

# 안개농도와 표출크기에 따른 가변형 속도제한표지의 판독거리 분석

## Analysis of Legibility Distance of Variable Speed Limit Sign from Different Display Sizes and Fog Density

조 성 범\* · 이 상 수\*\* · 김 철 용\*\*\*

\* 주저자 : 한국도로공사 엄정지사장  
 \*\* 교신저자 : 아주대학교 교통공학과 교수  
 \*\*\* 공저자 : ㈜레도 대표이사

Seong-Beom Cho\* · Sang-Soo Lee\*\* · Chul-Yong Kim\*\*\*

\* Eomjeong Branch Office, Korea Expressway Corporation  
 \*\* Dept. of Transportation Eng., Ajou Univ.  
 \*\*\* CEO, LEDO Corporation  
 † Corresponding author : Lee Sangsoo, sslee@ajou.ac.kr

Vol.17 No.5(2018)

October, 2018  
 pp.65~76

pISSN 1738-0774  
 eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.5.65>

Received 5 October 2018  
 Revised 15 October 2018  
 Accepted 17 October 2018

© 2018. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요 약

본 연구에서는 안개발생시 가변형 속도제한표지의 크기와 휘도에 따른 판독거리의 변화에 관한 현장실험을 실시하여 결과를 제시하였다. 이를 위하여 안개상황 모의 환경을 구축하였고, 속도제한표지의 밝기와 크기를 변동하면서 피실험자 실험을 수행하여 시정거리에 따른 판독거리를 분석하였다. 분석 결과, 주어진 휘도에서 시정거리별 판독거리는 표지의 크기에 따라 증가하지만, 완벽한 선형적인 관계는 나타나지 않았다. 그리고 짙은 안개 상황일수록 크기가 큰 가변형 속도제한표지가 효과적인 것으로 파악되었다. 그리고 가변형 속도제한표지의 운영 휘도를 증가할수록 판독거리가 증가하는 경향을 나타내었다.

핵심어 : 가변형속도제한표지, 안개, 판독거리, 가변형속도제한표지 크기, 휘도

### ABSTRACT

This study aims to evaluate the legibility distances of variable speed limit sign(VSL) for different sizes, luminances, and fog conditions through a field experiment. For this, extensive fog simulated environment has been constructed, and legibility distances are tested and recorded among test subjects for different luminances and sizes of VSL in control. Results showed that legibility distance increased as the size of VSL increased in the given illumination conditions, but it was not an exact linear trend. The size was also an important factor for determining legibility distance as the fog density increased, especially heavy fog conditions. In addition, the legibility distance also increased as the given illumination levels of VSL improved.

Key words : VSL, Fog, Legibility distance, Size of VSL, Luminance

## I. 서 론

## 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 안개, 눈, 비, 바람 등 기상악화로 인한 대형 교통사고가 반복적으로 발생하고 있고 인명손실에 따른 사회경제적 피해가 증가하고 있다. 특히 안개는 운전자의 시야를 방해하고 안전거리 미확보 및 주행 속도의 편차를 증가시켜 심각한 교통사고를 유발할 가능성이 매우 높다. 경찰청 교통사고 통계자료에 의하면 2016년 기상상태별 교통사고 심각도는 안개 낀 날의 치사율 13.04%로 맑은 날의 치사율 1.81%보다 약 7.2배가 높다. 또한 최근에 안개로 인하여 영종대교 106중 추돌사고, 서해대교 29중 추돌사고 등 대형 교통사고가 반복적으로 발생하여 국가 SOC에 대한 사회적 불신이 팽배하고 있다

이러한 안개, 눈, 비, 바람 등 기상악화로 인하여 도로의 소통능력 및 안정성이 저하될 때 교통운영 관점에서 고려될 수 있는 방안중 하나는 진입교통류의 수요 및 속도관리를 통하여 해당 구간의 교통류를 안정화시킬 수 있는 가변형 속도제한시스템의 적용이다. 가변형 속도제어체계는 운전자의 주행속도를 안전속도로 유지토록 함으로써 운영효율성 및 안전성을 향상시키기 위한 목적으로 운영한다. 이 시스템의 도입을 통하여 불필요한 차로변경, 급감속 등을 감소하고, 교통류의 속도 차이를 최소화하여 통과교통량을 증가시키고 사고발생 가능성 및 심각도를 감소시킬 수 있다.

경찰청은 도로교통법 시행규칙 제 19조의 제 1항에 비가 내려 노면이 젖고, 눈이 20mm 미만 쌓인 경우에 최고속도의 80%의 속도로 운행하고 제 2항에 폭우, 폭설, 안개 등으로 시정거리가 100m 이내인 경우와 노면이 얼어붙은 경우, 눈이 20mm 이상 쌓인 경우에는 최고속도의 50%로 운행해야 한다고 규정하고 있다. 다만 가변형 속도제한표지로 정한 최고속도를 따라야 한다고 2010년 개정하여 가변형 속도제한표지의 도입 필요성에 관한 법률적 타당성을 부여하였다.

그러나 법 개정과 달리 ‘가변형 속도제한시스템의 설치운영 매뉴얼’과 ‘가변형 교통안전표지 표준지침’은 2017년에 제정되었다. 매뉴얼과 표준지침에서는 가변형 속도제한표지의 크기에 대해 구분하였으며, 크기는 테두리의 직경으로 나타내었다. 자동차전용도로에는 가변형 제한속도표지의 크기를 600mm, 900mm, 1,200mm, 1,500mm로 구분하고, 제한속도 100km/h 이상의 도로에는 1,200mm 이상을 사용하는 것을 권장하고 있다. 그러나 이러한 기준은 일반적인 도로상황에 관한 적용 기준이며, 안개발생과 같은 기상악화 상태에 따른 시정거리와 가변형 제한속도표지 크기에 따른 판독성에 관한 판단기준이 없는 실정이다. 따라서 도로 설계자나 관리운영자가 시스템을 효율적으로 운영하기에는 매우 어려운 상황이다.

본 연구의 목적은 안개 발생시 가변형 제한속도표지 크기에 따른 판독성의 변화를 현장 실험을 통하여 평가하고, 관련 자료를 제시하여 향후 가변형 표지와 관련된 기준을 마련하는데 기여하는 것이다. 이를 위하여 짙은 안개상황의 재현이 가능한 모의실험 환경을 구축한 후 안개농도를 변화시켜 시정거리를 조절하고, 4개의 가변형 속도제한표지 크기에 따른 피실험자의 판독성 실험을 실시하여 표지 크기별 시정거리에 따른 판독거리를 분석하였다. 또한 가변형 속도제한표지의 밝기를 3단계로 설정하고 각각 독립된 실험을 진행하여 결과를 도출하였다.

## 2. 연구의 방법

본 연구의 주요 내용은 첫째 연구의 배경과 목적을 설정하고, 둘째 가변형 속도제한시스템과 관련된 선행 연구 검토를 통하여 안개농도에 따른 시정거리와 표지의 휘도, 크기에 따른 판독성에 관련된 이론적 개념을 확립하고 기존 연구와의 차별성을 도출한다. 셋째 가변형 속도제한표지의 휘도와 크기와 관련된 실험방법론을 정립하고, 안개상황을 재현할 수 있는 모의 환경을 구축한다. 넷째 현장실험을 통해 자료를 수집하고 분

석하여 안개와 휘도, 그리고 속도제한표지의 크기에 따른 판독성에 대한 결과를 도출한다.

## II. 기존연구 고찰

### 1. 휘도 및 크기의 기준

가변형 속도제한표지의 휘도 및 크기의 국내기준은 경찰청 ‘가변형 교통안전표지 표준지침’과 국토교통부 ‘도로안전시설 설치 및 관리지침’의 도로전광표시, 그리고 한국도로공사 ‘도로전광표지 제조·구매 시방서’의 특별시방서에 있다.

#### 1) 경찰청 ‘가변형 교통안전표지 표준지침’의 휘도 기준

가변형 속도제한표지의 분류는 전광판형과 가변속도형으로 구분되며, 전광판형은 Full Color LED로 구성되며, 가변속도뿐만 아니라 교통안전표지, 차로변경, 차로차단 등의 표출이 가능한 형태이다. 가변속도형은 테두리는 원형의 적색 LED로 구성되며, 내부의 속도표시는 백색 LED로 구성되어 가변속도만을 표출할 수 있는 형태이다. 또한 크기는 도로의 종류에 따라 자동차전용도로와 일반도로로 구분되며, 각각 4개의 종류를 가지고 있다. 그리고 제한속도 100 km/h 이상의 고속도로에서는 1,200 mm 이상, 제한속도 100 km/h 미만의 일반도로에서는 900 mm 이상의 직경을 사용하는 것을 권장한다. 가변형 속도제한표지의 휘도기준은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Luminance Criteria on Variable Speed Limit Sign(unit: cd/m<sup>2</sup>)

Exterior Illumination (lx)	White		Red		Yellow		Green		Blue	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
40,000	6,200	62,000	1,550	15,500	6,200	62,000	2,800	28,000	620	6,200
4,000	1,100	11,000	275	2,750	1,100	11,000	500	5,000	110	1,100
400	300	3,000	75	750	300	3,000	200	2,000	30	300
40	200	1,250	50	315	200	2,000	100	1,000	20	125
≤ 4	60	375	15	95	60	300	60	300	6	38

#### 2) 국토교통부 ‘도로안전시설 설치 및 관리지침’의 휘도 관련 기준

국토교통부의 도로전광표시의 휘도기준은 <Table 2>와 같으며, 외부 조도조건은 밤에 10lx 이하, 낮에 1,000 ~ 100,000lx, 일출과 일몰에 10 ~ 1,000lx, 흐린 날의 낮이 10,000 ~ 25,000lx 라고 규정하고 있다. 외부조도 1,000lx 이상일 때 휘도 4,000cd/m<sup>2</sup> 이상, 외부조도 10 ~ 1,000lx 일 때 휘도 501 ~ 2,000cd/m<sup>2</sup>, 그리고 외부조도 10lx 미만일 때 휘도 200 ~ 500cd/m<sup>2</sup>를 권장한다.

<Table 2> Luminance Criteria of MOLIT on Roadway Display Sign

Exterior Illumination(lx)	Luminance(cd/m <sup>2</sup> )
over 1,000	over 4,000
10 ~ 1,000	501 ~ 2,000
under 10	200 ~ 500

3) 한국도로공사 ‘도로전광표지 제조·구매 시방서’의 휘도 관련 기준

한국도로공사 도로전광표지의 최대 휘도 기준은 백색 8,000cd/m<sup>2</sup> 이상이며, 외부 조도변화에 따라 자동 및 수동으로 변경되어야 한다. 휘도기준은 <Table 3>과 같이 외부조도 1,000lx 이상일 때 휘도 3,000 ~ 4,000cd/m<sup>2</sup>, 외부조도 10 ~ 1,000lx 일 때 휘도 1,000 ~ 3,000cd/m<sup>2</sup>, 외부조도 10lx 미만일 때 휘도 200 ~ 1,000cd/m<sup>2</sup>를 만족해야 한다.

<Table 3> Luminance Criteria of KEC on Roadway Display Sign

Exterior Illumination(lx)	Luminance(cd/m <sup>2</sup> )
over 1,000(daytime)	3,000 ~ 4,000
10 ~ 1,000(sunrise/sunset)	1,000 ~ 3,000
under 10(night)	200 ~ 1,000

2. 선행연구 고찰

Kim(2017) 등은 차량 시뮬레이터를 이용한 안개 도로 가변제한속도 순응 경향 분석에서 기상조건이 맑음인 경우와 안개가 발생한 경우, 가변제한속도 유·무에 따른 교통특성을 분석하고 운전자의 가변제한속도 순응 경향을 분석하였다. 가변제한속도는 100~50km/h로 제공하였으며, 안개의 시정거리는 200m, 150m, 100~50m로 설정하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다. 평균적으로는 기상조건과 관계없이 제한속도 이내로 주행하는 것으로 나타났지만, 특히 안개 발생 시 가변제한속도를 제공하였을 경우 속도편차 및 분산이 뚜렷하게 감소하는 것으로 분석되었다. 또한, 가변제한속도 유·무의 속도 차이가 있는 것을 통계적으로 검증하였다.

Kim(2016) 등은 안개 등 기상 악화에 따른 대형 추돌사고가 반복적으로 발생하는 시점에서, 가변적으로 제한속도를 변경 표출하는 가변속도표지판에 대한 연구를 수행하였다. 현재 가변속도표지판의 휘도기준은 정상적인 기상조건에 한정한 기준으로, 안개 상황에서도 동일한 성능을 기대하기는 곤란하다. 이런 맥락에서 본 연구는 안개를 임의로 발생시키는 재현실험을 통해 안개로 인한 가시거리(시정) 악화 조건에서 표지판을 판독할 수 있는 휘도에 대한 현장실험을 수행하였으며 터널 환경에서 안개 상태를 재현하고 가변 제한속도 표지판에 대한 실험을 한 국내 첫 사례로서 시험을 수행하는 전 과정에서 여러 차례의 실험 전 모의 안개 재현을 수행하였고, 이 실험에서는 안정적으로 안개를 재현하고 이를 토대로 안개 밀도에 따른 가변속도표지판의 휘도와 판독거리에 대한 관계를 연구결과로 제시하였다.

MacCarley(2006) 등의 연구에서는 전방 안개에 대한 가변메시지 표지판의(CMS) 경고메시지에 대한 운전자의 반응 및 교통변화를 살펴보았다, 안개로 인해 가시성이 점차 낮아질 때 운전자의 주행속도를 본 연구에서 알려준다. 안개상황에서 CMS가 작동하였을 때, 평균속도는 작동하지 않았을 때 보다 약 1.1mph가 감소했다. 그러나 평균 잠재적 충돌속도(PCS)는 약 8mph만큼 증가했다. 근접 차량 간의 속도표준편차는 크게 영향을 받지 않아 거의 모든 차선에서 5~7mph 이내를 유지했다. 운전자들은 주로 안개에 대한 인식에 반응하고,

속도를 줄인 것으로 보였지만, 줄어든 가시거리에 대한 적정 속도만큼 충분히 줄이지는 않았다.

Xiao(2017) 등은 개발도상국에서는 악천후 시 교통 사망률이 높다고 하였다. 중국 교통부에 의해 발표된 통계에 따르면 중국에서 지난 몇 년 동안 교통사고 원인의 절반이상이 시정상황이 악화되었기 때문이라고 하였다. 그러나 악천후, 특히 안개 시 도로안전에 대한 연구는 매우 제한적이라고 하였다. 이 문제를 해결하기 위해 이 연구에서는 고속도로의 다리와 터널전환구간(BTT)에서 주행상황을 조사하여 안개와 도로안전 사이의 관계를 알아내는 중점을 둔다. 데이터는 운전 시뮬레이터와 안구 추적기를 통해 수집되었으며, 발견된 사항은 다음과 같다 첫째, 시야는 안개가 낀 날씨에서 운전자의 속도조절에 더 중요한 영향을 준다. 둘째, 운전자는 안개가 약할 때 부주의 하게 쉽고 도로가 안전하다고 지나치게 신뢰하는 경향이 있다. 셋째, 짙은 안개는 운전자의 교통표지 인식능력을 저해하고 충돌을 회피하기 위한 차선변경이 지연되기 때문에 교통사고 발생률이 높아진다고 하였다.

Munehiro(2007) 등은 안개 상황에서 경고표지 인식은 운전자의 안전에 중요한 요인이라고 하였다. 안전한 주행을 위해서는 운전자가 경고 신호를 인식하는 것이 중요하다고 하였다. 본 연구에서는 안개상황에서 주행할 때 역반사 성능에 대한 효과를 시험했다. 본 연구는 현재 운영하는 도로에서 수행되었고 조건은 주간 맑음, 주간 안개, 야간 맑음 및 야간 안개 4가지이다. 주간 안개와 야간 안개에서의 가시성과 가독성 거리는 캡슐화된 역반사 소재로 구성된 교통표지보다 광각 프리즘 역반사 소재로 구성된 교통표지보다 대체로 더 큰 것으로 나타났다. 즉, 역반사율이 높은 교통표지를 설치하는 것이 운전자 안전에 더 좋은 것으로 나타났다.

Colomb(1999) 등은 이 연구에서 안개로 인해 시인성이 낮아진 상황에서 적절한 VMS의 성능 및 사양을 제시하였다. 실내에 인공적으로 안개를 발생시키고 거리변화에 따른 휘도변화를 측정하였다. 또한 거리, 안개 밀도와 피험자의 판독거리와의 관계를 실내에서 인공적 안개발생 상황을 조성한 뒤 측정하였다. 이를 토대로 VMS의 적정 휘도값을 도출하였고 모델을 생성하였다. 이 휘도모델은 VMS의 판독거리 개선을 위한 기준이 될 수 있다고 하였다.

Martin(2003) 등은 ADVISE(역 가시성 정보시스템 평가) 시스템에 대해 조사하였다. ADVISE(역 가시성 정보시스템 평가) 시스템은 차량 경고시스템을 실시간 평가하는 시스템이다. 유타교통부에서는 안개 중 표지 판에서 속도감소에 대한 권고를 받았을 때 차량의 평균속도 및 속도편차가 실제로 감소하였는지 확인하였다. 실험장소는 유타주 솔트레이크시티 남쪽 215번 고속도로이다. 그 결과 속도편차 감소에는 기여했지만 제한속도 감소에는 기여하지 못했다. 안개경보 시스템은 매우 느리게 움직이는 차량운전자에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보인다는 결론이 도출되었다.

### 3. 기존 연구와의 차별성

선행 연구의 결과를 살펴보면, 차량의 시뮬레이터를 이용하여 관련 평가를 진행한 결과가 있다. 그리고 모의실험의 경우에도 실험공간에 안개를 일정하게 가두지 못하거나, 안개의 농도를 변화시키는 상황을 구현하지 못한 상황을 대상으로 연구가 진행된 것으로 파악되었다. 또한 터널에서 수행된 실험은 야간의 안개상황만 구현된 제한적인 결과를 제시하고 있다.

이러한 선행 연구의 고찰을 통해 본 연구는 다음과 같은 차별화를 구현하였다. 우선 다양한 안개농도를 구현할 수 있는 실험 환경을 구성하여 안개농도의 변화에 따른 시정거리와 표지의 휘도, 크기에 따른 판독성의 결과를 제시하여 기존 연구보다 다양한 도로 환경에 따른 평가 결과를 도출하였다. 또한 안개를 실험공간에 일정하게 가두는 방법을 채택하여 균일한 농도가 시정거리별 평가과정에 유지되도록 하였다. 그리고 안개의 농도와 휘도를 완벽하게 통제할 수 있는 실험환경을 구축하여 각 실험별로 발생하는 인자별 영향을 균일하게 적용할 수 있도록 하였다. 이러한 실험구성 내용은 본 연구 결과의 신뢰성을 높이는데 기여할 것이라고 판단된다.

### Ⅲ. 실험 방법론

본 실험을 위하여 일출 때의 외부조건을 만족하고 짙은 안개를 임의로 가둘 수 있는 공간을 선정하였다. 또한 안개를 발생시키는 안개발생기와 실험환경의 안개농도를 측정하기 위한 시정계, 목측으로 시정거리 및 판독거리를 확인하기 위한 시정표지, 가변형 속도제한표지 등 실험에 필요한 장비를 설치하여 안개상황 모의실험 환경을 구축하였다. 그리고 안개발생기를 작동하여 안개를 발생시킨 후 시정거리를 조절하며 속도제한표지의 크기와 휘도에 따른 판독거리 도출 실험을 위한 피험자 실험을 주간에만 진행하였다. 주간에만 실험한 이유는 안개 시 대형교통사고가 일출, 일몰시간에 집중되었기 때문이다.

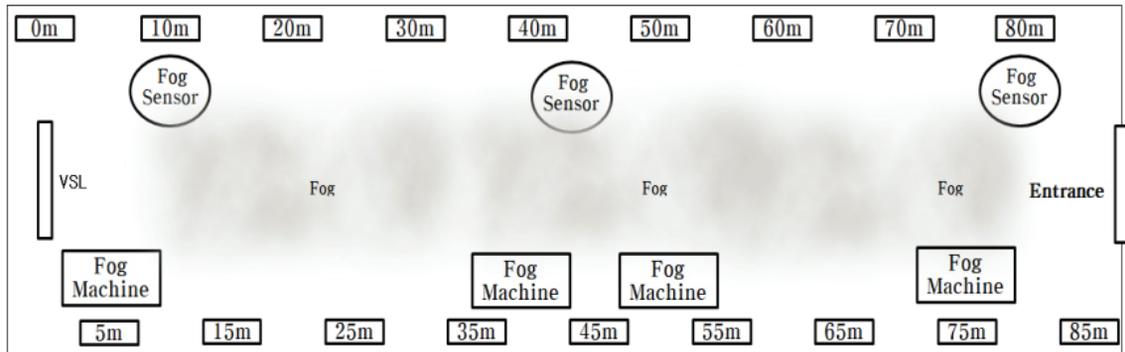
#### 1. 안개상황 모의 환경 구축

##### 1) 대상공간 선정

일반 고속도로 및 도로는 밀폐되지 않은 공간과 바람의 영향으로 안개를 가둘 수 없는 어려운 공간이다. 또한 페터널은 바람의 유속이 매우 높고 외부조건 환경이 야간과 같은 환경이라서 대상 공간의 선정에서 제외하였다. 일출 및 일몰의 외부조건 조건을 만족하고 가로, 세로의 폭이 각 5m 이상의 공간을 고려한 결과 실험 장소를 충청남도 당진시 대호지면 적서리에 있는 비닐하우스로 선정하였다. 실험공간의 가로의 폭은 7.5m, 세로의 폭은 5m이고 총 길이는 90m이다.

##### 2) 실험환경 구성 및 구축

안개상황 실험을 통해 운전자가 시정거리가 제한된 상황에서 가변형 속도제한표지의 판독거리를 실험하기 위하여 안개상황 실험 환경을 <Fig. 1>과 같이 구축하였다.



<Fig. 1> Configuration diagram of fog situation experiment

우선, 안개상황을 재현하기 안개발생기를 이용하였다. 안개발생기의 토출량은 40,000cu.ft/min 이고 무색무취의 수용성 용액 수용량은 6L이며, 전력량은 3kW 로 본 실험에서는 총 4대로 구성하였다. 또한 안개를 실험공간에 일정한 농도로 유지하기 위하여 제트팬을 이용하여 안개를 확산시키고 일정하게 유지시켰다. 그리고 시정계를 일정한 간격으로 배치하여 실험장의 시정거리를 측정하였다. 시정계는 국내 라이다의 안개감지기를 이용하였으며, 측정범위는 시정거리 10m ~ 25,000m 이고, 정확도는  $\pm 10\%$  이하이다. 안개의 농도는 시정계의 시정거리와 목측으로 측정할 수 있는 시정표지로 구성하였다. 시정표지는 피실험자가 판독거리를 기

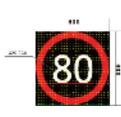
록할 수 있도록 5m 단위로 시정표지를 지그재그방식으로 설치하였다. 그리고 가변형 속도제한표지는 운영자가 크기와 휘도를 조절하고 임의의 속도를 표출 제어할 수 있도록 제작하였다. 그리고 실험 공간에서의 전기 공급은 발전기 2대를 이용하였으며, 혼다 EU65is로 최대출력 6.5kW이다.



<Fig. 2> Site photo of fog situation experiment

가변형 속도제한표지는 경찰청 ‘가변형 교통안전표지 표준지침’의 크기에 있는 600mm, 900mm, 1,200mm, 1,500mm로 제작하여 구성하였다. 속도제한표지의 크기와 숫자높이는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Size and Height of Variable Speed Limit Sign

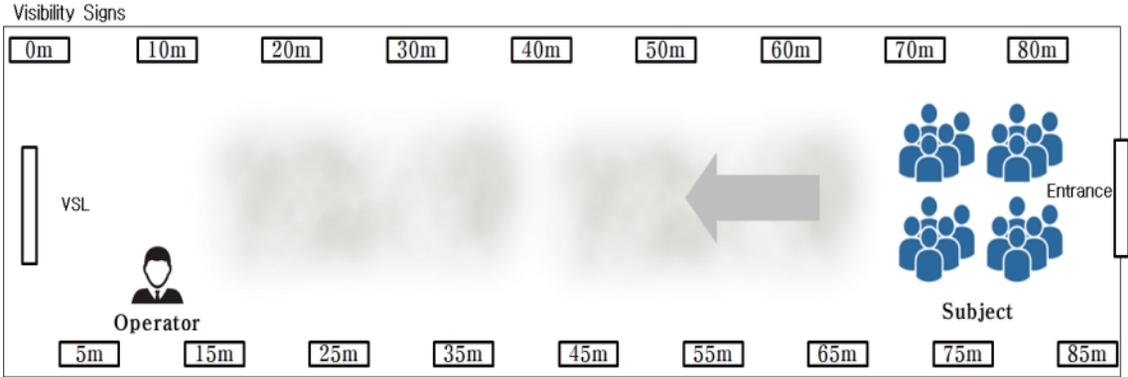
Size	600mm	900mm	1,200mm	1,500mm
Height	230mm	350mm	480mm	580mm
Design				

## 2. 실험 절차 및 방법

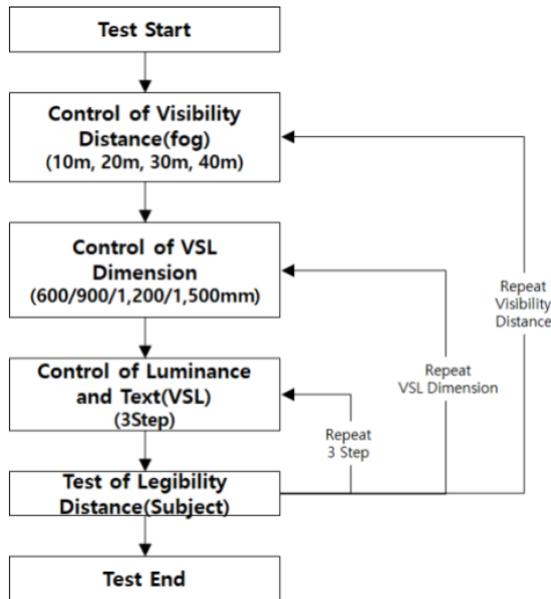
본 실험의 방법은 <Fig. 3>과 같다. 안개발생기를 이용하여 시정거리를 조정하고 시정계와 목측을 통해 시정거리가 일정하게 조정되면 운영요원은 속도제한표지의 휘도를 2,000 cd/m<sup>2</sup>, 4,000 cd/m<sup>2</sup>, 8,000 cd/m<sup>2</sup>의 3 단계로 변화시킨다. 표출 속도는 임의의 제한속도로 표출하였다. 피실험자는 속도제한표지의 반대편인 출입구에 대기하다가 운영요원의 안내에 따라 제한속도가 표출되면 속도제한표지 쪽으로 이동하면서 표출되는 제한속도가 눈부시지 않고 명확하게 판독되는 위치에서 시정표지를 확인하여 판독거리를 기록하도록 하였다. 그리고 운영요원이 표출한 제한속도와 피실험자가 목측으로 실험한 제한속도를 각각 기록하여 비교하였다.

본 실험의 순서도는 <Fig. 4>와 같다. 표출 크기에 따른 휘도별 판독거리 실험으로 10m, 20m, 30m,

40m의 시정거리로 조정하여 판독거리 실험을 실시하였다. 그리고 표출 크기를 각 시정거리별 600mm, 90mm, 1,200mm, 1,500mm로 변화시키고, 휘도를 2,000 cd/m<sup>2</sup>, 4,000 cd/m<sup>2</sup>, 8,000 cd/m<sup>2</sup>의 3 단계로 변화하여 피실험자 판독거리 실험을 진행하였다.



<Fig. 3> Test method of fog situation experiment



<Fig. 4> Flow chart for test process

피실험자는 운영요원의 안내에 따라 속도제한표지의 방향으로 이동하며 제한속도가 명확히 판단되는 지점에서 정지하고 표출되는 제한속도와 시정표지를 이용하여 판독거리를 기록한다. 기록이 완료되면 피실험자는 다시 원위치로 이동하고 운영요원은 다음단계의 표출휘도와 제한속도를 변경하여 표출부를 제어하였다. 표출되는 휘도는 3단계로 구분하여 표출하였다. 즉, 크기별 실험이 완료되면 안개를 배출하여 다음 시정거리 조건인 20m의 시정거리를 조성하고 실험을 반복하여 진행한다. 실험진행 과정에서 판독거리가 85m 이상일 경우 해당 크기의 표출휘도에 대하여 판독거리 실험을 종료하였다.

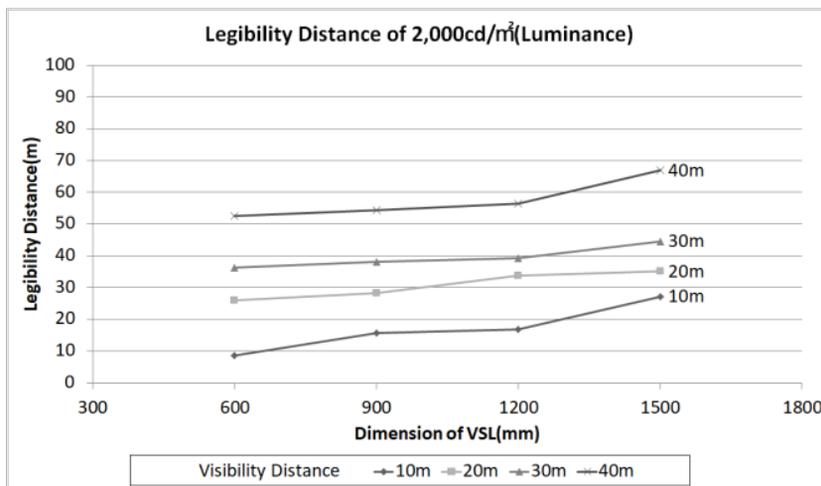
## IV. 현장실험 결과

### 1. 자료 수집

본 실험은 가변형 속도제한표지를 안개상황 모의실험장에 설치하고 표출 크기에 따른 휘도별 판독거리 실험을 실시하였다. 피실험자는 총 11명이 참여하였으며, 남성 9명과 여성 2명이다. 그리고 연령대는 20대 4명, 40대 5명, 50대 2명으로 구성되었으며, 교정시력 0.7이상의 피실험자가 참여하였다. 본 실험은 2017년 11월 24일과 25일에 수행하였으며, 각 상황에서 표출한 속도제한표지의 속도와 피실험자 기록한 속도가 다를 경우 자료 수집단계에서 제외하였다. 기초 자료는 시정거리 10m일 때의 117개, 20m일 때의 123개, 30m일 때의 123개, 40m일 때의 123개 총 486개 자료를 수집하였다.

### 2. 분석 결과

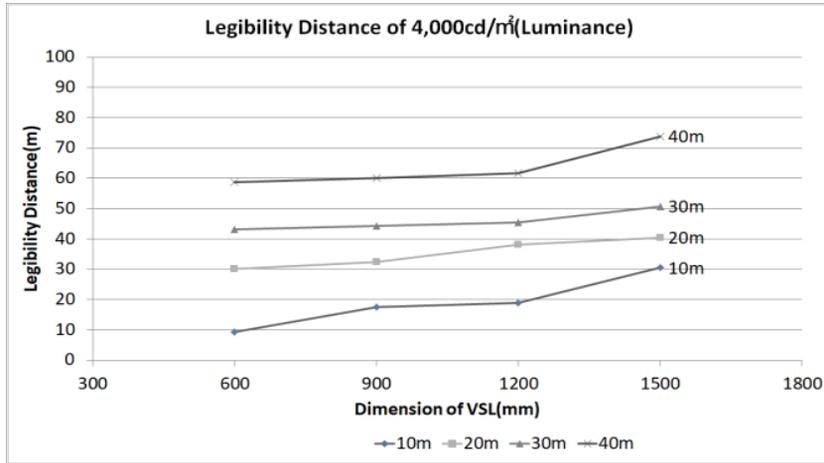
본 실험의 속도제한표지 표출 휘도  $2,000\text{cd}/\text{m}^2$ 일 때의 자료 분석결과는 <Fig. 5>와 같다. 표출 휘도  $2,000\text{cd}/\text{m}^2$ 는 일출 및 일몰 도로전광표지의 운영 표출휘도이다. 시정거리 10m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는 8.7m와 27.2m이고, 시정거리 20m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는 25.9m와 35.2m이다. 또한 시정거리 30m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는 36.3m와 44.6m이고, 시정거리 40m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는 52.5m와 67m로 나타났다. 속도제한표지의 휘도를  $2,000\text{cd}/\text{m}^2$ 로 설정한 경우, 시정거리 10m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 3.1배 향상되었고, 시정거리 40m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 1.28배 향상되었다.



<Fig. 5> Average Legibility Distance at a Luminance of  $2,000\text{cd}/\text{m}^2$

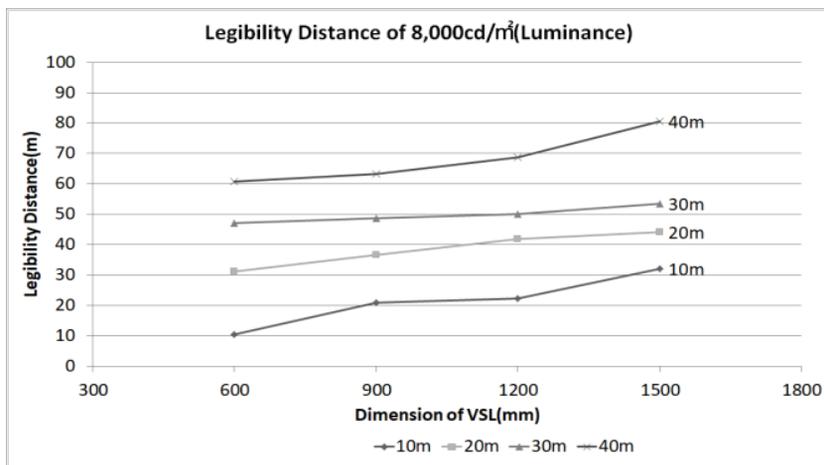
본 실험의 속도제한표지 표출 휘도  $4,000\text{cd}/\text{m}^2$ 일 때의 자료 분석결과는 <Fig. 6>과 같다. 표출 휘도  $4,000\text{cd}/\text{m}^2$ 는 주간 도로전광표지의 운영 표출휘도이다. 시정거리 10m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는 9.4m와 30.8m이고, 시정거리 40m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는

58.4m와 74.7m로 나타났다. 휘도를 4,000cd/m<sup>2</sup>로 설정한 경우, 시정거리 10m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 3.28배 향상되었고, 시정거리 40m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 1.27배 향상되었다.



<Fig. 6> Average Legibility Distance at a Luminance of 4,000cd/m<sup>2</sup>

본 실험의 속도제한표지 표출 휘도 8,000cd/m<sup>2</sup>일 때의 자료 분석결과는 <Fig. 7>과 같다. 표출 휘도 8,000cd/m<sup>2</sup>는 주간 도로전광표지의 최대 표출휘도이다. 시정거리 10m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는 10.6m와 32m이고, 시정거리 20m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는 31.2m와 44.1m이다. 또한 시정거리 30m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는 47.2m와 53.5m이고, 시정거리 40m일 때의 표출크기 600mm와 1,500mm의 평균 판독거리는 60.7m와 80.6m로 나타났다. 휘도를 8,000cd/m<sup>2</sup>로 설정한 경우, 시정거리 10m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 3.02배 향상되었고, 시정거리 40m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 1.33배 향상되었다.



<Fig. 7> Average Legibility Distance at a Luminance of 8,000cd/m<sup>2</sup>

## V. 결 론

본 연구는 안개 발생시 가변형 제한속도표지 크기에 따른 판독성의 변화에 관한 현장 실험을 수행하여 평가결과를 제시하는 것을 목적으로 수행되었다. 이를 위하여 모의 환경을 구축하고 안개농도를 변화시켜 시정거리를 조절하고, 4개의 가변형 속도제한표지 크기에 따른 피실험자의 판독성 실험을 통해 크기별 시정거리에 따른 판독거리를 분석하였다. 본 실험연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 설정된 3가지 표출 휘도별로 시정거리와 표출크기에 따른 판독거리를 평가하여 각각을 그래프로 나타내었다. 판독거리는 크기와 시정거리가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 둘째, 속도제한표지의 휘도를 2,000cd/m<sup>2</sup>로 설정하고 시정거리 10m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 3.1배 향상되었고, 시정거리 40m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 1.28배 향상되었다. 셋째, 속도제한표지의 휘도를 4,000cd/m<sup>2</sup>로 설정하고 시정거리 10m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 3.28배 향상되었고, 시정거리 40m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 1.27배 향상되었다. 넷째, 속도제한표지의 휘도를 8,000cd/m<sup>2</sup>로 설정하고 시정거리 10m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 3.02배 향상되었고, 시정거리 40m일 때의 1,500mm 크기의 표지는 600mm 크기의 표지보다 판독거리가 1.33배 향상되었다. 이러한 결과는 속도제한표지의 크기가 클수록 판독거리가 향상됨을 알 수 있고, 특히 짙은 안개일수록 크기가 큰 속도제한표지가 효과적인 것으로 나타났다. 그리고 속도제한표지의 운영휘도를 증가할수록 판독거리가 향상된 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 도로 설계자나 관리운영자가 도로 및 기상상황에 맞게 속도제한표지를 운전자에게 잘 보이도록 운영할 수 있는 기준을 제공하여 향후 가변형 속도제한시스템의 운영효율성을 향상시킬 수 있을 것이다. 그러나 본 연구는 안개시 속도제한표지의 크기와 휘도에 따른 판독거리 실험결과를 도출하였지만 눈, 비 등 다양한 기상상황에서 대하여는 실험하지 못했다. 그러므로 향후에는 다양한 기상상황에서의 판독거리의 변화와 관련된 실험이 필요하다.

## REFERENCES

- Colomb M., Legeoueix G., Smith M., Aston M. and Williams T.(1999), *Visibility of Variable Message Signs in Fog*, Elsevier.
- KEC(2015), *Production and Purchase Specifications of Variable Message Signs*, Korea Expressway Corporation.
- Kim S., Lee S. and Kim Y.(2017), "An Analysis of Compliance of Variable Speed Limit under Foggy Conditions using Driving Simulator," *The Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 16, no.2, pp.116-127.
- Kim Y., Lee S. and Kim S.(2016), "Fog Generated Field Test for Luminance Criteria of Variable Speed Limit Signs," *International Journal of Highway Engineering*, vol. 18, no. 6, pp.77-85.
- MacCarley C., Ackles C. and Watts T.(2006), "Highway Traffic Response to Dynamic Fog Warning and Speed Advisory Messages," *TRR*. 1980, TRB, pp.95-104.
- Martin P., Perrin J. and Coleman B.(2003), *Adverse Visibility Information System Evaluation(Advise)*

*Interstate 215 Fog Warning System*, University of Utah, UT DOT.

MOLIT(2016), *Installation and Maintenance Guideline on Highway Safety Facility: VMS*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

Munehiro K., Tokunaga R., Asano M. and Hagiwara T.(2007), “Effect of Retroreflecting Performance for Traffic Signs by Driving Visibility Evaluation Under Foggy Conditions,” *TRB 86th Annual Meeting*, No. 07-1387, p.16.

NPA(2017), *Standard Guideline of Variable Traffic Safety Sign*, National Police Agency.

Xiao D., Fang Y., Zhang Y. and Guo Z.(2017), “Analysis of driving behavior at the bridge-tunnel transition section in reduced visibility situations,” *Transportation Information and Safety(ICTIS) 4th International Conference*, Alberta, Canada.