

승강장 스크린도어 설치에 따른 화재 안전성평가

이동호, 김성중, 고재웅*, 김하영*

인천대학교 안전공학과, 인천대학교 안전공학과 대학원**

Fire safety assessment of the lobby by the installation of platform screen door

Dong-Ho Rie, Seung-Jung Kim, Jae-Woong Ko*, Ha-Yung Kim*

Department of of Safety Engineering, University of Incheon, Incheon 402-749, Korea

*Graduate School of Safety Engineering, University of Incheon, Incheon 402-749, Korea

1. 서론

현대사회에서는 인구의 증가로 교통량이 증가하고 실용생활공간이 부족해짐에 따라 지하공간의 활용이 많아지고 지하터널 및 지하철 노선이 증가하고 있으며 테러에 의한 화재발생 빈도가 상승하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 상대식 승강장을 대상으로 스크린도어 유무와 배연조건에 따른 지하역사의 제연, 제열 성능평가를 수행한다. 기존 연구는 승강장 부에 국한하여 안전성 평가를 실시하였으나 승강장 부와 대합실 영역까지 고려한 대피 안전성 평가를 실시하였다. 따라서 스크린도어의 설치조건과 미설치에 따른 배연특성의 차이점을 도출하고 스크린도어 설치에 따른 지하 승강장 및 대합실의 화재안전의 자료를 제시한다.

2. 지하철 화재연구 동향 및 역사 모델링

대구지하철 참사를 계기로 지하공간에서의 방재 및 공학적 해석에 대한 많은 관심이 기울여지고 있다.⁽¹⁻⁵⁾ 이중에서도 화재시 승객의 대피로 확보관점에서 수행된 연구 결과는 터널부의 환기설비의 운영방식에 따라 승강장부의 열 및 연기배출 특성에 효과적임을 밝혔다.⁽⁶⁾ 지금까지의 연구는 승강장 부에 스크린도어가 설치되지 않은 지하철 역사만을 고려하였고 승강장 부와 계단부로 연결된 대합실을 고려하지 않았다. 본 연구에서는 동일한 승강장 제연방식을 기준으로 스크린도어의 설치 유, 무에 따른 승강장 및 대합실의 안전성평가를 실시하였다. 따라서, 스크린도어의 설치조건에 따라 열 및 연기전파특성에 대한 고찰을 승강장과 연계된 대합실을 대상으로 온도, 연기농도를 기준으로 안전성 평가를 실시함으로써 보다 세부적인 방재계획의 기초 자료로 활용될 수 있다. 본선 및 승강장의 배연방식 및 스크린도어 설치조건은 현재 실시설계가 진행 중인 인천지하철 송도 연장선

제 1역사를 기준으로 모델링하였다. Fig.1은 스크린도어 설치와 화재 시 승강장 부 환기팬 10만CMH 배연과 선로부 상부 100% 배연 시스템을 적용한 송도 제1역사의 측면도를 나타낸다.

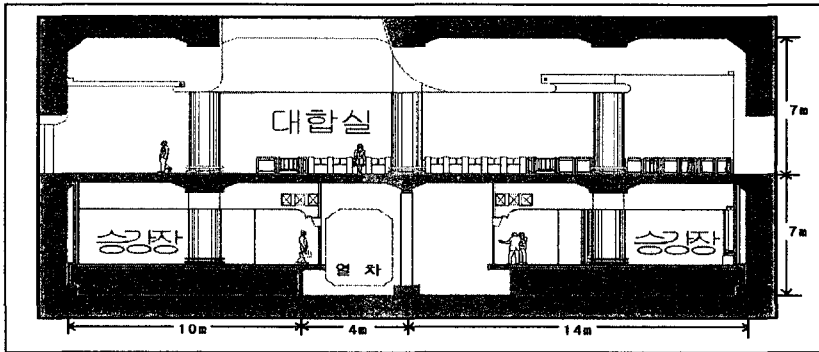


Fig. 1. Side View of 1st station of the Songdo New Town

3. 승강장 화재해석

3.1 해석

화재 발생에 따른 열 및 연기 이동현상을 수치해석적으로 파악하기 위하여 미국 NIST 의 FDS Ver.4을 사용하였다. 화재발생은 상행열차가 승강장에서 정차하여 중앙1량이 완전 전소되는 조건이며 발화위치는 하행방향 첫 번째 량으로 선정하였다. 해석은 이미 화재가 발생한 열차가 승강장에 진입하여 급속 확산하는 조건으로 240초 대피시간에 대해 계산을 수행하였다. 해석에 적용된 격자는 64x720x24로 총격자수는 1,105,92 이다. 1량의 화재 강도는 미국 NAFA규정에 의해 최근에 설계된 Los Angeles (21.4 MW적용)와 Boston transitway (20 MW)에 적용한 화재강도에 준하는 값으로 20 MW로 가정하였다⁷⁾ Table 1은 스크린도어의 설치조건과 승강장 배연조건에 따른 경계조건을 나타내며 초기온도는 30℃이다.

Table. 1. Boundary condition for ventilation modes

Case	스크린도어 설치	배연조건	비 고
(1)	유	무배연	승강장
(2)	유	승강장부 10만CMH 배연 및 선로부 상부 100% 배연	승강장
(3)	유	승강장부 10만CMH 배연, 선로부 상부 100% 배연 및 근접터널부 압인배기	승강장
(4)	무	무배연	승강장
(5)	무	승강장부 10만CMH 배연 및 선로부 상부 100% 배연	승강장
(6)	무	승강장부 10만CMH 배연, 선로부 상부 100% 배연 및 근접터널부 압인배기	승강장
(7)	유	무배연	대합실
(8)	무	무배연	대합실

3.2 대피에 적합한 열환경 및 제연기준

화재시 승객의 안전한 대피를 위한 열환경 및 제연기준으로 NFPA 130(1997)을 만족하도록 승강장 온도 및 연기농도의 기준을 설정하였다. 따라서, 안전이 확보된 대피환경은 화재시 60℃ 이하의 대피공간 공기온도로 유지되어야 하며, 연기에 의한 가시거리는 발광체의 경우 9.144m, 무광체는 6.096m 이내에서 식별 가능한 조건을 만족하여야 한다.⁽⁷⁾

4. 결 과

4.1 승강장부 평균연기농도 및 평균온도

승강장 바닥으로부터 1.5m 상부의 2차원 대피 공간평면을 기준으로 계산된 승강장 평균 연기농도 S_m 과 승강장 평균 온도 T_m 은 식(5)와 (6)으로 나타낸다.

$$S_m = \frac{\sum(S_i \cdot A_i)}{\sum A_i} \quad (5)$$

$$T_m = \frac{\sum(T_i \cdot A_i)}{\sum A_i} \quad (6)$$

4.1.1 승강장 및 대합실부 평균연기농도

Fig. 2는 무배연 조건을 기준으로 승강장 스크린도어설치 유무에 따른 승객대피환경에 대한 승강장 평균 연기농도의 영향평가를 나타낸다.

본 연구에서는 FDS프로그램 활용 시 스크린도어의 열적파괴에 대한 영향을 평가하기 위하여 스크린도어 설치 시 열차화재에 기인한 스크린도어 열적파괴 현상이 250℃에 일어나도록 하였다.

Fig. 2는 스크린도어가 설치되어 있는 승강장 조건 Case(1)과 대합실 조건 Case(7), 스크린도어가 설치되어 있지 않은 승강장 조건 Case(4)와 대합실 조건 Case(8)의 연기농도를 나타낸다.

Case(1)과 Case(4)는 스크린도어 설치 유무에 따른 승강장부의 평균 연기농도 비교로 스크린도어 미설치 경우인 Case(4)가 승강장 평균연기 농도가 최소 53.9%에서 최대 66.1%까지 낮아지는 특성을 나타냈다. 이러한 결과는 승강장 양단으로 전파되는 연기가 스크린도어에 의해 차단됨으로서 대피승강장으로 연기농도가 높아지는 현상을 나타냈다.

Case(7)과 (8)은 스크린도어 설치 유무에 따른 대합실부의 평균 연기농도 나타내며 90초까지는 두 조건 모두 연기농도 차가 낮으나 120초부터 Case(7)인 스크린도어를 설치한 대합실의 경우가 급격한 증가를 보이면서 스크린도어를 설치하지 않은 경우에 비해 최소 62.3%에서 최대 78.8%까지 연기농도 상승을 나타냈다. 이러한 결과는 화재로 인한 연기의 확산이 스크린도어에 의해 차단됨으로서 터널부 및 맞은편 승강장 영역으로 전파되지 않고, 굴독효과로 인하여 계단부를 통해 상층부인 대합실로 전파되는 특징을 나타낸다.

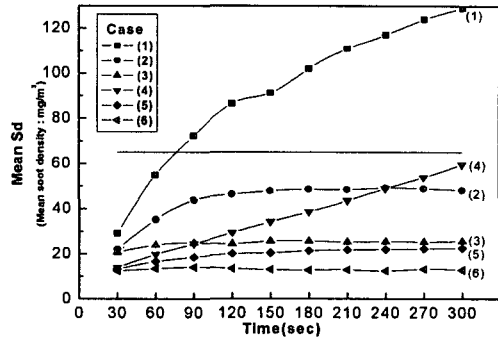
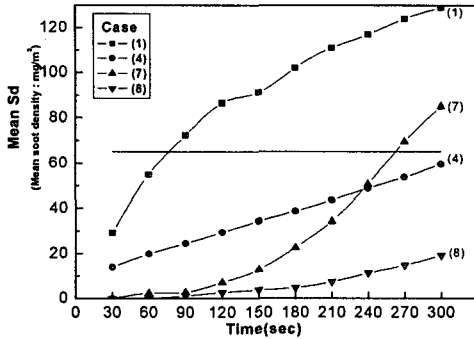


Fig. 2. Mean soot concentration of platform & lobby area Fig. 3. Mean soot concentration of platform area & lobby area

승강장 배연 조건과 터널부 압인배기 추가조건에서의 대합실에 대한 평가는 승강장부에서 대부분의 연기가 제어되어 대합실에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Fig.3은 승강장 배연조건을 기준으로 승강장 스크린도어설치 유무에 따른 승객대피환경에 대한 평균 연기농도의 안전성평가를 나타낸다.

스크린도어가 설치되어있는 경우, 무배연 조건인 Case(1)에 비해 승강장부 배연 조건인 Case(2)는 최대 62.6%의 연기농도 감소 효과로 나타났으며, 승강장부 배연 및 터널부 압인배연인 Case(3)은 최대 80.2%의 연기농도 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

스크린도어가 설치되어있지 않은 경우, 무배연 조건인 Case(4)에 비해 승강장부 배연 조건인 Case(5)은 최대 62.0%의 연기농도 감소 효과가 있고, 승강장부 배연 및 터널부 압인배연인 Case(6)은 최대 78.5%의 연기농도 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

스크린도어가 설치되어있는 조건인 Case (1)(2)(3)과 스크린도어가 설치되어있지 않은 조건인 Case (4)(5)(6)를 비교한 결과 스크린도어가 없는 조건이 약 54% 정도의 낮은 승강장에서의 평균 연기농도를 나타냈다.

4.1.2 승강장부 평균온도

Fig.4는 무배연 조건을 기준으로 승강장 스크린도어설치 유무에 따른 승객대피환경에 대한 승강장 및 대합실 평균온도의 영향평가를 나타낸다.

Case(1)과 Case(4)는 스크린도어 설치여부에 따른 승강장부 결과의 비교로 Case(4)가 Case(1)보다도 평균온도 상승폭이 최소 45.3%에서 최대 54.3%까지 낮아지는 특성을 나타냈다.

Case(7)과 (8)은 스크린도어 설치 유무에 따른 대합실부에서의 결과의 비교로 60초까지는 두 조건 모두 온도 상승폭이 매우 낮으며 90초부터 Case(7)이 완만한 상승세를 보이면서 대합실 평균연기 농도가 최소 50.0%에서 최대 66.4%까지 낮아지는 특성을 나타냈으나 두 조건 모두 위험 경계 이하의 값으로 나타났다.

승강장 배연 조건과 터널부 압인배기 추가조건에서의 대합실에 대한 영향은 스크린도

어의 설치 여부에 관계없이 평균온도의 변화가 최대 0.9℃이내인 것으로 나타났다.

Fig.5는 승강장 배연조건을 기준으로 승강장 스크린도어설치 유무에 따른 승객대피환경에 대한 평균온도의 영향평가를 나타낸다.

스크린도어가 설치 되어있는 경우, Case(1)에 비해 Case(2)는 최대 37.7%의 온도상승폭 감소 효과가 있었으며, Case(3)은 최대 46.6%의 온도상승폭 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

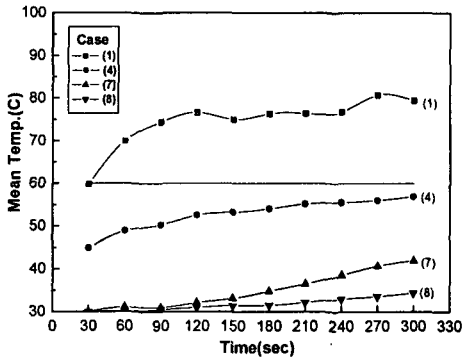


Fig.4 Mean temperature of platform & lobby area

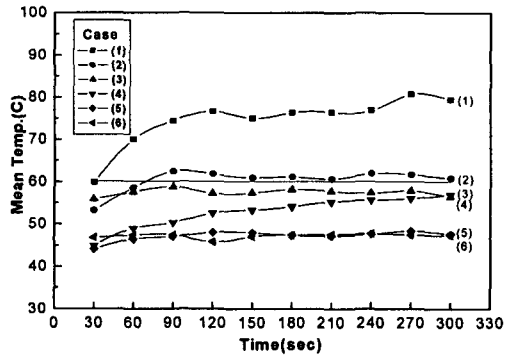


Fig.5 Mean temperature of platform area

스크린도어 미 설치의 경우, Case(4)에 비해 Case(5)가 최대 34.6%의 온도상승폭 감소 효과가 있었으며, Case(6)은 최대 35.7%의 온도상승폭 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

스크린도어 설치 조건인 Case (1)(2)(3)과 스크린도어 미설치 조건인 Case (4)(5)(6)의 영향평가를 비교하여 보면 스크린도어가 없는 조건이 약 43% 정도의 낮은 승강장에서의 평균온도를 나타내 승객들이 대피하기에 안전한 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

4.2 기준을 초과하는 승강장 점유율

본 연구에서는 대피기준 65mg/m³를 초과하는 연기농도를 식(7)의 승강장 점유율로 계산하였다. 승강장 바닥으로부터 1.5m 상부의 2차원 공간 평면을 기준으로 화재발생 150sec 및 300sec를 대상으로 배연방식기준 65mg/m³ 이상 농도에 의한 승강장 점유율(%)을 나타내며 대피기준 60℃ 이상 온도의 승강장 점유율은 식(8)로 계산하였다.

$$AC\% = \frac{A65C}{A} \quad (7)$$

$$AT\% = \frac{A60T}{A} \quad (8)$$

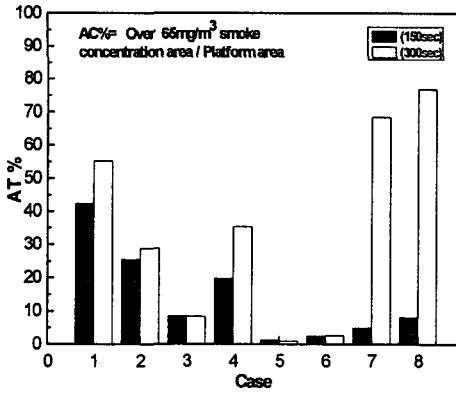


Fig.6. Percentage of over 65mg/m³ soot concentration's share at platform

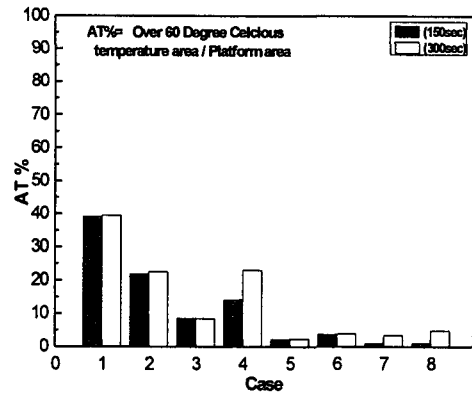


Fig.7. Percentage of over 60°C temperature's share at platform

4.2.1 배연방식기준 65mg/m³ 이상 농도에 의한 승강장 및 대합실 점유율

Fig.6은 승강장 및 대합실을 대상으로 화재시간 150초와 300초에 대한 대피한계 평균연기농도 기준 이상을 초과하는 승강장점유율을 나타낸다.

스크린도어 미설치 경우가 스크린도어 설치 경우 보다 대피한계연기농도 기준 이상의 승강장 점유율이 각각의 배연조건에 따라 최소 7.3%에서 최대 28% 낮은 것으로 나타났다. 따라서, 스크린도어 설치 시에는 기존 스크린도어 미 설치에서 고려된 배연설비보다 배연 효율향상이 필수적으로 요구되어야 한다.

무배연시 대합실의 경우 기준 65mg/m³의 승강장점유율이 스크린도어 설치여부에 관계 없이 150초와 300초에서의 점유율의 차이가 큰 것으로 나타났다.

4.2.2 대피기준 60°C 이상 온도의 승강장 및 대합실 점유율

Fig.7은 승강장 및 대합실을 대상으로 화재시간 150초와 300초에 대한 대피한계 평균온도 기준 이상의 승강장점유율을 나타낸다.

스크린도어 미설치 경우가 스크린도어 설치 경우 보다 대피한계 평균온도 기준 이상의 승강장점유율이 각각의 배연조건에 따라 최소 4.5%에서 최대 20.1% 낮은 것으로 나타났다.

무배연시 대합실의 경우, 대피한계 평균연기농도 점유율과는 다르게 대피한계 평균온도 기준 60°C의 대합실 점유율이 매우 낮게 나타났다.

5. 결론

승강장 및 대합실을 대상으로 스크린도어 유무와 배연조건에 따라 지하철 승강장의 열 및 연기배출 특성으로부터 다음의 결론을 얻었다.

1. 스크린도어 설치 유무에 따라 대합실의 안전성 평가를 비교하여 볼 때, 무배연의 경

우 스크린도어를 설치한 경우가 미설치한 경우에 비해 계산 시간 100초 이후부터 평균 온도와 평균 연기농도 모두 약 60% 정도 높게 나타났다.

2. 승강장 배연과 승강장 배연 및 터널부 압인배연의 경우 스크린도어 설치와 무관하게 대합실에서는 온도와 연기의 영향을 받지 않는 것으로 평가되었다.
3. 승강장부의 경우, 배연조건이 무배연 조건에 비해 승강장 평균연기 농도 약 62%, 평균온도 34%의 낮은 값을 나타냈다. 터널부 압인배연조건을 추가한 경우 무배연 조건에 비해 평균연기 농도 약 67%, 평균온도 42%의 낮은 값을 나타내어 가장 안전한 조건을 만족하는 것으로 나타났다.
4. 스크린도어 설치 유무에 따른 해석으로부터 스크린도어 미설치 경우가 스크린도어 설치 경우보다 낮은 대피한계연기농도 기준과 대피한계온도 기준을 만족하였다. 따라서, 스크린도어가 설치된 승강장은 기존의 미설치를 기준으로 설계된 배연풍량에 안전계수의 고려가 필수적이며, 열 및 연기배출 성능을 좌우하는 화재 시 배연설비의 운전조건 강화가 요구된다.

참고문헌

1. 이동호, 고재웅 “지하철 화재 시 제연운전모드 타당성에 관한 연구”, 한국안전학회 논문지 No.9 2004, pp.205-211
2. Anthoky J. PloICASTRO, "The use of technology in preparing subway system for chemical/biological terrorism", Argonne National Laboratory, Safety and Security pp.1-20
3. Bjrn Karlsson, James G. Quintiere, "Enclosure Fire Dynamics", 2000, CRC
4. K.OPstad, P.Aune and J.E.Henning, "Fire emergency ventilation capacity for road tunnel with considerable slop", 9th International Conference on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnel, pp. 535-543
5. Y.Wu, M.Z.A Baker and G.T.Atkinson and S. Jagger,"A study of the effect of tunnel aspect ratio on control of smoke flow in tunnel fire",9th International Conference on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnel, 1997, pp.573-587
6. 이동호, 유지오, “지하철 화재시 본선터널 환기시스템에 따른 열 및 연기배출특성”, 한국화재소방학회, 제17권 제2호, 2003 pp.62-69
7. NFPA,"The SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA Third edition, 2000, Quincy, MA. 3-28