

안개 및 강우 상황에서의 LiDAR 검지 성능 변화에 대한 연구

A Study of LiDAR's Detection Performance Degradation in Fog and Rain Climate

김지윤* · 박범진**

* 주저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 박사후연구원

** 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

Ji yoon Kim* · Bum jin Park**

* Dept. of Highway & Transportation Research, KICT

** Dept. of Highway & Transportation Research, KICT

† Corresponding author : Bum jin Park, park_bumjin@kict.re.kr

Vol. 21 No.2(2022)
April, 2022
pp.101~115

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.2.101>

Received 17 February 2022
Revised 4 March 2022
Accepted 22 March 2022

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

요약

본 연구는 LiDAR가 악천후 시 물체를 검지하는 성능을 맑은 날과 비교하여 알아보았다. 악천후를 재현하는 실험은 안개 시정거리를 200m부터 50m까지 4단계로 강우량은 20(mm/h)와 50(mm/h)로 나누어 수행하였다. LiDAR를 차량에 장착하여 실제 도로 위를 주행하여 진행하였고, 사람 모양의 표지판을 대상으로 측정거리별로 분석하였다. 성능지표는 Number of Points Cloud와 Intensity를 활용하였고, T-Test로 성능의 차이를 통계적으로 알아보았다. 연구결과, 맑은 날 대비 LiDAR 검지 성능은 강우량 20mm/h, 안개시정 200m 이하, 강우량 50mm/h, 안개시정 150m 이하, 100m 이하, 50m 이하의 순으로 성능저하가 발생하였다. 성능의 저하는 흰색보다는 검은색일 때, 측정거리가 멀어질수록 크게 발생하였다. 하지만, 흰색은 본 실험에서 최악의 상황으로 판단되는 시정 50m에서도 측정거리 10m에서는 성능의 차이가 미미하였고, 통계적으로는 차이가 없었다. 성능검증 결과는 향후 센서의 시인성을 제고하는 도로시설물 제작에 활용될 것이 기대된다.

핵심어 : LiDAR, 검지물체, 성능지표, 강우, 안개

ABSTRACT

This study compared the performance of LiDAR in detecting objects in rough weather with that in clear weather. An experiment that reproduced rough weather divided the fog visibility into four stages from 200 m to 50 m and controlled the rainfall by dividing it into 20 mm/h and 50 mm/h. The number of points cloud and intensity were used as the performance indicators. The difference in performance was statistically investigated by a T-Test. The result of the study indicates that the performance of LiDAR decreased in the order in situations of 20 mm/h rainfall, fog visibility less than 200 m, 50 mm/h rainfall, fog visibility less than 150 m, fog visibility less than 100 m, and fog visibility less than 50 m. The decreased performance was greater when the measurement distance was greater and when the color was black rather than white. However, in the case of white, there was no difference in performance at a measurement distance of 10 m even at 50 m fog visibility, which is considered the worst situation in this experiment. This no difference in performance was also statistically significant. These performance verification results are expected to be utilized in the manufacture of road facilities in the future that improve the visibility of sensors.

Key words : LiDAR, Detection Object, Indicator, Rainfall, Fog

I. 서론

자율주행차량(Automated Vehicle, 이하 AV)에 장착된 센서는 운전자의 눈의 역할을 수행한다(KICT, 2021). AV가 상황인지(Recognition or Perception), 상황판단(Decision), 상황 측위 및 차량제어(Localization and Control)의 일련의 순서로 주행함으로써 센서는 주변 상황을 인지하는 역할을 담당한다. 센서의 상황인지 역할은 AV가 도로 상을 주행하는 자동차, 보행자 등의 움직이는 물체(Dynamic Object)와 도로 및 도로안전시설물 등의 움직이지 않는 물체(Static Object)를 상시 검지(Detect)하고, 물체를 분류(Classification)하는 행위를 의미한다(Herrmann et al., 2019). 하지만, 분류는 통상적으로 학습데이터 기반의 AI(Artificial Intelligent)알고리즘을 활용되고, 학습이 고도화 될수록 물체 분류의 정확성이 향상된다는 측면을 고려(Herrmann et al., 2019)한다면, 센서의 실제 역할은 물체를 제대로 검지하는 것이고, 이러한 센서의 검지가 최초로 적절하게 이루어져야 실제 물체 분류의 정확성도 향상될 것이다. 이렇듯 센서의 시인성 향상은 상황인지에 직접적으로 영향을 미친다는 의미에서 중요하다.

AV에 활용되는 대표적인 센서는 영상(Vision), LiDAR(Light Detection And Ranging, 이하, LiDAR), 레이더(Radar)이다. 이들 중에 LiDAR는 현재의 AV의 기술발전을 선도하고 있다(Li and Ibanez-Guzman, 2020). 테슬라로 대표되는 일부 AV는 영상으로만 자율주행기술을 구현하고자 하지만, 대부분의 시험 중인 국내의 AV는 영상과 LiDAR등의 센서를 융합하여 활용한다(KICT, 2021). LiDAR는 조도의 영향을 덜 받아 주야간의 성능의 차이가 적으며, 3D형태로 물체를 검지하고, 검지 정확도가 우수한 것으로 알려져 있다(Tang et al., 2020). 반면에 타 센서들과 마찬가지로 눈·비·안개 등의 악천후 시에 성능이 저하되는 특성을 가지고 있다(Goodin et al., 2019). 하지만, 많은 기존문헌들은 악천 후 시, LiDAR의 분류 성능의 정확성 저하를 분석한 것이 대부분이다. 다시 말해, 기존 문헌들은 LiDAR의 검지 성능보다는 알고리즘을 어떻게 개선할 지에 대하여 관심이 집중되어 있다. 이러한 이유는 차량에 활용하는 LiDAR의 기술개발 역사가 길지 않아 LiDAR 제조사가 한정적이며(Beraldin et al., 2010), AV 상용화를 위한 연구개발이 아직 진행 중이어서 AV 센서의 검지성능 공개는 기술수준으로 판단되는 성향이 있기 때문이다(Jeon and Kim, 2021). 이에 센서 분야에서는 LiDAR가 수집하는 검지 데이터를 통해 소프트웨어를 개선하는데 역량을 집중하고 있다고 판단된다.

LiDAR가 물체를 인지하기 위해서는 최초 물체를 검지하는 행위를 기본적으로 수행하게 된다는 점과 물체에 레이저를 조사(irradiation)하여 돌아오는 레이저의 개수와 에너지로 물체와의 거리를 검지하는 LiDAR의 작동 원리를 고려한다면, LiDAR의 검지 성능평가도 관심을 가져야 함은 중요하다. 더욱이 LiDAR가 검지하는 물체가 보행자도 포함된다면 LiDAR가 보행자를 최초 인식하는 검지 성능에 주목할 필요가 있다. 센서의 상황인지를 위한 검지 성능은 분류 성능에도 영향을 미치고, 검지성능의 분석도 필요하며, 이를 객관적으로 평가할 수 있는 성능지표도 필요하다. 이러한 검지성능의 분석결과를 기반으로 AV을 지원하는 도로안전시설물의 개선도 이루어질 것이다.

이에 본 연구에서는 LiDAR의 악천후 시(강우과 안개)시의 LiDAR의 최초 검지성능을 성능지표를 활용하여 정량적으로 알아보고자 한다. 이러한 악천후 시 LiDAR의 검지성능의 정확한 이해가 향후 도로안전시설물의 개선에 활용될 수 있을 것이 기대된다.

II. 선행연구검토

LiDAR 기술은 GNSS(Global Navigation Satellite System)가 상업적으로 널리 사용하기 시작한 1990년대에

기술적인 발전을 이루었고, AV용 LiDAR는 Airborn LiDAR를 소형화한 것이다. AV용 LiDAR는 속도, 도로 및 도로시설물 정보 등의 교통과 관련된 각종 정보 수집에 활용되며, 교통정보를 수집하는 다른 방법들에 비하여 정확하다는 장점이 있다 (Guan et al., 2016).

LiDAR는 근적외선 대역의 760nm~1900nm 파장(wave length)의 레이저를 조사(Irradiation)하여, 위상차 방식(Phase Shift)과 TOF(Time of Flight, 이하 TOF) 방식이 있으나, 최근에는 조사속도가 빠르고 물체와의 거리에 영향이 적은 TOF 방식이 주로 활용된다. 따라서 TOF방식의 LiDAR는 물체와의 거리, 반사 물체의 레이저 입사각, 물체 반사면 도료 등이 성능에 직접 영향을 미친다.(KICT, 2021). 이에 LiDAR의 주요 성능은 레이저 파장과 강도, 눈 안전도(Eye safety), 물체와의 거리 정확도(Accuracy), 시야각(Field-of-view), 채널수(Scan Frequency and Range)등의 LiDAR의 고유 성능지표 뿐만 아니라 Intensity, Numbers of Point Cloud, Energy Power 등의 물체와의 반사와 관련된 성능지표도 있다(Li and Ibanez-Guzman, 2020; KICT, 2021).

AV은 주변의 물체를 검지(Detection), 인식(perception)과 측위(Localization)하기 위하여 LiDAR를 활용한다(Li and Ibanez-Guzman, 2020). 최근에는 AV의 높은 안전성을 보장하기 위해 동적인 물체인 보행자, 신호등, 주변 차량 등의 정보들을 얻는데 LiDAR에 의존하기 때문에 AV에서 필수적인 센서로 부상되고 있다(Tang et al., 2020). 현존하는 최고의 AV으로 평가받는 구글의 웨이모도 LiDAR를 활용하여 돌발물체 등의 검지에 활용한다(Jeon and Kim, 2021). 이렇듯 LiDAR는 AV의 최근 발전을 주도하고 있고, AV은 LiDAR를 통하여 안전한 주행을 위하여 필요한 다양한 정보를 얻고 있다(Li and Ibanez-Guzman, 2020).

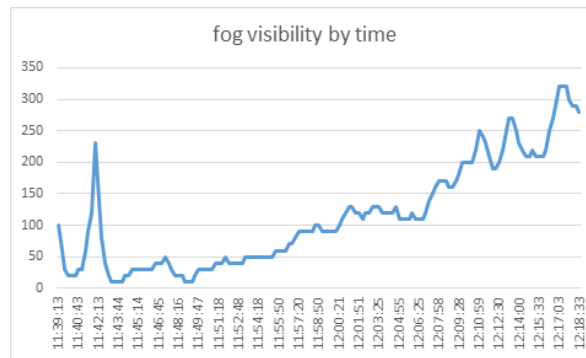
AV이 안전성 확보를 위해서 우천, 안개, 눈과 같은 악천후시의 성능 발전이 필요하며, 악천후 시의 LiDAR의 성능이 저하된다는 주장이 있다(Bloomberg, 2018). Goodin et al.(2019)은 LiDAR의 우천 시 성능저하의 원인을 언급하였다. 우천 시에는 물체에 반사되어 돌아오는 레이저가 빗방울에 부딪혀서 돌아오는 레이저 포인트의 개수(Numbers of Point Cloud)가 줄어들며, 물체가 아닌 빗방울에 부딪혀서 돌아오는 레이저로 인하여 물체와의 거리정확도가 떨어진다. Goodin et al.(2019)은 강우량에 따라 LiDAR의 최대인식거리(Max Range), Numbers of Point Cloud 그리고 Obstacle Detection Range가 감소함을 시뮬레이션을 통해 제시하였다. 안개의 경우도 비의 영향과 비슷한 이유로 성능이 저하될 것을 예상할 수 있으며, Kutila et al.(2016)은 안개로 인하여 노면에 설치된 LiDAR의 검지거리가 심각하게 저하됨을 언급하였다. Kim et al.(2021)는 LiDAR의 우천 시 성능을 검증하였으며, 강우량에 따라 Intensity와 Numbers of Point Cloud가 맑은 날과 비교하여 저하됨을 지표 값의 감소를 통하여 주장하였다. Park and Kim(2021)은 우천 시에 LiDAR의 성능이 저하되며, 물체의 색깔이 무채색일 때 보다 백색일 때, 그리고 반사도가 낮은 재질일수록 성능의 저하가 큼을 검증하였다. 또한, Tang et al.(2020)은 실제 주차장에서 AV에 장착된 LiDAR로 보행자를 검지하는 테스트를 수행하여, 우천시 LiDAR의 분류 정확도가 심각하게 저하됨을 검증하였다. Roh and Im(2020)가 수행한 설문조사 결과에서는 앞으로 AV이 가장 시급히 개선해야 하는 분야가 악천후 상황라고 밝혔다.

기존의 문헌에서는 악천후 시의 성능을 실제 도로환경에서 진행하기 보다는 실내 실험실과 시뮬레이션으로 제시하거나, 물체를 인식하는 알고리즘의 정확도를 향상시키는 방향으로 진행하였다. 하지만, 최근에는 악천후 상황에서의 LiDAR의 성능을 수치화가 가능한 성능지표를 통하여 제시하고자 하는 노력이 있었다. Montalban et al.(2021)는 여러 가지 LiDAR제조사별로 안개와 비의 변화에 따라 성능평가를 Numbers of Point Cloud 성능지표를 활용하여 성능지표의 변화를 조사하였다. 하지만, 비와 안개 등의 악천후 상황의 제어를 위하여 실내에서 측정하였으며, LiDAR 스펙에서 제시된 검지 거리에 비교하여 10M 안팎의 짧은 거리 안에서만 검증을 수행하였다. Kim et al.(2021), Park and Kim(2021)은 LiDAR의 최초 검지성능을 Intensity와 Numbers of Point Cloud 성능지표들을 활용하여 실제도로 위에서 중장거리의 성능평가를 수행하였으나, 안개 영향은 고려하지 못하고 우천 시에만 진행하였다.

Ⅲ. 분석방법론

1. 연천기상재현센터 및 기상환경 재현 장비

실험은 경기도 연천에 소재한 한국건설기술연구원의 기상재현실험센터에서 수행되었다. 기상재현실험센터는 4차선 폭의 실제 주행로와 함께 터널이 설치되어 있으며, 강우, 강설, 안개 환경이 재현 가능하다. 기상재현실험센터에서는 안개재현을 위해 포그머신(Fog Machine)을 활용하고 있으며, 글리세린 용액을 기화하여 안개를 발생시키고, 확산 팬을 통해 시정거리를 구현하는 방식으로 작동한다. 이는 물을 이용한 안개와 달리 기온에 민감하지 않아 극저온이나 고온 환경에서도 안개 재현이 수월하며 비교적 지속시간이 긴 장점이 있다. 안개강도는 안개구현 장비와 같이 설치된 시정계를 통해 확인하여, 원격으로 안개농도를 통제하여 설정한다. 예를 들면, 주행에 영향을 거의 끼치지 않는 얇은 안개의 경우 1km 이상의 시정거리가 되도록 분무량을 조절하며, 시계가 극히 제한되는 짙은 안개는 시정거리 50m 이하의 상황이 되도록 안개가 더욱 짙어지도록 안개를 분무한다. 기상재현센터에서는 시정거리 20-30m 거리부터 최대 1km 이상까지 안개강도를 구현할 수 있으며, 본 연구에서는 시정거리 50m 이하부터 최대 200m 이하까지 4단계로 나누어 실험하였다.



<Fig. 1> Fog visibility by time

기상재현실험센터의 강우재현 시설은 저수조에 저장된 물을 파이프를 통해 도로 노면 위에서 분사하는 형태로 작동하며, 파이프에 설치된 유량계를 통해 강우량을 조절한다. 강우량은 최소 10mm/h에서 100mm/h 까지 10mm/h 단위로 조절할 수 있다. 본 연구에서는 강우량을 20mm/h와 50mm/h의 두 단계로 설정하여 실험을 진행하였다.

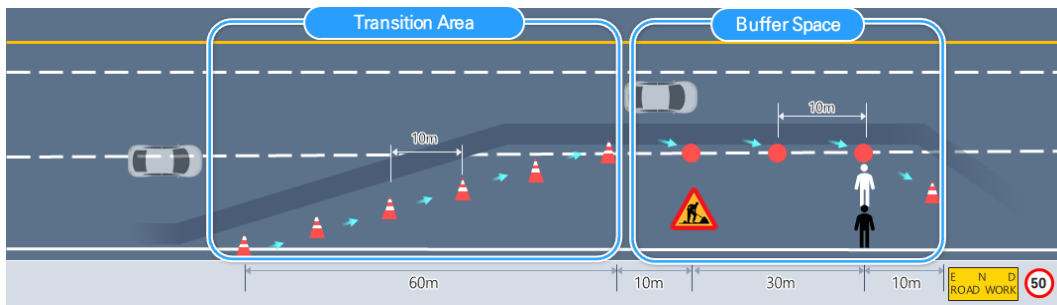
2. 측정방법 및 상황 설정

<Table 1> Test Scenario Setting

human sign color	white			black	
vehicle speed	40km/h (locked in with cruise control)				
distance between sign and sensor	10m	20m	30m	40m	50m
fog intensity(visibility range)	under 50m	50~100m	100~150m	150~200m	
rain precipitation(rainfall mm/h)	20 mm/h			50 mm/h	
data measure	5 for each fog intensity / 5 for each rain precipitation				

측정 시 설정한 실험환경은 <Table 1>과 같다. LiDAR가 검지성능을 관찰하기 위한 검지대상 물체는 사람 모양의 사람표지를 활용하였다. <Fig. 2>에서 제시한 모양과 동일하며, 높이는 165cm이다. 사람표지는 흰색과 검은색 두 가지 색상을 활용하였으며, 차량이 5번 주행하며 LiDAR 데이터를 수집하였다. 통행속도는 40km/h의 단일 속도로 설정하였는데, 이는 선행연구에서 LiDAR의 성능지표 중 Intensity와 NPC는 속도에 따른 차이가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 제시된 바 있기 때문이다(Kim et al., 2021).

측정상황은 공사구간에서 작업구간 내 사람이 위치한 것을 가정하였으며, <Fig. 2>와 같은 구성으로 수행되었다. <Fig. 2>는 국토교통부의 공사장 관리지침 상에 제시한 설계속도 50(km/h)이하 도로의 공사구간 관리의 예시와 흡사하게 상황을 재현한 것이다. 공사구간의 총 길이는 110m로 구성되며, 60m의 완화구간과 50m의 완충 및 작업구간으로 설정하였다. 사람표지는 공사구간 종점에서 10m 전방으로 설치하여, 흰색 사람표지와 검은색 사람표지를 나란히 세워 놓았다. 실험 시 시험차량이 공사구간 시점보다 200m 전방에서 출발하여 일정한 속도로 공사구간을 통과하며 데이터를 측정하였으며, 완화구간을 따라 비스듬히 차선을 변경하여, 완충구간부터는 직진하는 코스로 이동하였다. 완화구간을 따라 비스듬히 이동하여도, 설치된 교통콘에 붙어서 이동하는 것이 아니라 거리를 두고 주행하여 차량과 사람표지가 직선이 되는 거리를 최소 60m 이상 확보할 수 있었다.



<Fig. 2> Test Scenario Concept Image

측정에 활용된 장비는 Robosense RS-32 센서이며 spinning 타입의 32채널 라이다로 905nm의 근적외선을 활용하는 장비이다. 센서는 투싼차량에 탑재되었으며, 본 실험에서는 우분투 기반의 DAQ 시스템을 구성하여 LiDAR 장비로부터 각 점군의 반사도(Intensity) 및 거리, x,y,z 좌표, 입사각 등의 정보를 수집 및 분석하였다. LiDAR는 특성상 차량 주변 360도 전방향의 점군 데이터를 수집하여 3D 지도를 구성하여 단 시간의 측정에도 차량 주변의 광범위한 영역의 데이터를 수집한다.



<Fig. 3> LiDAR Sensor Equipment and Human sign's PCD example

본 연구에서는 사람표지에 대한 데이터 수집을 실험하고자 하여 사람표지에 해당하는 영역을 ROI(Region of Interest)로 설정하여 정보를 추출하였다. 분석에 활용한 LiDAR의 성능지표는 레이저의 반사개수(Number of Points Cloud, 이하 NPC)와 레이저 반사개수 각각의 에너지 강도(이하, Intensity)로 설정하였다. NPC는 LiDAR 센서가 수집한 점군의 수를 나타내는 지표이며, 본 실험에서는 사람표지가 세워진 영역의 점군(Point Cloud)의 수를 의미한다. 즉, NPC 수치가 높은 것은 물체에 대해 보다 상세한 정보를 취득하였다는 것을 의미하며, 동일 거리기준에서 상황에 따른 NPC 차이는 물체 탐지 성능의 변화를 관측할 수 있는 지표가 된다.

Intensity는 각 점군에 기록된 레이저펄스 반사강도를 의미하며, RS-32 장비의 경우 0-255로 8비트로 표현된다. 매뉴얼에 따르면 100이하의 수치는 일반적인 난반사 표면에서 획득되는 수치이며, 100을 초과하는 수치는 고반사표면, 재귀반사표면에서 주로 획득되는 수치이다. 즉, 높은 Intensity 수치는 물체가 고반사도를 지니고 있는 것을 의미하며, 동일 거리기준에서 기상상황에 따른 Intensity 차이는 NPC와 마찬가지로 물체 탐지 성능의 변화를 관측할 수 있는 지표가 된다. NPC는 각 측정 횟수-거리별 점군의 수의 평균이며, Intensity는 각 측정 횟수-거리별로 취득된 각 점군들의 Intensity 평균값을 활용하였다.

기상상황의 Intensity와 NPC는 실험을 통해 취득된 값을 그대로 사용하지 않고, 맑은 상황에서 취득된 평균값으로 스케일링하여 제시하였다. 이는 탐지물체와의 거리에도 영향을 받는 성능지표의 특성을 통제하고, 동일조건하의 기상상황의 영향만을 살펴보기에 적합한 방식이며 아래와 같이 계산하였다.

$$npc_{scaled_n} = \sum_{i=1}^5 (npc_{ni} / npc_{clear})$$

where, *n* is climate environment

$$\begin{pmatrix} \text{rain intensity : } 20\text{mm/h, } 50\text{mm/h} \\ \text{fog visibility : } \sim 200\text{m, } \sim 150\text{m, } \sim 100\text{m, } \sim 50\text{m} \end{pmatrix}$$

npc_{ni} is *i_{th}* npc in *n* climate environment
npc_{clear} is mean npc value of clear condition

$$Intensity_{scaled_n} = \sum_{i=1}^5 (Intensity_{ni} / Intensity_{clear})$$

where, *n* is climate environment

$$\begin{pmatrix} \text{rain intensity : } 20\text{mm/h, } 50\text{mm/h} \\ \text{fog visibility : } \sim 200\text{m, } \sim 150\text{m, } \sim 100\text{m, } \sim 50\text{m} \end{pmatrix}$$

Intensity_{ni} is *i_{th}* Intensity in *n* climate environment
Intensity_{clear} is mean Intensity value of clear condition

IV. 성능지표변화 분석 결과

1. 맑은 날의 측정거리별 NPC 및 Intensity

<Table 2>는 맑은 날의 NPC와 Intensity를 물체와의 거리별로 측정한 결과이다. NPC의 경우 LiDAR의 작동 원리상 LiDAR와 측정 대상 물체와의 거리증가에 따라 점차 감소하는 패턴으로 집계되었으며, 흰색이 전반적으로 검정색에 비해 높은 NPC 수치를 보이는 것으로 사람표지의 색상에 따른 차이도 바로 드러난다.

NPC 측정결과는 <Table 2>와 같다. 각 색상에서 측정거리 증가에 따른 NPC 감소비율은 서로 유사하였는데, 측정거리가 10m 씩 증가할 때마다, NPC가 전 단계에 비해 45~70%씩 감소하여 50m가 되면 10m 거리의 NPC에 비해 10% 수준만이 측정되는 것으로 나타났다. 전체적으로 측정거리 증가에 따라 NPC가 감소하므로 거리 40m 이상에서는 흰색과 검은색의 NPC 차이가 극히 작은 수준으로 감소하였다. NPC 수치는 물체 검지 여부를 판가름할 수 있는 지표로, 맑은 날의 경우 NPC에 기반한 검지 성능은 색상에 따른 수치 차이는 있지만, 모두 측정에는 성공하였다.

Intensity는 각 점군에서 획득한 값의 평균으로 계산되어, NPC에 비해 상대적으로 편차가 크며, 측정거리가 멀어질수록 수치가 높아지는 패턴을 보이고 있다. LiDAR의 원리적으로는 Intensity는 반사되어 돌아온 레이저 펄스의 강도가 되므로, 멀어질수록 값이 낮아지는 것이 일반적이다. 본 연구의 실험결과는 이와 상반되는데 이는 본 실험에서 활용한 장비가 근거리(30m 이내)에서는 Intensity 수치를 보정하여 의도적으로 낮게 세팅하고 있기 때문이다. 이는 해당 장비의 내부 처리 알고리즘에 따른 결과이며, 따라서 본 실험의 Intensity 수치는 동일 거리 내에서 상대적 비교용도로 확인하는 것이 적절한 상황이다. 각 거리구간에서 검은색은 흰색에 비해 절반 이하의 수치를 보이고 있으며, 그 편차는 거리가 멀어질수록 감소하는데, 이는 거리증가에 따라 Intensity가 낮은 점군은 사라지고, 상대적으로 수치가 높은 점군이 남아서 발생하는 현상으로 보여진다.

맑은 날의 NPC와 Intensity 수치는 기상상황의 LiDAR 검지 성능 감소 영향을 측정하기 위한 기준 값으로 활용되었다. 기준 값을 활용한 방법은 Montalban et al.(2021), Lee et al.(2020)에서 적용한 것과 같이 특정 기상 상황의 지표 값을 맑은 상황의 기준 값으로 나누는 방식(Scaling)으로 수행하였다. 이러한 방법은 거리 증가에 따른 지표 값의 감소폭 대신 기상 상황의 영향만을 확인하기 용이한 장점이 있다.

<Table 2> Mean NPC and Intensity by distance in clear Day

distance	color	NPC			Intensity		
		n	mean	std	n	mean	std
10m	black	n=5	134.3	3.2	403	4.1	4.7
	white		185.3	34.1	556	32.6	13.2
20m	black		73.7	2.5	221	8.8	5.0
	white		109.7	5.0	329	37.1	21.1
30m	black		33.3	2.1	100	21.6	13.3
	white		53.7	1.2	161	60.9	31.8
40m	black		23.0	3.6	69	51.1	26.4
	white		31.7	3.1	95	146.4	29.1
50m	black		14.3	3.2	43	62.6	44.0
	white		18.0	2.0	54	128.0	33.7

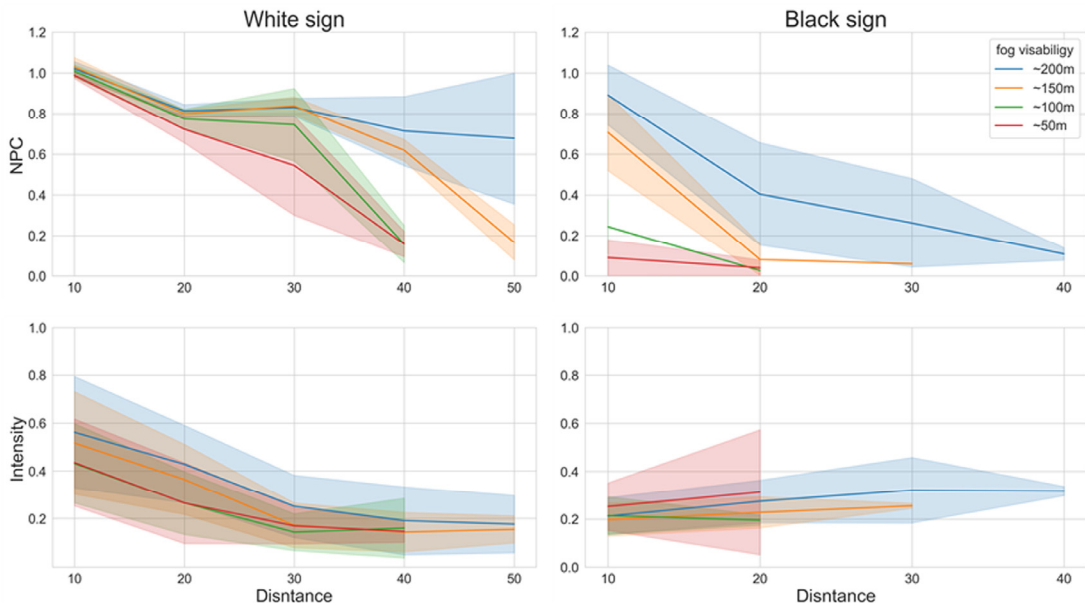
2. 안개상황

1) 흰색 사람표지

<Fig. 3>은 사람표지의 안개 시정거리별 NPC와 Intensity 수치를 검지대상 물체와의 거리별로 나타낸 그래프이다. 본 논문에서는 앞으로 안개 시정거리는 시정거리로, 검지대상 물체와의 거리는 측정거리로 통일하여 서술하고자 한다. <Fig. 3>의 좌측은 흰색, 우측은 검은색 사람표지의 측정결과이며, 상단은 NPC, 하단은

Intensity 성능지표의 평균값을 의미한다. 각각의 색깔 선(파란색 200m, 주황색 150m, 초록색 100m, 빨간색 50m)은 시정거리를 의미하며, x축은 LiDAR와 사람표지와의 측정거리로 10m 단위로 구분된다. 각 색깔선 주변의 면 크기는 시정거리에서 산출된 성능지표 값의 표준편차를 의미한다. 이러한 <Fig. 3>과 같이 표현한 그래프는 맑은 날에 갖는 값을 1로 설정하여 다른 상황과 비교하므로, 기상 상황이 변화에 따라 값의 변화가 얼마나 발생하는지를 쉽게 알 수 있는 장점이 있다. <Fig. 3>의 그래프 해석의 예는 다음과 같다. 흰색 표지의 맑은 날, 10m 측정거리에서 NPC의 평균값은 185.3개이다. 이를 <Fig. 3>에서는 NPC 1로 설정하였고, 시정거리 200m(파란색)로 안개상황일 때 맑은 날에 비해 얼마만큼 값이 변화하는지를 알 수 있다. <Fig. 3>은 맑은 날에 비하여 NPC는 10m 측정거리에서는 거의 변화가 없는 것이 관찰된다. 또한, 파란색 면의 번짐도 없는 것으로 볼 때 편차도 크지 않음을 직관적으로 알 수 있다.

먼저 흰색 사람표지를 살펴보도록 하겠다. 여러 시정거리 모두, 측정거리 10m까지는 NPC의 수치가 맑은 상황과 거의 차이를 보이지 않는다는 점이 확인된다. 즉, 측정거리 10m에서의 NPC는 시정거리 150m 상황부터, 가장 안개가 심한 시정거리 50m 이하까지 모두 맑은 날의 100% 내외 수치가 관찰된다. 하지만, 가끔 1을 초과하는 경우도 발생되는데 이는 NPC가 측정마다 조금씩 수치에 변화가 발생하는 것이 반영된 결과이므로 큰 의미는 없다. 시정거리 50m 이하 구간에서도 측정거리 20m까지는 약 80%, 측정거리 30m까지는 약 60%의 검지결과를 보였다. 이러한 결과는 매우 짙은 안개상황에서도 흰색의 물체는 전방 20~30m 범위 내에선 충분한 검지능력이 보장된다는 점을 의미한다. 측정거리가 30m 이상이 되는 상황에서는 안개강도에 따른 NPC 수치 감소폭이 두드러지기 시작하며, 시정거리 강도가 강한 순서대로 NPC의 감소폭이 크게 나타난다. 가장 안개 강도가 낮은 시정거리 200m 이하 구간에서는 측정거리 50m는 약 60% 수준의 NPC가 측정이 되었으며, Raw Data를 통해 절대수치를 확인해본 결과는 약 12개의 NPC가 수집되고 있었다.



<Fig. 4> Results of NPC and Intensity measurements in foggy environments (shadow:s.d.)

반면, 시정거리 150m 이하에서는 장거리 물체에 대한 검지 성능이 크게 감소하기 시작하는데 측정 거리가

40m까지는 맑은 날의 60%에 해당하는 수치를 보였지만, 측정거리 50m는 큰 낙폭을 보여 기준 값의 20% 미만, 절대 수치는 4개 이하의 NPC가 측정되었다. 시정거리 100m 이하와 50m 이하는 상대적으로 유사한 선형을 그렸으며, 측정거리 40m는 맑은 날에 대비하여 20% 수준으로 떨어진 후, 측정거리 50m에서는 관측에 실패(NPC 0개, 미검지)하였다. 이러한 결과는 안개 시정거리가 50m를 넘는 극심한 안개상황에서는 측정거리가 40m 이상에 위치한 물체에 대해서 LiDAR의 검지성능이 제한적임을 보여준다. 반면, 측정거리 30m 이하 범위 내에 물체에 대해서는 맑은 날에 비해 비교적 큰 수치하락 없이 물체 탐지가 가능하다는 점 역시 시사하고 있다.

Intensity 분석결과는 비교적 단순한 형태로 나타났는데, 안개 시정거리의 및 측정거리의 증가에 따라 점진적으로 수치가 하락하는 결과가 나타났다. 이는 대기 중의 안개가 레이저 펄스의 산란과 반사를 일으켜 사람 표지에서의 반사강도를 낮추기 때문에 발생하는 결과로 해석된다. NPC 측정결과와 연결지어보면, 기존에 낮은 Intensity에도 불구하고 반사는 가능했던 점군들이 기상상황으로 인해 전반적인 반사도가 제한되는 상황에서 더욱 반사도가 낮아져 검지에 실패하는 것으로 판단된다.

2) 검은색 사람표지

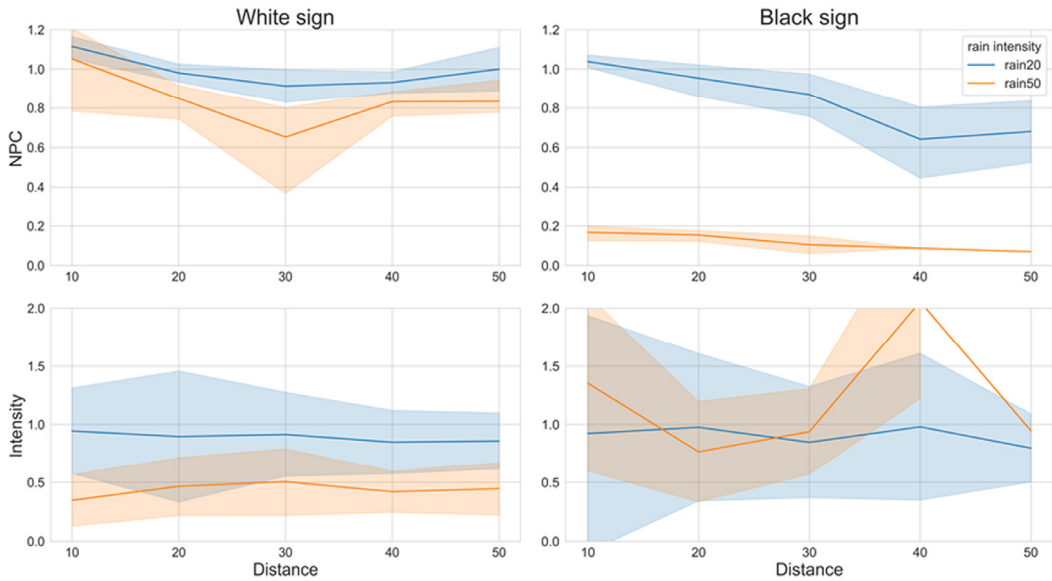
앞서 살펴본 흰색 사람표지 보다 검은색 사람표지는 안개강도에 따라 성능지표가 더욱 더 영향을 받는 모습을 보이고 있다. <Fig. 3>의 우 상단은 검은색 사람표지의 안개 시정거리별 NPC를 나타낸 그래프이다. 흰색사람표지와는 달리 안개발생에 따른 성능지표의 하락이 대부분의 거리에서 큰 폭으로 관측된다. 가장 안개 강도가 열은 시정거리 200m 이하에서도 측정거리 20m에서부터 40% 수준으로 감소하며, 측정거리 40m는 10% 수준으로, 측정거리 50m는 관측이 불가하였다. 시정거리 150m 이하에선 측정거리 10m 에서도 70% 수준이었으며, 측정거리 20m에선 10% 수준으로 감소하였고, 이후는 일부 측정되거나 측정이 불가능하였다. 더욱 진한 안개인 시정거리 100m이하에서는 측정거리 10m에서도 20%이하의 관측만 가능하여 검은색 표면이 가진 특성이 LiDAR 성능지표에 강한 부정적 영향을 미치고 있는 점이 나타났다. 가장 극한 안개인 시정거리 50m이하 역시 극히 제한적으로만 검지되었다.

검은색 사람표지의 Intensity는 흰색 사람표지와 달리 거리증가에 따른 감소는 나타나지 않고, 안개강도에 따라서도 일관적인 추세가 관측되지는 않았다. 이는 반사도가 낮은 재질의 특성에 따라서 이미 낮은 Intensity를 보이던 검은색 사람표지의 포인트들은 이미 관측에서 대부분 탈락되어 몇 개 남은 값이 큰 포인트들이 오히려 높은 평균치를 높여주는 것으로 보여진다. 검은색 사람표지에 대한 측정 결과는 기존 연구들에서 제시된 바와 같이 측정 대상에 따라 LiDAR의 검지성능이 변화하는 점을 그대로 반영하고 있다. 또한, 안개와 같은 기상상황의 센서에 대한 영향 역시 물체의 특성에 따라 각기 다른 양상이 나타남을 보여준다.

3. 강우상황

1) 흰색 사람표지

<Fig. 4>는 흰색과 검은색 사람표지의 강우 강도별 NPC와 Intensity 수치를 나타낸 그래프이다. 각각의 선은 강우강도를 의미하며, 주황색은 20(mm/h)와 파란색은 50(mm/h)이다. 일반적으로 20(mm/h)는 YTN(2022)의 강우상황 설명에서 빗소리가 강하게 들리고, 와이퍼 미 사용시 시야확보에 어려움을 느끼는 수준으로 묘사된다. 이는 운전자가 빈번하게 경험하는 많은 비가 내리는 상황이다. 50(mm/h)는 와이퍼를 사용해도 저속으로 운전해야하는 수준으로 묘사되며, 현실에서는 운전자가 거의 겪지 않는 상황이다.



<Fig. 5> Results of NPC and Intensity measurements in rainy environments (shadow:s.d.)

먼저 흰색 사람표지를 보면, 강우량 20(mm/h)에서는 NPC가 전반적으로 1에 수렴하고 있어 맑은 상황대비 NPC의 수는 큰 차이를 보이지 않는다고 할 수 있다. 반면 강우량 50(mm/h)에서는 보다 유의미한 감소치를 보였으며, 약 70~80% 수준으로 NPC가 감소하는 패턴을 보였다. 가장 큰 감소폭은 측정거리 40m나 50m가 아닌 측정거리 30m 거리에서 관측되었다. 이는 강우량을 설정하는 방식 및 센서와 물체의 거리에 따라 대기 중에 분사된 물입자의 직경, 속도, 분포(물체와 센서간 공간) 등이 영향을 줄 수 있기 때문으로 해석된다. Montalban et al.(2021)의 연구결과에서는 LiDAR에서 활용되는 근적외선 역시 가시광선과 유사한 수준으로 강우의 영향을 받으며, 특정 강수량 및 거리에서 물입자에 의한 산란이 급작스럽게 커지면 LiDAR의 검지 성능 역시 악화되는 결과를 제시한 바 있다. 본 실험에서는 터널 내부에서 주로 강우량이 발생되도록 실험환경을 설정하였으나, 터널내부에서 부는 바람 등으로 인해 완전히 통제된 강우환경으로 실험되지 않은 한계점이 있고, 선행연구에서 제시된 것처럼 해당 강우량 구간에서 급격한 산란이 발생했을 가능성이 있는 것으로 보여진다.

Intensity의 경우 NPC 측정결과와 잘 부합하는 결과가 도출되었으며, 강우량 20(mm/h)에서는 모든 측정거리에서 기준값 대비 70~80%의 수치 감소가 관측되었고, 50(mm/h)에서는 모든 측정거리에서 기준값 대비 50% 이하 수준으로 감소하였다. 이러한 감소는 NPC의 감소로도 이어진 것으로 해석된다.

2) 검은색 사람표지

색상으로 인해 상대적으로 검지에 불리한 검은색 사람표지의 경우, 대부분의 강우량- 측정거리 구간에서 흰색 사람표지에 비해 눈에 띄는 NPC 감소가 관측되었다. 흰색표지가 20(mm/h) 상황에서는 맑은 날과 큰 차이가 없었던 것과 달리 검은색 사람표지에서는 측정거리 증가에 따라 점진적인 NPC 감소를 보여 측정거리 40m부터는 기준 값 대비 60% 수준의 NPC가 관측되었다. 50(mm/h) 상황에선 이러한 성능감소가 더욱 크게 나타났는데, 측정거리 10m에서부터 20% 이하의 NPC 수치를 보여 급격한 성능저하를 보였으며, 측정거리

40m 부터는 관측이 되지 않는 현상도 발생되기 시작한다. 이는 Kim et al.(2021)에서 30(mm/h) 부터 검지물체의 미 검지가 시작됨이 관측된다는 결과와 부합된다.

Intensity는 흰색과 달리 맑은 날의 측정치에 비해 오히려 높은 값을 가지는 것으로 나타났다. 50(mm/h) 강우의 40m거리에서는 기준값 대비 매우 높은 수치를 기록하였는데, 해당 강우량, 거리에서는 일부 측정 회차에서만 점군이 관측이 가능했었고, 이마저도 NPC 수치가 2개 수준으로 유의미한 결과로 해석하기에는 어려운 것으로 판단된다.

4. 통계검정 결과

사람표지와 센서와의 측정거리에 따라 NPC와 Intensity 성능지표의 수치는 맑은 날과 기상상황(안개 또는 강우) 간에 높고 낮음의 차이가 발생하고 있는 것으로 그래프를 통하여 확인하였다. 이러한 차이가 통계적으로 유의한지 T-TEST를 통해 살펴보았다. 맑은상황의 값을 기준값으로 두고, 각 기상상황에서의 수치를 대상으로 검정하였다.

T-TEST결과는 <Table 3>과 4와 같다. 먼저 <Table 3>에서 제시한 NPC부터 살펴보면, 전반적으로 안개상황에서는 NPC수치의 감소가 측정거리 10m를 제외하고는 대부분 유의(차이가 있음)하였고, 강우 상황의 경우 50(mm/h)의 강우량을 보일 때는 통계적으로 유의 하나, 20(mm/h) 상황에서는 흰색과 검은색 사람표지 대부분 통계적으로 유의하지 않았다.

안개와 강우의 공통적 특징 중 하나는 측정거리 10m 이하의 근거리 구간에 대해서는 통계적으로 유의한 기상상황이 상대적으로 적게 발생한 것으로, 흰색 사람표지의 경우 맑은 상황과 통계적인 유의성을 보이는 기상상황이 존재하지 않았다. 검은색의 경우에도 시정거리 150~200m에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 이러한 결과는 기상상황으로 인해 LiDAR의 검지성능이 감소하더라도 10m 내외의 측정거리에서는 기상 영향의 거의 받지 않아 충분한 검지성능이 발휘될 수 있음을 시사한다.

Intensity의 통계적 검정 결과(<Table 4>)는 보다 명확한 해석이 가능하다. 흰색 사람표지의 경우 모든 기상상황과 측정거리 구간에서, 검은색 사람표지의 경우 대부분의 기상상황과 측정거리 구간에서 통계적으로 유의한 수치 감소를 보였다. 이는 안개강도가 상승하거나 강우량이 증가하면 조사된 레이저 펄스의 수신 강도는 매우 높은 확률로 감소하는 것을 의미한다.

검은색 사람표지에서는 흰색과 달리 거리와 기상상황에 따라서 각기 다른 결과 값을 보이고 있다. 안개상황에서는 20m 이내에선 대부분의 안개강도에서 Intensity 수치 감소가 통계적으로 유의하게 나타났다. 반면, 강우상황에서는 산발적인 결과가 나타났으며, 이는 앞서 제시된 Intensity 분석결과와 같이 낮은 Intensity를 가지는 점군이 탈락되어 오히려 평균적인 Intensity 수치는 유지되거나 상승하는 현상이 영향을 준 것으로 보여진다.

흰색 사람표지 대상 데이터에서 20(mm/h) 강우량의 자료를 보면 Intensity 수치는 모든 거리에서 통계적으로 유의한 감소를 보인 반면, NPC는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 강우로 인해 Intensity가 감소하더라도, 검지는 가능한 수준으로 유지되어 NPC가 확보되었음을 의미하며 검지가 중요한 물체에 대해서는 최대한 반사도를 높여 악천후 상황에서도 검지가가능성을 높이는 것이 중요하는 것을 시사한다.

<Table 3> T-test results for NPC

Human sign (distance)		npc (clear)	fog intensity								rain			
			150-200m		100-150m		50-100m		under 50m		20mm/h		50mm/h	
			npc	p-val	npc	p-val	npc	p-val	npc	p-val	npc	p-val	npc	p-val
white sign	10m	185.3	189.2	0.804	190.8	0.733	187.2	0.904	183.2	0.888	206.8	0.293	195.0	0.786
	20m	109.7	89.2	0.000**	87.8	0.000**	84.8	0.001**	79.2	0.001**	107.5	0.652	93.0	0.071*
	30m	53.7	44.6	0.001**	45.0	0.001**	40.0	0.055*	29.2	0.020**	49.0	0.231	35.0	0.095*
	40m	31.7	22.6	0.040**	19.6	0.000**	5.0	0.000**	5.0	0.000**	29.5	0.311	26.3	0.067*
	50m	18.0	12.2	0.155	3.0	0.000**	-	-	-	-	18.0	1.000	15.0	0.121
black sign	10m	134.3	119.8	0.271	95	0.041**	32.8	0.000**	12.2	0.000**	139.5	0.183	22.5	0.000**
	20m	73.7	29.8	0.008**	6.0	0.000**	2.0	-	3.0	0.000**	70.3	0.504	11.3	0.000**
	30m	33.3	8.75	0.003**	2.0	-	-	-	-	-	29.0	0.192	3.5	0.001**
	40m	23.0	2.5	0.005**	-	-	-	-	-	-	14.8	0.065*	2.0	0.004**
	50m	14.3	-	-	-	-	-	-	-	-	9.8	0.103	1.0	-

** : statistically significant at 95%

* : statistically significant at 90%

<Table 4> T-test results for Intensity

Human sign (distance)		intensity (clear)	fog intensity								rain			
			150-200m		100-150m		50-100m		under 50m		20mm/h		50mm/h	
			inten-sity	p-val	inten-sity	p-val	inten-sity	p-val	inten-sity	p-val	inten-sity	p-val	inten-sity	p-val
white sign	10m	32.6	18.3	0.000**	16.9	0.000**	14.1	0.000**	14.2	0.000**	30.8	0.008**	11.3	0.000**
	20m	37.1	15.9	0.000**	13.5	0.000**	9.8	0.000**	9.8	0.000**	33.2	0.012**	17.3	0.000**
	30m	60.9	15.3	0.000**	10.4	0.000**	8.7	0.000**	10.3	0.000**	55.7	0.067*	30.7	0.000**
	40m	146.4	28.0	0.000**	21.0	0.000**	23.4	0.000**	21.4	0.000**	124.0	0.000**	61.5	0.000**
	50m	128.0	22.6	0.000**	19.8	0.000**	-	-	-	-	109.8	0.002**	57.1	0.000**
black sign	10m	4.1	0.9	0.000**	0.8	0.000**	0.9	0.000**	1.0	0.000**	3.8	0.273	5.5	0.006**
	20m	8.8	2.4	0.000**	2.0	0.000**	1.7	0.048**	2.7	0.004**	8.6	0.653	6.7	0.022**
	30m	21.6	6.9	0.000**	5.5	0.092*	-	-	-	-	18.3	0.041**	20.2	0.793
	40m	51.1	16.2	0.004**	-	-	-	-	-	-	50.1	0.840	105.1	0.000**
	50m	62.6	-	-	-	-	-	-	-	-	49.8	0.097*	59.2	-

** : statistically significant at 95%

* : statistically significant at 90%

5. 결과 검토

실험결과를 종합하여 보면, 기상상황의 LiDAR 검지성능에 대한 영향을 강수량과 안개 시정거리로 종합적으로 판단하면 다음과 같다. ‘강수량 20(mm/h) <시정거리 150~200m <강수량 50(mm/h) <시정거리 100~150m <시정거리 50~100m <시정거리 50m 이하’ 순으로 영향을 많이 받으며, 강수량 50(mm/h)와 시정거리 150~200m는 서로 유사한 수준의 영향이 관찰된다. 또한, 전반적으로 흰색에 비해 검은색이 LiDAR의 검지에 있어 불리한 표면 색상이며, 기상상황에 따른 검지 성능 지표의 하락 역시 더욱 크게 관찰되었다.

강우량 20(mm/h) 수준에서는 사람표지의 색상과 거리에 상관없이 모두 검지가 가능하였고, NPC 수치 역시 맑은 날과 비교하여 차이가 크지 않아 검지성능의 감소가 없거나 미미하였다.

강우량이 50(mm/h)와 시정거리 150~200m는 서로 유사한 성능하락을 보여 흰색사람표지는 맑은날 대비 80%의 NPC 수치를 보였으나, 검은색 사람표지는 거리에 따라서 20% 수준으로 하락하며 측정거리 40m 이상의 장거리에서는 잘 검지되지 않거나, 검지에 실패하였다.

상대적으로 짙은 안개인 시정거리 150m 이하 상황에서는 검은색은 측정거리 20m까지만 간신히 관측이 가능하였고, 흰색은 측정거리 40m까지는 관측이 가능하나, 맑은 날의 기준값에 비해서는 매우 저조한 NPC 수치를 보였다.

V. 결론

AV의 안전한 주행을 위해서는 정확한 주변 환경의 인식(perception)이 필요하며, 이에 높은 정확도와 해상도를 지닌 LiDAR 장비가 자율주행 차량의 핵심적인 센서 중 하나로 부상하였다. 이에 많은 LiDAR 관련 연구가 제시되어 왔으나, 주로 LiDAR를 고정시켜 놓은 상태에서 진행된 실험으로 특히 기상재현의 경우에는 장시간동안 고정된 자리에 노출시켜 실험을 진행하거나, 실내 기상재현 챔버에서 단거리 위주로 수행된 연구가 다수이다. 또한, 센서 제조가 많지 않은 회사에서 이루어지는 이유로 센서의 성능 향상보다는 센서 검지를 통해 수집된 데이터의 처리 프로세스와 알고리즘을 연구한 것이 다수를 차지하고 있다.

본 연구는 실제 차량에 자율주행 센서 LiDAR를 실제로 부착하여, 기상재현과 통제가 가능한 도로환경에서 측정실험을 수행한 의의가 있다. 이는 LiDAR를 통한 환경인식에서 센서데이터 수집-> 처리 -> 분류·인식이라는 일련의 과정에서 수집 단계가 중요하다는 인식을 바탕에 두고 있으며, 수집단계에서 질 높은 데이터 확보가 되지 않으면 이후 단계에서도 충분한 수준의 데이터 처리가 되지 않을 가능성이 높기 때문이다.

본 연구에서는 맑은 날의 기상상황과 함께 4단계의 안개와 2단계의 강우 강도를 구현하여 LiDAR 센서의 사람표지 검지 성능평가 실험을 수행하였다. 성능지표는 LiDAR가 탐지한 점군의 수를 의미하는 NPC와 각 점군의 레이저 펄스 반사강도를 의미하는 Intensity이다. 실험 결과, 맑은날 대비 기상환경의 센서 검지성능에 대한 영향은 강우량 20(mm/h), 안개 시정거리 200m 이하, 강우량 50(mm/h), 안개 시정거리 150m 이하, 안개 시정거리 100m 이하, 안개 시정거리 50m 이하의 순으로 나타났다. 또한, 흰색 사람표지의 경우, 가장 악조건인 안개 시정거리 50m 이하에서도 측정거리 40m까지 검지가 가능하였으나, 검은색의 경우 안개시정거리 150m 이하에서부터 측정거리 20m까지만 검지가 가능하여 흰색과 검은색의 센서 검지 성능에 대한 영향도 나타났다. Park and Kim(2021)의 연구결과에서 흰색의 표지판은 검은색을 제외하고 빨간색이나 파란색은 색깔별로 LiDAR의 강우시의 성능의 차이가 거의 없음을 밝힌 사례로 볼 때, 빨간색이나 파란색은 흰색과 동일한 결과가 관측될 것이 예측된다.

Lee and Suh(2019)의 연구에 따르면 국내 내륙지방에서의 가장 흔하게 발생하는 안개 강도는 100~200m 시정거리를 가지는 안개이며, 전체 안개의 80%가 최소시정이 100m 이상인 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 실험한 안개 중 시정거리 100~150m와 150~200m 구간이 이에 해당하며, 검은색과 같이 센서 시인성이 낮은 물체를 고려하여 보수적인 기준을 적용할 경우 안개상황에서 센서의 보행자 탐지거리는 20~30m 이내이다.

차량의 제동거리는 노면의 상태와 차종 등 다양한 요인에 의해 결정되나, 최근 진행된 실험에서 마른 노면을 50(km/h) 속도로 주행하는 승용차의 제동거리는 4.6m이다(Korea Transport Safety Authority, 2022). 따라서 본 연구의 실험은 차량속도 40(km/h)을 통해 도출된 결과임을 비추어 보면, 국내에서 발생하는 대부분의

안개상황에서는 40~50(km/h)의 속도로 주행하는 차량이 LiDAR 센서를 통해 보행자를 검지하고 긴급 제동하는 것에는 무리가 없는 것으로 보인다. 본 실험에서 수행한 매우 시계가 제한되는 악천후 상황에서는 10m의 센서 검지 거리가 대부분 확보되므로 이를 고려한 주행 속도 등이 고려되어야 할 것이다.

이러한 연구결과는 센서가 사물을 검지할 때 최초로 수집하는 데이터의 품질과 관련이 있으며 이러한 결과는 도로 시설물 및 인프라 시설물을 개발·개선·관리 해나가는 데 있어 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 도로시설물은 물리적 형태를 지니고 있으며 대부분은 운전자 또는 자율주행 기능에 있어 제대로 인지되는 것이 매우 중요하다. 이러한 측면에서 LiDAR의 안개상황에서 검지 성능의 영향요인과 그 크기를 규명한 것은 향후 자율주행 상용화를 위한 기틀 마련에 의의가 있다고 할 수 있다.

다만, 본 연구는 안개강도와 강우강도에 따라 LiDAR 검지성능의 저하되어 맑은날과 비교하여 차이가 발생됨을 알았지만 실제로 얼마큼의 차이가 물체의 인식차이에 영향을 미치는지는 규명하지 못하였다. 또한, 실험 당시 눈으로는 사람 표지가 확인되지 않았으나, LiDAR에서는 사람표지를 탐지하고 점군을 생성한 체감적인 LiDAR 장비의 안개상황에서의 효용성이 있었으나 이를 객관적으로 제시하기 위한 정확한 비교자료를 제시하지 못하는 한계도 있다.

이에 추후 후속연구에서는 비전센서 장비와 카메라를 추가 장착하여, 동일시점에서의 비전센서의 사람·보행자 인식여부 및 카메라를 통한 사람표지 인식 가능여부를 판단하고자 한다. 이를 통해 LiDAR 센서가 극한의 기상상황에서 보다 강건한 탐지성능을 지니는지를 규명할 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서는 수행되지 못한 30mm/h나 40mm/h 등 보다 세분화된 강우량에 대해서도 실험을 수행하고, 실험 조건별 주행횟수의 증가 등의 방법을 통해 기상환경에서의 LiDAR 성능 연구 의의와 통계적 신뢰성을 보다 확보하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21AMDP-C161924-01, 주관연구기관 과제명: 클라우드 소싱 기반의 디지털 도로교통 인프라 융합플랫폼 기술 개발 / 공동연구기관 과제명: 도로·교통 인프라 성능평가 방법론 개발 및 자율차 기반의 개발 인프라 검증)

REFERENCES

- Beraldin, J. A., François, B. and Uwe, L.(2010), “Laser Scanning technology”, In Vosselman, G. and Mass, H. G. eds. *Airborn and terrestrial laser scanning*, Caithness, Whittles Publishing, pp.1-42.
- Bloomberg,
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-09-17/self-driving-cars-still-can-t-handle-bad-weather>, 2022.02.17.
- Goodin, C., Carruth, D., Doude, M. and Hudson, C.(2019), “Predicting the Influence of Rain on LiDAR in ADAS”, *Electronics*, vol. 8, no. 1, p.89, doi: 10.3390/electronics8010089
- Guan, H., Li, J. and Yu, Y.(2016), “Use of mobile LiDAR in Road information inventory: A review”, *International Journal of Image and Data Fusion*, vol. 7, no. 3, pp.219-242.
- Herrmann, A., Brenner, W. and Stodler, R.(2019), *Autonomous Driving: How to driverless Revolution*

- Will Change the World*, Emerald Publishing, pp.113-128.
- Jeon, H. and Kim, J.(2021), “Analysis on Handicaps of Automated Vehicle and Their Causes using IPA and FGI”, *Journal of Korea Institute Intelligent Transportation System*, vol. 20, no. 3, pp.34-46.
- Kim, J., Park, B., Roh, C. and Kim, Y.(2021), “Performance of Mobile LiDAR in the Real Road Driving Conditions”, *Sensors*, vol. 21, no. 22, p.7461, doi: 10.3390/s22010106
- Korea Institute Construction and Technology(2021), *Improved Road Infrastructures to Strengthen Driving Safety of Automated Driving Car*, pp.39-55.
- Korea Transport Safety Authority, <https://www.kotsa.or.kr>, 2022.02.16.
- Kutilla, M., Pyykonen, P., Ritter, W., Sawade, O. and Schaufele, B.(2016), “Automotive LiDAR Sensor Development Scenarios for Harsh Weather Conditions”, *IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems(ITSC)*, Rio De Janeiro, Brazil, IEEE, Newyork, pp.265-270.
- Lee, H. and Suh, M.(2019), “Objective Classification of Fog Type and Analysis of Fog Characteristics Using Visibility Meter and Satellite Observation Data over South Korea”, *Atmosphere*, vol. 29, no. 5, pp.639-658.
- Lee, S., Park, W., Jin, M. and Kim, Y.(2020), “Relationship Between Pavement Marking Types and Visibility Distance Under Adverse Weather Conditions”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 22, no. 5, pp.85-93.
- Li, Y. and Ibanez-Guzman, J.(2020), “Lidar for autonomous driving: The principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems”, *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 37, no. 4, pp.50-61.
- Montalban, K., Reymann, C., Atchuthan, D., Dupouy, P. E., Riviere, N. and Lacroix, S.(2021), “A Quantitative Analysis of Point Clouds from Automotive Lidars Exposed to Artificial Rain and Fog”, *Atmosphere*, vol. 12, no. 6, p.738, doi: 10.3390/atmos12060738
- Park, B. and Kim, J.(2021), “A Study of LiDAR’s Performance Change by Road Sign’s Color and Climate”, *Journal of Korea Institute Intelligent Transportation System*, vol. 20, no. 6, pp.228-241.
- Roh, C. G. and Im, I.(2020), “A review on handicap sections and situations to improve driving safety of automated vehicles”, *Sustainability*, vol. 12, no. 14, p.5509, doi: 10.3390/su12145509
- Tang, L., Shi, Y., He, Q., Sadek, A. W. and Qiao, C.(2020), “Performance Test of Autonomous Vehicle Lidar Sensors Under Different Weather Conditions”, *Transportation Research Record*, vol. 2674, no. 1, pp.319-329.
- YTN, https://www.ytn.co.kr/_ln/0108_201607051237366868, 2022.02.17.