

스크린도어(PSD)의 개폐율에 따른 피난소요시간 분석에 관한 연구

김민재 · 민세홍*[†]

가천대학교 일반대학원 설비 · 소방공학과, *가천대학교 설비 · 소방공학과

Study on the Evacuation Time Analysis by Platform Screen Door Opening Rate

Min-Jae Kim · Se-Hong Min*[†]

Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Graduate School, Gachon Univ.

*Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon Univ.

(Received June 27, 2016; Revised July 29, 2016; Accepted August 8, 2016)

요 약

Platform Screen Door System (PSD)는 지하철 승객의 편의 및 안전을 위해 설치되기 시작하였고, 현재 전국 9개 운영기관이 관리하고 있는 824개 역사 중 전체의 71.8%에 해당하는 592개 역이 PSD를 운영 중에 있다. 본 연구에서는 전동차 정차 위치에 따른 PSD와 전동차 가동문 사이의 개폐율 변화를 분석하였고, 수도권 지하철을 운행 중인 기관에서 제공받은 재차인원 자료 분석 및 피난시물레이션을 통해 각 역사별 피난소요시간을 산정하였다. 연구결과 승객이 매우 혼잡하게 밀집되는 일부 고밀도 역사에서는 PSD 개폐율에 따라 매우 위험한 상황이 초래될 수 있음을 알 수 있었다. 특히 정위치에서 7 m 벗어난 곳에 정차할 경우 PSD의 고정 안전보호벽과 맞물려 열차 출입문 절반 이상이 폐쇄 되는 것으로 분석되었다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 기(既) 설치된 PSD 고정안전보호벽을 모두 개폐 가능한 비상문으로 교체 및 개량하는 것을 제안한다.

ABSTRACT

The PSD (Platform Screen Door System) has been installed to enhance the passengers' safety. A total of 592 stations operate the PSD system, which is almost 71.8% of all stations in South Korea. This study compared the opening rate between the PSD and train door, and calculated the exact amount of passengers at peak time. In addition, the evacuation time was simulated by Pathfinder 2015 with the exact input data. Some of the high density stations have extremely high dangerous points about the passengers' evacuation at some situations by the PSD door opening rate. In particular, due to the interference of a fixed door, when it stops at 7 m less than the regular position, its opening rate becomes less than half of the normal state. To solve this problem, it should be made possible to open the fixed door by changing it to an emergency door or improving the PSD module system.

Keywords : Platform screen door system, Subway, Passenger safety, Evacuation simulation, High density station

1. 서 론

철도승강장 스크린도어(Platform Screen Door System: PSD)는 승강장에서 선로 추락사고 등 안전사고 예방을 위해 2005년부터 광역·도시철도에 설치하고 있다. 현재 전국 광역·도시철도 824개역 중 592개역에서 PSD를 운영 중에 있으며, 국토교통부에 따르면 2016년 안에 모든 도시철도 역, 2017년까지는 모든 광역철도에 설치할 계획에 있다. 국민권익위원회는 열차 화재 등 비상시 열차출입문과 스크린도어가 일치하지 않을 경우 열차 내부 승객 탈

출에 지장을 초래할 수 있어 스크린도어 안전보호벽이 모두 개폐되도록 개선을 권고하였다. 이에 2010년 개정된 국토해양부(현 국토교통부) 고시 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계지침」에서는 신설되는 스크린도어의 안전보호벽은 모두 개폐되도록 규정하고 있으나, 이미 설치가 완료된 스크린도어 안전보호벽의 개폐율에 대한 안전성 판단 기준 등은 없는 실정이다⁽⁸⁾.

본 연구에서는 수도권 지하철역사 PSD의 구조를 분석하여 전동차의 정차위치에 따른 개폐율을 산정하고, 산출된 개폐율에 따른 피난시간의 변화를 분석하여 안전강화 방

[†]Corresponding Author, E-Mail: shmin@gachon.ac.kr
TEL: +82-31-750-5714, FAX: +82-31-750-8746

안을 고안하고자 한다.

나라, 사회 전반에 걸쳐 피해를 주고 있다.

2. 스크린도어 구조

스크린도어의 일반적인 모듈은 평상시 열차의 출입문과 연동되어 가동되는 가동문(Sliding Door: SD)을 가운데 두고 광고판 등이 설치된 고정 안전보호벽(Fixed Door: FD)과 비상시 푸쉬바 형태로 개방되는 비상문(Emergency Escape Door: EED)으로 구성되어 있다. PSD에는 열차의 위치를 감지하는 센서가 설치되어 열차가 정위치에 정차하지 않을 시 개방되지 않는 시스템이 구성되어 있다. 일반적인 PSD 가동문의 폭은 2,100 mm이고 열차 출입문의 폭은 1,300 mm이며, 센서의 정차오차 허용구간은 ±400 mm로 최대 한계치에 정차하더라도 PSD와 열차 출입문간의 간섭은 발생하지 않아 원활한 승하차가 이루어 지도록 되어 있다⁽¹⁾. 그러나 센서의 오작동과 기관사의 인적 오류 등으로 인해 여객사상사고 및 승강장 안전문 미개방 통과 사고, 정위치 정차오류가 계속해서 발생하고 있는 실정이며⁽²⁾, 이러한 열차 사고는 개인의 안전을 위협할 뿐만 아

3. 열차와 PSD 사이의 개폐율 산정

본 연구에서는 개폐율 산정을 위해 전동차의 일반적인 기계적 결함 또는 인적오류 상황 이외에도 열차 내 화재, 또는 테러 등으로 인해 열차가 정위치에 정차하지 못하였을 경우를 가정하였다. 열차에 화재가 발생하거나 테러로 인한 비상상황 발생시 열차가 정위치에 정차하지 못할 가능성은 더욱 커질 것이다. 이에 열차와 PSD 사이의 개폐율을 산정하기 위하여 정위치 정차부터 10 m 미달 정차까지 총 11가지의 경우를 분석하였다. 개폐율 산정에는 PSD의 가동문 뿐만 아니라 비상문을 사용하는 경우도 고려하여 각 정차 위치에서의 최대 개폐율을 기준으로 하였다.

Table 1과 같이, 1 m 간격으로 10 m 미도달 정차까지 개폐율을 산정한 결과 어느 위치에 정차하던 출입문 일부가 개방되기는 하지만, 7 m 미달 정차시 개폐율 42%로 출입문 절반 이상이 사용 불가능해 지는 것으로 분석되었다.

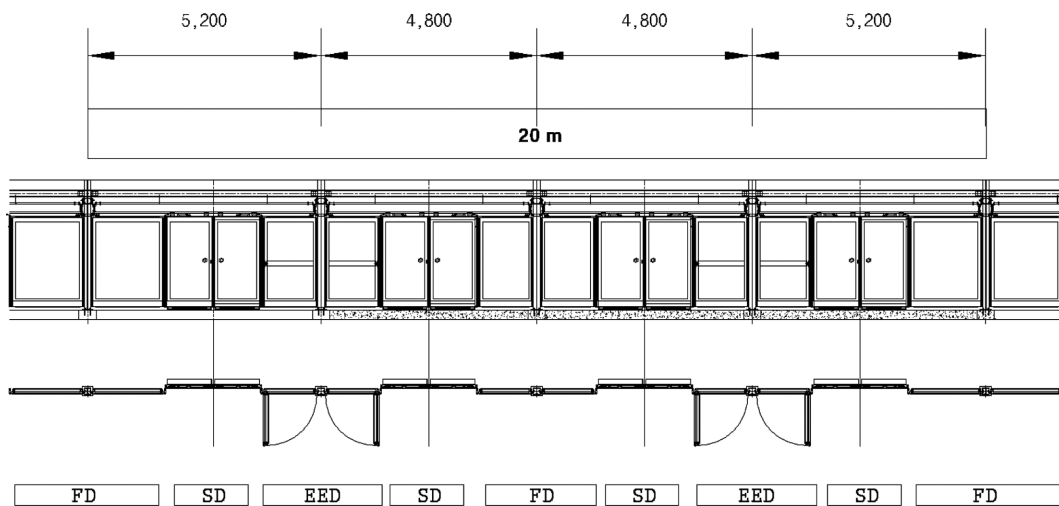


Figure 1. General platform screen door (PSD) system.

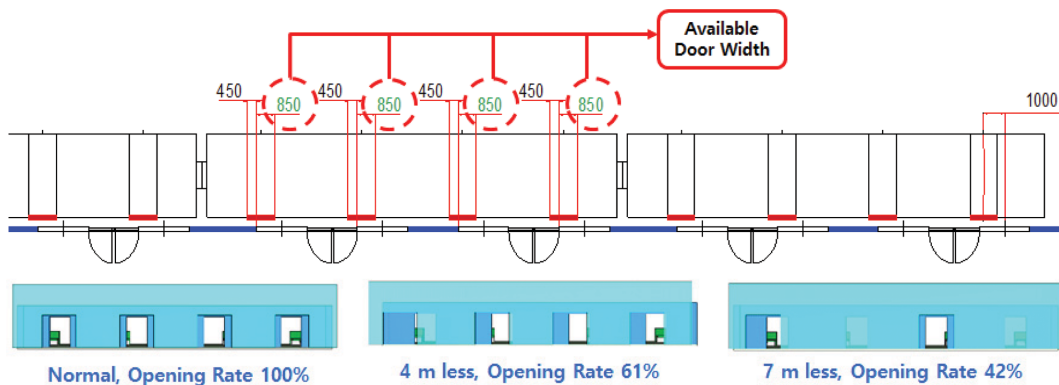


Figure 2. Door opening rate measurement.

4. 재차인원 산정

개폐율과 재차인원에 따른 피난시간 변화 분석을 위해

실제 운영 중인 1~8호선의 첨두시간에 대한 이용객수를 분석하였다. 이용객수에 대한 자료는 2년마다 1회 실시하는 정기교통량 조사 자료 중 가장 최신인 2013년 자료를

Table 1. Opening Rate Calculate about 1 Car

Index	1 st Door	2 nd Door	3 rd Door	4 th Door	Available Door Width/ Entire Door Width	Opening Rate
Normal	130 cm	130 cm	130 cm	130 cm	520 cm / 520 cm	100 %
1 m Less	85 cm	85 cm	85 cm	85 cm	340 cm / 520 cm	65 %
2 m Less	130 cm	0 cm	130 cm	0 cm	260 cm / 520 cm	50 %
3 m Less	130 cm	0 cm	130 cm	0 cm	260 cm / 520 cm	50 %
4 m Less	105 cm	105 cm	105 cm	0 cm	315 cm / 520 cm	61 %
5 m Less	130 cm	130 cm	130 cm	130 cm	520 cm / 520 cm	100 %
6 m Less	65 cm	65 cm	65 cm	130 cm	325 cm / 520 cm	63 %
7 m Less	0 cm	130cm	0 cm	85 cm	215 cm / 520 cm	42 %
8 m Less	0 cm	105 cm	0 cm	130 cm	235 cm / 520 cm	46 %
9 m Less	130 cm	130 cm	0 cm	85 cm	345 cm / 520 cm	67 %
10 m Less	130 cm	130 cm	130 cm	130 cm	520 cm / 520 cm	100 %

Table 2. Criteria of Density Classification

Index	Criteria
High Density Station	Over 30,000 person & Island Platform
	Over 30,000 person & Deep underground station (more than 30 m deep)
Middle Density Staion	Over 30,000 person & underground
	Over 15,000 person & Island Platform
	Over 15,000 person & Deep underground station (more than 30 m deep)

Table 3. Chart of High Density Station

Number	Line	Station	Number of Passengers (1 h)	Platform Style	Deep Underground
1	2	Bongcheon	51,590	Island Platform	-
2		Samsung	31,926	Island Platform	-
3		Seoul Nat'l Univ.	57,181	Island Platform	-
4		Sindorim	40,276	Island Platform	-
5		Sillim	48,102	Island Platform	-
6		Ewha Womans Univ.	31,380	Island Platform	-
7		Chungjeongno	32,884	Island Platform	-
8		Hongik Univ.	33,134	Island Platform	-
9	3	Gyeongbokgung	32,976	Island Platform	-
10		Dongnimmun	35,412	Island Platform	-
11		Anguk	31,589	Island Platform	-
12		Hongje	32,038	Island Platform	-
13	4	Gireum	40,535	Island Platform	-
14		Dongdaemun	40,325	Island Platform	-
15		Dongdaemun History & Culture Park	32,412	Island Platform	-
16		Hansung Univ.	42,759	Island Platform	-
17	5	Yangpyeong	35,229	Separate Platform	○
18	7	Cheongdam	30,282	Island Platform	-

기준으로 분석하였으며, 해당 자료의 이용객수 및 승강장 형태(섬식 및 상대식) 및 대심도 여부를 기준으로 고밀도, 중밀도 및 저밀도역사를 분류하였다. 고밀도 역사 선정 기준은 첨두시간 1시간의 이용객수가 30,000명을 초과하는 섬식 형태 역사, 또는 이용객수 30,000명을 초과하는 대심도 역사이고, 중밀도 역사 선정기준은 이용객수 30,000명을 초과하는 지하역사, 이용객수 15,000명을 초과하는 섬식 역사 또는 이용객수 15,000명을 초과하는 대심도 역사이다⁹⁾.

해당 기준에 의거하여 지하역사를 분류한 결과 고밀도 역사는 18개역, 중밀도 역사는 83개역으로 분류되었다. 고밀도 18개 역사 중 3호선 홍제역과 독립문역, 5호선의 양평역은 현재 서울시에서 스크린도어 안전보호벽을 비상개폐가 가능하도록 개선하라는 국토교통부의 요구에 따라

안전보호벽 개선 시범사업에 들어간 상태이다.

현 실태를 반영한 피난시물레이션 수행을 위하여 18개 고밀도역사에 대한 재차인원을 산정하였다. 각 역사의 재차인원은 첨두 1시간의 이용객수를 운행열차의 대수로 나누어 산정하였으며, 산정근거는 국토해양부(현 국토교통부) 고시 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계지침」에 따랐다. 재차인원을 산정한 결과 2호선 서울대입구역이 2,486명으로 가장 많았으며, 고밀도 역사 대부분이 재차인원 2,000명을 상회하였다. 이는 승객이 가장 몰리는 첨두 시간에 운행 중인 열차 1량에 대략 200~250명의 승객이 탑승 중이라는 것을 의미하며, 열차 1량의 표준 수용인원 160명을 100%로 보았을 때 첨두시간에 150% 이상의 인원이 밀집하여 탑승 중이라는 것을 알 수 있다.

5. 피난시물레이션

5.1 피난시물레이션 개요

피난시물레이션은 Thunder Head Eng.의 Pathfinder 2015프로그램을 사용하여 실시하였다. 피난시물레이션을 위한 지하 승강장 모델링은 각 지하철도 운영기관에서 제공받은 도면을 바탕으로 하였으며, 피난인원의 구성은 성인 남녀 각 43%, 어린이 1%, 노인 남녀 각 6.5%로 구성하였으며, 이는 첨두 1시간의 연령별 이용현황을 분석하여 도출 하였다. 보행속도 및 어깨너비 등의 입력값은 한국건설기술연구원의 「표준화재모델에 따른 화재 확대방지 및 피난 안전설계 기술개발」과 한국인 인체치수조사 통계자료를 분석하여 설정하였다^(6,7). 본 연구에서는 스크린도어와 지하철 차량 출입문 사이의 개폐를 변화에 의한 열차 피난시간을 분석하기 위해 차량에서 탈출하는 것을 피난 완료조건으로 설정하였다. 또한 시물레이션 프로그램의 피

Table 4. Number of Passengers (1 Time) of High Density Station

Number	Station	Number of Passengers (1 Time)
1	Bongcheon	2,243
2	Samsung	1,774
3	Seoul Nat'l Univ.	2,486
4	Sindorim	2,120
5	Sillim	2,091
6	Ewha Womans Univ.	1,743
7	Chungjeongno	1,731
8	Hongik Univ.	1,841
9	Gyeongbokgung	2,061
10	Dongnimmun	2,083
11	Anguk	1,858
12	Hongje	2,002
13	Gireum	2,133
14	Dongdaemun	2,122
15	Dongdaemun History & Culture Park	1,706
16	Hansung Univ.	2,138
17	Yangpyeong	1,601
18	Cheongdam	1,317

Table 5. Input Data for Evacuation Simulation

Index	Speed (m/s)	Shoulder Width (cm)	Distribution Ratio (%)
Adult (man)	1.2	38.8	43
Adult (woman)	1.1	35.2	43
Child	1.15	30.7	1
Senior (man)	0.835	37.8	6.5
Senior (woman)	0.835	34.9	6.5

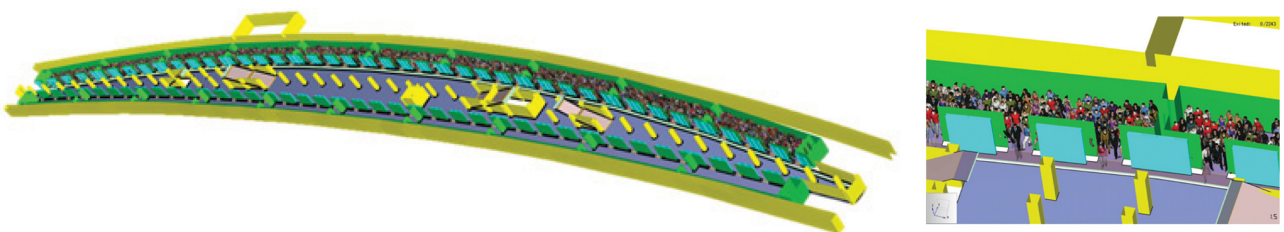


Figure 3. Modeling and evacuation simulation proceed.

난인원 신체의 일부가 피난문에 접하면 사라지는 특성을 고려하여 병목현상을 관찰하기 위해 스크린도어에서 60 cm 이격된 곳에 피난문을 설치하였다⁽³⁻⁵⁾.

5.2 피난시레이션 결과

고밀도 18개 역사에 대하여 피난시물레이션을 수행한 결과 정위치에 정차한 개폐율 100%의 상황에서 대부분 40초 가량 소요되는 것으로 분석되었다. 그 중 재차인원이 가장 많은 서울대입구역은 73초가 소요되었으며, 가장 적게 걸린 청담역과 비교하였을 때 18초가량 더 지연되었다. 이에 반해 정위치에서 7m 미달한 위치에 정차하여 개폐율 42%의 상황에서는 적게는 86초 에서 최대는 128초로, 정위치에 정차한 상황에 비해 피난소요시간 증가의 폭이 42초로 매우 컸다. 이는 재차인원이 증가할수록 병목현상으로 인한 피난 지연이 더욱 길어짐에 따른 것으로 여겨진다.

실제로 고밀도 18개 역사의 재실자 피난특성 중 병목현상이 지속된 시간을 분석해본 결과 Figure 4와 같이 재차인원이 증가 할수록 병목현상으로 인한 지연시간도 증가하였다. 정위치에 정차 하였을 때 평균 병목지연시간은 16.56초, 7m 미달 정차 하였을 때는 44.56초로, 개폐율이 100%에서 42%로 변화하였을 때 병목현상으로 인한 지연시간은 270% 증가하였다. 또한 개폐율 100%에서 18개 역사의 병목지연시간은 최소 12.96초에서 최대 21.86초로 9초가량 차이가 났으나, 개폐율 42%에서는 최소 36.51초에서 최대 57.83초로 21.32초 가량이 차이가 났다. 즉, 개폐율이 작을수록 재차인원수의 영향을 더욱 크게 받는다는 것을 알 수 있었다.

또한 각 역사별 피난시간 변화량을 비교한 결과 대부분의 역사에서 개폐율이 42%로 감소하였을 때 1분 가량 피난시간이 지연되는 것으로 나타났다. 특히 재차인원이 가

Table 6. Evacuation Simulation Result of High Density Stations

Station	Evacuation Time		Difference
	100% (0 m)	42% (7 m)	
Bongcheon	47 s	116 s	69 s
Samsung	37 s	90 s	53 s
Seoul Nat'l Univ.	53 s	128 s	75 s
Sindorim	43 s	114 s	71 s
Sillim	62 s	108 s	66 s
Ewha Womans Univ.	36 s	89 s	53 s
Chungjeongno	36 s	86 s	50 s
Hongik Univ.	39 s	94 s	55 s
Gyeongbokgung	41 s	109 s	68 s
Dongnimmun	43 s	112 s	69 s
Anguk	39 s	103 s	64 s
Hongje	40 s	102 s	62 s
Gireum	43 s	109 s	66 s
Dongdaemun	44 s	110 s	66 s
Dongdaemun History & Culture Park	36 s	98 s	62 s
Hansung Univ.	43 s	107 s	64 s
Yangpyeong	40 s	106 s	66 s
Cheongdam	35 s	86 s	51 s

장 많은 서울대입구역은 75초가 지연되었다. 물론 일반적인 상황에서 기관사의 실수 및 기기 이상 등으로 정위치에서 수 m를 벗어나 정차할 가능성은 극히 적으나, 화재 및 테러 등으로 인하여 불가피하게 정위치에 정차하지 못한 상황에서, 1분여 가량의 피난시간 추가 소요는 승객의 안전에 심각한 문제를 초래할 수 있을 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 실제 운영 중인 수도권 지하철역사를 재차인원 및 승강장 형식에 따라 위험도를 분류하고, 열차와 PSD의 구조를 분석하여 개폐율을 산정하였다.

(1) 개폐율은 정위치 정차부터 10m 미도달 정차까지 1m 간격으로 분석하였으며, 정위치에서 7m 벗어난 곳에 정차하였을 시 개폐율 42%로 가장 낮은 것으로 분석되었다. 또한, 최저 개폐율인 7m 미달 정차 상황, 즉 개폐율 42%에서 피난시간은 정위치에 정상적으로 정차하였을 때의 피난시간보다 1분여 가량 지연되는 것으로 분석되었다.

(2) 특히, 고밀도 18개 역사 중 재차인원이 가장 많은 서울대입구역에서는 75초가 지연되었으며, 이는 좁아진 출입구에 많은 인원이 몰려 병목현상이 발생, 지속된 것에 기인한 것으로 분석되었다. 특히, 개폐율 100%와 42%의

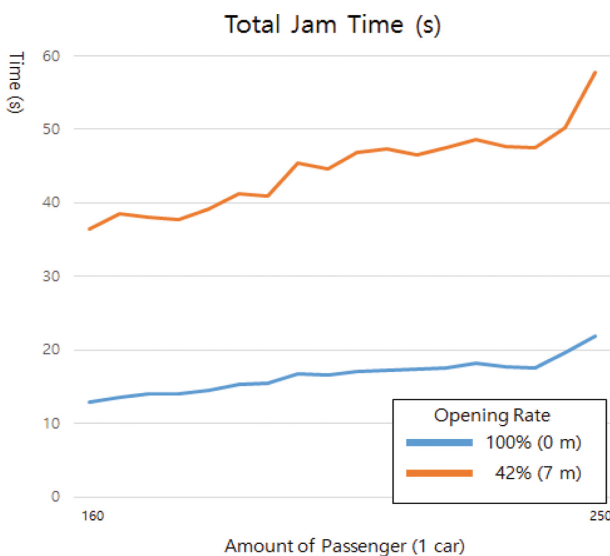


Figure 4. Graph of total jam time change rate by amount of passenger.

병목지연시간을 분석한 결과 270% 더 지연되는 것으로 분석되었다.

(3) 이러한 문제점은 스크린도어의 구조적인 한계, 즉, 광고판이 설치된 고정문에 의한 것이라 여겨진다. 수도권 지하철역사에 설치된 대부분의 스크린도어 모듈은 어떠한 경우에도 개방되지 않는 고정 안전보호벽을 포함하고 있다. 게다가 대부분의 고정 안전보호벽 전면에는 별도의 광고판이 설치되어 비상시 파쇄도 불가능한 실정이다. 이러한 실정에서 열차 화재 및 테러 등으로 인해 열차가 정위치에 정차하지 못한 상황이 발생, 열차 내 승객들의 신속한 피난이 이루어져야 할 때, 4개의 출입문 중 일부 문이 고정 안전보호벽 앞에 위치할 경우 해당 출입문으로의 피난은 이루어질 수 없을 것이다.

(4) 만약 현재 설치되어있는 PSD의 고정안전보호벽을 비상시 개방이 가능한 비상문(EED)으로 교체하거나, PSD 모듈을 어느 위치에서도 모두 개방되도록 개량한다면 열차의 정차위치에 관계없이 항상 원활한 피난이 가능해 질 것이다.

본 연구결과를 통해 승강장 스크린도어 시스템(PSD)과 열차 간의 정차위치에 따른 개폐율 변화와 그에 따른 피난 시간의 변화 및 문제점을 파악할 수 있었다. 또한, 이를 지하철승강장 스크린도어 시스템의 안전 강화 방안을 위한 후속 연구에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. K. S. Ryu, "Study on the PSD Operated by the Door-sensor for the Safety-operating", Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 945-952 (2014).
2. S. H. Kwon, J. M. Lee, C. H. An and C. S. Kim, "Unmanned Systems and PSD Improvement Works and BY-PASS", Autumn Conference of the Korean Society for Railway, pp. 1489-1494 (2012).
3. Y. H. Choi, S. Y. Bae, W. J. You and H. S. Ryou, "The Characteristics of Evacuation with the Door Conditions in Subway Fire", Autumn Conference of the Korean Society for Railway, pp. 2136-2142 (2010).
4. W. H. Kim, J. H. Kim, S. K. Rho, D. H. Lee and W. S. Jung, "An Application of Egress Model for Subway Car", Proceedings of 2009 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 582-585 (2009).
5. W. H. Kim, J. H. Kim, S. K. Rho, D. H. Lee and W. S. Jung, "Experiments of the Subway Car Egress", Proceedings of 2008 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 239-244 (2008).
6. Y. H. Yoo, H. J. Shin, H. Y. Kim, B. J. Lee, C. S. Ahn, E. K. Hwang, D. H. Kim, O. S. Kweon, et al., "Development of Fire Spread Prevention and Escape Safety Design Technique According to Standard Fire Model, Multi-dimensional Fire Behavior in an Under-ventilated Compartment Fire", KICT 2008-116, Korea Institute of Construction Technology (2008).
7. Size Korea, "6th Korean Body Size 3D Measurement Report" (2010).
8. S. H. Min, J. M. Lee, M. J. Kim and W. J. Choi, "A Study on the Evacuation Time Comparison with Door Opening Rate", Proceedings of 2015 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 83-84 (2015).
9. S. H. Min, J. M. Lee, M. J. Kim and W. J. Choi, "A Study on Comparison of the Calculation of Occupancy of the Subway Platform", Proceedings of 2016 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 95-96 (2016).