Contrast on Driving Safety", University of Rhode Island, FHWA-RIDOT-RTD-04-1, Final Report, May 2004.
- [13] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Manual for Fog Related Traffic Accident", 2015.
- [14] 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.

이 석 기(Sukki Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

교통안전, 자율주행, 교통공학

박 원 일(Wonil Park)

[정회원]



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

〈관심분야〉

교통안전, 자율주행, 교통공학

박 기 수(Kisoo Park)

[정회원]



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

〈관심분야〉

도로공학, 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