

보급형 도로환경센서 및 안개 가시거리 추정식 개발 연구

Study on the Development of Advanced Road Environment Sensor and Estimation Formula for Fog Visibility Distance

조 중 호* · 진 민 수** · 조 원 범***

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 · ㈜레도 부사장
 ** 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 전임연구원
 *** 공저자 : 한국건설기술연구원 남북한인프라특별위원회 수석연구원

Jungho Cho* · Minsoo Jin** · Wonbum Cho***

* Dept. of Transportation Eng. Univ. of Seoul · LEDO Co., Ltd.
 ** Dept. of Highway & Transportation Research, Korea Institute of Civil Eng. and building Technology
 *** Korean Peninsula Infrastructure Special Committee, Korea Institute of Civil Eng. and building Technology

† Corresponding author : Minsoo Jin, msjin@kict.re.kr

Vol. 21 No.4(2022)
 August, 2022
 pp.50~61

pISSN 1738-0774
 eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.4.50>

Received 20 May 2022
 Revised 13 June 2022
 Accepted 10 August 2022

© 2022. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

눈, 비, 안개, 미세먼지는 차량 운전자의 시야를 방해하고 이는 안전거리 미확보와 속도 편차의 증가를 야기하여 반복적인 대형 교통사고의 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 안개, 눈, 비, 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 기압, 미세먼지, 강수량 등 11종류를 측정할 수 있는 보급형 국산 도로환경센서를 개발하였으며, 기존에 상용되고 있는 안개 가시거리 센서로부터 측정된 가시거리와 개발 센서의 적외선 송·수신부를 통해 측정된 적외선 신호값을 비교하여, 두 측정값의 관계를 도출하였다. 기존 안개 가시거리 센서와 개발센서 측정값의 관계는 도로 안전에 직접적 영향을 미치는 500m 이하의 가시거리에서 측정된 데이터를 대상으로 도출되었다. 개발센서의 적외선 신호값과 기존 센서에서 도출된 가시거리의 비교 결과, 통계적으로 두 데이터 간 상관관계가 매우 높은 것으로 분석되었으며, 개발 센서의 적외선 신호값을 활용하여 안개 가시거리를 기존 센서와 매우 유의한 수준으로 추정할 수 있는 것으로 판단된다.

핵심어 : 악천후, 스마트 도로, 도로환경센서, 안개, 가시거리

ABSTRACT

Snow, rain, fog, and particulate matter interfere with the vehicle driver's vision, which causes a non-secure safety distance and an increase in speed deviation, causing repetitive large-scale traffic accidents. This study developed a road environment sensor capable of measuring 11 types of fog, snow, rain, temperature, humidity, direction of wind, speed of wind, Insolation, atmospheric pressure, fine particles, rainfall, etc. and compared the visibility measured by the infrared signal value of the development sensor. The relationship between the existing fog visibility sensor and the development sensor measurement was derived from data measured at a visibility of 500m or less that directly affects road safety.

Key words : Adverse weather, Smart road, Environment sensor, Foggy, Visibility distance

I. 서 론

우리나라는 지리적 위치와 복잡한 지형으로 인해 다양한 기상현상이 발생하고, 산업적 발전과 지속적인 자동차수의 증가에 따른 환경 악화 및 기상이변이 도로교통 안전의 큰 문제로 부각되고 있다. 도로 주행중 교통사고를 유발하는 기상요소는 눈, 비, 안개, 강풍, 미세먼지, 온·습도 등이 있다. 특히 눈, 비, 안개, 미세먼지로 인한 운전자의 시인성 저하는 안전거리 미확보와 차량간 속도 편차의 증가로 이어질 수 있고, 반복적인 대형 교통사고의 원인이다.(Cho et al., 2018; Cho, 2021; Im, 2007; Kim, 2018; Kim et al., 2016).

도로교통공단의 교통사고 통계분석 자료에 의하면 2018년부터 2020년까지 3년 동안의 기상상태별 교통사고 심각도는 안개 낀 날의 치사율이 6.78%로, 맑은 날의 치사율 1.46%의 약 4.6배가 높다(KOROAD TAAS, 2022). 이러한 기상요인으로 인한 교통사고 위험성이 증가하기 때문에 경찰청은 도로교통법 시행규칙 제 19조의 2항 1호에 비가 내려 노면이 젖고, 눈이 2cm 미만으로 쌓인 경우 최고속도의 100분의 20을 줄인 속도로 운행하고, 2호에 폭우, 폭설, 안개 등으로 100m 이내인 경우와 노면이 얼어붙은 경우, 눈이 2cm 이상 쌓인 경우에는 최고속도의 100분의 50을 줄인 속도로 운행해야 한다고 규정하고 있다. 또한 도로법 시행령 제 78조 1항에 적설량이 10cm 이상, 시간당 평균 적설량이 3cm 이상인 상태가 6시간 이상 지속, 교량에서 10분간 평균 풍속이 초당 25m 이상, 안개 등으로 시계가 10m 이하인 경우에는 차량의 도로 진입이나 도로에 진행 중인 차량의 통행을 일시적으로 긴급 통제제한 할 수 있다고 규정하고 있다(MOLEG, 2022). 이러한 법제도를 구현하려면 경찰청과 도로관리자가 유기적인 협력관계를 강화하고, 도로에 이를 측정할 수 있는 도로환경센서가 구축되어야 한다. 기존의 관련 센서는 구입 및 구축 비용이 매우 고가이며, 전문적인 지식이 필요하며, 대부분 해외 수입품으로 유지관리에 어려움이 매우 많았다.

이에 본 연구에서는 안개, 눈, 비, 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 기압, 미세먼지, 강수량 등 11종류를 측정할 수 있는 보급형 국산 도로환경센서를 개발하였으며, 기존에 상용되고 있는 안개 가시거리 센서로부터 측정된 가시거리와 개발 센서의 적외선 송·수신부를 통해 측정된 적외선 신호값을 비교하여, 두 측정값의 관계를 도출하였다. 이 실험의 결과는 적외선 신호값을 가시거리 정보로 환산하여 생성할 수 있는 기술 개발 과정의 일부이며, 초기 단계 실험 및 자료분석 과정에 해당된다. 본 연구의 기존 안개 가시거리 센서와 개발 센서 측정값의 관계는 도로 안전에 직접적 영향을 미치는 500m 이하의 가시거리에서 측정된 데이터를 대상으로 도출되었다.

II. 문헌 및 기술 검토

1. 이론적 배경

우리가 물체를 볼 수 있는 것은 물체와 배경간의 휘도 대조(Contrast) 때문이다. 목표물이 시인되는 경우의 배경과 목표물과의 대비는 목표물과 배경의 휘도의 차를 배경의 휘도로 나눈 것으로 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다(MOLIT, 2003).

$$C = \frac{B - B'}{B'} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, C : 물체와 배경간의 대조

B : 물체의 휘도

B' : 배경의 휘도

Koschmieder의 법칙은 시정과 소산계수와와의 관계에 관한 법칙이며, 이론의 가정은 ①대기의 조성은 모든 위치에서 동일, ②배경광의 밝기는 관측자와 관측되는 물체에서 모두 동일, ③관측되는 거리는 지구의 곡면을 무시한 직선, ④관측되는 물체는 완전한 흑체(모든 빛을 흡수하는 물체)이다(Koschmieder, 1925; Guo et al., 2016). Koschmieder의 법칙에서 가장 널리 쓰이는 시정한계값 2%를 적용하면 Eq. (3)와 같다(Kim, 2018; Kim, 2009; Moon, 2013).

$$C_r = \exp(-\beta r) \dots\dots\dots (2)$$

$$V_r(\text{시정}) = \frac{3.912}{\beta} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, C_r : 결보기의 대비

C_0 : 본래의 대비

r : 목표물과 관측자와의 거리

β : 소산계수

세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)에서 기상학적 광학거리(MOR; Meteorological Optical Range)는 시정을 표준화한 양으로 2700K 색온도의 평행광선이 대기 중을 지날 때, 광선속이 5%로 줄어드는 거리라고 정의했다. 광선속(luminous flux)은 표준화된 사람 눈의 시감인 CIE 1924 $V(\lambda)$ 표준관측자의 파장별 시감효율이 고려된 빛의 양을 헤아리는 광측정량으로, 단위는 lm이며 이 측정은 시감이 고려되어 lm에 비례하는 신호를 얻을 수 있는 광검출기인 광도계를 이용하여 이뤄져야 한다. 참고로 이는 광학적 복사 측정 분야의 복사선속(radiant flux)에 대응하는 양이다. 대기의 2700K 색온도의 평행광선에 대한 광소산계수(EXCO; Extinction Coefficient)를 α 라고 하고, MOR을 L이라고 하면, WMO의 MOR 정의는 Eq. (4)로 표현할 수 있다(KMA, 2015; Park et al., 2015).

$$0.05 = \exp(-\alpha r), L \cong \frac{2.996}{\alpha} \dots\dots\dots (4)$$

즉, MOR은 EXCO의 함수로 표현되어, EXCO의 측정을 통해 MOR을 계산할 수 있다. EXCO는 보통 정해진 두께의 매질인 대기 투과율을 측정함으로써 계산이 가능하다. “매질은 균질하고 등방성이다”로 가정하고, 그 매질의 두께를 B라고 할 때, 매질의 광투과율은 Beer-Lambert 법칙에 따라 Eq. (5)로 표현할 수 있다(KMA, 2015).

$$T = \exp(-\alpha B), \alpha \cong -\frac{\ln T}{B} \dots\dots\dots (5)$$

Eq. (4)과 Eq. (5)로부터 Eq (6)과 같이 MOR, L은 매질의 두께 B와 광투과율 T로 표현할 수 있다.

$$L = -2.996 \frac{B}{\ln T} \dots\dots\dots (6)$$

2. 가시거리 센서 개발 관련 검토

가시거리 측정의 방식은 레이저 송수신 센서로 산란정도를 측정하여 가시거리를 측정하는 방식과 CCTV 영상을 활용하여 가시거리를 측정하는 방식으로 크게 나눌 수 있다. 레이저 송수신 센서로 산란정도를 측정하여 가시거리를 측정하는 방식은 기존에 상용되고 있는 Biral 社, Vaisala 社의 시정센서가 이에 해당한다. ㈜이엔쓰리환경은 “국지적 안개 감시를 위한 소형 경량의 안개감지기 개발(KMA, 2014)”를 통해 송수신부 일체형 안개탐지기와 시정계산 및 안개구분 알고리즘을 개발하였다. ㈜정상라이더는 2019년 “야간 및 악천 후 대응 능동형 속도관리시스템 개발(MOLIT, 2019)”를 통해 후방산란방식의 통합기상검지기를 개발하였다.

CCTV 영상을 활용하여 가시거리를 측정하는 방식의 연구가 다수 진행중에 있다. Kim et al.(2005)은 영상에서 시정과 영상대비의 상관관계를 규명하고 시정관측환경에 적응적인 모델링방법을 개발하였다. Kim et al.(2011)은 도로상에 설치된 CCTV 카메라 영상을 이용하여 도로모델을 구축하고 카메라 영상으로부터 차량의 이동영역과 가시선을 검출한 후 도로모델에 적용함으로써 주야간 실시간 시정측정이 가능한 방법을 제안하였다. Park and Im(2007)은 CCTV 영상과 온·습도 정보를 이용한 기후검출 알고리즘을 개발하였다. Kim(2013)은 CCTV로 촬영한 이미지를 3단계의 시정상태로 구분하여 안개 감지하는 시스템을 제안하였다. Lee and Kim(2014)은 CCTV의 하단, 중단, 상단 영역에 기준선을 지정하고 그 기준선의 실측거리를 활용한 시정거리 측정을 제안하였다. Jang and Kim(2013)은 CCTV영상에 웨이블릿 패킷 알고리즘을 적용하여 특정 벡터를 추출하는 방식으로 안개검지 여부를 판단하는 방법을 제안하였다. Kim(2015)은 CCTV이미지의 색상 코드(RGB) 값을 비교하여 가장 멀리보이는 물체를 인식하여 가시거리를 측정하는 방법을 제안하였다. 공간 정보기술(주)은 2021년 “정확도 90%이상의 가시거리 측정을 위한 1km미만의 저시정용 전방위 입체형 스테레오 영상 시정계 개발(MOLIT, 2021)”을 통해 PTZ기능을 활용하여 Depth-Map을 생성하고, 중점시 오매정 정보 제거 기술로 시차분석을 실시하는 알고리즘을 통해 가시거리를 측정하는 시정계를 개발하였다.

본 연구에서 개발한 도로환경센서는 안개 가시거리 측정 뿐만 아니라 눈, 비, 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 기압, 미세먼지, 강수량 등을 측정할 수 있는 통합도로환경센서를 개발했다는 점과 기존에 상용되고 있는 안개 가시거리 센서로부터 측정된 가시거리와 개발 센서의 적외선 송·수신부를 통해 측정된 적외선 신호값을 비교하여, 두 측정값의 관계를 도출했다는 차별점이 있다.

Ⅲ. 도로환경센서 및 안개 가시거리 추정식 개발

1. 도로환경센서 개발 및 측정원리

본 연구에서는 안개, 눈, 비, 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 기압, 미세먼지, 강수량 등 11종류를 측정할 수 있는 보급형 국산 도로환경센서를 개발하였다.

안개의 측정단위는 가시거리로 1m 단위를 사용하고 있고, 발광부, 수신부, 컨트롤러부로 구성되어 있으며, 측정원리는 후방산란방식을 이용한다. 후방산란방식은 적외선 광원으로부터 대기 중으로 입사된 적외선이 대기 중의 입자들과 충돌하여 산란을 일으키게 되는데, 이 중에 입사광의 진행 방향과 반대 방향으로 산란된 적외선을 수신부에서 검출하는 방식이다. 눈과 비의 유무 측정은 적외선 발광부와 수신부를 이용한다. 또한

적외선을 이용하여 대기 중의 입자 크기와 낙하 속도를 측정하고, WMO(2014)의 지침에 따라 안개, 연무, 눈, 비, 우박 등을 구분한다.

풍향과 풍속은 초음파를 이용하고, 4개의 송·수신기 N(북), S(남), E(동), W(서)로 구성되어 있다. 그리고 측정원리는 N에서 S, S에서 N, E에서 W, W에서 E로의 초음파 전송시간을 측정하여 시간차로 풍향과 풍속을 계산한다. 그리고 강수량은 24GHz 소형 레이더를 이용하였으며, 표적이 레이더에 접근하거나 멀어질 때 주파수가 변하는 도플러 원리를 이용하여 비의 낙하속도를 측정하여 강수량을 계산한다.

온도, 습도, 일사량과 기압은 디지털 부품을 이용하여 측정하였으며, 미세먼지는 적외선을 이용하여 PM1.0, PM2.5, PM10을 측정하며, 안개 측정원리와 유사한 전방산란방식을 이용한다. 온도 및 습도 장비는 국가공인기관의 교정성적서를 취득하였으며, 풍향 및 풍속장비는 기상측기의 검정성적서를 취득하였다. 개발 도로환경센서의 스펙은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Specifications of road environment sensor

Category	Measurement range	Resolution	Method of measurement
Fog	10 ~ 1000m	1m	Infrared
Snow	Presence/Absence	Presence/Absence	Infrared
Rain	Presence/Absence	Presence/Absence	Infrared
Temperature	-40℃ ~ 80℃	0.1℃	-
Humidity	0 ~ 100%	1%	-
Direction of wind	0 ~ 359°	1°	Ultrasonic wave
Wind speed	0 ~ 40m/s	0.1m/s	Ultrasonic wave
Insolation	0 ~ 2000W/m2	0.1W/m2	P.Diode
Atmospheric pressure	150 ~ 1100hPa	0.1hPa	-
Fine particles	0 ~ 500µg/m3	1µg/m3	Infrared
Rainfall	0 ~ 100mm/hr	0.01mm/hr	Radar

2. 도로환경센서의 안개 가시거리 추정식 개발

1) 실험 환경 및 데이터 수집

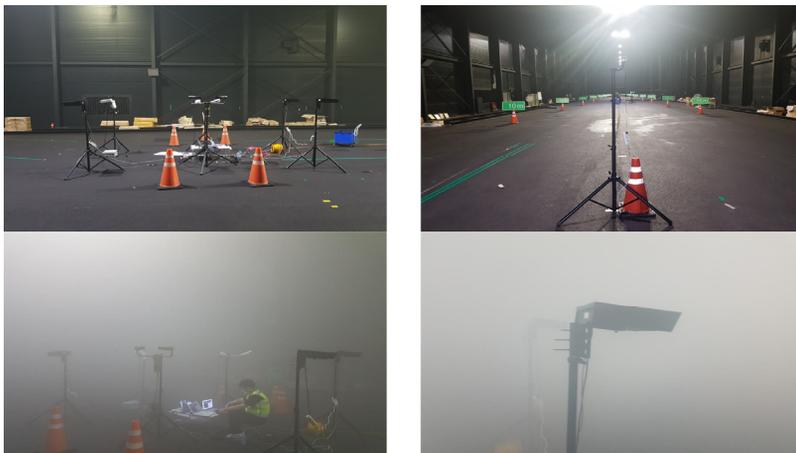
안개에 의한 광소실의 영향만을 고려하기 위해 외란광에 의한 영향을 배제할 수 있고, 동시에 대규모 암실환경 구현이 가능한 한국광기술원 조명성능실증실험장(광주광역시 소재, 120m×20m×13m, <Fig. 1>)에서 안개상황 모의실험을 수행하였다. 본 연구의 결과는 실내에서 인공의 안개를 이용하여 환경을 구현한 실험의 결과로 실제 도로환경과는 차이가 존재하는 한계점이 있으며, 실제 도로에서 적용하기 위해서는 태양광, 도로조명, 대기오염, 안개입자 등 다양한 환경변수에 대한 고려가 필요하다.



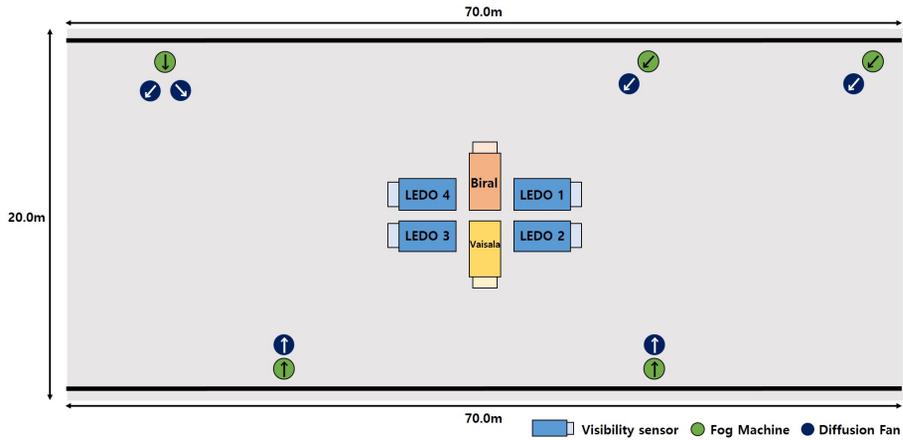
<Fig. 1> Testbed to demonstrate lighting performance(KOPTI)

데이터 수집은 2020년 7월 23일에 수집하였으며, 기존에 상용되고 있는 가시거리 센서인 VPF-710(Biral社), PWD10(Vaisala社)와 개발 가시거리센서를 <Fig. 2> 및 <Fig. 3>과 같이 배치하였다. 동일한 안개 조건에서의 가시거리 측정을 위해 데이터 취득시 센서 간섭이 없도록 배치하기 위하여 부득이하게 다른 방향으로 설치하였다. 안개발생기와 안개오일은 동일제품을 사용하여 실험장 내 동일 환경이 구현될 수 있도록 하였다. 개발한 보급형 도로환경센서의 안개 가시거리 추정식 개발을 위한 모의실험의 절차는 다음과 같다.

- Step 1. 기존 가시거리 센서, 개발 가시거리 센서, 안개발생기 및 확산팬을 배치하고, 동일시간에 데이터를 측정하기 위한 동기화 작업 수행
- Step 2. 안개발생기를 가동하여 한국광기술원 조명성능실증실험장 내 안개 분사 실시
- Step 3. 실증실험장 내 가시거리가 10m 이하의 짙은 안개가 균일하게 형성될 때까지 Step 2 수행
- Step 4. 목측 판단 및 기존 가시거리 센서의 값이 5분 이상 계속 10m 이내일 경우 안개발생기 중단
- Step 5. 안개가 소산되어 기존 가시거리 센서의 값이 500m 이상이 될 때까지 데이터 측정



<Fig. 2> Simulation of foggy situation



<Fig. 3> Layout of simulation

2) 기존 가시거리 센서 스펙 및 기존 센서 선정

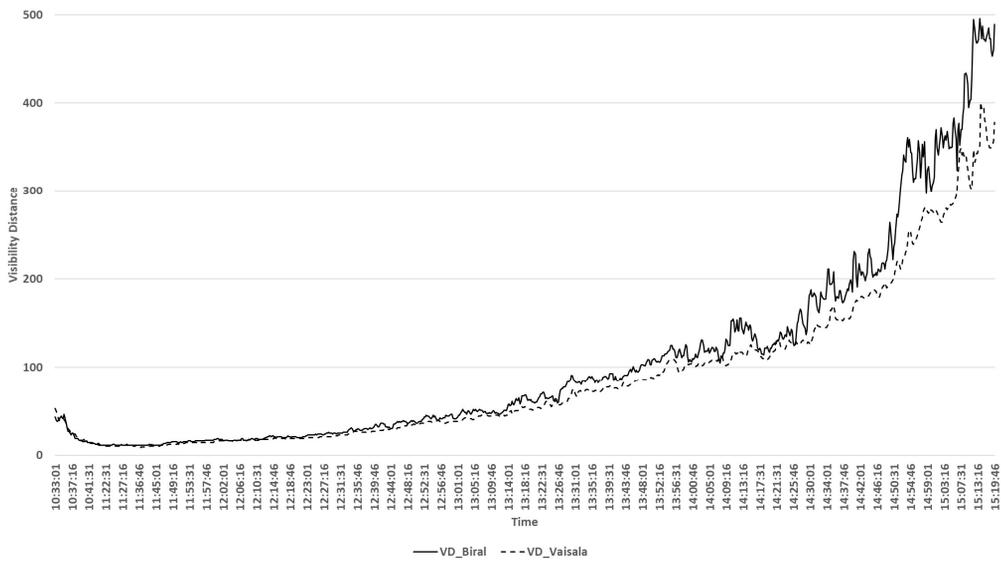
앞서 기술한 가시거리 센서 VPF-710(Biral 社), PWD10(Vaisala 社)의 성능은 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Specifications of visibility sensor

Item	VPF-710(Biral 社)	PWD10(Vaisala 社)
Dimension		
Operating principle	Forward scatter meter with 39° to 51° centred at 45°	Forward scatter measurement with 45° scattering angle
Range	10m to 99.99km	10m to 20km
Measurement Error	≤1.3% at 600m, ≤1.8% at 1,500m, ≤2.0% at 2km, ≤8.3% at 15km, ≤10.5% at 30km, ≤20% at 75m	±10% at 10m ... 20km
EMC Compliance	EN61326-1997, 1998, 2001	CISPR 16-1, 2 IEC 61000-4-2, 3, 4, 5, 6

개발 도로환경센서의 가시거리 추정 관계식을 개발하기 위해 기존 가시거리 센서 데이터를 비교결과는

<Fig. 4>와 같다. 안개 농도 변화시 두 기존 가시거리 센서 간 가시거리의 변화 경향이 매우 유사함을 알 수 있다. 두 기존 가시거리 센서는 전 세계적으로 범용되고 있기 때문에 두 센서 모두 개발 센서의 성능을 평가하기 위한 기준 센서로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 다만, <Fig. 4>의 안개 가시거리 측정 데이터 및 측정방식을 검토한 결과 Vaisala의 센서의 측정값이 Biral 센서에 비해 더 긴 누적 데이터를 활용하여 측정하기 때문에 안개의 증감에 더 둔하게 반응하는 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 연구기관에서 보유하고 있고, 500m 이하의 짧은 가시거리 영역에서 오차율이 적다고 판단(센서의 제조사인 Biral社에서 600m이하 거리에서 오차율을 1.3%로 정보 제공)되는 Biral의 가시거리 센서를 기준 센서로 활용하여 분석하였다.



<Fig. 4> Visibility Distance of sensor(Biral and Vaisala)

3) 실험 결과 분석 및 안개 가시거리 추정식 개발

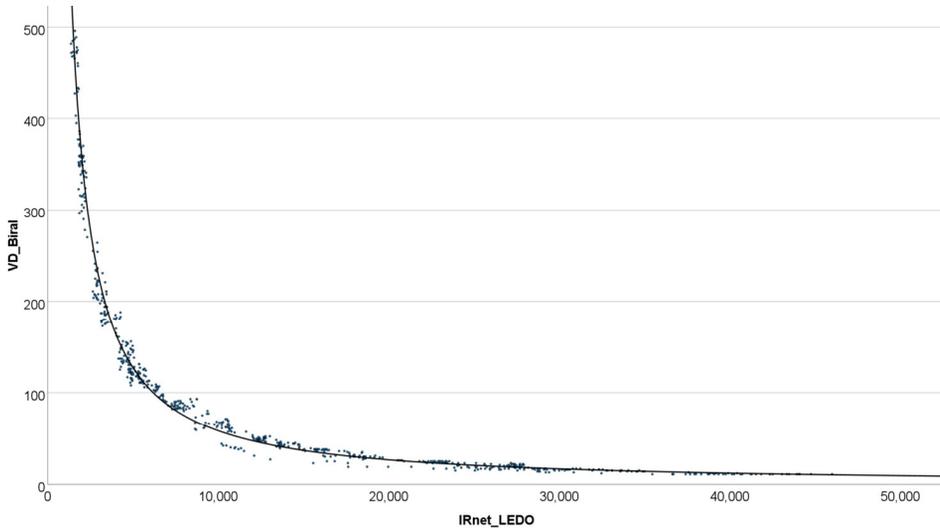
관계식 범위는 도로 안전에 영향을 미치는 500m 이하의 비교적 짧은 가시거리 영역에서의 가시거리 추정의 신뢰성을 높일 수 있는 정보생성 기술 개발에 중점을 두었다. 본 연구에서 가시거리 추정식 개발시 기상청의 안개강도에 따른 분류에서 가시거리 1.0~0.5km는 강도 0(약), 0.5~0.2km는 강도 1(중), 0.2km 미만은 강도 2(강)로 구분하고 있고, 『도로의 구조·시설의 기준에 관한 규칙 해설(MOILT, 2020)』의 시거(설계속도 120km/h시 최소정지시거 215m, 설계속도 80km/h시 최소 앞지르기시거 540m)를 고려하여 가시거리 500m 이하부터는 정확한 가시거리 추정이 필요하다고 판단하였기 때문에 추정범위를 500m로 설정하였다.

안개 가시거리 단계에 따른 교통제어 방법을 규정한 현 국내 법에 개발 센서에서 도출된 자료가 유효하게 적용될 수 있는지 평가하기 위해 수집된 자료를 활용하여 개발 센서(LED0)의 적외선 신호값(IRnet_{LED0})과 기준 센서의 가시거리(VD_{Biral})의 관계를 비교하였다. 관계식 구축을 위해 전체 953개의 데이터 중 R-Programming의 sample 함수를 활용하여 랜덤으로 669개를 추출하여 통계패키지 S/W SPSS 28.0을 활용하여 분석하였고, 나머지 284개의 데이터로 관계식을 검증하였다.

분석 결과는 <Table 3> 및 <Fig. 5>와 같으며, 도출된 관계식은 Eq. (7)이다.

<Table 3> Model summary and parameter estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates	
	R square	F	df1	df2	p-value	Constant	b1
Power	0.988	54498.105	1	667	0.000	1940028.388	-1.131



<Fig. 5> Relationship between VD_{Biral} and $IRnet_{LEDO}$

$$VD_{LEDO} = 1940028.388 * (IRnet_{LEDO})^{-1.131} \dots\dots\dots (7)$$

여기서, VD_{LEDO} : 개발 센서(LED0)의 적외선 신호값으로 추정된 가시거리값

$IRnet_{LEDO}$: 개발 센서(LED0)의 적외선 신호값

개발 센서(LED0)의 적외선 신호값($IRnet_{LEDO}$)과 기준 센서(Biral)에서 도출된 가시거리(VD_{Biral})의 비교 결과 통계적으로 두 데이터 간 상관관계가 매우 높은 것으로 분석되었으며, 따라서 개발 센서의 적외선 신호값을 활용하여 안개 가시거리를 기준 센서와 매우 유의한 수준으로 추정할 수 있는 것으로 판단된다.

이를 검증하기 위해 미사용한 데이터 284개를 활용하여 기준 센서의 가시거리값과 추정식의 가시거리값을 대응표본 T검정으로 검정하였다. 검정 결과는 <Table 4>와 같으며, 검정통계량의 유의확률이 0.752로 이는 유의수준 0.05보다 크므로 “유의수준 5% 하에서 기준 센서의 가시거리값과 추정식의 가시거리값의 차이가 없다”는 결론을 내릴 수 있다.

<Table 4> Result of paired t-test

Pair	Paired Differences					t	df	p-value (2-tailed)
	Mean	StDev	SE Mean	95% CI				
				Min.	Max.			
Pair $VD_{Biral} - VD_{LEDO}$	0.26761	14.24169	0.84509	-1.39585	1.93106	0.317	283	0.752

IV. 결 론

도로에서 교통사고를 유발하는 기상요인은 눈, 비, 안개, 강풍, 미세먼지, 온·습도 등이 있으며, 특히 눈, 비, 안개, 미세먼지는 차량 운전자의 시야를 방해하고 이는 안전거리 미확보와 속도 편차의 증가를 야기하여 반복적인 대형 교통사고의 원인이 되고 있다. 특히 악천후시는 도로교통법 시행규칙에 차량운행 속도를 줄이거나, 일시적으로 긴급 통행제한을 할 수 있다고 규정되어 있다. 이러한 법제도를 구현하려면 경찰청과 도로관리자가 유기적인 협력관계를 강화하고, 도로에 이를 측정할 수 있는 도로환경센서가 구축되어야 하나, 기존의 관련 센서는 구입 및 구축 비용이 매우 고가이며, 전문적인 지식이 필요하고, 대부분 해외 수입품으로 유지관리에 어려움이 매우 많았다.

이에 본 연구에서는 안개, 눈, 비, 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 기압, 미세먼지, 강수량 등 11종류를 측정할 수 있는 보급형 국산 도로환경센서를 개발하였으며, 기존에 상용되고 있는 안개 가시거리 센서로부터 측정된 가시거리와 개발 센서의 적외선 송·수신부를 통해 측정된 적외선 신호값을 비교하여, 두 측정값의 관계를 도출하였다. 관계식 범위는 도로 안전에 영향을 미치는 500m 이하의 비교적 짧은 가시거리 영역에서의 가시거리 추정의 신뢰성을 높일 수 있는 정보생성 기술 개발에 중점을 두었다. 안개 가시거리 단계에 따른 교통제어 방법을 규정한 현 국내 법에 개발 센서에서 도출된 자료가 유효하게 적용될 수 있는지 평가하기 위해 수집된 자료를 활용하여 개발 센서(LED0)의 적외선 신호값(IRnet_{LED0})과 기존 센서의 가시거리(VD_{Biral})의 관계를 비교하였다.

개발 센서(LED0)의 적외선 신호값(IRnet_{LED0})과 기존 센서(Biral)에서 도출된 가시거리(VD_{Biral})의 비교 결과 통계적으로 두 데이터 간 상관관계가 매우 높은 것으로 분석되었으며, 따라서 개발 센서의 적외선 신호값을 활용하여 안개 가시거리를 기존 센서와 매우 유의한 수준으로 추정할 수 있는 것으로 판단된다.

기존 센서의 가시거리값과 추정식의 가시거리값을 대응표본 T검정으로 검정한 결과, 검정통계량의 유의확률이 0.752로 유의수준 0.05보다 크므로 “유의수준 5% 하에서 기존 센서의 가시거리값과 추정식의 가시거리값의 차이가 없다”는 결론을 내릴 수 있다.

개발된 도로환경센서는 악천후로 인한 교통사고 다발구간과 스마트 도로·교통, 스마트시티, 자율차 분야에 활용될 것으로 기대된다. 향후 최종적으로 수신된 적외선 신호에는 개발 센서에서 송신되어 안개에 산란된 후 수신된 적외선 신호뿐만 아니라 태양광, 도로조명 등 외란광에 의한 노이즈가 포함되어 있으므로 이를 제거하기 위한 알고리즘이 필요하며, 실증테스트시 데이터 수집 및 분석을 통해 보완이 필요하다. 또한 본 연구는 동일한 환경에서 취득한 데이터를 이용한 모델링인 한계가 있으며, 다양한 환경에서 취득한 데이터를 활용한 분석이 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부·산업통상자원부·과학기술정보통신부·행정안전부 “스마트 도로조명 플랫폼 개발 및 실증 연구 개발사업”의 연구비지원(과제번호 22PQWO-C153345-04)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Cho, J. H., Jung, Y. J. and Kim, C. Y.(2018), “Development of legibility distance calculation model of VMS according to fog and luminance”, *Traffic Safety Research*, vol. 37, pp.85-98.
- Cho, W. B.(2021), “Necessity and direction of revision of luminous intensity standards for tunnel delineator using a light source”, *Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers(KIIEE) Annual Conference*, p.79.
- Guo, F., Peng, H., Tang, J., Zou, B. and Tang, C.(2016), “Visibility detection approach to road scene foggy images”, *Korean Society for Internet Information Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 10, no. 9, pp.4419-4441.
- Im, C. H.(2007), *A study on the safe speed estimation of fog-bound roads*, Master’s Thesis, Department of Transportation Engineering Graduate School University of Seoul, pp.1-20.
- Jang, J. H. and Kim, B. H.(2013), *Fog detection system using CCTV image, and method for the same*, KOREA PATENT 10-1219659.
- Kim, B. K., Jang, I. S. and Lee, K.(2011), “Real-Time Road-Visibility measurement Using CCTV Camera”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 29, no. 4, pp.125-138.
- Kim, B. K., Kang, B. W., Lee, K. S. and Choi, J. C.(2005), “Development of real-time visibility monitoring system using image contrast”, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 41, no. 3, pp.449-459.
- Kim, C. Y.(2018), *Development of Legibility Distance Calculation Model of VMS according to Fog and Luminance*, Doctoral Dissertation, Department of Transportation Engineering Graduate School Ajou University, pp.1-13.
- Kim, K. W.(2015), *Visual range measurement device and method using a geographical information and perspective of a visual image*, KOREA PATENT 10-1503213.
- Kim, S. G.(2018), *Invisibility enhancement of object tracking in foggy image*, Doctoral Dissertation, Department of Electrical Engineering Graduate School Mokpo National University, pp.5-10.
- Kim, T. S.(2009), “Visualization of air quality based on the IMPROVE models”, *Journal of Digital Contents Society*, vol. 10, no. 2, pp.299-307.
- Kim, Y. S.(2013), *A study on a automatic fog detection system by image recognition and learning method for image analysis*, Master’s Thesis, Department of Computer Science and Engineering Graduate School Dongshin University, pp.7-27.
- Kim, Y. S., Kim, S. L. and Lee, S. K.(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.
- Korea Meteorological Administration(2014), *Development of compact fog sensor for monitoring on local fogs*, pp.32-70.
- Korea Meteorological Administration(2015), *Enhancement of verification/calibration techniques of meteorological instruments*, pp.22-37.
- KOROAD TAAS(Traffic Accident Analysis System), <http://taas.koroad.or.kr>, 2022.04.20.
- Koschmieder, H.(1925), “Theorie der horizontalen sichtweite”, *Beirage zur Physik der Freien Atmosphere*, vol. 12, no. 1, pp.33-55.

- Lee, G. and Kim, B. K.(2014), “Study on Development and Utilization of Wide Area Visibility Information System Using CCTV on the Highway”, *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 6, pp.665-671.
- Minister of Land, Infrastructure and Transport(2003), *Final report: Development the safety management systems in fog-prone area*, pp.15-41.
- Minister of Land, Infrastructure and Transport(2019), *Final report: Development of a active speed management against night-time and adverse weather conditions*, pp.45-48.
- Minister of Land, Infrastructure and Transport(2021), *Final report: Development of an omnidirectional stereoscopic image visibility system for low visibility of less than 1km to measure the visibility with accuracy of 90% or more*, pp.4-16.
- Ministry of Government Legislation(MOLEG), The Korean Law Information Center, <https://www.law.go.kr>, 2022.04.20.
- Moon, H. J.(2013), *Study on the development of visual calculation algorithm for fog detection*, Master's Thesis, Department of Computer Science and Engineering Graduate School Korea University, pp.5-18.
- Park, B. Y. and Im, J. T.(2007), “Development of the weather detection algorithm using CCTV images and temperature, humidity”, *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 10, no. 2, pp.209-217.
- Park, S. C., Lee, D. H. and Kim, Y. G.(2015), “SI-traceable calibration of a transmissometer for meteorological optical range(MOR) observation”, *Korean Journal of Optics and Photonics*, vol. 26, no. 2, pp.73-82.
- World Meteorological Organization(2014), *CIMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, Chapter 6, WMO-No. 8.