

안개시 휘도에 따른 색상별 판독거리 산출 모형 개발

Development of Legibility Distance Models for Each Color according to Luminance under Foggy Condition

김철용* · 이상수** · 윤일수*** · 오주삼****

* 주저자 : (주)레도 대표이사

** 교신저자 : 아주대학교 교통공학과 교수

*** 공저자 : 아주대학교 교통공학과 교수

**** 공저자 : 한국건설기술연구원 스마트모빌리티 연구센터 연구위원

Chul-Yong Kim* · Sang-Soo Lee** · Il-Soo Youn*** · Ju-sam Oh****

* CEO, LEDO

** Professor, Dept. of Transportation Eng., Ajou Univ.

*** Professor, Dept. of Transportation Eng., Ajou Univ.

**** Researcher, Korea Institute of Construction Technology

† Corresponding author : Lee Sangsoo, sslee@ajou.ac.kr

Vol.19 No.3(2020)

June, 2020

pp.52~61

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.3.52>

2020.19.3.52

Received 26 May 2020

Revised 15 June 2020

Accepted 19 June 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

본 연구에서는 안개 발생시 휘도에 따른 도로전광표지에 사용되는 색상별 판독거리 모형을 실험을 통하여 개발하였다. 이를 위하여 모의환경을 구축하였고, 휘도를 단계별로 증가시키면서 적색, 녹색, 황색의 판독거리 값을 파악하였다. 실험 결과, 적색은 시정거리 10m에서 휘도 2,000cd/m²와 20,000cd/m² 일 때의 판독거리가 각각 10.2m와 18.8m로 84% 향상되었다. 시정거리 20m에서는 34%, 시정거리 30m에서는 17% 판독거리가 향상되었다. 녹색은 시정거리 10m에서 69%, 20m에서는 63%, 30m에서는 19% 판독거리가 향상되었다. 그리고 황색은 시정거리 10m에서 100%, 20m에서는 47%, 30m에서는 36% 판독거리가 향상되었다. 판독거리 산출 모형은 각 색상별 휘도값과 시정거리를 독립 변수로 하여 개발하였다. 추정된 적색, 녹색, 황색 모형식의 수정 결정계수는 각각 0.982, 0.978, 0.915로 계산되어 모든 모형의 설명력이 매우 높게 나타났다.

핵심어 : 안개, 휘도, 색상, 판독거리, 시정거리

ABSTRACT

This study developed a legibility distance(LD) model for three colors used in VMS according to luminance under foggy conditions through experiments. For this, a simulated environment was created, and LD values of red, green, and yellow color were collected by increasing the luminance. From the test results, the LDs for red at luminance levels of 2,000 cd/m² and 20,000 cd/m² and a visibility distance of 10m were 10.2m and 18.8m, respectively, which was an improvement of 84%. The LD was improved by 34% and 17% at a visibility distance of 20 m and 30 m, respectively. For green, the LD was improved by 69%, 63%, and 19% at visibility distance of 10m, 20m, 30m, respectively. For yellow, the LD was improved by 100%, 47%, and 36% at visibility distance of 10m, 20m, 30m, respectively. The LD models for three colors were developed by using two independent variables, luminance value and visibility distance. The adjusted coefficients of the red, green, and yellow model equations were calculated as 0.982, 0.978, and 0.915, respectively, and the explanatory power of all models was very high.

Key words : Fog, Luminance, Color, Legibility distance, Visibility distance

I. 서론

도로 교통사고의 원인은 크게 운전자요인, 차량요인, 환경요인 등으로 구분된다. 그중에서 환경요인에 해당하는 기상상태 중 안개의 발생은 교통사고 심각도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 도로교통공단의 교통사고 통계분석 자료에 의하면 2016년 우리나라 교통사고 발생건수는 220,917건, 사망자는 5,392명으로 조사되어 2012년 대비 20.4% 감소하였다. 기상상태별 교통사고는 2012년과 비교하여 흐림, 비, 눈이 오는 날의 사망자가 각각 24.3%, 39.6%, 46.0% 감소되었다. 그러나 안개 낀 날의 사망자는 2012년 대비 20.3% 증가하였고 이때의 치사율은 13.0%로 맑은 날의 치사율 1.8%와 비교하여 약 7.2배가 높은 것으로 분석되었다. 지난 2006년 서해대교 29중 추돌사고, 2015년 영종대교 106중 추돌사고, 2016년 정읍휴게소 22중 추돌사고의 사례를 볼 때, 짙은 안개 속에서의 교통사고는 연쇄 추돌사고를 일으키며 피해 규모가 크고 치사율이 높은 대형사고로 이어지고 있는 것을 알 수 있다.

한편, 안개로 인한 교통사고 위험성이 사회 문제로 대두되면서 정부는 2007년 도로교통법 시행규칙 제 19조에 안개, 눈, 비 등으로 인한 기상 악조건에서는 평상시의 속도보다 50%-80% 수준으로 운전자가 스스로 속도를 낮추게 하는 법률을 규정하였다. 또한 안개의 농도를 감지하는 시정계, 도로선형을 안내하는 시선유도등 및 안개등, 그리고 안개 정보와 돌발 상황 정보를 제공하는 도로전광표지(Variable Message Sign, VMS) 등을 설치하여 안전 운행을 지원하고 있다. 그러나 도로상에 발생한 안개는 운전자의 시거를 제한하고 도로전광표지 표출부의 휘도 감소로 인한 판독성 저하로 운전자에게 정확한 정보전달 및 콘텐츠 인식에 큰 문제점을 발생하고 있다. 특히 안개로 발생하는 도로상 차량들의 속도차이 및 속도분산은 사고발생의 빈도 및 심각도와 밀접한 연관을 갖는 것으로 알려져 있다.

이러한 안개 교통상황에서 차량간 속도 차이를 감소시키고 안전속도로 유도하기 위하여 경찰청은 2017년 ‘가변형 속도제한시스템 설치·운영 매뉴얼’과 ‘가변형 교통안전표지 표준지침’을 제정하여 안개사고 발생구간과 안개 잦은 구간의 도로 설계 시 안개 발생을 대비한 안전시설물 및 첨단장비의 설치가 적극적으로 이루어지도록 하고 있다(NPA, 2017). 그러나 안개발생시 표지판 표출부 휘도 감소로 인한 판독거리의 저하에 관한 정량적인 실험 결과나 관련 자료는 찾을 수 없는 실정이다. 따라서 이러한 특성이 반영된 안전시설물을 설치하고 이를 통하여 운전자의 정보 인식을 향상 할 수 있는 방안에 관한 모색이 필요한 시점이다.

본 연구의 목적은 현장실험을 통하여 안개 발생시 휘도에 따른 도로전광표지에 사용되는 색상별 판독거리를 추정하는 모형을 개발하는 것이다. 이를 위하여 도로전광표지에 안개가 발생한 상황을 재연하는 모의 환경을 구축하였고, 휘도를 단계별로 증가시키고 표지의 색상을 적색, 녹색, 황색으로 변화시키면서 피시험자 판독성 실험을 실시하였다. 수집된 색상에 따른 시정거리별 휘도와 판독거리 자료를 이용하여 세 가지 색상별로 판독거리 추정 모형을 개발하여 제시하였다. 이와 같은 모형의 개발을 통하여 향후 도로설계자와 관리운영자가 도로전광표지를 안개 상황에 맞게 대응할 수 있도록 하여 도로전광표지의 판독성과 정보전달의 정확도를 높일 수 있을 것으로 기대한다.

II. 이론적 배경

1. 판독거리

도로상에 운전자에게 제공되는 시각적 정보제공매체인 도로전광표지는 동적인 주행환경에서 교통정보를 효과적으로 제공하기 위하여 적절한 판독거리와 인지거리를 확보하여 제공하여야 한다. 판독거리(L_r)는 운전

자에게 제공되는 정보의 문자 크기, 정보량, 인지반응특성, 시력, 차량의 주행속도 등에 영향에 따라 달라지며, 운전자의 관독소요거리(L_{rtd})와 소실거리(L_{ld})를 합한 것이다. 인지거리(L_k)는 운전자의 반응거리(L_a)와 관독거리(L_k)의 합으로 계산된다. 이러한 관계를 나타내는 식들은 다음과 같다. 운전자 반응시간은 운전자가 VMS 정보를 인지·반응하는 시간이며, 정보단위당 관독시간은 보통은 1초, 적은 정보는 0.5초 값을 각각 적용한다.

$$L_r = L_{rtd} + L_{ld} \dots\dots\dots (1)$$

$$L_k = L_a + L_r \dots\dots\dots (2)$$

$$L_a = V \times t_d \dots\dots\dots (3)$$

$$L_{rtd} = V \times N \times t_{rd} \dots\dots\dots (4)$$

$$L_{ld} = h / \tan(\theta) \dots\dots\dots (5)$$

- 여기서, V : 평균 주행속도 또는 설계속도, m/s
- N : 정보 단위 수
- t_d : 운전자 반응시간, s
- t_{rd} : 정보 단위당 관독시간, s
- h : 표지중심높이, m
- θ : VMS표시면 설치각도

2. 휘도 국내기준

국내 도로전광표지 휘도기준은 국토해양부 ‘도로안전시설 설치 및 관리지침’의 도로전광표시에 제시되어 있다(MOLIT, 2016). 도로전광표지 표출부의 관독성은 정보의 정확도를 결정할 수 있는 척도이며, 관독성에서는 도로전광표지의 휘도가 가장 중요하다. 즉, 외부조도에 적합한 휘도로 도로전광표지의 표출부를 운영하여 관독성을 높이면 도로전광표지의 운영의 효과를 극대화할 수 있다.

국내의 조도 조건은 밤에 10lx 이하, 낮에 1,000 ~ 100,000lx, 일출과 일몰에 10 ~ 1,000lx, 흐린 날의 낮이 10,000 ~ 25,000lx 라고 제시되었다. 또한 외부조도 1,000lx 이상일 때 휘도 4,000cd/m² 이상, 외부조도 10 ~ 1,000lx 일 때 휘도 501 ~ 2,000cd/m², 외부조도 10lx 미만일 때 휘도 200 ~ 500cd/m² 값을 적용하도록 규정하고 있다.

3. 선행연구

Cho(2017)는 도로전광표지의 정보전달 정확도 및 콘텐츠 인식을 향상 위해 외부조도에 따른 도로전광표지의 최적 휘도 산출모형을 개발하였다. 반사휘도 및 최적 휘도비 도출을 위한 광학실험과 피시험자 실험을 통해 자료를 분석하여 반사휘도를 도출하였고, 피시험자 실험 자료를 분석하여 적색, 녹색, 황색에 대한 최적 휘도비 및 최적 휘도 산출모형을 제시하였다. 또한 외부조도에 따른 표출부의 최적 휘도의 색상별 휘도 비율은 적색 : 녹색 : 황색 = 1 : 1.13 : 1.57로 도출되었다.

Kim et al.(2017)은 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. 평균적으로는 기상조건과 관계없이 제한속도 이내로 주행하는 것으로 나타났지만, 특히 안개 발생 시 가변제한속도를 제공하였을 경우 속도편차 및 분산이 뚜렷하게 감소하는 것으로 분석되

었다. 또한, 가변제한속도 유·무의 속도 차이가 있는 것을 통계적으로 검증하였다.

Kim et al.(2016)은 안개 등 기상 악화에 따른 대형 추돌사고가 반복적으로 발생하는 시점에서, 가변적으로 제한속도를 변경 표출하는 가변속도표지판에 대한 연구를 수행하였다. 현재 가변속도표지판의 휘도기준은 정상적인 기상조건에 한정한 기준이므로 본 연구에서는 안개를 임의로 발생시키는 재현실험을 수행하였고, 가시거리 악화 조건에서 표지판을 판독할 수 있는 휘도에 대한 현장실험을 수행하였다. 터널 환경에서 안개 상태를 재현하고 가변 제한속도 표지판에 대한 실험을 한 국내 첫 사례로서 시험을 수행하는 전 과정에서 여러 차례의 모의 안개를 재현하였고, 이를 토대로 안개 밀도에 따른 가변속도표지판의 휘도와 판독거리에 대한 관계를 제시하였다.

Moon(2014)은 안개 검출을 위한 시정산출 알고리즘 개발에 관한 연구에서 안개가 발생했을 때 안개의 농도를 시정거리로 변환하는 개선된 알고리즘을 개발하였다. 이를 구현하기 위해 시정계의 하드웨어 구성 및 기능을 설명하고 안개 자료를 수집 및 분석하여 기존 시정거리 변환 알고리즘의 문제점을 도출하고 산란계수 함수모형 등을 개발하였다. 이러한 산란계수 함수식을 이용하여 시정거리를 산출하였고, 안개환경 모의실험과 현장 안개데이터를 활용한 적용성 평가를 실시하였다.

Jung and Lee(2013)는 도로전광표지에서 판독지표 및 표출문자에 따라 판독할 수 있는 판독거리는 고속국도는 약 200~500m, 도시간선도로는 약 250~330m, 일반국도는 약 250~300m 정도라고 하였다. 판독지표는 판독거리를 문자크기별로 나타낸 정도이며, 설치기간에 따라 차이가 있다고 하였다. 그 원인으로는 LED소자의 성능저하, 도로변 장애물 등의 영향이라고 하였다. 또한 인지정보량은 정보 수는 표시면당 최대 4개, 한 줄당 정보 2개, 문자 10개가 적절하다고 하였다. 정보 인지율은 4개의 정보를 표시면에 준다고 가정하면 표시면 3개를 한 개의 주기로 하는 것이 적절하다고 하였다.

Park(2009)은 교통안전표지의 시인성과 판독성에 대한 연구를 통해 도로의 복잡도와 교통안전표지의 형태, 내용 등의 3가지 요인을 실험하였다. 교통안전표지의 형태와 내용 변화에 따른 판독성 실험을 통해 교통안전표지의 형태가 내용의 판독성에 영향이 있다고 확인하였다. 연구에서는 삼각형 안전표지에 대한 내용 판독율을 자음과 모음으로 구분하여 살펴보았을 때 [모, 오, 구, 수, 주]에서 자음의 판독율이 모음에 비해 낮게 나타났고, 역삼각형 안전표지에 대한 내용 판독율을 자음과 모음으로 구분하여 살펴보았을 때 [구, 수, 주]의 자음인 [ㄱ, ㅅ, ㅈ]에 대한 판독율이 삼각형의 경우에 비해 비교적 높은 것으로 나타났다. 그리고 디자인이 통제된 경우에 비해 실제 안전표지 디자인에서 삼각형과 역삼각형의 판독율이 상대적으로 증가하였음을 확인할 수 있었다.

Lim(2007)은 도로에서 안개 발생시 운전자의 시야를 방해하여 안전거리 미확보와 속도 편차의 증가로 인해 대형 교통사고가 반복적으로 발생하고 있으므로 이를 사회 문제로 연계하는 것이 타당하며, 안개 발생 사고 자료를 수집하여 제한속도를 산정하는 연구를 수행하였다. 공간적 범위로는 안개 자료를 측정할 수 있는 인천국제공항 주변의 안개 시정거리별, 지속시간별 사고 현황을 수집 및 분석하여 제한속도를 제시하였다. 짙은 안개일수록 교통사고가 증가하였고, 가시거리는 200m 이하이다. 또한 가시거리가 100m 이하일 때의 안전속도는 40km/h, 가시거리가 100m ~ 200m일 때의 안전속도는 60km/h로 제시하였다.

Wagner(1989)는 교통표지 표면물질의 내구성, 기상조건(이슬 맺힘, 안개, 연기 및 비)에 따른 교통표지의 성능에 미치는 영향, 그리고 표지의 위치와 각도 등의 요소에 의한 표면반사 문제에 따른 가독성 및 감지거리에 대하여 플로리다 주 3개 도시에서 설문 조사를 하였다. 이를 활용하여 반사시트의 성능 및 재질, 다양한 날씨 및 도로상황에 대한 표면 재질 및 디자인, 색상 선별 및 적절한 제어 등이 필요하다고 권장하였다.

Colomb et al.(1999) 등은 안개 속에서 VMS의 성능을 평가하고 가시성이 낮은 조건에서 VMS 사용에 대한 지침을 제시하였다. 연구에서는 안개시험시설에 안개가 발생하게 하고 휘도계측기를 이용하여 VMS의 휘도

를 다양한 거리에서 측정하여 기록하였다. 관측자는 각 VMS에서 표시되는 문자를 특정 거리에서 다시 탐지하여 인식 할 수 있는 안개밀도를 평가하였다. 실험결과, 안개 발생 시 휘도레벨이 VMS의 감지 및 인식의 유용한 척도임을 보여준다고 평가하였다.

Williams et al.(2015) 등은 주간과 야간, 평상시와 안개시에 VMS의 다양한 색상배열, 밝기 및 깜박임에 따라 운전자가 문자를 감지하고 읽는 능력에 대한 영향을 조사하였다. 실험결과, 흰색바탕에 검정, 검정바탕의 흰색, 검정바탕의 황색 조합은 다른 색 구성보다 더 긴 감지 거리와 가독성을 제공한다고 하였다. 또한 대부분의 상황에서 실험 참가자들은 깜박이고, 밝고, 검정바탕인 표지에 더 민감하게 반응하는 것으로 평가하였다.

4. 기존연구와 차별성

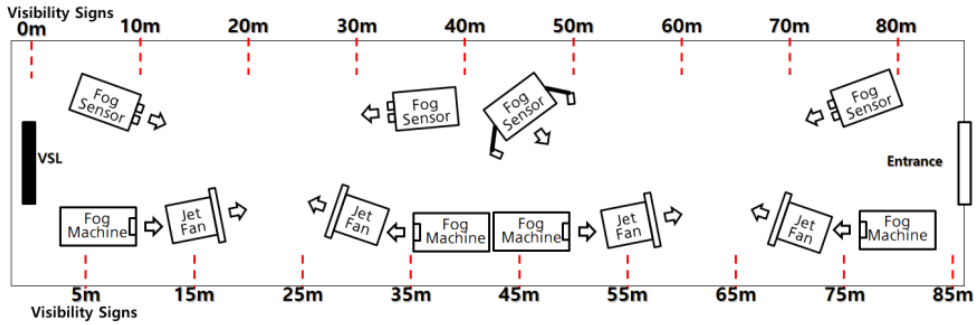
도로전광표지의 판독성 및 판독거리에 대한 선행 연구에서는 태양빛, 안개 등 기상학적 환경변수와 휘도, 문자크기 등 시스템적 환경변수와의 관계에 대한 개별적인 연구를 하였으며, 판독거리 모형은 맑은 날의 시스템적 환경변수인 문자높이에 대한 판독거리 모형만 개발하였다. 또한 안개 시 최적 휘도를 산출하는 연구와 제한속도를 사정하는 연구등이 수행되었다. 국외의 경우, 기상 조건에 따른 표지판 표면 물질의 선별적 적용이 필요하다는 연구와 안개 발생시 휘도가 인식의 중요한 요소임을 보여주는 연구등이 수행되었다. 그러나 기존의 국내외 연구에서 도로전광표지의 안개 시 판독거리와 안개, 휘도 등에 대한 연구와 기준은 없는 것으로 파악되었다. 본 연구는 안개와 도로전광표지의 휘도에 의한 색상별 도로전광표지의 판독거리를 측정 한 후, 산출모형을 개발한 것으로 선행 연구들과의 차별성이 있다고 할 수 있다.

Ⅲ. 현장 구성 및 자료수집

1. 안개환경 구축 및 실험 방법

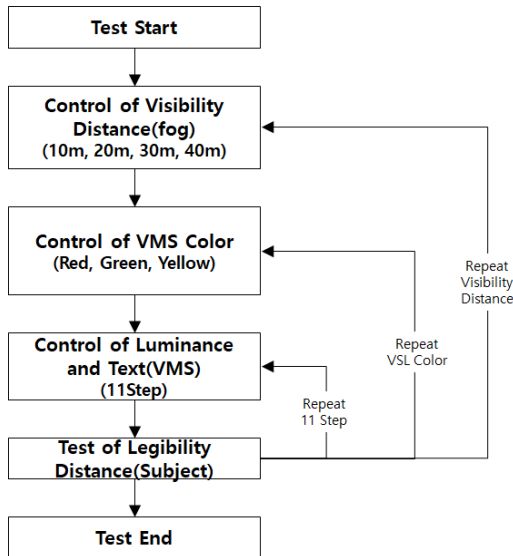
본 실험에 필요한 안개재현 환경은 바람의 영향이 없는 밀폐된 공간과 실내 조도가 일출 및 일몰의 조도와 유사한 환경이어야 한다. 기존의 안개에 따른 대형 교통사고가 일출일 때의 시간이므로 본 실험에서는 일출 및 일몰의 조도 환경으로 재현하였다. 본 실험 공간은 가로의 폭이 7.5m, 세로의 폭이 5m이고 총 길이는 90m이며, 외부에 암막을 설치하여 외부조도를 조정할 수 있다. 안개상황을 구현하여 운전자가 시정거리가 제한된 상황에서 도로전광표지의 판독거리를 실험하기 위하여 다음 <Fig. 1>과 같은 환경을 구축하였다. 현장 구축에 사용된 장비는 안개를 발생시키는 포그머신과 안개농도를 측정하기 위한 시정계, 목측으로 시정거리 및 판독거리를 확인하기 위한 시정표지 등이다. 안개발생기는 무색·무취의 수용성 용액을 사용하며, 토출량은 40,000cuft/min이고 총 4대로 구성하였다. 제트팬은 안개발생기에서 발생하는 안개를 비닐하우스에 일정하게 분포시키기 위해 4대를 설치하였다. 그리고 시정계를 일정한 간격으로 배치하여 실험장의 시정거리를 측정하였고, 측정범위는 시정거리 10m ~ 25,000m이고, 오차는 $\pm 10\%$ 이하이다. 그리고 시정거리를 목측으로 측정할 수 있는 안개 시정표지로 설치하였다. 시정표지는 피시험자가 판독거리를 기록할 수 있도록 5m 단위로 시정표지를 지그재그방식으로 설치하였다. 그리고 도로전광표지 표출부의 가로, 세로 크기는 각 1,200mm이며, 제어를 통해 표지의 문자 또는 숫자를 원격으로 제어할 수 있게 구성하였다.

실험 진행 과정은 다음 <Fig. 2>에 나타나 있다. 포그머신을 통해 안개를 발생시켜 10m, 20m, 30m, 40m의 시정거리를 조성하고 3가지 표출 색상별로 판독거리 실험을 실시하였다. 각 시정거리가 적절히 조성되면 운



<Fig. 1> Configuration diagram of equipment in fog situation experiment

영요원은 도로전광표지의 휘도를 2,000 ~ 60,000 cd/m²까지 단계별로 변경하고 제한속도 역시 임의의 제한속도를 표출하였다.



<Fig. 2> Flow chart for test process

피시험자는 도로전광표지의 반대편인 출입구에 대기하다가 운영요원의 안내에 따라 제한속도가 표출되면 도로전광표지 쪽으로 이동하면서 제한속도가 명확히 판단되는 지점에서 정지하고 표출되는 제한속도와 시정표지를 이용하여 판독거리를 기록하였다. 기록이 완료되면 피시험자는 다시 원위치로 이동하고 운영요원은 다음 단계의 표출휘도와 제한속도를 변경하여 표출부를 제어하였다. 이때, 표출되는 휘도는 1단계부터 11단계로 구분하여 단계별로 표출하였고, 각 색상별 최대 휘도값이 제한적일 경우 해당 단계에서 실험을 중단하고 다음 실험을 진행하였다. 또한 실험환경의 최대 길이가 85m이므로 실험진행 과정에서 판독거리가 85m 이상일 경우 해당 색상의 표출휘도에 대하여 판독거리 실험을 종료하였다. 또한 안개상황에서 발생된 대형 교통사고가 대부분 일출과 일몰시간에 집중되어 있었기 때문에 모든 실험은 주간시간대에 진행하였다.

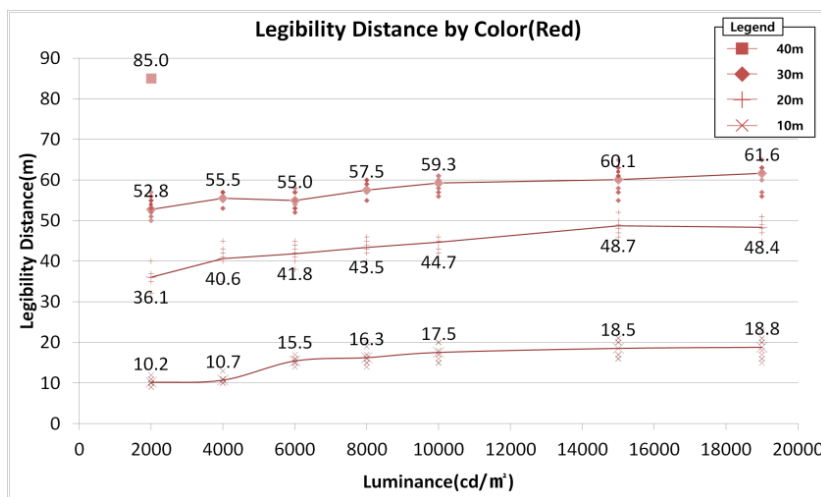
IV. 결과 분석 및 모형개발

1. 자료 분석 결과

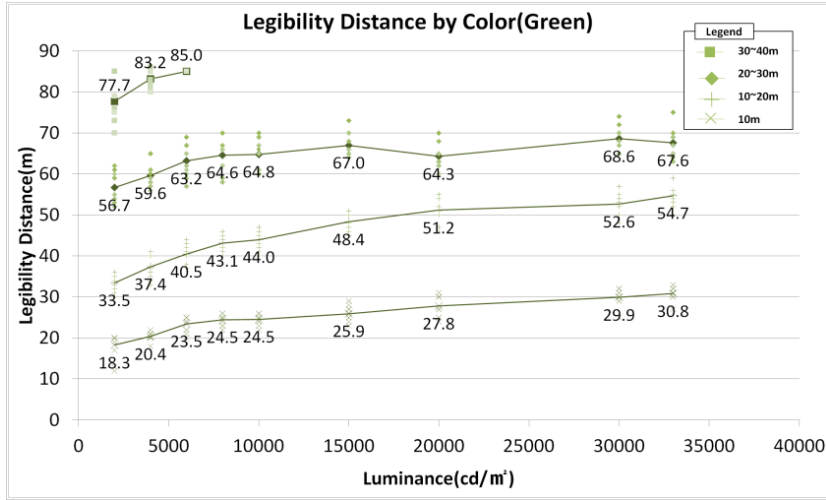
시정거리별로 색상과 휘도를 변화시켜 판독거리 실험을 실시하였다. 고휘도 실험을 시행하지 않은 적색, 녹색은 각각 210, 318개의 표본이 수집되었고, 40,000cd/m² 이상 고휘도 실험을 시행한 황색은 368개의 표본이 수집되어 분석에 사용하였다.

적색의 최대 휘도값은 19,378cd/m²이며 총 7단계에 걸쳐 표출휘도를 변경하여 실험하였다. 실험 결과는 <Fig. 3>과 같다. 10m의 시정거리에서 표출휘도 2,000cd/m²일 때 판독거리는 평균 10.2m로 나타났으며, 최대 표출휘도 20,000cd/m²에서는 평균 18.8m로 나타났다. 그리고 시정거리가 20m일 때 표출휘도 2,000cd/m²에서는 평균 36.1m로 나타났으며, 최대표출 휘도에서는 평균 48.4m로 조사되었고, 시정거리가 30m일 때 표출휘도 2,000cd/m²에서는 평균 52.8m로 나타났으며, 최대 표출휘도에는 평균 61.6m로 나타났다. 또한 시정거리가 40m일 때 표출휘도 2,000cd/m²에서는 평균 85m로 나타나 실험을 중지하고 완료하였다. 시정거리 10m에서 휘도 2,000cd/m²와 20,000cd/m² 일 때의 판독거리는 각각 10.2m와 18.8m로 나타났고 휘도가 증가함에 따라 판독거리가 약 84% 향상되었다. 시정거리 20m에서는 판독거리가 약 34%, 시정거리 30m에서는 약 17% 향상된 것으로 나타났다.

녹색의 최대 휘도값은 33,518cd/m²이며 총 9단계에 걸쳐 표출휘도를 변경하여 실험하였고, 실험 결과는 <Fig. 4>와 같다. 10m의 시정거리에서 표출휘도 2,000cd/m²일 때 판독거리는 평균 18.3m로 나타났으며, 최대 표출휘도 34,000cd/m²에서는 평균 30.8m로 나타났다. 그리고 시정거리가 20m일 때 표출휘도 2,000cd/m²에서는 평균 33.5m로 나타났으며, 최대표출 휘도에서는 평균 54.7m로 나타났고, 시정거리가 30m일 때 표출휘도 2,000cd/m²에서는 평균 56.7m로 나타났으며, 최대 표출휘도에는 평균 67.6m로 나타났다. 또한 시정거리가 40m일 때 표출휘도 2,000cd/m²에서는 평균 77.7m로 나타났으며 표출휘도 6,000cd/m²일 때 판독거리가 85m로 나타나 실험을 중지하고 완료하였다. 시정거리 10m에서 휘도 2,000cd/m²와 34,000cd/m² 일 때의 판독거리는 각각 18.3m와 30.8m이며, 휘도가 증가함에 따라 판독거리가 약 69% 향상되었다. 시정거리 20m에서는 판독거리가 약 63%, 시정거리 30m에서는 약 19% 향상되었다.

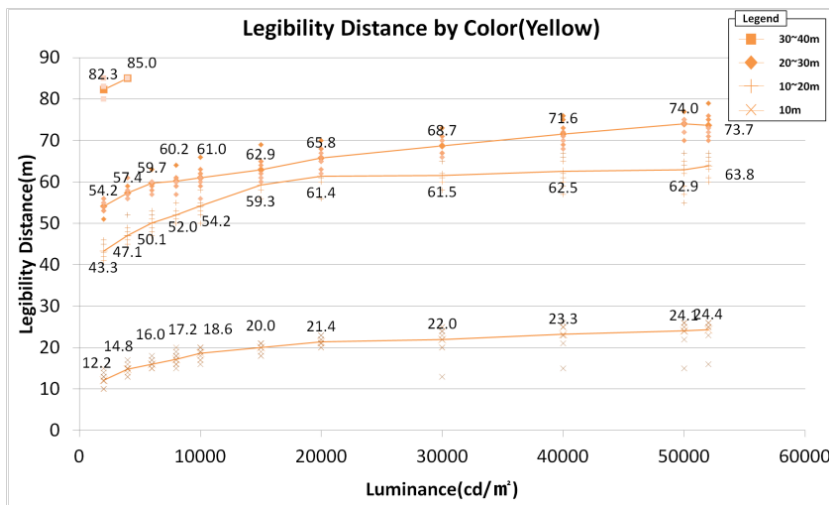


<Fig. 3> Legibility distance by luminance of red according to the visibility distance



<Fig. 4> Legibility distance by luminance of green according to the visibility distance

황색의 최대 휘도값은 51,947cd/m²이며 총11단계에 걸쳐 표출휘도를 변경하여 실험하였고, 실험 결과는 <Fig. 5>와 같다. 10m의 시정거리에서 표출휘도 2,000cd/m²일 때 판독거리는 평균 12.2m로 나타났으며, 최대 표출휘도 55,000cd/m²에서는 평균 24.4m로 조사되었다. 그리고 시정거리가 20m일 때 표출휘도 2,000cd/m²에서는 평균 43.3m로 나타났으며, 최대표출 휘도에서는 평균 63.8m로 나타났고, 시정거리가 30m일 때 표출휘도 2,000cd/m²에서는 평균 54.2m로 나타났으며, 최대 표출휘도에는 평균 73.7m로 나타났다. 또한 시정거리가 40m일 때 표출휘도 2,000cd/m²에서는 평균 82.3m로 나타났으며, 표출휘도 4,000cd/m²에서 최대 판독거리인 85m로 나타나 실험을 중지하고 완료하였다. 황색의 경우, 시정거리 10m에서 휘도 2,000cd/m²와 55,000cd/m²일 때의 판독거리는 각각 12.2m와 24.4m으로, 휘도에 따라 판독거리가 최대 100% 향상되었다. 시정거리 20m에서는 판독거리가 약 47%, 시정거리 30m에서는 약 36% 향상되었다.



<Fig. 5> Legibility distance by luminance of yellow according to the visibility distance

2. 색상별 판독거리 모형 개발

앞 절에서 분석된 실험 결과를 활용하여 세 가지 색상별 휘도값과 시정거리(10 ~ 40m)를 독립 변수로 하여 피시험자의 판독거리를 추정하는 모형식을 색상별로 개발하였다. 적색의 경우 실험에 사용된 휘도값은 2,000 ~ 19,000cd/m²이며, 산출된 적색 판독거리 모형식(Dr)은 Eq. 6과 같다. 모형식의 수정(Adjusted) R²= 0.982로 나타나 모형의 설명력이 매우 높은 것으로 분석되었다. 분산분석 결과, F값에 대한 유의확률이 0.000으로 회귀모형이 적합하였고, 모든 계수값의 유의확률이 0.000으로 상수, 시정거리, ln(적색 휘도) 변수는 모두 유의한 것으로 판단된다.

녹색의 경우 휘도값 2,000 ~ 33,000cd/m²을 사용하였고, 산출된 녹색 판독거리 모형식(Dg)은 Eq. 7과 같다. 모형식의 수정 R²= 0.978로 모형의 설명력이 매우 높았다. 분산분석 결과, F값에 대한 유의확률은 0.000, 모든 계수값의 유의확률은 0.000으로 나타났다. 황색의 경우 휘도값 2,000 ~ 52,000cd/m²을 사용하였고, 산출된 황색 판독거리 모형식(Dy)은 Eq. 8과 같다. 모형식의 수정 R²= 0.915로 나타나 모형의 설명력이 높게 나타났다. 분산분석 결과, F값에 대한 유의확률은 0.000, 그리고 모든 계수값의 유의확률은 0.000으로 나타났다.

$$D_r = -48.556 + 2.114 VD + 4.898 \ln(L_i) \dots\dots\dots (6)$$

$$D_g = -30.961 + 1.863 VD + 3.880 \ln(L_i) \dots\dots\dots (7)$$

$$D_y = -43.022 + 2.089 VD + 4.715 \ln(L_i) \dots\dots\dots (8)$$

여기서, L_i : 각 색상별 휘도값(i=r, g, y), cd/m²
 VD : 시정거리, m

V. 결 론

본 연구는 안개 발생시 휘도에 따른 도로전광표지에 사용되는 색상별 판독거리를 실험을 통하여 측정하고, 이를 추정할 수 있는 모형식을 개발하였다. 이를 위하여 안개가 발생한 상황을 재연하는 모의환경을 구축하였고, 휘도를 단계별로 증가시키고 표지의 색상을 적색, 녹색, 황색으로 변화시키면서 피시험자 판독성 실험을 실시하였다.

안개 상황의 모의실험 결과, 적색의 경우, 시정거리 10m에서 휘도 2,000cd/m²와 20,000cd/m² 일 때의 판독거리가 각각 10.2m와 18.8m로 84% 향상되었다. 시정거리 20m에서는 34%, 시정거리 30m에서는 17% 판독거리가 향상되었다. 녹색의 경우, 시정거리 10m에서 휘도 2,000cd/m²와 34,000cd/m² 일 때의 판독거리는 각각 18.3m와 30.8m로 69% 향상되었다. 시정거리 20m에서는 63%, 시정거리 30m에서는 19% 판독거리가 향상되었다. 그리고 황색의 경우, 시정거리 10m에서 휘도 2,000cd/m²와 55,000cd/m² 일 때의 판독거리는 각각 12.2m와 24.4m로 100% 향상되었다. 시정거리 20m에서는 47%, 시정거리 30m에서는 36% 판독거리가 향상되었다.

이와 같은 실험 결과를 이용하여 판독거리를 추정하는 모형식을 색상별 휘도값과 시정거리를 독립 변수로 하여 개발하였다. 적색의 경우 추정된 모형식의 수정 결정계수가 0.982로 나타났고, 녹색은 0.978, 황색은 0.915로 각각 나타나 각 모형의 설명력이 매우 높았고 통계적인 검증 결과 모형의 모든 변수가 유의한 것으로 분석되었다. 이러한 모형식을 활용하여 향후 안개시 적정한 판독거리를 제공할 수 있는 도로전광표지 설계 및 운영관리 기술 향상에 기여 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 안개상황 모의실험의 환경 구축을 90m로 하여 판독거리의 최대치를 85m이하로 한정하였

다. 또한 정적인 피시험자 실험만 수행하여 도로전광표지의 판독거리에 영향을 미칠 수 있는 다양한 환경변수들의 관계를 증명하지 못하였다. 향후 안개상황 모의실험 환경을 최소 250m 이상 구축한다면 공간적인 한계를 극복함과 아울러 다양한 동적 실험을 진행할 수 있을 것으로 예상된다.

REFERENCES

- Cho J.(2017), *A study on the method of calculating VMS optimization according to external illumination*, Master Thesis, University of Seoul.
- Colomb M., Legeoueix G., Smith M., Aston M. and Williams T.(1999), *Visibility of variable message signs in fog*, Oxford United Kingdom.
- Jung J. and Lee S.(2013), "Estimating the effect of VMS on drivers' legibility and perception," *The Journal of the Korean Contents Association*, vol. 13, no. 11, pp.944-956.
- Kim S., Lee S. and Kim Y.(2017), "An analysis on compliance of variable speed limit under foggy conditions using driving simulator," *Journal of Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, 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.
- Lim C.(2007), *A study on the safe speed estimation on fog-bound roads*, Master Thesis, University of Seoul.
- MOLIT(2016), *Guideline on management and installation of roadway safety devices*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea.
- Moon H.(2014), *Study on development of visual calculation algorithm for fog detection*, Master Thesis, Korea University.
- NPA(2017), *Guideline of variable traffic safety signs*, National Police Agency, Korea.
- Park W.(2009), *A study on the visibility and legibility of traffic safety signs*, Master Thesis, Inje University.
- Wagner J.(1989), *Investigation of the legibility of sign letter and background type combinations under various conditions of weather and viewing and durability of reflective sheeting*, Final Report, Florida Department of Transportation.
- Williams B., Gibbons R., Medina A. and Connell C.(2015), "Visibility of a color variable message sign in the fog," *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*, Paper No. 15-1840.