

지하역사 내 풍속이 제연경계벽의 제연 성능에 미치는 영향 연구

Effect of Wind Velocities on the Performance of Smoke Barriers in the Subway Station

박용환*, 김범규, 김희영**

Park Yong-Hwan, Kim Bum-Kyu, Kim Hee-Young,

1. 서론

지하역사 내의 화재는 소화나 피난, 피난자 구출에 있어서 많은 문제점을 안고 있다. 화재 시 발생한 연기는 지하공간내 수많은 개구부를 통하여 빠른 시간 내에 전 구역으로 확산되는 경향이 있으며, 지상 출구까지의 피난 경로가 긴 관계로 피난위험성이 매우 크다. 특히 지하터널 등 일부 개방 공간에서의 자연풍속과 열차가 터널을 통해 인근 승강장으로 진입 시의 피스톤효과로 발생하는 풍속은 지하역사내 연기확산이 더욱 빨라지는 주요인으로 작용하여 큰 인명피해를 야기 시킬 수 있다. 이러한 지하공간의 연기로 인한 위험성을 저감시키기 위한 방안의 하나로 연기저장을 통한 연기확산 지연기능이 있는 제연경계벽이 현재 거의 모든 지하역사에 설치되어 있다. 하지만, 화재안전기준에서는 제연경계벽에 대한 구체적인 성능기준을 제시하고 있지 않아 현 시설된 고정식 제연경계벽의 제연 효율성에 대한 검토가 필요한 실정이다. 이에 현행 제연경계벽에 대하여 화재 시 지하역사 내 풍속 크기에 따른 연기유동 특성 및 연기저장 효율성을 고찰하고자 실측 데이터를 근거로 시뮬레이션 해석을 수행하였다.

2. 관련 화재안전기준

지하역사의 제연설비 설치대상은 지하가로서 연면적 $1,000\text{m}^2$ 이상인 곳에 설치하도록 규정되어 있다.

Table 1. Regulation of smoke barriers (NFSC 501)

항 목	제연경계벽의 설치기준 (NFSC 501)
재 질	· 내화재료, 불연재료 또는 제연경계벽으로 인정받은 것으로 화재 시 쉽게 변형·파괴되지 아니하고 연기가 누설되지 않는 기밀성 있는 재료로 할 것.
크 기	· 제연경계의 폭: 0.6m이상·수직거리: 2m이내(구조상 불가피한 경우: 2m초과)
구조 및 기타 항목	· 배연 시 기류에 따라 그 하단이 쉽게 흔들리지 아니하여야 하며 또한 가동식의 경우에는 급속히 하강하여 인명에 위해를 주지 아니하는 구조로 할 것.

3. 현장 풍속측정 실험

실제 지하역사에서의 자연풍속 및 지하철 진, 출입 시의 평균 풍속의 크기를 측정하여 시뮬레이션의 경계조건 입력 데이터 산출의 근거로 활용하고자 하였다. 이 경우 스크린도어가 설치된 곳은 풍속의 영향을 받지 않기 때문에 대상에서 제외하였다. 승강장의 구조는 Figure 1의 양방향 철로가 서로 근접하여 열차가 진, 출입할 수 있는 상대식 승강장(relative style platform)과 Figure 2의 승강장 양쪽에 철로가 있는 섬식 승강장(island style platform)이 있다. 승강장의 구조에 따라 여러 가지 변수가 있을 수 있으나, 본 연구에서는 승강장 구조의 영향은 고려하지 않고 승강장을 통해 전철이 통과할 때까지의 풍속 값을 측정하였다.

3.1 측정 대상 및 측정 장비

* 호서대학교 소방방재학과 교수 · E-mail: yhpark@hoseo.edu

** 호서대학교 대학원 소방학과

측정대상 역사는 스크린도어가 미설치된 수도권내의 1호선~8호선 역 중 비교적 자연풍속이 빠르다고 느껴지는 28개 역의 승강장을 대상으로 하였으며, 풍속 측정 장비로서는 열선식 풍량·풍속계(TSI-8386)를 이용하였다.

3.2 측정 방법

풍속 측정은 제연경계벽 설치 지점을 기준으로 약 3~4m 안쪽 계단의 바닥으로부터 약 1.5m 되는 곳에서 측정하였으며 열차가 5대 지나가는 동안(약 320~680초)의 제연경계벽 안쪽 계단으로 들어오는 유동 풍속을 측정하여 데이터를 수집하였다.

3.3 측정 결과

Figure 3은 섬식 승강장에서 5대의 전철이 통과하는 동안 측정된 풍속 분포 결과 중 일부로서 A역을 제외하고 풍속의 변화가 비교적 심하게 나타나는 것을 알 수 있는데 이 때 풍속이 급격히 상승하는 이유는 열차의 진입 시 발생하는 기류의 유동 때문인 것으로 판단된다. 즉, 풍속이 급격히 상승 또는 하강하는 시점이 열차가 승강장에 진, 출입하고 있는 순간이라는 것을 예측할 수 있다. 최대순간풍속은 A역의 경우 약 1.8m/s, B역은 약 4m/s, C역은 약 4.5m/s, D역은 약 5.5m/s 인 것으로 나타났다. 이는 열차의 진입상황과 역사의 공간구조 및 크기, 공간 내 제연경계벽의 위치에 따라 풍속의 변화 양상 및 기류의 체류시간이 다르게 나타나기 때문인 것으로 추측된다.

Figure 4는 상대식 승강장에서의 풍속 측정 결과 중 일부를 나타낸 것으로 대부분 섬식 승강장보다 풍속 변화가 훨씬 많이 나타나고 최대순간풍속을 나타내는 피크 값도 큰 것을 볼 수 있다. 섬식 승강장과 마찬가지로 열차 진입 시에는 모든 역에서 풍속의 급격한 상승이 관찰되고 있으나 진출 시의 하강 모드는 역에 따라 상이한 것을 볼 수 있다. 최대순간풍속은 E, F, G역은 약 5.0m/s, H역은 약 5.5m/s까지 나타났다.

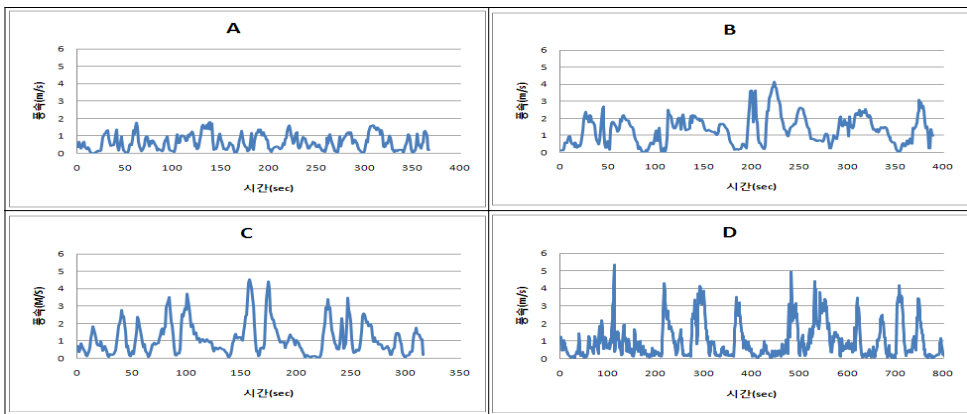


Figure 3 Velocity measurements in the island style platform

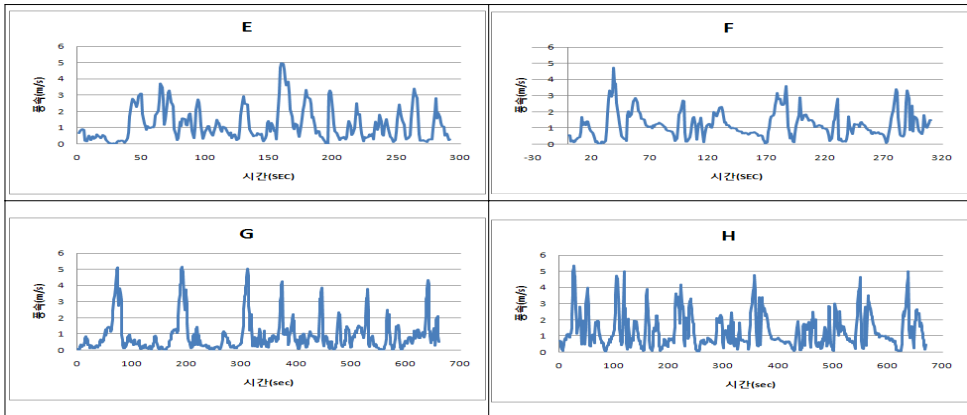


Figure 4 Velocity measurements in the relative style platform

4. 모델링

4.1 공간 구성

연기 유동을 시뮬레이션 하기 위한 해석 틀은 CFD에 기반을 두고 있는 미국 NIST사의 FDS v5.0을 사용하였다. 모델링 대상 공간은 섬식 승강장 구조를 단순화 한 대표 공간을 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. Figure 5에서 보는 바와 같이 대상 지하공간은 하층부와 상층부가 있는 2층 구조로 하였으며, 하층부 공간은 100m*12.0m*4.0m, 상층부 공간은 복도형으로 150m*12.0m*4.0m로 설정하였다. 또한, 현장과 최대한 비슷하게 모사하기 위해 승강장의 계단의 양 옆을 비워 두었고, 제연경계벽 수직 상층부에는 창살형 난간을 설정하였다. 격자의 개수는 X(가로)=150, Y(세로)=120, Z(높이)=80으로 총1,440,000개로 하였다. 그림에서 X_L 은 하층부 제연경계벽 위치를 기준으로 좌측방향, X_R 은 우측방향을 나타낸다.

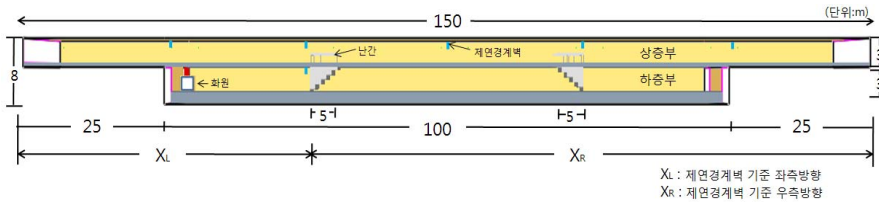


Figure 5 Description of modeling space

4.2 경계조건

풍속의 영향을 모사하기 위하여 급기부 위치를 하층부 좌측 한쪽의 개구부에 설정하였고, 급기조건은 Figure 4에 나타난 각 역사별 풍속 분포를 바탕으로 평균풍속 조건으로 각각 0.5m/s, 1.0m/s, 2.0m/s, 3.0m/s 까지로 적용하였다. 벽체는 콘크리트 재질을 하였고, 내장재는 없는 것으로 하였으며, 화원의 반응물은 폴리우레탄을 사용하여 연기가 지속적으로 방출되도록 설정하였다. 재질의 물성은 NIST사의 데이터베이스에 있는 값과 핸드북의 값을 비교 분석하여 적용시켰다. 화원의 위치는 하층부 플랫폼 좌측 2m 지점, 화원의 면적은 2.0m*2.0m, 화재성장속도는 ULTRA FAST로 가정하였고 이 때, 열방출량은 1MW/m²로 설정하였다. 또한, 화원의 높이는 연기의 위치를 천정 상층부로 제한하기 위하여 플랫폼 바닥에서부터 2.0m위치에 지정하였다. 지하역사 제연경계벽은 통상 0.6m가 일반적이거나 천정고가 높은 관계로 제연경계벽의 폭을 1.0m로 설정하였으며, 바닥에서부터 수직거리는 2.0m로 하였고, 연기감지기는 연기이동속도를 측정하기 위하여 천정부에 5.0m 간격으로 일정하게 배치하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 연기확산 지연 성능

Figure 6에서 Figure 9는 각각 역사 내 평균풍속을 0.5m/sec ~ 3.0m/sec로 가정할 경우에 제연경계벽의 유·무에 따른 연기거동을 나타내는 그림이다. Figure 6과 Figure 7에서는 연기 발생량이 동일하더라도 약한 풍속으로 인해 제연경계벽 설치 시가 미설치 시에 비해 상층부로 확산되는 연기의 양이 훨씬 적으며, 따라서 상부층 양방향의 연기확산 속도가 훨씬 느린 것을 볼 수 있다. 이는 계단층에 설치된 제연경계벽이 상부층으로의 연기확산을 상당량 지연시키기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 Figure 8과 Figure 9에서와 같이 풍속이 2.0m/s 이상일 경우에는 계단층에 제연경계벽이 설치되어 있는 경우에도 상부층으로의 연기 확산이 크게 증가하고 양방향 연기 확산 속도도 미설치 시와 크게 차이가 나지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 역사 내 하부층에서의 풍속이 일정 값 이상으로 클 경우 제연경계벽의 연기확산 지연 성능이 크게 떨어진다는 것을 말해준다.

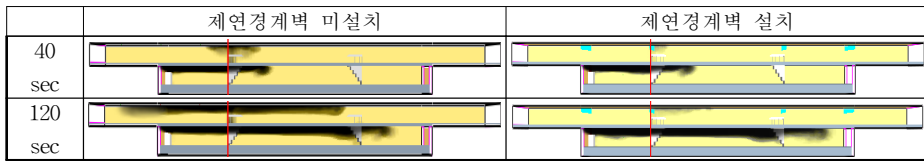


Fig. 6 Smoke movement at 0.5m/sec

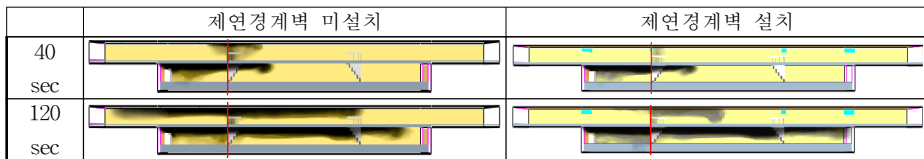


Fig. 7 Smoke movement at 1.0m/sec

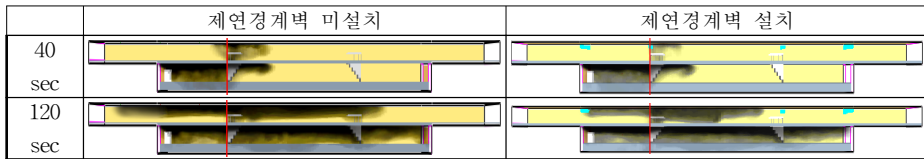


Fig. 8 Smoke movement at 2.0m/sec

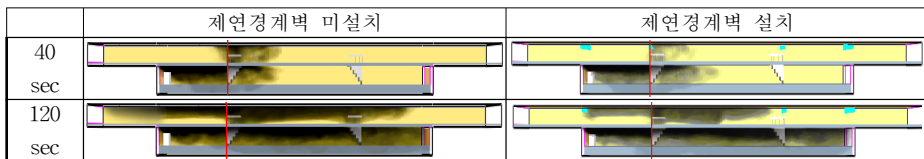


Fig. 9 Smoke movement at 3.0m/sec

5.2 연기확산속도

Fig. 10은 하부층 각 풍속 조건에서의 상부층 우측(X_R)방향의 연기이동속도를 나타낸 그래프로서 a)의 경우 계단 제연경계벽 설치시와 미설치시 간에는 큰 차이가 있는 것을 나타내고 있다. 계단 제연경계벽 설치시 상부층에서 연기가 약 50m 이동할 때까지 풍속 1.0m/s의 경우에는 약 40초, 0.5m/s의 경우에는 약 60초 정도 연기이동속도가 느린 것으로 나타났다. 풍속 2.0m/s와 3.0m/s 조건의 b)의 경우에는 제연경계벽 설치시와 미설치시 간에 상부층에서의 연기이동속도가 별 차이가 없다는 것을 나타내고 있다.

이러한 결과로 볼 때 약 2.0m/s미만의 풍속 조건에서는 계단 제연경계벽이 연기확산 지연성능을 발휘하지만 2.0m/s이상의 풍속조건에서는 연기확산 지연성능이 현저하게 떨어진다는 것을 알 수 있다.

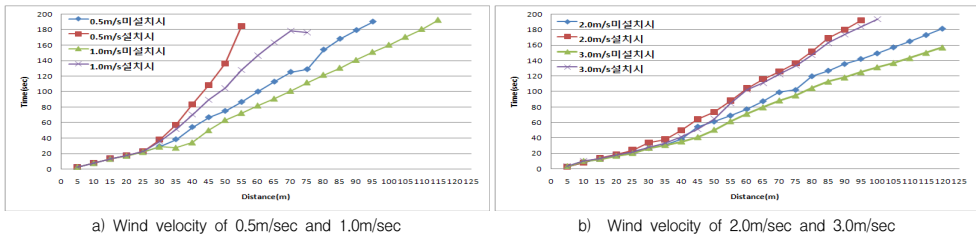


Fig. 10 Smoke movement in the direction of X_R

5.3 연기저장 모드

Fig. 11은 수평공간에서 제연경계벽이 외부 풍속조건으로 인하여 어느 정도 연기저장 성능에 영향을 받는가를 나타낸 그림으로, 풍속 0.5m/s의 저속에서는 연기저장 기능이 뚜렷하게 나타나지만, 2.0m/s에서는 발생 연기의 상당량이 경계벽 아래 바닥까지 내려가는 것을 볼 수 있다.

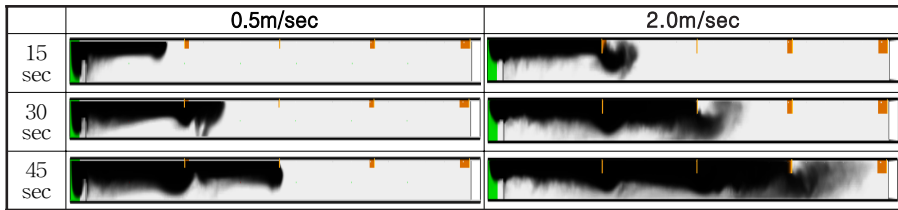


Figure 11 Smoke movements at wind velocity of 0.5m/sec and 2.0m/sec

5. 결론

지하역사내에서의 화재로 인한 연기이동 시뮬레이션 해석결과 현 화재안전기준에 따라 시설된 제연경계벽은 연기확산 지연성능 측면에서 외부 풍속에 영향을 크게 받을 수 있는 것으로 나타났다. 즉, 외부풍속이 1.0m/s 이하의 저속일 경우에는 연기저장성능이 우수하지만, 외부풍속이 약 2.0m/s 이상으로 증가하게 되면 연기저장성능이 현저히 떨어져 피난 시에 큰 장애가 될 것으로 추정된다. 이러한 결과로 비추어 볼 때 진동차진·출입 시의 풍속의 영향을 고려하지 않고 단순히 제연경계벽을 설치하게 될 경우 경우에 따라 큰 인명피해가 생길 수 있다고 본다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로는 첫째, 지하 역사 내에 발생하는 풍속이 제연경계벽에 미치는 영향을 고려한 성능 및 효율성측면에서의 세부적인 기준제시가 선행되어야 한다. 둘째, 지하철 진입 시 풍속을 억제할 수 있는 스크린도어 설치, 수직구획 및 방연구획 설정 등 제 성능이 발휘될 수 있는 여건을 갖추어 주어야 한다고 판단된다.

참고문헌

1. FDS v5.0 Users & Technical Reference, NIST Special Publication
2. NFSC 501 제연설비의 화재 안전 기준 제 4 조항, 행자부고시 제2006-35호
3. E.G. Butcher, A.C. Parell, "Smoke Control in Fire Safety Design".
4. ISO/FDIS 21927-1 Smoke and Heat control System
5. John, H. Klote., James, A. Milke., "Principle of smoke management," 2002.