

# 스크린도어의 장애물 감지를 위한 Area센서와 다중공간분할 3D센서의 감지율 비교 분석

유봉석\* · 이현수\*\* · 진주현\* · 김종식\*

Comparison of detection rates Area sensors and 3D spatial division multiple sensors for detecting obstacles in the screen door

Bong-Seok Yoo\* · Hyun-Su Lee\*\* · Ju-Hyun Jin\* · Jong-Sik Kim\*

## 요약

승강장에는 승객의 안전사고를 방지하기 위하여 스크린도어를 설치하고 있으며 스크린도어에는 장애물 감지를 위해 Area센서를 설치하고 있다. 그러나 먼지, 햇빛, 눈, 벌레 등으로 인한 스크린도어의 빈번한 동작오류가 원활한 열차운행을 방해하고 있어 장애물 감지 센서의 동작오류 감소와 장애물 감지 기능을 고도화하기 위한 대체 감지기의 연구가 필요하다. 본 논문에서는 대구 문양역에 시범운영 중인 로프타입 상하계폐식 스크린도어에 Area센서와 장애물감지 다중공간분할 감지알고리즘을 적용한 3D센서를 설치하여 감지 데이터를 수집하고 CCTV를 이용한 영상데이터 판독결과를 비교하였다. 3D 센서의 장애물 감지율은 약 86.91%로 Area센서의 약 78.88% 대비 장애물 감지율이 6.87~9.79%가 더 높아 설치비용의 절감과 감지성능을 개선한 3D 센서의 적용 가능성을 확인 할 수 있었다.

## ABSTRACT

A subway platform is equipped with screen doors in order to avoid accidents of passengers, where Area sensors are installed for detecting obstacles in the screen doors. However, there exist frequent operating errors in screen doors due to dusts, sunlight, snow, and bugs. It is required to develop a detection device which reduces errors and elaborates detection function. In this paper, we compared the detection rates of the Area sensor and the 3D sensor using CCTV-based image data with installing sensors at the screen door in Munyang station Daegu, where 3D sensor is applied with the space division multiple detection algorithms. It is measured that the detection rate of 3D sensor and Area sensor is approximately 86.91% and 78.88%, respectively. The results confirmed that 3D sensor has higher detection rate compared with Area sensor with the rate of 6.87-9.79%, and 3D sensor has benefit in the aspect of installation fee.

## 키워드

3D Sensor, RPSD, PSD

3D 센서, 로프식 스크린 도어, 승강장 스크린 도어

\* 주엘비씨소프트 연구사업팀 (bsypp@lbcsoft.com, jhjin@lbcsoft.com) · Received : May. 14, 2016, Revised : Jun. 13, 2016, Accepted : Jun. 24, 2016

\* 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 (jskim@kict.re.kr) · Corresponding Author : Bong-Suk You

\*\* 교신저자 : 주엘비씨소프트 연구사업팀

R&D Business, LBCSoft Corp,

· 접수일 : 2016. 05. 14

Email : bsypp@lbcsoft.com

· 수정완료일 : 2016. 06. 13

· 게재확정일 : 2016. 06. 24

## 1. 서론

2009년 이후 철도 승강장 안전시설이 없는 승강장에서 추락사고 및 자살 등의 안전사고가 증가하고 있다. 이를 방지하기 위하여 승강장 연단에 차단벽을 설치하고 전동차가 지정된 위치에 멈추면 차량 출입문과 차단벽 문이 동시에 열리는 스크린도어 시스템을 설치하였다. 스크린도어 시스템은 승강장과 선로부를 차단함으로써 승객의 안전과 승강장 환경개선 및 에너지 절감 효과가 있다. 이 시스템 중 장애물 센서는 스크린도어와 전동차 사이에 승객 존재여부 등을 검지하여 스크린도어가 안전하게 작동할 수 있도록 하는 기능을 담당한다. 하지만 장애물 검지 Area 센서는 먼지, 햇빛, 눈, 벌레 등으로 인하여 동작 오류가 빈번하게 발생하고 있으며 승강장 스크린도어의 효율을 저하시키고 있다[1-7]. 본 논문에서는 기존 스크린도어에 장애물 검지 센서의 단점을 보완한 다중공간분할 검지 알고리즘이 적용된 장애물 검지 3D센서를 대구 문양역에 설치하여 기존 장애물 검지 Area 센서와 3D센서 간 검지율을 평가하였다[8-11]. II장에서는 데이터 수집을 위하여 3D센서 설치 방법과 데이터 분석 방법을 기술하였으며 III장에서는 검지 데이터의 분석 결과를 정리하였다. VI장에서는 검지 분석결과를 토대로 장애물 검지 Area 센서와 3D센서 간 검지결과를 분석하여 결론을 제시하였다.

## II. 데이터 수집방법

현장적용 시험은 상하개폐 스크린도어 시스템을 운영하고 있는 대구 문양역에 장애물 감지 3D센서와 CCTV를 추가 설치하고 '15.01.30부터 '15.02.11까지 데이터 수집 시스템을 운영하였다. 데이터 수집 시간은 열차가 운행하는 오전 6시부터 오후 12시까지로 1초 간격으로 총 841,178개의 3D센서 및 Area 센서 검지 데이터를 수집하였고 해당 기간 동안 검지 기준값 생성을 위한 영상데이터를 수집하였다.

### 2.1 시험계획

그림 1은 스크린 도어에서 장애물 검지 3D센서의 설치 위치를 나타낸다.

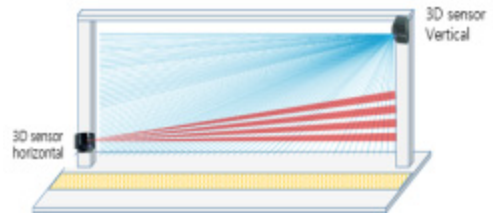


그림 1. 수직/수평 설치 방식 비교  
Fig. 1 Vertical / horizontal installation method comparison

표 1은 장애물 검지 3D센서의 검지영역 검증을 위하여 승강장 및 선로 측에서 100mm 간격으로 위치를 표시하고 음료수캔(∅50x120mm)을 이용하여 대상 장애물 검지 여부를 평가한 결과이다. 이때 장애물 검지 3D센서의 검지 방향은 수직과 수평인 경우 나누어 평가를 하였으며 두 방향 모두 검지결과와 차이가 없는 것을 확인하였다. 설치위치에 따른 성능차이는 없었으나 전동차 및 이용자 등에 의해 파손 가능성을 고려하여 수직방향에 설치를 하였다.

표 1. 3D센서 장애물 검지 가능 거리  
Table 1. 3D sensor allows obstacle detection distance

The distance between the train and the PSD	500mm			
Obstacle detection distance	5m	10m	15m	20m
Horizontal installation	O	O	O	O
Vertical installation	O	O	O	O

그림 2는 시험을 위한 센서를 설치한 구성도를 나타내며 선로 측과 승강장 측에 3D센서를 각 1개씩 설치하였다. 또한, CCTV를 통한 영상데이터를 함께 수집하여 분석 보조 수단으로 이용하고 감지데이터 수신과 변환, 영상 데이터 촬영 및 백업, 원격제어 등을 위해 함체를 구성하여 설치하였다.

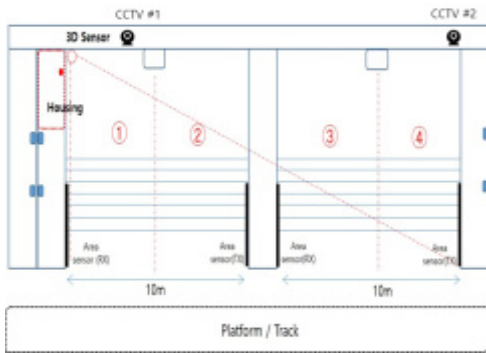


그림 2. 시험 환경 구성  
Fig. 2 Test environment configuration

그림 3에서는 성능비교를 위한 각 센서의 구성을 나타낸다. 3D센서 컨트롤러에서 Area센서와 3D센서를 감지하고 데이터 제어 및 수신하며, 감지 데이터 분석 및 로그(Log)데이터를 변환한다. 이때 두 가지 센서의 장애물감지 데이터의 정확한 분석을 위해 추가 설치한 영상촬영 데이터를 활용하였다.

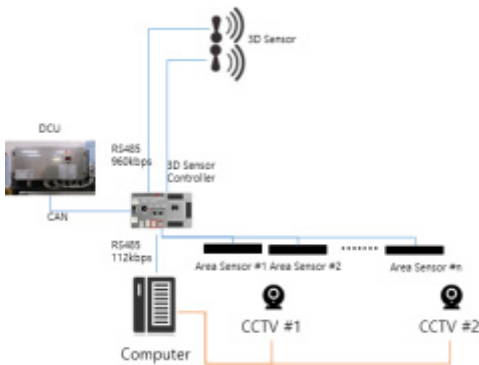


그림 3. 성능 비교를 위한 각 센서구성  
Fig. 3 Performance comparison equipment configurations for each sensors

## 2.2 데이터 분석 방법

센서의 감지율은 3D센서의 감지범위를 열차와 안전선 사이까지 확장하여 운영함으로써 실제 장애물이 열차와 안전선 사이에 존재할 경우를 고려하여 분석하였다. 그림 4에 나타난 것 처럼 3D센서와 Area센서 감지 로그(Log)데이터는 날짜, 시간, 센서구분, 감지영역으로 데이터 간 매칭을 하였으며 영상 데이터는 1

시간 단위로 판독하여 실제 장애물이 열차와 승강장 사이 존재 할 경우 1, 존재하지 않을 경우 0으로 구분하여 엑셀 시트에 기록하였다.



그림 4. 이미지데이터와 로그데이터 1:1 비교  
Fig. 4 Image data and the log data 1:1 verification

평가 방법은 영상판독에서 장애물이 있었던 시간을 초당 개수로 산출하여 감지 수(n)를 산출하였으며 장애물 감지 센서는 감지시간(sec)을 감지 수(n)로 간주하였다. 감지 수의 결과 분석방법은 영상 판독결과와 3D센서 감지 결과 및 영상 판독결과와 Area센서의 감지 결과를 각각 교차 분석하였고 3D센서 장애물 감지율과 Area 센서 장애물 감지율을 비율차 검정을 유의수준 5%이하에서 실시하였다. 또한 센서 별 장애물 미발생 대기시간과 장애물 발생 감지율을 분석하기 위한 정분류율 (CCR : Correct Classification Rate), 장애물 감지 시 감지율을 분석한 민감도(Sensitivity), 장애물 미발생 시 대기시간 동안의 특이도 (Specificity)<sup>1)</sup>를 함께 제시하였다. 장애물 감지 센서의 장애물 감지비율(특이도)은 열차 운행 시간에 반 비례하여 배차 간격이 클수록 감지 확률이 낮아지고 이에 따라 정분류율과 특이도가 과대추정 될 수 있다. 따라서 데이터 언밸런스 문제를 해결하기 위하여 검

1) 센서 감지 대기시간이 실험환경에 의하여 센서 장애물 감지시간 보다 커 이를 보정하기 위하여 센서 감지 대기시간 데이터를 표본 추출함.

지 건수와 대응하는 데이터를 층화-단순임의추출법 (Stratified-Simple Random Sampling)으로 임밸런스 데이터 셋을 구성하여 정분류율과 특이도를 평가하였다[12].

### III. 검지 데이터 분석 결과

장애물 검지 분석을 위하여 영상 판독결과와 3D 센서 및 Area센서 검지건수를 각각 교차 분석한 결과가 표 2에 나타나있다. 3D센서는 8,114건 중 7,052건을 검지하여 86.91%의 검지율을 보인 반면 Area센서는 6,400건을 검지하여 78.88%의 검지율을 보였다. 표 2의 결과를 바탕으로 하여 영상 판독결과와 센서 검지결과 간 관계성 검증을 실시한 결과  $p$ -값이 0.0001보다 작아 두 가지 센서 모두 영상판독결과와 통계적으로 유의한 관계가 있는 것으로 판단되었다.

표 2. 영상 판독과 센서 장애물 검지율 평가  
Table 2. Video Analysis and sensors obstacle detection rate of assessment

Data sets (n)	type	Normal condition (%)	obstacle Detection (%)	$p$ -value †
Unbalance (841,178)	Video image	8,114 (100)	8,114 (100)	-
	3D sensor	1,062 (13.09)	7,052 (86.91)	<.0001
	Area sensor	1,714 (21.12)	6,400 (78.88)	<.0001
Imbalanced (16,619)	Video image	8,114 (100)	8,114 (100)	-
	3D sensor	1,062 (13.09)	7,052 (86.91)	<.0001
	Area sensor	1,714 (21.12)	6,400 (78.88)	<.0001

† Calculated by chi-square test.

표 3은 센서별 검지율 평가 결과를 나타낸다. 장애물 미발생 대기시간과 장애물 발생 검지를 분석하기 위해 정분류율을 비교한 결과 언밸런스 데이터 셋에서는 3D센서가 99.87%로 Area센서 99.75%보다 약 0.13% 높은 것으로 나타났으나 임밸런스 데이터 셋에

서는 3D센서가 93.61%로 Area센서 85.15%보다 약 8.46% 더 높게 나타났다. 장애물 검지시 검지율의 민감도는 3D센서가 86.91%로 Area센서 78.88%보다 약 8.03% 높았으며 특이도는 임밸런스 데이터 셋에서 3D센서가 100%, Area센서가 90.89%이었다. 장애물 미발생 시 대기 시간 동안의 3D센서의 특이도가 100%인 것은 해당 기간에 장애물이 없는 상태에서 감지한 경우가 없었음을 의미하며 Area센서는 '15.02.11 11:05:49부터 약 7분간 오작동이 발생되어 특이도 90.89%를 나타냈다.

표 3. 센서별 검지율 평가  
Table 3. sensors detection rate of assessment

Data sets (n)	type	CCR(%) †	Sensitivity (%)	Specificity (%)
Unbalance (841,178)	3D sensor	99.87	86.91	100.0
	Area sensor	99.75	78.88	99.90
Imbalanced (16,619)	3D sensor	93.61	86.91	100.0
	Area sensor	85.15	78.88	90.89

† Correct Classification Rate.

표4은 센서 간 검지율의 차이를 나타낸다. 3D센서의 장애물 검지율 86.91%와 Area센서 검지율 78.88%을 비교한 결과  $p$ -값이 0.0001보다 작아 3D센서의 검지율이 약 8.03% 더 높은 것으로 판단되었다. 두 센서의 장애물 검지율 차이에 대한 95% 신뢰구간이 하한 6.87%에서 상한 9.19%로 3D센서가 Area센서보다 검지율이 95% 신뢰수준 하에서 평균적으로 6.87~9.19%가 더 높을 것으로 기대된다.

표 4. 센서 간 감지율 차이 비교  
Table 4. Compare the difference between the sensor detection rate

Actual Object(n)	Obstacle Detection (8,114)	Unbalance (841,178)	Imbalanced (16,619)
3D sensor (%)	7,052 (86.91)	839,024 (99.87)	14,563 (93.61)
Area sensor (%)	6,400 (78.88)	836,961 (99.75)	12,347 (85.15)
Difference (95% C.I)	8.03 (6.87 - 9.19)	0.12 (0.11 - 0.13)	8.46 (7.77 - 9.15)
S.E†	0.5912	0.0067	0.3534
p-value‡	<.00001	<.00001	<.00001

† Standard Error

‡ Calculated by two-sample t-test.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 스크린도어에서 3D센서와 Area센서의 감지율을 비교하였다. 3D센서와 Area센서의 장애물 감지율은 선로 측과 승강장 측 모두 3D센서가 높은 것으로 확인되었다. 단순하게 감지 범위만으로도 비교가 가능한데 상하개폐 스크린도어 시스템의 규격에 한정된 Area센서의 경우 설치 위치가 한정되어 있기 때문에 선로 측은 Area센서보다 열차에 가깝고, 승강장 측은 Area센서보다 안전선 가까이 감지 범위를 설정할 수 있어 Area센서에서 감지 못하는 위치의 안전선을 침범한 장애물은 3D센서만이 감지할 수 있다. 현재 상하개폐 스크린도어 시스템의 규격에 한정된 Area설치 위치의 한계점이기도 하다. 이에 따라 3D센서의 감지율이 높은 것은 당연할 수도 있지만, 시험 결과 Area센서의 위치상 충분히 감지 될 수 있는 상황에도 불구하고 감지를 못하는 경우가 있음을 알 수 있었다. 3D센서의 경우 장애물 감지율이 86.91% 이었으며, Area센서 대비 장애물 감지율이 95% 신뢰 수준하에서 평균적으로 6.87~9.19%가 더 높은 것으로 분석 되었다. 장애물 감지 결과를 기반으

로 현재 1개의 스크린도어에 설치되는 Area센서가 8개인 반면 3D센서를 2개를 설치하여 더 나은 감지성능과 설치 구축비용을 절감하여 승강장의 승객 안전을 지킬 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 3D센서와 Area센서가 실외시설물인 점을 감안하여 외부환경요인변화에 따른 센서 오작동을 포함한 평가가 고려되어야 하며 사계절의 변화에 따른 신뢰성 및 감지율 측정을 위한 국내외의 다양한 구축사이트를 통한 지속적인 연구가 필요하다.

#### 감사의 글

본 논문은 2015년도 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원 발주하여 시행중인 철도기술연구사업(15RTRP-B067916-03)지원으로 수행되었습니다.

#### Reference

- [1] H. Kang, H. Kim, and Y. Chung, "Feasibility analysis of RPSD(Rope type Platform Safe Door) on the simulation," *The J. of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no. 2, 2013. pp. 22-29.
- [2] Y. Kang, "And possible limitations of risk management through technical solutions: Metro screen door to the core," *Science and Technology Studies*, vol. 10, no. 2, 2010. pp. 77-105.
- [3] J. Kim and J. Son, "Reliable monitoring and control system developed for the platform screen doors(PSD)," *J. of Institute of Electrical Engineers*, vol. 59, no. 2, 2010, pp. 158-162.
- [4] K. Lee, H. Sim, and J. Oh, "USN-based monitoring of outsiders entrance system design and implementation," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 5, 2012, pp. 1165-1171.
- [5] S. Lee and H. Kim "A Study of RPSD (Rope-type Platform Safe Door) Opening and Closing Algorithm on Train Platform," *Transportation Research*, vol. 20, no. 3, 2013, pp. 1-12.
- [6] J. Kim, H. Kim. P. Kim, and J. You, "Retractable screen door and down the

obstacle detection algorithms developed and evaluated using a 3D sensor," *Korea Railroad Association*, vol. 2015, no. 5, pp. 1280-1285.

- [7] J. Kim and H. Yun, "A Comparative Analysis on the Operating System of Urban Railway & Conventional · High speed Railway" *Korea Electronics and Telecommunications Association Trans.*, vol. 10, no. 8, 2015, pp. 953-958.
- [8] H.Jung, Y. Ko, C. Li and K. Lee "Study on Precise Positioning using Hybrid Track Circuit system in Metro" vol. 8, no. 8, 2013, pp. 471-477.
- [9] G. Choi, "Development of the Operating Algorithm on the Platform Screen Door for Vertical Opening and Closing," Ph.d *Chosun University*, 2015.
- [10] S. Park, R. Eyu, and H. Kim, "Stability Analysis of Wire Rope installed on RPSD," *Korea Electronics and Telecommunications Association Trans.*, vol. 8, no. 2, 2013, pp. 313-319.
- [11] K. Choi and S. Yun, "A Comparative Analysis on the Operating System of Urban Railway & Conventional · High speed Railway," *Korea Electronics and Telecommunications Association Trans.*, vol. 10, no. 8, 2015, pp. 953-958.
- [12] V. Chawla, "Data Mining For Imbalanced Datasets: An Overview," *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*, July 2010, pp. 875-886.



**이현수(Gil-Dong Hong)**

2015년 아주대학교 교통공학과 수료(공학박사)

2016년 ~ 현재 (주)엘비씨소프트 연구사업팀 부장  
※ 관심분야 : ITS통신시스템, ICT, C-ITS



**진주현(Ju-Hyun Jin)**

2008년 아주대학교 ITS대학원 ITS학과 졸업(공학석사)

2016년 ~ 현재 (주)엘비씨소프트 연구사업팀 부장  
※ 관심분야 : ITS, 정보분석시스템



**김종식(Jong-Sik Kim)**

1997년 계명대학교 교통공학과 졸업(공학사)

1999년 계명대학교 대학원 도시공학과 졸업(공학석사)

2003년~현재 한국건설기술연구원 수석연구원  
※ 관심분야 : ITS, ICT

### 저자 소개



**유봉석(Bong-Seok Yoo)**

2004년 홍익대학교 도시계획과 졸업(공학사)

2009년 서울시립대학교 대학원 교통관리학과 졸업(공학석사)

2011년 ~현재 (주)엘비씨소프트 연구사업팀 팀장  
※ 관심분야 : 빅데이터, 무선통신, 센서네트워크