

## 가변속도형 표지 휘도기준 정립을 위한 안개재현 현장실험

### Fog Generated Field Test for Luminance Criteria of Variable Speed-Limit Signs

김용석 Kim, Yongseok | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 교신저자 (E-mail : safeys@kict.re.kr)  
이석기 Lee, Sukki | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : oksk@kict.re.kr)  
김솔람 Kim, Soullam | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구원 (E-mail : soulkim@kict.re.kr)

#### ABSTRACT

**OBJECTIVES :** A fog generated field test was conducted to analyze the relationship between the luminance of variable speed-limit signs and the legibility distance under various fog density conditions. By using this study, appropriate luminance values can be selected depending on the density of fog.

**METHODS :** An actual tunnel was selected as the area to conduct the test, as other places cannot maintain the fog condition because of rapid air current. Ninety-two subjects were recruited for this test, which took place during the course of three days. Visibility-distance detecting sensor was used to measure the visibility distance due to the fog density time, simultaneously with the evaluation of legibility distance by subjects.

**RESULTS :** The test results show the relationship between luminance values and the legibility distance corresponding to the visibility distance due to fog. According to the technical test results, lower luminance value such as 7000 cd/m<sup>2</sup> corresponds to less legibility distance compared to higher values such as 20000 cd/m<sup>2</sup> or 40000 cd/m<sup>2</sup>. However, the amount of difference between 20000 cd/m<sup>2</sup> and 40000 cd/m<sup>2</sup> is negligible in our test.

**CONCLUSIONS :** The results of this study can be used to select appropriate luminance of valuable speed signs under fog conditions. Hence, drivers can expect to have more room to respond to adverse weather conditions, thereby reducing the risk of accidents.

#### Keywords

*Fog, Variable Speed-Limit Signs, Field Test, Legibility Distance, Visibility Distance*

Corresponding Author : Kim, Yongseok, Research Fellow  
Highway&Transportation Research Division, Korea Institute of  
Construction Technology, 283 Goyangdae-ro, Ilsan-gu, Koyang-si,  
Gyeonggi-do, 10223, Korea  
Tel : +82.31.910.0178 Fax : +82.31.910.0161  
E-mail : safeys@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Oct. 06, 2016 Revised Nov. 18, 2016 Accepted Nov. 21, 2016

## 1. 서론

### 1.1. 연구 배경 및 필요성

짙은 안개로 인한 106중 교통사고(영종대교, 2015.2.11) 등 매년 악천후 관련 대형 교통사고가 발생하여 SOC에 대한 국민 불신이 고조되고 있다. 특히, 기후변화로 인해 짙은 안개, 폭설, 폭우 등 기상 악천후 발생 빈도가 늘어나고 있어, 심각한 기상변화로 부터 도로 교통사고를 최소화

하기 위한 악천후에 능동적으로 대응할 수 있는 가변 제한 속도 표출 등의 안전대책 마련이 시급하다.

가변 제한속도는 시시각각으로 변화되는 도로 교통 상황 및 기상 변화에 능동적으로 정보를 표출하는 것으로, 도로 교통 및 기상 변화를 신뢰성 있게 파악하여 운전자가 안전하게 통행할 수 있는 속도를 가변적으로 제공함으로써 운전자가 변화된 기상 에 따른 안전한 속도

를 선택하여 주행하도록 유도하고, 운전자들 간에 속도의 편차를 최소화함으로써 도로 교통의 안전 및 이동 측면에서의 효율을 동시에 달성할 수 있다.

그러나 기술 구현에 있어 한계점으로 통상의 가변 제한속도 표지판이 정상적인 기상조건 하에서는 충분히 먼 거리에서 안전속도를 표출할 수 있으나 짙은 안개 상태에서는 가변속도표지판 자체가 운전자에게 보이지 않기 때문에 시설 설치의 효과를 기대하기 어렵다. 따라서 짙은 안개 상태 등에서 가변 속도표지판의 성능 검증 및 이를 통한 안개 가변 속도표지판의 성능기준을 정하는 것이 중요하다. 다만, 실제 도로에서 안개상황을 재현하는 것은 현실적으로 불가하기 때문에 본 연구에서는 터널 내 일정구간 전후로 차단막을 설치하고, 안개발생기를 이용하여 안개를 최대한 가두어 둔 상태에서 가변속도표지판의 휘도에 따른 판독성을 실험하였다.

본 연구를 통해, 안개 밀도에 따라 요구되는 가변속도 표지판의 휘도에 대한 정량적인 요구성능을 도출할 것으로 기대된다. 본 연구의 결과는 안개 밀도에 따라 가변속도표지판의 휘도를 어느 수준까지 올려야 하는지에 대한 가이드라인을 수립하는데 활용할 수 있다.

## 1.2. 연구범위

본 연구는 대다수 대형추돌사고의 원인인 안개에 대해 실증실험을 수행한 연구이다. 안개 상황을 그대로 연출하기 위해 공용 전 미개통 도로 터널을 활용하여 안개 상황을 구현하고, 가변속도표지판의 휘도 변화에 따른 표지 판독성에 대한 관계를 조사하였다. 92명의 피실험자를 활용하여 3일에 걸쳐 시험을 수행하였다. 터널의 공간적 한계로 인하여 하루 30여 명씩 나누어 표지 판독성을 실험하였다. 표지판의 휘도는 국내외 기준검토를 토대로 7,000cd/m<sup>2</sup>, 20,000cd/m<sup>2</sup>, 40,000cd/m<sup>2</sup>의 세 조건에 대해 실험하였다.

가변속도표지판은 경찰청 발행 가변형 교통안전표지 표준지침(NPA, 2013)에 따라 크게 전광판형과 가변속도형 표지판으로 구분할 수 있다. 전광판형은 속도 및 공사구간 안내 등 다양한 정보 표출이 가능한 표지판이고, 가변속도형 표지판은 속도만을 표출하는 기능을 가지는 표지판이다. 본 연구는 가변속도형 표지판에 대한 휘도 시험을 수행한 것이다.

## 2. 선행 연구

### 2.1. 가변 제한속도 제공기준

가변 제한속도란 시시각각으로 변화되는 도로 교통 상황 및 기상 변화에 맞추어 운전자에게 적기에 적합한 정보를 제공하기 위해 도입한 개념이다. 국내에서도 2010년 7월에 가변제한속도 개념을 도로교통법 시행규칙 제19조에 명시하고 있으며, Table 1과 같다.

Table 1. Variable Speed Limit Criteria in Road Transport Act

Weather condition	Speed limit criteria
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wet road surface condition</li> <li>Snow covered less than 20 mm</li> </ul>	Reduced to 80% of the speed at normal weather
<ul style="list-style-type: none"> <li>Visibility distance: Less than or equal to 100m</li> <li>Frozen road surface</li> <li>Snow covered greater than or equal to 20mm</li> </ul>	Reduced to 50% of the speed at normal weather

현재 국내에서는 처음으로 영종대교에 가변제한 속도에 대한 시험운행을 수행 중에 있다. 시험구간에서 기상조건(안개)에 따른 가변 제한속도 운영기준은 국토교통부 매뉴얼(MOLIT, 2015)을 참조하여 Table 2와 같이 정하고 있으며, 안개로 인한 가시거리(Visibility Distance)를 160m, 100m, 50m, 20m로 구분하여 가변 제한속도를 표출하거나 도로 폐쇄를 제시하고 있다.

Table 2. Variable Speed Limit Criteria Applied for Young-Jong Bridge Test Site

Speed limit (kph)	Weather condition
100	<ul style="list-style-type: none"> <li>Normal weather condition</li> </ul>
80	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visibility distance by fog : Less than or equal to 160m</li> <li>Snow covered : Less than 20 mm</li> <li>Wind : 10-20m/s</li> </ul>
50	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visibility distance by fog : Less than or equal to 100m</li> <li>Snow covered : Greater than or equal to 20 mm</li> <li>Wind : 20-25m/s</li> </ul>
30	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visibility distance by fog : Less than or equal to 50m</li> </ul>
Road closure	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visibility distance by fog : Less than or equal to 20m</li> <li>Snow covered : Greater than or equal to 100 mm</li> <li>Wind : Greater than or equal to 25m/s</li> </ul>

국내와 동일하게 국외에서도 기상상황에 따라 가변제한속도에 대한 기준을 제시하고 있다. Table 3은 미국

알라바마 교통성(FHWA, 2012)에서 제시한 가시거리와 제한속도 설정기준을 보인 것이다. 참고로 알라바마 주(state)에서도 1995년에 안개로 인해 197중 사고가 발생한 것이 기상에 따른 제한속도 가변표시의 계기가 되었다.

Table 3. Variable Speed Limit Criteria in Alabama State DOT

Visibility distance	Speed limit (kph)
Less than 274.3m	104.5(65mph)
Less than 201.2m	88.4(55mph)
Less than 137.2m	72.4(45mph)
Less than 85.3m	56.3kph(35mph)
Less than 53.3m	Road closure

미국 와싱턴 교통성(FHWA, 2012)에서 제시한 기상상태와 제한속도 설정기준은 Table 4와 같다.

Table 4. Variable Speed Limit Criteria in Washington State DOT

Weather condition	Road surface condition	Speed limit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Light rain</li> <li>• Visibility distance : greater than 800m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dry</li> <li>• Wet</li> </ul>	104.5kph (65mph)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heavy rain</li> <li>• Fog</li> <li>• Visibility distance : less than 320m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slushy</li> <li>• Frozen</li> </ul>	88.4kph (55mph)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heavy rain or snow</li> <li>• Snowstorm</li> <li>• Visibility distance : less than 160m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thin water film</li> <li>• Snow covered</li> <li>• Severe slushy</li> </ul>	72.4kph (45mph)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frozen rain</li> <li>• Heavy rain or snow</li> <li>• Snowstorm</li> <li>• Visibility distance : less than 160m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thick water film</li> <li>• Snow/slushy mixed and covered</li> </ul>	56.3kph (35mph)

## 2.2. 가변 제한속도 표출기준에 대한 선행연구

국내에서 가변형 교통안전표지 기준에 관한 연구(KRTA, 2012)는 도로교통공단 교통과학연구원에서 2012년에 수행한 것이 대표적이다. 이 연구는 가변형 속도표지를 도로공사 실험도로에 설치하여 다양한 테두리, 글자체, 크기 등의 디자인에 대한 실험을 통하여 최적의 표출방안을 제시하였으며, 최적 휘도기준도 설정하였다. 본 연구와 차별점으로, 이 연구는 정상적인 기상조건에서 실험을 수행한 것이고 본 연구는 안개 상황을 재현하여 수행한 실험이라는 점이다.

2013년에 경찰청에서 발행한 가변형 교통안전표지 표

준지침(NPA, 2013)을 보면, 가변형 교통안전표지는 주변의 조도에 대응하여 자동적으로 표출부의 휘도가 적절히 변화하여, 운전자가 표출 메시지를 판독할 수 있는 최적의 조건을 제공하도록 하고 있다. Table 5는 경찰청 표준지침에 따른 가변속도표지판에 대한 국내 휘도 기준이다.

이 지침에 제시된 기준도 정상적인 기상조건에서 외부조도에 따른 휘도기준을 제시한 것으로 안개가 발생한 조건에서는 정상적인 조건에 비해 운전자의 시계가 크게 제약되는 환경이 되므로 지침에 제시된 휘도기준을 별도의 검증 없이는 적용하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 안개 상황에서 운전자가 표지를 판독할 수 있는 휘도에 대해 현장실험을 통해 규명해 보는 것을 목적으로 하고 있다. 일반 도로(토공구간)에서는 공기의 빠른 흐름으로 인해 안개를 임의로 재현하는 것이 불가능하기 때문에 터널에서 차단막을 설치하여 안개 밀도를 일정 수준으로 유지하는 것을 선택하였다.

Table 5. Luminance Criteria for Variable Speed Limit Signs

(unit : cd/m<sup>2</sup>)

External illuminance (lx)	White colour		Red colour	
	Min.	Max.	Min.	Max.
40,000	6,200	62,000	1,550	15,500
4,000	1,100	11,000	275	2,750
400	300	3,000	75	750
40	200	1,250	50	315
≤4	60	375	15	95

국외에서도 가변 제한속도 표지판의 휘도기준을 제시하고 있으며, 국가별로 백색에 대한 휘도 기준을 제시하면 Table 6과 같다(KRTA, 2012). 미국의 기준은 외부조도 400~40,000cd/m<sup>2</sup> 범위에서 최댓값을 제시하지 않은 것을 제외하고는 유럽 기준과 같다. 호주는 최솟값은 유럽과 동일하지만 최댓값에는 차이가 있다.

Table 6. Luminance Criteria for Variable Speed Limit Signs by Countries

(unit : cd/m<sup>2</sup>)

External illuminance (lx)	EU		US		Australia	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
40,000	6,200	62,000	6,200	-	6,200	120,000
4,000	1,100	11,000	1,100	-	1,100	21,000
400	300	3,000	300	-	300	3,700
40	200	1,250	200	1,250	200	2,000
≤4	60	375	60	375	60	300

국외 기준을 검토한 결과, 국내 기준은 유럽 기준과 동일한 값을 가짐을 알 수 있다. 국내 및 국외 기준 모두 외부 조도에 따른 휘도 기준을 정하고 있으나, 안개와 같이 일시적으로 변화되는 기상에 대해 요구되는 휘도 기준에 대해서는 별도의 기준이 제시되지 못한 실정이다.

본 연구는 국내 및 국외에 안개에 따른 표지판의 휘도 기준이 없는 관계로, 현 기준의 외부조도 범위 40, 400, 4,000, 40,000lx에 상응한 휘도 최대값인 1,250, 3,000, 11,000, 62,000cd/m<sup>2</sup>의 50백분위 값인 7,000cd/m<sup>2</sup>을 기본 값으로 하고, 여기에 약 2.8배, 5.7배를 곱한 20,000cd/m<sup>2</sup>, 40,000cd/m<sup>2</sup> 세 가지 조건을 현장실험을 통해 평가하는 것으로 하였다.

### 2.3. 시사점 및 연구 필요성

가변속도표지판의 국내 및 국외 휘도 기준은 정상적인 기상조건을 가정하고 외부조도에 따른 휘도의 최소 및 최대 기준을 제시하고 있다. 그러나 안개와 같이 일시적으로 발생하여 대형 추돌사고를 발생시키는 교통사고 및 그 피해 규모를 감안할 때 실제 가변 제한속도의 효과를 높이기 위해서는 운전자가 미리 안개 밀도에 따른 안전속도를 권장받는 것이 필요하다. 특히 안개 상태에서 운전자에게 권장해야 하는 정보가 전혀 보이지 않는 경우는 가변속도표지판 자체가 무용지물로 전락하기 때문에 안개라는 악천후 기상조건에 대응하여 가변제한속도 표지판이 갖추어야 하는 휘도 성능을 정의할 필요성이 매우 높다.

## 3. 안개 현장 실험

### 3.1. 실험개요

일반 도로(토공구간)에서는 공기의 빠른 흐름으로 인해 안개를 임의로 재현하는 것이 불가능하기 때문에 본 연구에서는 터널 내 일정구간 전후로 차단막을 설치하고, 안개발생기를 이용하여 안개를 최대한 가두어 둔 상태에서 가변속도표지판의 휘도에 따른 판독성을 실험하였다.

안개 현장실험을 위해 공용 직전에 있는 국도 39호선 '장흥-송추간' 우회도로 내 터널 구간(서울지방국토관리청 관할 공사구간)을 이용하였다. 터널은 이미 완공이 된 상태로 공용중인 도로 터널과 동일한 주행환경이며, 전체 터널 연장은 약 2.0km이고 외부 공기 흐름 영향을 가장 적게 받을 수 있는 구간 약 500m를 실험구간으로 사용하였다.

터널 사용 및 시험 안전사항 등은 공사감리단 및 현장

관리자와 몇 차례 협의를 통해 방법을 구체화하였고, 해당 도로관리청에는 시험협조공문 등을 시행하였다. 안개 현장실험은 2016년 8월 23일부터 8월 25일간 총 3일에 걸쳐 수행되었다.



Fig. 1 Test Site Location



Fig. 2 The Entrance of Test Tunnel

### 3.2. 피 실험자 구성 및 실험 표지 규격

피실험자는 1일차(2016/08/23) 31명, 2일차(2016/08/24) 30명, 3일차(2016/08/25) 31명으로 총 92명이 실험에 참석하였다. 전체 피실험자의 연령대 구성은 36~45세가 30명, 46~55세가 31명, 56세 이상이 31명으로 비교적 균등하게 구성하였으며, 남자가 86명, 여자가 6명으로 구성하였다. 전체 피실험자에게는 소정의 실험참가비를 지출하였다.

실험대상 가변속도형 표지의 형상은 Fig. 3과 같다.

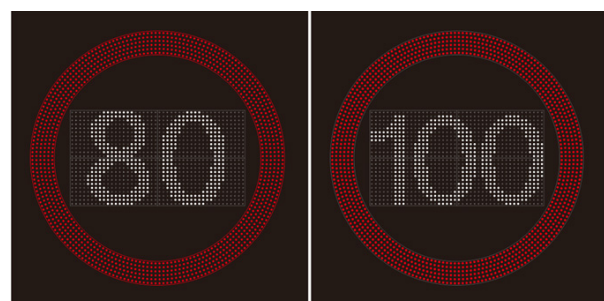


Fig. 3 Variable Speed Limit Signs

지름이 1,200mm의 크기를 가지며 표출되는 부분은 적색의 테두리와 숫자부이다. 표출되는 글자의 크기 등 다른 제원은 현 경찰청 지침(NPA, 2013)에 제시된 기준과 동일하게 하였다.

현장실험은 표지판의 크기(지름 1,200mm)를 동일하게 하고, 휘도만을 7,000cd/m<sup>2</sup>, 20,000cd/m<sup>2</sup>, 40,000cd/m<sup>2</sup>의 세 조건으로 변화시키면서 실험하였다.

### 3.3. 실험절차 및 방법

안개 현장실험의 순서는 Fig. 4와 같다. 피시험자의 평가를 수행하기 전에 시험구간 전후에 임의로 발생시킨 안개를 터널 안에 가두어 두기 위해 차단막을 설치하고 안개발생기를 통해 안개를 발생시킨다. 안개로 인한 가시거리를 시정계를 이용해서 모니터링을 시작한다. 가시거리가 일정한 범위 내에서 유지된다고 판단되는 경우에 피시험자 평가를 시작하였다.

피시험자는 주어진 표지판 휘도 조건별로 250m에서 20m씩(230m에서 200m 사이만 30m) 앞으로 이동하면서 표지판을 읽고 시험양식지에 표지판의 속도 값을 적는 것으로 하였다. 피시험자가 평가를 하는 동일 시각에 시정계를 이용하여 안개로 인한 가시거리를 측정하고 저장하였다.

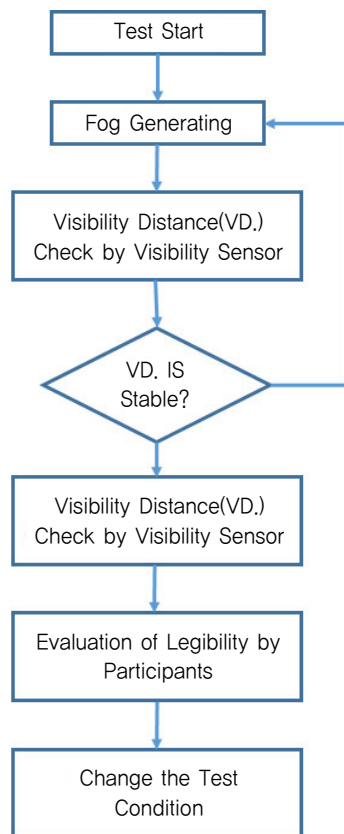


Fig. 4 Flow Chart for Test

Fig. 5는 안개 시험을 위한 장비 배치 및 시험환경 구축에 대한 설명도이다.

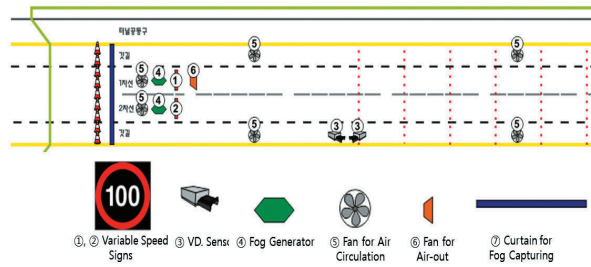


Fig. 5 Test Site Equipments Layout

안개발생기로 발생시킨 안개가 터널 안 공기 흐름에 의해 이동하는 것을 최대한 막기 위해 시험구간 전후에 Fig. 6과 같은 차단시설을 설치하였다. 차단시설은 비닐재료의 투명 비닐막으로 리프트를 통해 지지하도록 하였다.

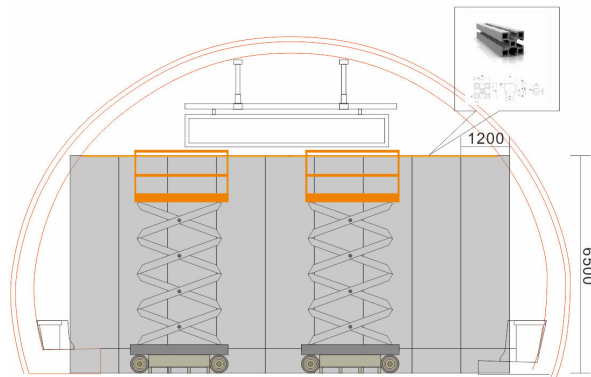


Fig. 6 Curtain for Fog Capturing

가변속도 표지판은 도로표지규칙에 따른 설치높이에 맞게 리프트를 이용하여 Fig. 7과 같이 설치하였다.



Fig. 7 Curtain for Fog Capturing

본 실험은 실제 터널 환경에서 안개 상태를 재현하고 가변 제한속도 표지판에 대한 현장 실험을 한 국내 첫

사례이다. 안개는 무색, 무취, 수용성 용액을 이용하여 통상 공연무대에서 안개를 모사하기 위해 사용되는 안개 발생기를 이용하였으며, 시험 전에 안개를 초기화시키는 작업을 선행하였다. 터널 내 시험구간에 안개가 발생되는 시점에서부터 바이렐(Biral)社에서 제작한 Fig. 8에 보인 시정계(모델명 VPF-710)를 이용하여 가시거리(시정)을 초단위로 측정하고 10초 단위로 저장하였다. 일정 시간이 경과된 후에 시험구간 내 안개가 일정한 밀도로 유지되는지를 시정계에 표시되는 가시거리 자료를 토대로 확인하고 피실험자의 평가를 수행하였다.



Fig. 8 Visibility Distance Detecting Sensor (Biral, Model VPF-710)

### 3.4. 안개 밀도에 따른 가시거리 변화

안개 현장실험은 총 3일(2016년 8월 23일부터 8월 25일)에 걸쳐 수행되었고, 시험 시작 전에 최대한 안개 농도를 일정하게 하기 위한 안개 조절을 시행하고, 안개 변화가 어느 정도 일정하게 변화된다고 인지되는 시점에서 시험을 수행하였다. 안개 농도변화는 시정계를 설치하여 시험을 수행하는 동안 시정을 측정하고 추후 피실험자가 시험평가 시 시각과 동기화하여 안개 농도와 피실험자 평가결과를 대비하여 분석하였다.

Table 7은 실험회차(날짜)별 안개 조절을 수행한 이후에 피실험자가 시험을 시작한 시각과 종료 시간에 따라 안개 밀도에 의한 평균 가시거리, 최대 및 최소 가시

Table 7. Visibility Distance Distribution Across Test Dates

Test day	Test start time	Test end time	Visibility distance(m) by fog	
			Average	SD.
Day first	18:02:25	18:29:10	57.2	22.5
Day second	18:02:15	18:25:10	27.2	5.82
Day third	18:23:08	18:44:14	49.9	13.53

거리를 보인 것이다.

Fig. 9는 1일차 시험 시작 및 종료 시간동안에 안개로 인한 가시거리(시정)의 변화를 보인 것이다.

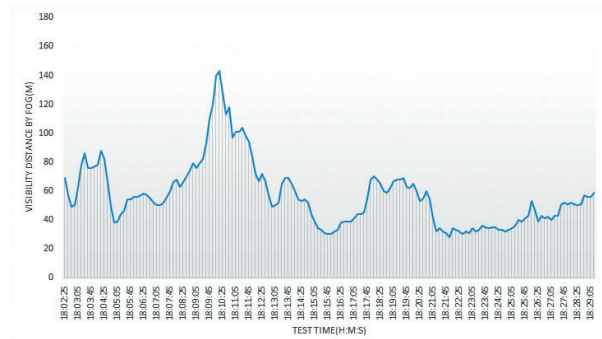


Fig. 9 Visibility Distance During Test Period (Test Day First)

Fig. 10은 2일차 시험 시작 및 종료 시간동안에 안개로 인한 가시거리(시정)의 변화를 보인 것이다.

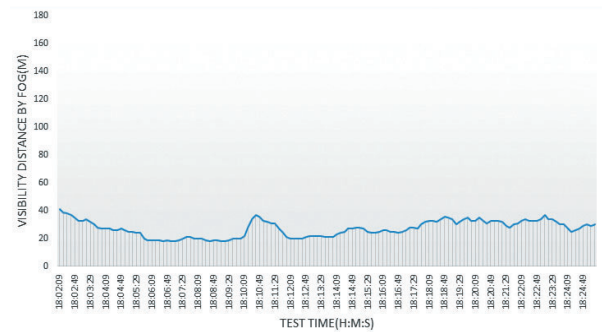


Fig. 10 Visibility Distance During Test Period (Test Day Second)

Fig. 11은 3일차 시험 시작 및 종료 시간동안에 안개로 인한 가시거리(시정)의 변화를 보인 것이다.

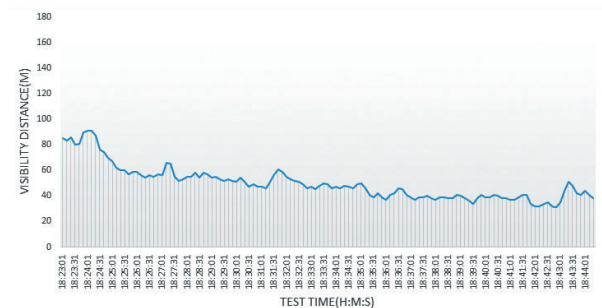


Fig. 11 Visibility Distance During Test Period (Test Day Third)

Table 7을 보면 실험 1일차와 2, 3일차 간에 시험시간 동안 안개발생 분포에 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

이는 실험 1일차에 안개 분포가 크게 변화된 것으로, 차단막 사이나 차단막과 터널벽면 사이 공간으로의 외부 공기 유입에 따라 터널의 기류 변화에 의한 원인이다. 따라서 실험 1일차의 안개 변화에 대해서는 평가시점에서의 가시거리를 그대로 분석에 활용하기 보다는 5분 이동평균(moving average)을 사용하여 Fig. 12와 같이 자료를 평활화(smoothing)하여 결과를 분석하였다.

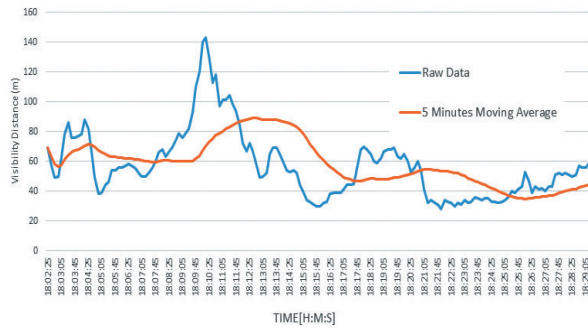


Fig. 12 Five Minutes Moving Average

### 3.5. 가시거리별 휘도와 판독성 간 관계 분석 결과

#### 3.5.1. 휘도 7,000cd/m<sup>2</sup> 조건에서 시정과 판독성 결과

휘도 7,000cd/m<sup>2</sup> 조건에서 92명의 피실험자가 3일에 나누어 실험을 하였고, 안개 농도에 따른 시정과 표지판의 판독거리 및 판독 성공률(표지의 제한속도를 정확하게 판독한 피실험자/전체 피실험자)을 정리하면 Table 8과 같다.

Table 8을 보면 실험회차 2일차의 판독 시작 거리가 250m가 아닌 200m부터 시작되었는데, 이것은 250m 위치에서 피실험자 및 실험관리자들의 판단에 따라 전혀 전방을 인지하지 못한 상태로 굳이 평가를 하지 않고 앞으로 이동(2일차는 200m 지점)하여 평가를 한 것이다. 또한 시험시간 동안 터널 내 기류가 갑작스럽게 변경되는 것을 실험관리자가 감지된 경우는 필요에 따라 40m 앞으로 이동하여 평가를 하였다(3회차에 160m 판독거리에서 평가가 생략된 이유임). Table 8에서 음영으로 표시한 부분은 피실험자의 판독성공률이 85%를 넘는 경우를 대상으로 표시한 것이다.

평가결과를 살펴보면, 1회차 실험(2016년 8월 23일)에서는 평가시간동안 안개로 인한 가시거리가 55m에서 106m로 크게 변화되는 상황으로 안개의 농도가 일정기간 안정하게 유지되지 못하고 터널내 기류에 따라 다소 변화되는 환경이었다고 볼 수 있다. 시험결과로, 1회차에서는 시정 80m에서 피실험자의 85% 이상이 140m에

서 표지를 판독한 것으로 나타났다. 2회차 실험(2016년 8월 24일)은 상대적으로 안개의 농도가 일정기간 19m에서 39m 사이에서 유지되었다. 시험결과로 안개로 인한 가시거리 20m에서 피실험자의 85% 이상이 80m에서 표지를 판독한 것으로 나타났다. 3회차 실험(2016년 8월 25일)에서는 2회차 만큼 안개가 안정적으로 유지되는 못하였으나 1회차에 비해서는 안정적이며 54m에서 83m 사이로 유지되었다. 시험결과로 안개로 인한 가시거리 54m에서 피실험자의 85% 이상이 100m에서 표지를 판독하는 것으로 나타났다.

Table 8. The Results at 7,000 cd/m<sup>2</sup> Luminance Condition

Test day-sequential number	Test start time	Visibility distance(m) read by sensor	Legibility distance (m)	Number of success	Success rate(%)
1-1	18:05:25	55	250	0	0.0
1-2	18:07:10	55	230	0	0.0
1-3	18:08:20	63	200	17	56.7
1-4	18:09:20	71	180	21	70.0
1-5	18:10:10	106	160	24	80.0
1-6	18:11:05	80	140	29	96.7
1-7	18:11:50	85	120	30	100.0
2-1	18:02:15	39	200	0	0.0
2-2	18:03:45	28	180	0	0.0
2-3	18:04:40	27	160	0	0.0
2-4	18:05:25	24	140	0	0.0
2-5	18:06:15	19	120	2	6.5
2-6	18:07:20	20	100	25	80.6
2-7	18:08:10	20	80	31	100.0
3-1	18:23:08	83	180	1	3.2
3-2	18:27:35	52	140	22	71.0
3-3	18:28:55	54	100	31	100.0

#### 3.5.2. 휘도 20,000cd/m<sup>2</sup> 조건에서 시정과 판독성 결과

휘도 20,000cd/m<sup>2</sup> 조건에서 92명의 피실험자가 3일에 걸쳐 시험을 하였고, 안개 농도에 따른 시정과 표지판의 판독거리 및 판독 성공률(속도를 정확하게 판독한 피실험자/전체 피실험자×100)을 정리하면 Table 9와 같다. Table 9에서 음영으로 표시한 부분은 피실험자의 판독성공률이 85%를 넘는 경우를 대상으로 표시한 것이다.

평가결과를 살펴보면, 1회차 실험에서는 안개 가시거리가 크게 변화되는 시간대를 지나서 안정화된 시간대에서 평가가 되었으며 46m에서 58m 사이로 유지되었다. 시험결과로, 1회차에서는 시정 50m에서 피실험자의 85% 이상이 140m에서 표지를 판독한 것으로 나타

났다. 2회차 실험은 상대적으로 안개의 농도가 일정기간 21m에서 28m 사이에서 유지되었다. 시험결과로 안개로 인한 가시거리 26m에서 피실험자의 85% 이상이 100m에서 표지를 판독한 것으로 나타났다. 3회차 실험에서도 안개가 안정적으로 유지되었으며, 시험결과로 안개로 인한 가시거리 37m에서 피실험자의 85% 이상이 120m에서 표지를 판독하는 것으로 나타났다.

Table 9. The Results at 20,000 cd/m<sup>2</sup> Luminance Condition

Test day-sequential number	Test start time	Visibility distance(m) read by sensor	Legibility distance (m)	Number of success	Success rate(%)
1-1	18:15:30	50	250	0	0.0
1-2	18:16:10	46	230	1	3.3
1-3	18:17:20	46	200	10	33.3
1-4	18:18:10	58	180	20	60.7
1-5	18:19:10	58	160	25	83.3
1-6	18:19:50	50	140	29	96.7
1-7	18:20:45	57	120	30	100.0
2-1	18:11:50	21	200	0	0.0
2-2	18:13:20	22	160	0	0.0
2-3	18:14:10	24	140	0	0.0
2-4	18:15:00	27	120	16	51.6
2-5	18:16:00	26	100	30	96.8
2-6	18:17:10	28	80	31	100.0
3-1	18:32:16	52	250	0	0.0
3-2	18:37:47	38	200	0	0.0
3-3	18:36:33	45	160	16	51.6
3-4	18:37:53	37	120	31	100.0

### 3.5.3. 휘도 40,000cd/m<sup>2</sup> 조건에서 시정과 판독성 결과

휘도 40,000cd/m<sup>2</sup> 조건에서 92명의 피실험자가 3일에 걸쳐 시험을 하였고, 안개 농도에 따른 시정과 표지판의 판독거리 및 판독 성공률(속도를 정확하게 판독한 피실험자/전체 피실험자×100)을 정리하면 Table 10과 같다. Table 10에서 음영으로 표시한 부분은 피실험자의 판독성공률이 85%를 넘는 경우를 대상으로 표시한 것이다.

평가결과를 살펴보면, 1회차 실험에서는 안개 가시거리가 크게 변화되는 시간대를 지나서 다소 안정화된 시간대에서 평가가 되었으며 36m에서 45m 사이로 유지되었다. 시험결과로, 1회차에서는 시정 41m에서 피실험자의 85% 이상이 140m에서 표지를 판독한 것으로 나타났다. 2회차 실험은 상대적으로 안개의 농도가 일정기간 26m에서 33m 사이에서 안정되게 유지되었다. 시험결

과로 안개로 인한 가시거리 26m에서 피실험자의 85% 이상이 100m에서 표지를 판독한 것으로 나타났다. 3회차 실험에서도 안개가 안정적으로 유지되었으며, 시험결과로 안개로 인한 가시거리 38m에서 피실험자의 85% 이상이 120m에서 표지를 판독하는 것으로 나타났다.

Table 10. The Results at 40,000 cd/m<sup>2</sup> Luminance Condition

Test day-sequential number	Test start time	Visibility distance(m) read by sensor	Legibility distance (m)	Number of success	Success rate(%)
1-1	18:24:05	40	250	0	0.0
1-2	18:25:00	36	230	0	0.0
1-3	18:26:00	44	200	17	56.7
1-4	18:26:50	39	180	23	76.7
1-5	18:27:40	45	160	25	83.3
1-6	18:28:20	41	140	29	96.7
1-7	18:29:10	51	120	30	100.0
2-1	18:20:50	33	200	0	0.0
2-2	18:21:50	31	160	1	3.2
2-3	18:22:40	33	140	19	61.3
2-4	18:23:30	32	120	25	80.6
2-5	18:24:20	26	100	30	96.8
2-6	18:25:10	30	80	31	100.0
3-1	18:40:52	37	250	0	0.0
3-2	18:41:51	34	200	0	0.0
3-3	18:42:53	35	160	6	19.4
3-4	18:44:14	38	120	27	87.1

### 3.5.4. 종합 결과 검토

안개로 인한 가시거리에 따라 휘도별 판독거리를 종합한 결과는 Table 11과 같고, 이를 그래프화하면 Fig. 13과 같다.

Table 11. Relation between Visibility Distance vs Legibility Distance according to the Fog Density

Visibility distance(m)	Legibility distance by luminance of signs(m)		
	7,000cd/m <sup>2</sup>	20,000cd/m <sup>2</sup>	40,000cd/m <sup>2</sup>
20	80	-	-
26	-	100	100
37	-	120	-
38	-	-	120
41	-	-	140
54	100	-	-
50	-	140	-
80	140	-	-

본 연구에서 수행한 안개재현 현장실험을 통해 얻은



결론으로 휘도별 가시거리에 따라 피실험자의 85% 이상이 판독한 판독거리를 정리하면 Fig. 13과 같다.

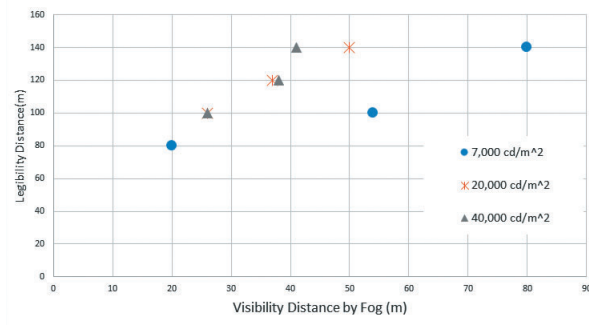


Fig. 13 Relation between Visibility Distance vs Legibility Distance according to the Fog Density

#### 4. 결론 및 향후연구

본 연구는 안개 등 기상 악화에 따른 대형 추돌사고가 반복적으로 발생하는 시점에서, 가변적으로 제한속도를 변경 표출하는 가변속도표지판에 대한 연구를 수행하였다. 현재 가변속도표지판의 휘도기준은 정상적인 기상 조건에 한정된 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 수행하였다.

본 연구는 실제 터널 환경에서 안개 상태를 재현하고 가변 제한속도 표지판에 대한 현장 실험을 한 국내 첫 사례로서 시험을 수행하는 전 과정에서 여러 차례의 실험전 모의 안개 재현을 수행하였고, 본 실험에서는 안정적으로 안개를 재현하고 이를 토대로 안개 밀도에 따른 가변속도표지판의 휘도와 판독거리에 대한 관계를 연구

결과로 제시하였다.

본 연구의 결과는 안개로 인해 가시거리가 변화되는 경우에 표지판이 제 기능을 수행할 수 있는 휘도값 설정에 활용할 수 있을 것으로 본다.

본 안개재현 현장실험에 한정된 기술적인 결론으로 낮은 휘도 값 7,000cd/m²에서 상대적으로 높은 휘도 값 (20,000cd/m² 및 40,000cd/m²)에 비해 판독거리가 짧게 나타났다. 그러나 휘도 20,000cd/m²과 40,000cd/m² 간에는 본 실험에서 구현한 안개 가시거리 범주(100m 이내)에서는 판독거리에 차이가 없었다.

향후 연구로, 본 연구에서 제안한 안개 상황에서 휘도와 판독거리간의 관계 연구 결과를 토대로 실제 도로상에서 가변속도표지판을 운영하는 방법론에 대한 검토가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 국토교통기술사업화 지원사업의 “야간 및 악천후 대응 능동형 속도관리시스템 개발(1차년도)” 과제의 지원으로 수행하였습니다.

#### REFERENCES

- Variable Traffic Safety Signs Standard, 2013, National Police Agency.
- Manual for Response to Fog Related Traffic Accidents, 2015, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- Guidelines for the Use of Variable Speed Limit Systems in Wet Weather, 2012, Bryan Katz, Cara O'Donnel, Kelly Donoughe, Jennifer Atkinson, Melisa Finley, Kevin Baike, Beverly Kuhn, Davey Warren, Research Report, FHWA-SA-12-022, FHWA.
- Research on Variable Traffic Safety Signs, 2012, Korea Road Traffic Authority.