

## 강우환경에서의 시선유도시설 성능 표준실험방법

### Standard Test Method for the Performance of Gaze Guidance Facilities in a Rainfall Environment

김형규<sup>1</sup>, 정준화<sup>2</sup>, 한대철<sup>3</sup>, 정도영<sup>4\*</sup>

Hyung-Kyu Kim<sup>1</sup>, Jun-Hwa Jeong<sup>2</sup>, Dae-Cheol Han<sup>3</sup>, Do-Young Jung<sup>4\*</sup>

#### 요 약

도로안전시설은 도로 교통의 안전을 확보할 수 있도록 개발·제작되어야 하며, 악천후 상황에서도 본연의 성능을 내야한다. 하지만, 기상재현 조건의 실증시험 방법과 절차에 대해서는 표준화되어 있지 않다. 이를 위하여 기상 재현 조건에 대한 실험 기준을 마련하여야 하며, 본 연구에서는 시선유도시설을 중심으로 강우시의 시인성 성능평가를 진행하고 표준실험 방안을 위한 적정 실험방법을 마련하고자 한다. 이를 위하여 도로안전시설 중 시선유도시설을 대상으로 강우시의 성능평가 표준실험방법을 실험하였다. 실험방법은 강우재현 실내실험실에서 설치된 시료(노면표시 시료 A)에 대해 강우 조건별(0mm/h, 10mm/h, 20mm/h, 30mm/h, 40mm/h) 재귀반사성능(휘도)을 측정장비로 측정한 휘도 데이터를 대상으로 하였다. 각 실험 케이스가 표준실험으로 활용할 수 있는지에 대한 통계적 검토를 수행하였고, 표준실험으로 활용되기 위해서는 시간적 공간적 제약 없이 일관성 높은 재현이 가능해야 함을 전제로 하였다. 본 분석에서는 일관성에 대한 검토를 정규성 검정과 신뢰성 검정을 통해 수행하였다. 실험 결과, Dry, 10mm/h, 20mm/h에서 정규성 및 신뢰성을 모두 확보할 수 있었다. 즉, 시선유도시설의 성능을 확인할 수 있는 실험은 Dry, 10mm/h, 20mm/h에서의 재귀반사성능을 측정하면 되고, 30mm/h 이상에서는 추가 실험이 불필요하다. 성능 평가실험시 불필요한 실험이 많아질수록 실험에 소요되는 비용 및 시간도 증가하기 때문에 경제성 측면에서 성능을 확실히 판단할 수 있는 최소한의 실험이 필요하다. 강우시의 실험은 20mm/h 이하인 것으로 나타났다.

핵심어 : 시선유도시설, 강우, 표준실험, 성능평가, 신뢰성 검증

#### Abstract

Road safety facilities should be developed and manufactured to ensure the safety of road traffic, and their performance should be maintained even in bad weather conditions. However, there is no standardized

1 Department of Highway and Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Senior Researcher]  
e-mail: hyoungkyukimi@kict.re.kr

2 Department of Highway and Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Senior Research Fellow]  
e-mail: jhjeong@kict.re.kr

3 Department of Highway and Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Senior Researcher]  
e-mail: dchan@kict.re.kr

4 Department of Highway and Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Principal Researcher]  
e-mail: jdy@kict.re.kr (Corresponding author)

\* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21DPSC-C163243-01).

Received(October 12, 2022), Review Result(1st: October 31, 2022), Accepted(December 12, 2022), Published(December 31, 2022)



© 2022 The Authors. Published by NCIS.  
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.  
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

method and procedure for a full-scale demonstration test under meteorological conditions. To this end, experimental standards for weather reproduction conditions should be prepared, and in this study, visibility performance evaluation during rain is conducted centering on gaze guidance facilities, and an appropriate experimental method for standard experimental methods is to be prepared. For this purpose, the standard test method for performance evaluation in rain was tested on the gaze guidance facilities among road safety facilities. The test method is to measure the retroreflection performance (luminance) for each rainfall condition (0mm/h, 10mm/h, 20mm/h, 30mm/h, 40mm/h) for the sample (road marking sample A) installed in the rainfall reproduction indoor laboratory. A statistical review was performed on whether each experimental case can be used as a standard experiment, and it was premised that consistent reproduction should be possible without temporal and spatial constraints to be used as a standard experiment. In this analysis, the review of consistency was performed through the normality test and the reliability test. As a result of the experiment, both normality and reliability were secured in Dry, 10mm/h, and 20mm/h. In other words, the test that can confirm the performance of the gaze guidance facility only needs to measure the retroreflection performance at dry, 10mm/h, and 20mm/h, and no additional tests are necessary at 30mm/h or more. In the performance evaluation experiment, as unnecessary experiments increase, the cost and time required for the experiment increase. Therefore, a minimum experiment that can reliably determine the performance in terms of economic feasibility is required. The test during rainfall was found to be less than 20mm/h.

Keyword : Gaze guidance facility, Rainfall, Standard Experiment, Performance Evaluation, Reliability Verification

## 1. 서론

도로안전시설은 도로 교통의 안전과 소통을 도모하고 좋은 도로 환경을 조성하고자 하는 목적으로 국토교통부에서 '95년 12월 '시선유도시설'을 시작으로 현재까지 총 12종의 시설물들을 관리·운영 중에 있다 [1]. 지속적으로 변화하는 교통환경에 선제적으로 대응하기 위해 도로안전시설에 대한 지속적으로 관리 및 신기술 도입이 요구되며, 눈, 비, 안개, 야간 등에 대한 악천후 상황에서의 성능검토가 중요하다.

특히, 악천후 상황에 대한 도로안전시설의 성능 검증이 정확히 이루어지지 않을 경우 도로이용자들의 안전에 큰 위협이 되기 때문에 국가차원의 안전성 검증에 필요한 성능평가실험이 요구된다. 최근 기상환경 재현 도로 및 교통 인프라 실증실험시설을 설치하여 실험을 진행하고자 하고 있으나, 도로 인프라 관련 성능 평가는 실험실 수준의 시험방법에 대해서는 KS, ISO 등에 대부분 제시되어 있는 반면, 기상재현 조건의 실규모 실증시험 방법과 절차에 대해서는 표준화되어 있지 않다. 국외의 경우에도 강우를 재현하여 도로안전성, 포장 성능 등 일부를 평가하는 실험시설은 구축, 운영중에 있으나, 기상재현 도로실증센터만큼의 기상 재현 종류와 실규모 실험이라는 점에서 현격한 차이를 보이고 있는 실정이다.

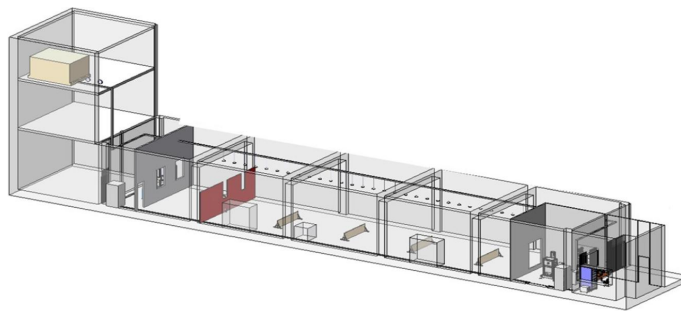
즉, 실험실 수준의 인프라 성능시험 관련 부분은 KS에 제시되어 있고, 교통 검지 관련은 단체표준으로 정비되어 있으나, 기상재현 조건에서 실규모의 성능평가와 시험에 관한 표준화 작업은 사실상 전무한 상황이다. 이를 위하여 기상 재현 조건에 대한 실험 기준을 마련하여야 하며, 본 연구에서는 시선유도시설을 중심으로 강우시의 시인성 성능평가를 진행하고 표준실험 방안을 위한 적

정 실험방법을 마련하고자 한다.

## 2. 기상환경재현 실험방법

### 2.1 표준암실 실험 개요

노면표시, 차선 등은 주야간과 기상조건에 상관없이 운전자에게 정확한 정보를 제공해야 하며, 이들의 성능기준은 차량의 전조등에 반사되는 재귀반사도를 주도 활용하고 있다. 일반적으로 재귀 반사 성능 측정을 위해서는 사방의 벽면에 흑색 무광으로 구성되어야 하며, 기하구조 기준에 적합할 수 있도록 일정거리 등 환경을 구성할 수 있는 표준 암실에서 실험이 진행되어야 한다. 강우 및 안개 환경을 구현할 수 있으며, [그림 1]과 같이 표준 암실을 보유하고 있는 한국건설생활환경 시험연구원에서 재귀반사 성능 실험을 진행하였다.



[그림 1] 기상환경재현시의 표준암실

[Fig. 2] Standard darkroom for reproducing the weather environment

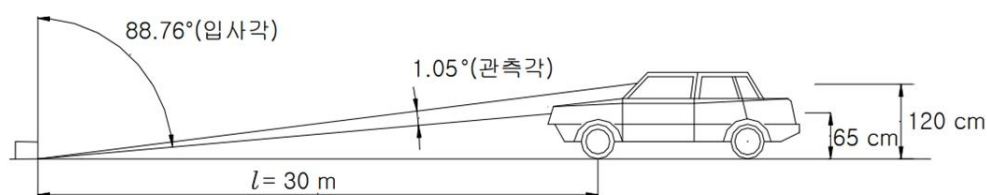
### 2.2 실험 방법

강우 등 기상조건에서 재귀반사성능 실험은 다양한 기상환경에서의 재귀반사의 표준 성능기준을 수립하는 실험으로 강우시 0mm/h부터 10mm/h 단위로 증가시켰을 때 다양한 실험 시나리오를 통한 표준기준을 수립하고자 한다. 강우재현시 정확한 측정이 어려운 부분을 고려하여 150회 이상 측정, 통계적 유효값을 확보 제시하고자 한다. 시간당 50mm 이상은 차량운전이 어려운 상황으로 그 이상의 측정의 의미가 없는 것으로 판단하여 제외하였다.

재귀반사 측정의 기하학적 기준은 [그림 2]와 같이 입사각과 관측각으로 정의할 수 있다. 입사각의 경우 노면에 수직인 선분과 자동차의 전조등이 이루는 각도이며, 관측각은 도로표면과 이루는 선분과 자동차의 전조등이 도로표면과 이루는 선분간의 각도이다 [2].

국제조명위원회(Commision Internationale de l'Eclairag)의 기하조건에 적용하면 노면표시의 경우에는 보통 co-planar geometry를 사용하며,  $\epsilon$ 에 대한 측정은 통상은 하지 않으므로 일반적으로 노면표시의 측정에 필요한 변수는  $\{\alpha, \beta\}$ 의 2가지라고 수 있다 [3].

노면표시의 경우 현재는 국제적으로 승용차가 30m의 거리에서 관측하는 조건인 입사각  $88.76^\circ$ , 관측각  $1.05^\circ$ 의 기준이 보편적으로 사용되고 있으나, 과거에는 10.6m에서 측정하는 조건인 입사각  $86.5^\circ$ 에서의 기준도 적용하였다. 노면표시의 반사성능은 다음 [표 1]과 같이 입사각과 관측각에 따라 백색, 황색, 청색의 반사성능을 가져야한다 [4]. 본 실험에서는 제시된 반사성능을 가지는 시료를 사용하였다.



[그림 2] 노면표시 재귀반사휘도 측정의 기하조건

[Fig. 2] Geometric conditions for measuring retro reflectance of road markings

[표 1] 도로 노면표시 반사성능

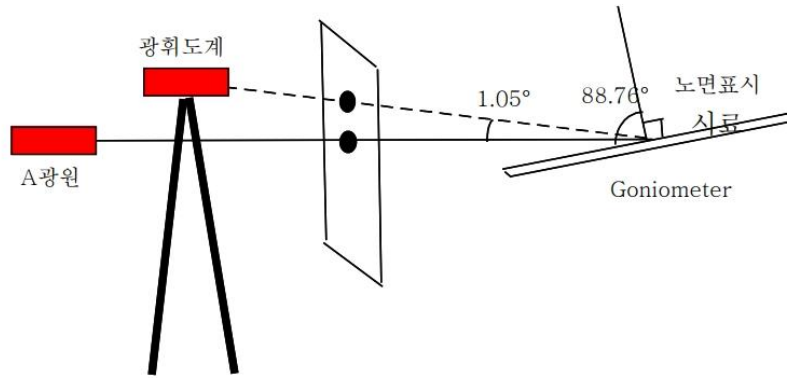
[Table 1] Experimental Scenario Setup

단위:  $\text{mcd}/(\text{m}^2 \cdot \text{Lux})$

입사각	관측각	구분	반사성능			비고
			백색	황색	청색	
$88.76^\circ$	$1.05^\circ$	설치시	240	150	80	기준
		재도색 시기	100	70	40	권장
		운전(습윤)시	100	70	40	권장

## 2.3 측정 장비 및 시료

재귀반사체의 측정방법은 대표적으로 분광적 측정방법, 측광적 측정방법, 간이측정방법 3가지가 있다. 분광적 측정은 분광측광기를 사용하여 파장별 재귀반사계수를 가시광선 영역( $380\text{nm} \sim 780\text{nm}$ )까지 적분하여 얻는 방법이며, 측광적 측정은 국제조명 위원회가 정의한 비시감도( $\lambda$ )의 특성을 갖는 수광부에 의하여 재귀반사계수를 직접 측정하는 방법이다 [4]. 간이측정방식은 교정용 표준물질이 있는 경우에 이를 측정하고자 하는 시료의 값과 비교하여 측정하는 방법이다. 본 연구에서는 광휘도계를 이용하여 [그림 3]과 같이 측광적 측정으로 진행하였다.



[그림 3] 광휘도계를 이용한 재귀반사휘도계수 측정

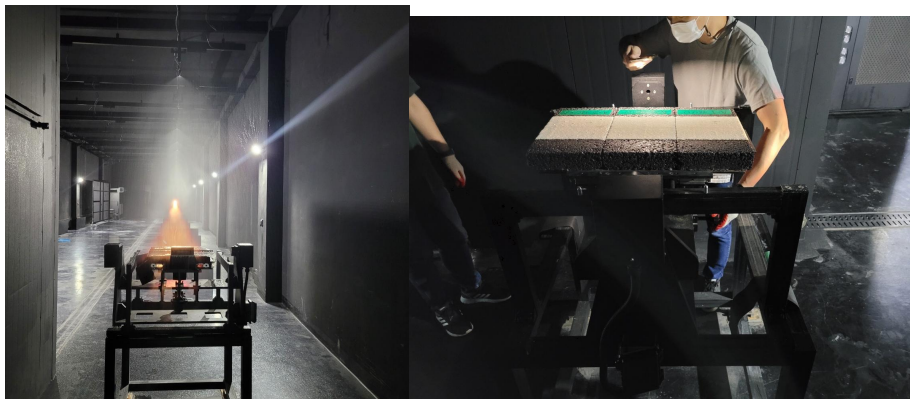
[Fig. 3] Measurement of retroreflective luminance coefficient using a photoluminometer

측정장비의 광원, 각도계 등의 사양은 다음 [표 2]와 같다.

[표 2] 측정장비 사양

[Table 2] Measuring equipment specifications

광원		각도계	
광원	지름 300mm 이상	관찰각도	1.05도
광원 색온도	2,856K	입사각도	88.76도
광원 조도	10lx 이상	시편거치대	400mm×600mm 방진 방수
입사각 제어	±180도	조도	100lx 이상
각도 조정	0.01도	광원	지름 300mm 이상
샘플사이즈	최대길이 1,200mm, 높이 650mm	광원 색온도	2,856K



[그림 4] 강우환경재현 실험 모습

[Fig. 4] Rainfall Environment Reproduction Experiment

실험에 필요한 시료는 KS 표준기준에 적합한 재료를 구매하여 준비하였으며, 노면표시 및 안내

표지를 대상으로 하였다. 노면표시는 5종으로 분류하며, 본 실험에서 적용한 실험체는 일반적으로 사용되고 있는 4종 1.5 기준으로 실험체를 구성하였으며, 노면표시 실험시 강우 환경재현 시나리오는 [그림 4]와 같이 구성하였으며, 건조시에서의 측정으로 환경 기준에 따른 비교하고자 하였다.

### 3. 분석결과

#### 3.1 분석대상 및 분석방법

한국건설생활환경시험연구원 강우재현 실내실험실에서 설치된 시료(노면표시 시료 A)에 대해 강우 조건별(0mm/h, 10mm/h, 20mm/h, 30mm/h, 40mm/h) 재귀반사성능(휘도)을 측정장비로 측정한 휘도 데이터를 대상으로 하였다. 측정실험은 2022년 8월 11일~12일에 진행되었으며, 케이스별 150회씩 진행되었다.

각 실험 케이스가 표준실험으로 활용할 수 있는지에 대한 통계적 검토를 수행하였고, 표준실험으로 활용되기 위해서는 시간적 공간적 제약 없이 일관성 높은 재현이 가능해야 함을 전제로 하였다. 본 분석에서는 일관성에 대한 검토를 정규성 검정과 신뢰성 검정을 통해 수행하였다.

반복적으로 수행되는 실험의 오차가 정규성을 가져야 실험 결과에 따른 대푯값(평균 등)이 일관성이 높다고 판단할 수 있기 때문에, 반복적으로 수행되는 실험의 값의 편차(분산 등)가 작을수록 실험의 일관성이 높다고 할 수 있으며, 이를 신뢰성 검정 지표로 확인하였다.

#### 3.2 기초 통계분석

Dry 조건(0mm/h)에서 강우량이 많아질수록 다음 [표 3]과 같이 재귀반사휘도계수의 평균이 감소하며, 분산(표준편차)의 크기는 상대적으로 커지는 것을 확인할 수 있다.

[표 3] 기초통계량 분석결과

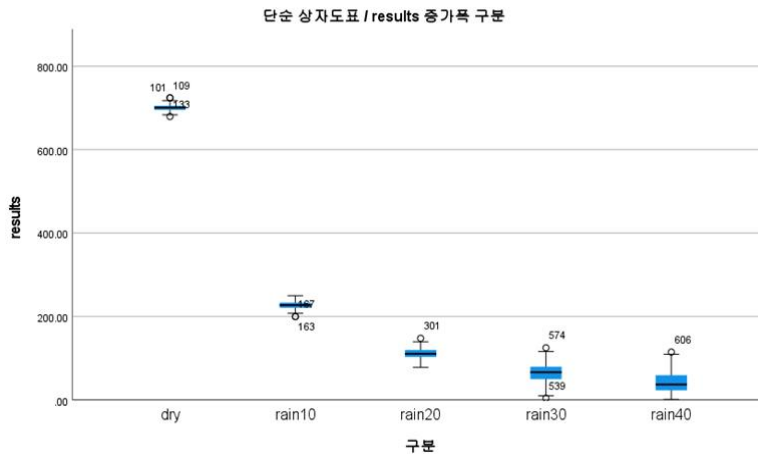
[Table 3] Results of basic statistics

단위: mcd/(m<sup>2</sup>·Lux)

강우량(mm/h)	N	최소값	최대값	평균	표준편차	분산
0 (Dry)	150	679.0	724.0	700.6	7.8	60.2
10	150	199.5	250.0	227.0	9.61	92.4
20	150	78.2	147.7	111.2	13.0	166.6
30	150	4.1	125.0	65.4	22.6	510.7
40	150	1.3	114.7	41.3	24.5	600.6

[그림 5]와 같이 각 시나리오의 box plot을 살펴보면, 강우가 발생하면 재귀반사휘도계수가 크게

감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 강우30(rain30) 이후 측정값의 표준편차가 커질 뿐 아니라 최소값/최대값의 변동성도 상당히 커지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 해당 실험 환경에서 일관성 높은 재현이 가능할지에 대한 통계적 검증이 요구된다.

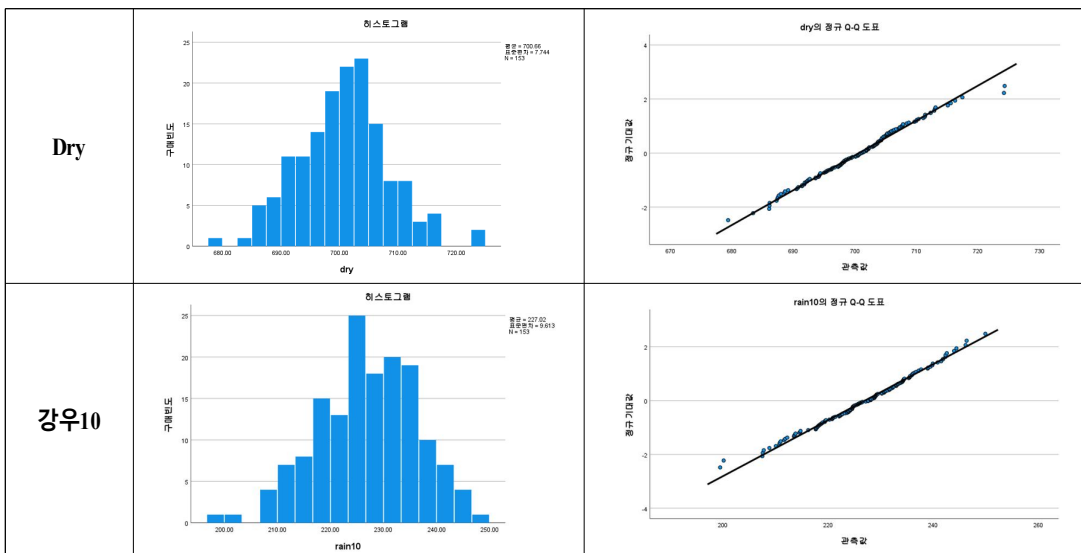


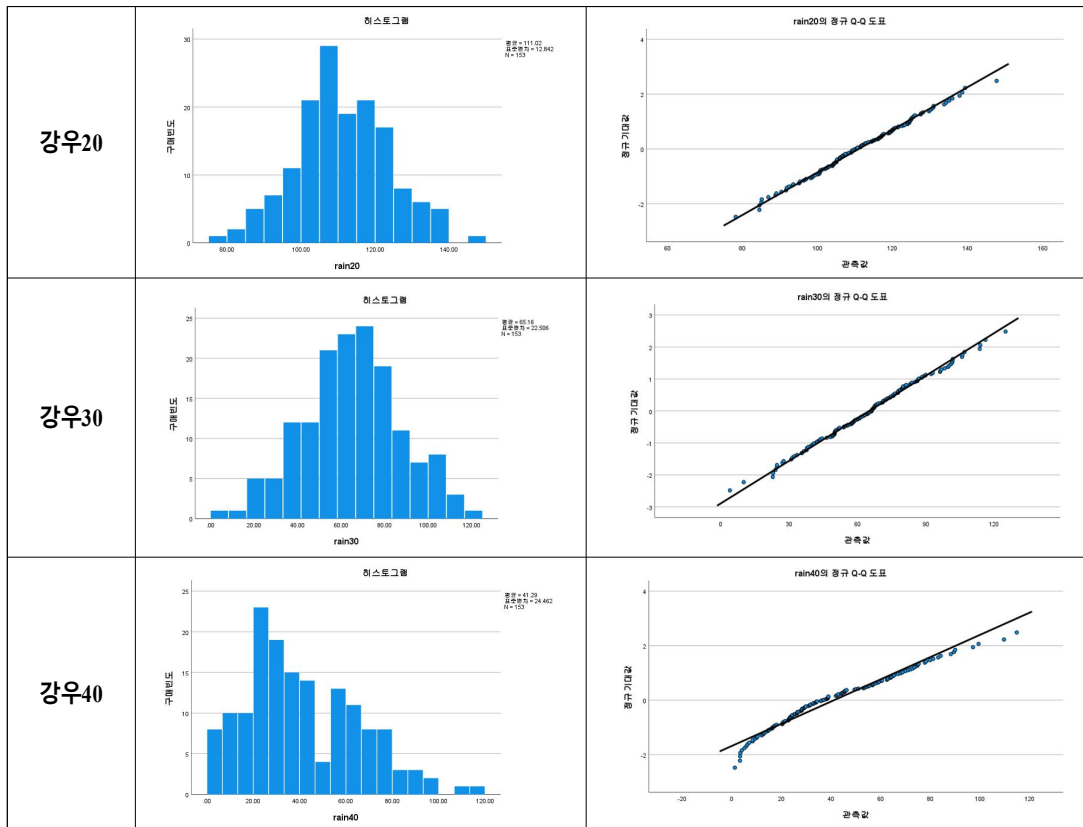
[그림 5] 상자도표를 활용한 증가폭 구분

[Fig. 5] Classification of increase using boxplot

### 3.3 정규성 검증 결과

다음 [그림 6]과 같이 히스토그램과 QQ plot을 살펴보면, Dry ~ 강우30mm/h까지는 비교적 정규성이 유지되는 것을 확인할 수 있으나 강우40에서는 정규성이 확보되지 않는 것을 확인할 수 있다.





[그림 6] 히스토그램과 QQ plot 분석결과

[Fig. 6] Results of histogram and QQ plot analysis

정규성 검정을 위해 Kolmogorov-Smirnova, Shapiro-Wilk 통계량을 검토하였으며, 다음 [표 4]와 같이 귀무가설(표본의 분포는 정규성을 만족한다)을 기각하는 강우 40mm/h의 경우 통계적으로 정규성을 만족하지 않는 것을 확인하였다.

[표 4] Kolmogorov-Smirnova, Shapiro-Wilk 통계량

[Table 4] Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk statistics

구분	Kolmogorov-Smirnova		Shapiro-Wilk	
	통계량	유의확률	통계량	유의확률
Dry	0.044	0.200	0.992	0.603
10mm/h	0.085	0.200	0.935	0.588
20mm/h	0.033	0.200	0.997	0.965
30mm/h	0.038	0.200	0.997	0.971
40mm/h	0.091	0.004	0.963	0.000



Kolmogorov-Smirnova, Shapiro-Wilk 통계량은 다음과 귀무가설과 대립가설을 가진다. 따라서 5% 유의수준에서 귀무가설이 기각되면(즉, 유의확률이 0.05 이하) 해당 시나리오는 정규성을 가진다고 할 수 없다.

- H0: 표본의 분포는 정규성을 만족한다
- H1: 표본의 분포는 정규성을 만족하지 않는다.

### 3.4 신뢰성 검정

변동계수(Coefficient of Variation; CV)는 반복적으로 수행되는 실험실적인 연구 또는 생화학적 분석 등에서 신뢰도를 측정하는 지표로 활용된다 [5]. CV에 의한 신뢰성 검정은 반복적인 실험의 불일치의 정도가 측정값의 크기에 따라 커진다는 것을 가정하고 있다. 본 연구의 측정값의 변동(또는 오차)은 실험에 의한 불일치(비일관성)에 의해 발생하는 것으로 가정할 수 있으며, 이를 판단하기 위한 지표로 CV는 적절한 것으로 사료된다. 일반적으로 CV가 20% 미만이 바람직한 것으로 판단되며, 신뢰성 있는 실험을 위해서는 CV 30% 이상은 지양하는 것이 적절하다 [6].

분석결과, 다음 [표 5]와 같이 Dry ~ 강우20 까지는 CV가 20% 이하로 신뢰성을 가지는 시나리오로 판단되나 강우30, 강우40은 30% 이상으로 결과에 대한 신뢰성을 담보하기 어렵다.

[표 5] 신뢰성 검증 결과

[Table 5] Results of reliability verification

구분	평균	표준편차	CV
Dry	700.6	7.7	1.1%
10mm/h	226.8	9.15	4.2%
20mm/h	111.2	12.9	11.6%
30mm/h	65.4	22.5	34.5%
40mm/h	28.6	24.4	85.4%

## 4. 결론

도로안전시설은 도로이용자들의 안전을 확보할 수 있는 주요시설물로서 첨단기술을 접목한 신기술들이 개발되고, 국내외적으로 이슈화되고 있는 기상이변, 악천후 등에서도 본연의 성능을 낼 수 있도록 정확한 성능 평가실험이 이루어져야한다. 또한, 평가실험이 신기술 또는 신제품 마다 이루어져야 한다는 점에서 효율적이고 정확한 실험절차가 제시되어야 하기 때문에 본 연구에서는 도로안전시설에서 대표적인 시선유도시설을 대상으로 강우환경에서의 정확한 실험 절차를 제시하고자 하였다. 실험 결과, Dry, 10mm/h, 20mm/h에서 정규성 및 신뢰성을 모두 확보할 수 있었다. 즉, 시선유도시설의 성능을 확인할 수 있는 실험은 Dry, 10mm/h, 20mm/h에서의 재귀반사성능을 측정

하면 되고, 30mm/h 이상에서는 추가 실험이 불필요하다. 성능 평가실험시 불필요한 실험이 많아질 수록 실험에 소요되는 비용 및 시간도 증가하기 때문에 경제성 측면에서 성능을 확실히 판단할 수 있는 최소한의 실험이 필요하며, 강우시는 20mm/h 이하인 것으로 나타났다.

향후 성능실험이 필요한 도로안전시설에 대하여서도 실험을 추가적으로 진행하여, 각 도로안전 시설별 최적화된 성능평가 실험표준을 추가할 필요가 있으며, 강우시 외에도 눈(폭설), 안개 발생 시의 실험도 진행하여 변화되고 있는 기후환경에 대응할 수 있는 도로안전시설 기준을 마련할 필요가 있다.

## References

- [1] Ministry of Land Infrastructure and Transport, “Guidelines for the Installation and Management of Road Safety Facilities”, law.go.kr, [https://www.law.go.kr/행정규칙/도로안전시설설치및관리지침/\(681,20220616\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/도로안전시설설치및관리지침/(681,20220616)), (accessed October 5, 2022).
- [2] B. I. Kim, “Evaluation of Reflectivity of Road Markings Using Portable Retroreflectometer”, *International journal of highway engineering*, vol. 23, no. 2, April 2021, pp. 11-19, doi: 10.7855/ijhe.2021.23.2.011.
- [3] E. Han, J. H. Kang, C. H. Kim, S. H. Park, I. S. Yun, “Study on the Minimum Recursive Reflection Performance according to the Color of Road Surface”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 6, December 2020, pp. 37-48, doi: 10.12815/kits.2020.19.6.37
- [4] Korea National Police Agency, *Traffic Signal Setting&Management Manual*, 2020
- [5] K. Ch. Choi, S. H. Lee, I. S. Yun, Y. J. Lee, “A Methodology Development for Estimating the Retroreflectivity of Pavement Markings and Traffic Guide Signs Using Digital Images”, *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 34, no. 1, February 2014, pp. 185-194, doi: 10.12652/KSCE.2014.34.1.0185.
- [6] K. A. Kong, “Statistical Methods: Reliability Assessment and Method Comparison”, *The Ewha Medical Journal*, vol. 40, no. 1, February 2017, pp. 9-16, doi: 10.12771/emj.2017.40.1.9.
- [7] E. Barath, B. A. Rosner, “Fundamentals of Biostatistics”, *Biometrics*, vol. 48, no. 3. September 1992, pp. 976-987, doi: 10.2307/2532371.