스크린도어 설치에 따른 승강장 화재안전에 관한 연구

이동호* · 황명환* · 윤성욱 · 고재웅 · 김하영**

인천대학교 안전공학과* · LG건설 연구소** · 인천대학교 안전공학과 대학원

1. 서 론

지하공간에서의 화재는 반 밀폐 공간이라는 특수성으로 일단 화재가 발생할 경우 대구지하철화재 참사와 유사한 대형 참사로 발전된 가능성은 상존한다. 지금까지의 방재계획은 화재발생 가능 범위 내를 기준으로 실시되어 왔으나, 테러와 같은 비정상적 화재발생에도 대처가능한 선까지 그 범위를 넓히고 있는 세계적 추세이다.[1] 본 연구에서는 상대식 승강장을 대상으로 스크린도어 유무와 열적파괴 및 배연조건에 따른 지하역사의 안전성 평가를 수행한다. 따라서, 본 연구는 스크린도어의 설치 유무조건과 배연설비운영 조건에 따른 지하 승강장의 안전성 에 대한 기초적 자료를 제시한다.

2. 승강장 선로부 스크린도어 설치조건 및 제연조건

대구지하철 참사를 계기 지하공간 내에서의 사고예방 및 공학적 해석에 대한 많은 관심이 기울여지고 있으며[2-5] 지금까지의 연구는 승강장 부에 스크린도어가 설치되지 않은 상태만을 고려하였으나 본 연구에서는 스크린도어의 설치 유, 무와 열적 파괴의 경계조건을 포함하여 해석을 실시하였다. 본선 및 승강장의 환기 방식 및 스크린도어 설치조건은 현재 시공 단계인 인천지하철 송도 연장선 제 5역사를 기준으로 모델링하였다. Fig.1은 본 연구에서 적용된 송도연장선 제 5역사 승강장 구조를 나타낸다.

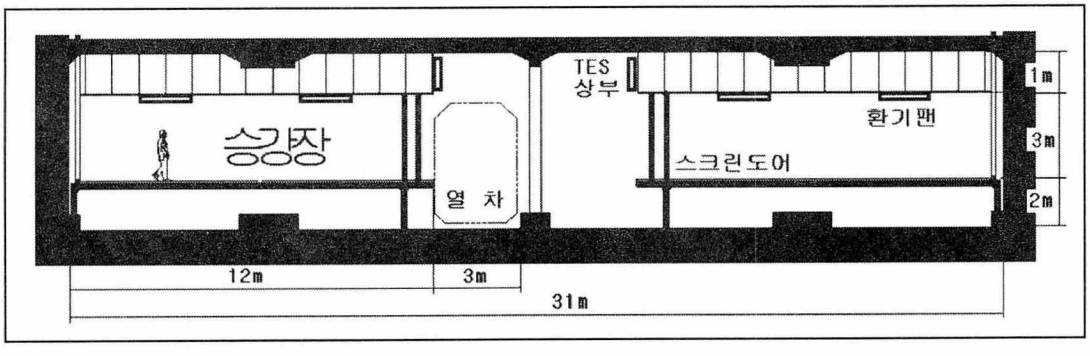


Fig1. Modelling of platform area

3. 승강장 화재해석

3.1 해 석

본 연구에서는 화재 발생에 따른 열 및 발생물질이동현상을 수치해석적으로 파악하기 위하여 미국 NIST (National Institute of Standards and Technology)의 FDS(Fire Dynamics Simulator) Ver.3을 사용하였다. 화재발생은 상행열차가 승강장에서 정차하여 중앙1량이 완전 전소되는 조건이며 발화위치는 양선로부 기준 2.6m 상부 지점으로 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 화재강도는 미국 NAFA규정에 의해 최근에 설계된 Los Angeles (21.4 MW적용)와 Boston transitway (20 MW)에 적용한 화재강도에 준하는 값으로 20 MW로 가정하였다[6]. Table 1은 스크린도어의 설치조건과 승강장 배연조건에 따른 경계조건을 나타내며 초기온도는 30℃이다.

Table 1 Boundary condition for each ventilation modes

Case	스크린도어 설치	배연조건	스크린도어 열적파괴 조건
(1)	유	무배연	205℃ 파괴
(2)	무		×
(3)	유		비파괴
(4)	유	승강장부 10만CMH 배연 및 선로부 상부 100% 배연	205℃ 파괴
(5)	무		×
(6)	유		비파괴

3.2 대피에 적합한 열환경 및 제연기준

본 연구에서는 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.[6]

4. 결 과

4.1 승강장부 평균연기농도 및 평균온도

승강장 바닥으로부터 1.5m 상부의 2차원 공간평면을 기준으로 계산된 승강장 평균 연기농도는 Sm으로, 승강장 평균 온도 Tm은 식(5)와 (6)으로 계산된다.

$$Sm = \frac{\sum(Si \cdot Ai)}{\sum Ai} \qquad (5)$$

$$Tm = \frac{\sum(Ti \cdot Ai)}{\sum Ai} \qquad (6)$$

4.1.1 승강장부 평균연기농도

Fig.2 (A)는 무배연조건을 기준으로 승강장 스크린도어설치 유무에 따른 승객대피환경에 대한 승강장 평균 연기농도의 영향평가를 나타내며 스크린도어 설치 시 스크린도어 열적파괴 현상의 유무에 대한 비교를 Case (1),(3)에 나타내었다.

스크린도어 설치, 열적 파괴현상이 포함된 실제조건인 Case(1)과 열적파괴현상이 고려되지 않은 Case(3)의 결과 비교로 파괴조건에 관계없이 60초까지 동일한 연기농도 상승의 경향을 나타내고 있다. 그러나, 60초 경과부터 30초씩 경과에 따라 약 8%의 오차 증가율을 발생하여 계산시간 240초에 도달 시 최대 48.4%의 오차를 발생하였다.

Case(1)과 (2)는 스크린도어 설치와 미설치에 따른 비교를 나타내며 스크린도어 미설치의 경우, 설치 경우보다 계산시간 240초를 기준으로 승강장 평균연기 농도가 최소 29%에서 최대42%까지 낮아지는 특성을 나타냈다. 이러한 결과는 승강장 양단으로 전파되는 열기류가 스크린도어에 의해 차단됨으로서 대피승강장으로 열축척이 심화되는 현상으로 나타났다.

Fig.2 (B)는 승강장 배연조건을 기준으로 승장장 스크린도어설치유무에 따른 승객대피환경에 대한 평균 연기농도의 영향평가를 나타낸다.

스크린도어 설치, 열적 파괴현상이 포함된 실제조건인 Case(4)와 열적파괴현상이 고려되지 않은 Case(6)의 결과 비교로 파괴조건에 관계없이 60초까지는 동일한 연기농도 상승의 경향을 나타내고 있다. 그러나, 60초 경과부터 30초씩 경과에 따라 약 7%의 오차 증가율을 발생하여 계산시간 240초에 도달시 최대 45%의 오차를 발생하였다.

Case(4)과 (5)는 스크린도어 설치와 미설치에 따른 비교를 나타내며 스크린도어 미설치의 경우가 승강장 평균 연기농도 최소 5%에서 최대 32%까지 낮아지는 특성을 나타냈다.

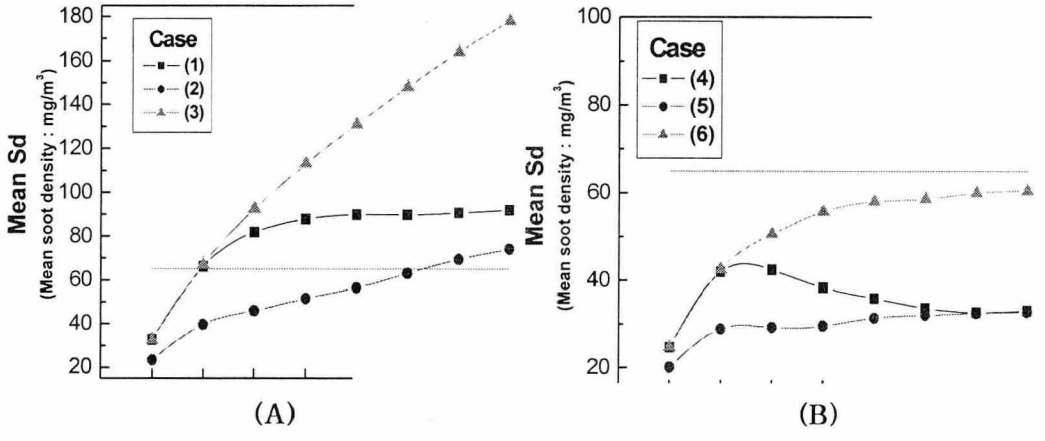


Fig.2 Mean soot concentration of platform area

4.1.2 승강장부 평균온도

Fig.3 (A)는 무배연조건을 기준으로 승장장 스크린도어설치유무에 따른 승객대피환경에 대한 승강장 평균온도의 영향평가를 나타낸다.

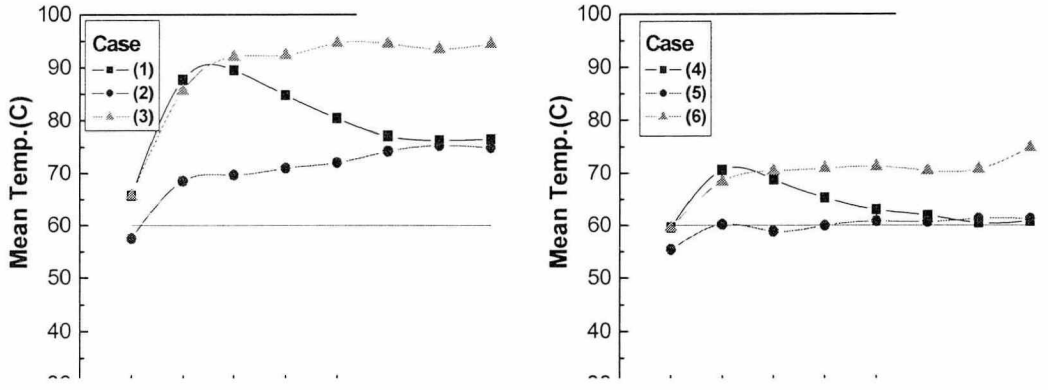
스크린도어 설치, 열적 파괴현상이 포함된 실제조건인 Case(1)과 열적파괴현상이 고려되지 않은 Case(3)의 결과 비교로 파괴조건에 관계없이 50초까지 동일한 평균 온도 상승의 경향을 나타내고 있다. 그러나, 60초 경과부터 30초씩 경과에 따라 약 3%의 오차 증가율을 발생하여 계산시간 240초에 도달 시 최대 19%의 오차를 발생하였다.

Case(1)과 (2)는 스크린도어 설치와 미설치에 따른 비교를 나타내며 스크린도어의 열적파괴가 이루어지긴 전인 120초까지는 최대 33%의 오차를 나타내나 120초 이후에는 오차가 점점 줄어들어 최종시간에 도달할수록 비슷한 온도분포 경향을 나타내었다.

Fig.3 (B)는 승강장 배연조건을 기준으로 승장장 스크린도어설치유무에 따른 승객대피환경에 대한 평균온도 영향평가를 나타낸다.

스크린도어 설치, 열적 파괴현상이 포함된 실제조건인 Case(4)와 열적파괴현상이 고려되지 않은 Case(6)의 결과 비교로 파괴조건에 관계없이 70초까지 동일한 평균 온도 상승의 경향을 나타내고 있다. 그러나, 90초 경과부터 30초씩 경과에 따라 약 7%의 오차 증가율을 발생하여 계산시간 240초에 도달시 최대 15%의 오차를 발생하였다.

Case(4)과 (5)는 Case(1)(2)의 경우와 마찬가지로 120초까지는 큰 오차를 보이나 최종시간에 도달할수록 온도분포 경향을 나타내었다.



(A) (B)

Fig.3 Mean temperature of platform area

4.2 기준을 초과하는 승강장 점유율

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

$$AC\% = \frac{A65C}{A} \quad (7) \qquad AT\% = \frac{A60T}{A} \quad (8)$$

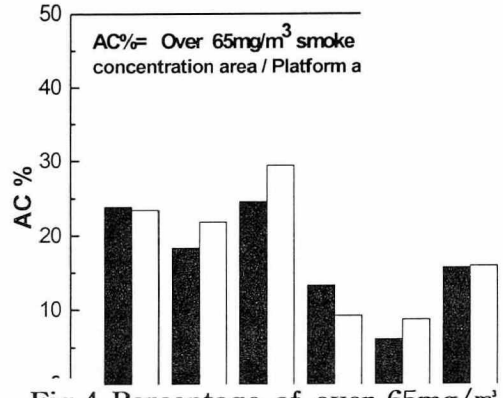


Fig.4 Percentage of over 65mg/㎥ soot concentration's share at platform

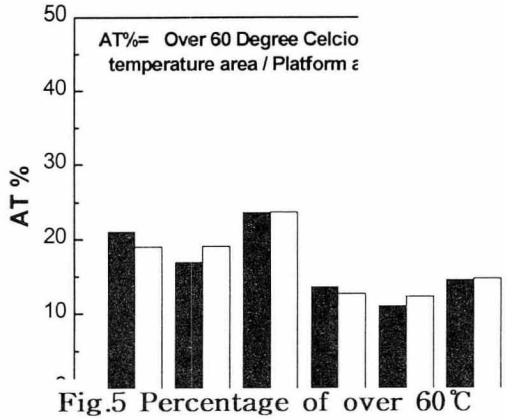


Fig.5 Percentage of over 60℃ temperature's share at platform

4.2.1 배연방식기준 65mg/㎥ 이상 농도에 의한 승강장 점유율

Fig.4는 승강장 평균 연기농도를 대상으로 무배연 화재시간 120초와 240초에 대한 대피한계 연기농도 기준 65mg/㎥의 승강장점유율을 나타낸다.

case(1)의 스크린도어 열적파괴 경계조건과 Case(3)의 비파괴 경계조건의 결과로부터 case(3)의 조건이 case(1)보다 대피한계 연기농도 기준 65mg/㎥의 승강장점유율이 높은 경향을 나타냈으며 스크린도어 미설치인 Case(2)의 경우가 가장 낮은 값인 21.8%의 대피한계 연기농도 승강장점유율로 나타났다.

배연조건인 Case(4)(5)(6)에서도 스크린도어 미설치인 Case(5)가 가장 낮은 값인 8.7%를 나타내었고 배연조건의 경우가 무배연조건의 경우보다 약 50% 낮은 승강장 점유율을 나타내었다.

4.2.2 대피기준 60℃ 이상 온도의 승강장 점유율

Fig.5는 승강장 평균 연기농도를 대상으로 무배연 화재시간 120초와 240초에 대한 대피한계 온도 기준 60℃의 승강장점유율을 나타낸다.

case(1)의 스크린도어 열적파괴 경계조건과 Case(3)의 비파괴 경계조건의 결과로부터 case(3)의 조건이 case(1)보다 대피한계 온도 기준 60℃의 승강장점유율이 높은 경향을 나타냈으며 대피한계 연기농도 기준의 승강장 점유율에서와 마찬가지로 스크린도어 미설치인 Case(2)의 경우가 가장 낮은 값인 19.1%의 대피한계 연기농도 승강장점유율로 나타났다. 배연조건인 Case(4)(5)(6)에서도 스크린도어 미설치인 Case(5)가 가장 낮은 값인 12.3%를 나타내었고 배연조건의 경우가 무배연조건의 경우보다 약 47% 낮은 승강장 점유율을 나타내었다.

5. 결 론

승강장을 대상으로 스크린도어 유무와 열적파괴 및 배연조건에 따라 지하철 승강장의 열 및 연기배출 특성을 밝히고자 각 조건의 화재해석으로부터 다음의 결론을 얻었다.

1. 스크린도어 셜치 시 열적파괴 유무에 따른 해석으로부터
   ① 무배연 시, 열적파괴를 수반하지 않는 경우가 승강장부 평균 연기농도 최대 48.4%, 최소 8%의 높은 값을 나타내었고, 평균온도의 경우 최대 19%, 최소 3%의 높은 값을 나타내었다.
   ② 배연 시, 열적파괴를 수반하지 않는 경우가 승강장부 평균 연기농도 최대 45%, 최소 7%의 높은 값을 나타내었고, 평균온도의 경우 최대 15%, 최소 3%의 높은 값을 나타내었다.
2. 화재 시 배연의 유무에 따른 해석으로부터 배연조건이 무배연 조건에 비해, 승강장 평균연기 농도 약 50%, 평균온도 21%의 낮은 값을 나타내 승객들이 대피하기에 안전한 조건을 만족하는 것으로 나타났다.
3. 스크린도어 설치 유무에 따른 해석으로부터 스크린도어 미설치 경우가 스크린도어 설치 경우보다 대피한계연기농도 기준 65mg/㎥과 대피한계온도 기준 60℃에서 낮은 승강장 점유율을 나타내었다. 따라서, 스크린도어 설치에는 기존 스크린도어 미설치에서 고려된 배연설비의 효율향상에 대한 고려가 필수적이며, 승강장 안전을 위해 스크린도어 설치가 의무조항 항목으로 고려됨에 따라 열 및 연기배출 성능을 좌우하는 화재 시 배연설비의 운전조건 강화가 요구된다.

참고문헌

1. 이상호, 이재복, "대구지하철 사고에 따른 화재 의식조사 및 방재의식변동모형에 과한 연구", 화재소방학회논문지 Vol.17, No.3 2003, pp.45-49
2. 박외철, "대구지하철역 제연의 문제점과 대책", 화재소방학회논문지 Vol.17 No.4 2003, pp.105-110
3. Anthoky J. Plolicastro, "The use of technology in preparing subway system for chemical/biological terrorism", Argonne National Laboratory, Safety and Security pp.1-20
4. Bjrn Karlsson, James G. Quintiere, "Enclosure Fire Dynamics", 2000, CRC
5. 이동호, 유지오,"지하철 화재시 본선터널 환기시스템에 따른 열 및 연기배출특성",한국화재소방학회, 제17권 제2호, 2003 pp.62-69
6. NFPA,"The SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA Third edition, 2000, Quincy, MA. 3-28