

**B-14**

## 피난특성에 따른 EV 부속실 차압 및 연기거동 특성 연구

박용환\*, 김범규\*  
호서대학교 대학원 소방학과 \*

### Pressure Differentials and Smoke Movement depending on the EV Room Evacuation Behavior

Yong-Hwan Park\*, Bum-Kyu Kim\*  
Hoseo University \*

#### 1. 서 론

경제발전과 더불어 각종 건물들이 점차 고층화되어 가고 있는 추세이다. 특히 주거용 건물의 고층화에 따른 피난 대책의 일환으로 현재의 국내 화재안전기준 NFSC 501-A에서는 특별피난계단의 계단실 및/또는 부속실 급기가압 제연시스템을 적용하도록 하고 있다. 현재 우리나라의 많은 고층건물에서는 건물 특성상 계단실 급기가압보다는 부속실 급기가압 시스템을 적용하는 경우가 많으며, 이 때 옥내와의 최소차압은 40Pa 이상(옥내에 스프링클러설비가 설치된 경우에는 12.5Pa 이상), 방연풍속은 0.7m/s 이상, 출입문의 개방력은 110N 이하로 규정하고 있다. 이에 따라 대부분의 급기가압에 사용되는 자동과압차압조절댐퍼는 화재 시 차압을 50±10Pa로 동작하도록 제작되고 있다. 하지만 고층건물의 특성상 현장 화재실험이 어렵기 때문에 실제 피난 시 어떤 문제가 발생할 수 있을지에 대해서는 제대로 연구된 바가 없다.

본 연구에서는 화재 모델링 기법을 이용하여 EV 부속실 급기가압제연 시 거주자 피난으로 인한 현관문과 계단문의 개폐특성에 따른 연기의 유동 특성과 이때의 부속실과 화재실 간에 차압 및 방연풍속 변화를 살펴보고자 하였다. 이 때 급기댐퍼 차압공의 기준압은 화재실 압력으로 설정하였다.

#### 2. 이론적 배경

##### 2.1. 급기풍속

NFSC 501 제8조 5항 기준에 의거하여 예상 제연구역에 유입되는 순간의 수직덕트의 풍속은 다음과 같이 산출된다. 이 때 댐퍼의 급기풍속은 5m/s 이하로 한다.

$$\text{수직덕트의 풍속} = (\text{댐퍼면적/풍도면적}) \times \text{댐퍼풍속} \quad (1)$$

##### 2.2. 틈새면적

NFSC 501A에 의하면 출입문에서의 틈새면적 산출식은 다음과 같다.

$$A = (L/\ell) \times A_d \quad (2)$$

- 단, A : 출입문의 틈새면적(m<sup>2</sup>)
- L : 출입문 틈새의 길이(m).  
 다만 L의 수치가 ℓ의 수치 이하인 경우에는 ℓ의 수치로 할 것.
- ℓ : 표준출입문의 틈새길이(m)  
 (외여단이문이 설치되어 있는 경우에는 5.6, 쌍여단이문이 설치되어 있는 경우에는 9.2, 승강기의 출입문이 설치되어 있는 경우에는 8.0)
- Ad : 표준출입문의 누설면적(m<sup>2</sup>)  
 (외여단이문으로서 제연구역의 실내 쪽으로 열리도록 설치하는 경우에는 0.01, 제연구역의 실외 쪽으로 열리도록 설치하는 경우에는 0.02, 쌍여단이문의 경우에는 0.03, 승강기의 출입문에 대하여는 0.06)

2.3 수직풍도의 면적

수직풍도의 면적은 자연배출식의 경우 풍도길이 100m 이하의 경우 다음 식으로 산출된다.

$$A_P = 0.5Q_N \tag{3}$$

- 단, A<sub>P</sub> : 수직풍도의 내부단면적(m<sup>2</sup>)
- Q<sub>N</sub> : 수직풍도가 담당하는 1개 층의 제연구역의 출입문(옥내와 면하는 출입문을 말함) 1개의 면적과 방연풍속을 곱한 값(m<sup>3</sup>/s)

3. 모델링

본 연구를 위하여 미국 NIST에서 개발되어 전 세계적으로 활용되고 있는 화재모델링 프로그램인 FDS v4.07을 사용하였으며, 이의 활용에 대한 제반 사항은 해당 매뉴얼에 따르도록 하였다.

3.1 공간구성 및 치수

본 모델링의 대상 공간으로는 우리나라 고층아파트의 대표적인 표준 공간 중의 하나라고 할 수 있는 침실, 거실, 주방, 다용도실, 현관, 욕실, 베란다, 승강장 및 계단실 등으로 구성되어 있는 중형 아파트 구조로 하였다. 화재의 발생 위치, 가연물의 종류 및 양, 거실 구조나 출입문의 개폐여부 등에 따라 화재 성장 특성이나 거주자의 피난 특성도 크게 달라지는데 본 연구에서는 급기가압제연에 따른 연기유동 특성을 고찰하는 것이 주목적이므로 내부 출입문이 모두 닫혀 있을 때의 거실 화재로 단순화 하였다. 계산 시간을 단축하기 위하여 모델링에 반영한 공간은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 침실이나 욕실 공간 등은 제외하고 다만 제외된 공간의 틈새면적만 고려하였다. 공간의 높이는 2.3m, 바닥 두께는 0.2m, 구획벽의 두께는 0.1m로 가정하였으며, 거실의 크기는 4.5m\*11.8m, 현관의 크기는 1.0m\*6.4m, 승강기(EV)실의 크기는 4.5m\*4.6m, EV 부속실의 크기는 4.5m\*1.8m, 계단실의 크기는 4.5m\*3.2m를 적용하였다.

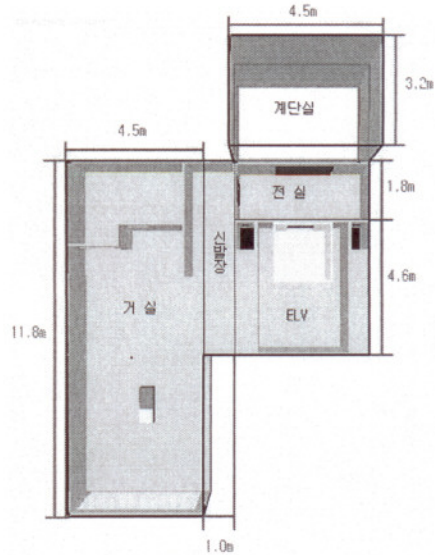


Fig.1. 공간 치수 및 구성

### 3.2 경계조건

#### 3.2.1 배기구

일반적으로 제연이 원활하게 이루어지기 위해서는 급기와 함께 배기가 이루어 질 수 있는 배기구가 필요하다. 그러나 화재안전기준에 의하면 아파트의 경우 공간적 제약 특성으로 인하여 거실 공간에 별도의 배기구를 설치하지 않아도 되기 때문에 배기구는 없는 것으로 하였다.

#### 3.2.2 누설틈새

아파트 내부의 문이 모두 닫혀 있는 경우 각 출입문에서의 누설틈새와 누설량은 식 (2)에 근거하여 표 1과 같이 산출되었다.

표 1 각 출입문에서의 산출누설틈새와 반영누설틈새

	문의 종류	크기(m)	갯수	산출누설틈새(m <sup>2</sup> )	반영누설틈새(m <sup>2</sup> )
거실 방문	외여닫이문	0.8x2.0	6	0.12	0.1
현관문	외여닫이문	0.8x2.0	1	0.02	0.1
계단실 방화문	쌍여닫이문	2.0x1.9	1	0.032	0.1
승강기문	쌍여닫이문	1.0x1.9	1	0.06	0.1

#### 3.2.3 급기가압 댐퍼의 면적

급기가압 댐퍼의 개구부 크기는 제연구역의 바닥면적의 크기와 격자 크기의 한계성을 고려하여 약 0.2m<sup>2</sup>를 적용하였다. 이때 수직풍도 단면적 크기는 식(3)에 의거하여 0.54m<sup>2</sup> 로 산출되었으며, 댐퍼 풍속은 기준압에 따라 약 Vd=2.0~2.5m/s, 풍도풍속은 0.55~0.6m/s 범위 내에서 각각 조정하였으며, 40~60Pa의 차압유지를 위해 댐퍼 날개의 개폐 정도를 본 모델링에 반영토록 하였다.

#### 3.2.4 재질의 물성치

벽체는 콘크리트 재질로 하였고, 따로 내장재는 없는 것으로 하였다. 반응물은 폴리우레탄을 사용하였으며, 화염과 연기는 화원을 통해 지속적으로 방출하도록 설정하였다. 재질에 대한 물성치는 FDS 내의 데이터베이스에 있는 값이나 핸드북의 값을 적용하였다.

### 3.3 화재 시나리오

화재는 급기가압 제연설비가 갖추어져 있는 층에서 거실화재가 발생한 것으로 하였으며, 화원의 위치는 거실(화재실)의 중앙부에서, 화원 크기는 0.5m\*0.5m로 가정하였다. 화재성장특성은 극한 상황을 고려하여 t<sup>2</sup> 화재성장곡선의 ultrafast 화재로 가정하였으며 최대열방생률을 1MW로 가정하였다.

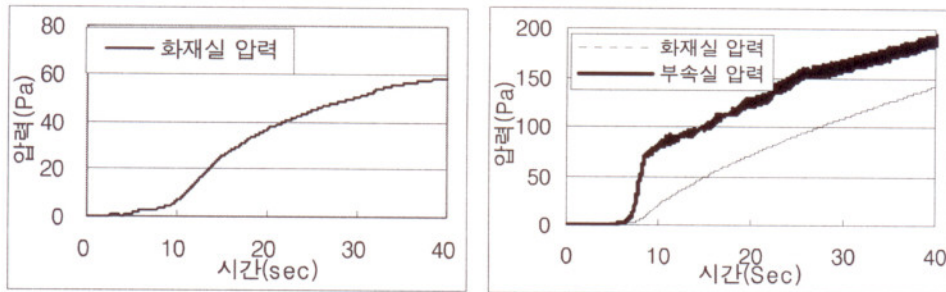
급기가압 방식은 많은 고층아파트에서 채택하고 있는 부속실 급기가압 방식으로 하였고 댐퍼 작동 시기는 거실 내 연기감지기가 작동 하는 시점에 작동하는 것으로 하였다. 화재 시 피난에 따른 현관문과 부속실 계단문의 개방 여부에 따른 연기거동 특성을 분석하였다.

## 4. 결과 및 고찰



#### 4.1 급기가압 시의 화재실 및 부속실 압력

Fig. 2는 1MW 화재 시 자동차압조절 급기댐퍼 가동 하지 않았을 경우와 가동 했을 경우에 화재실 및 부속실의 게이지압을 각각 나타낸 것으로 화재실의 압력은 화재가 지속됨에 따라 지속적으로 상승하고 있으며, 이에 따른 급기댐퍼의 자동 차압조절 기능에 의해 부속실 압력도 상승하는 모습을 나타내고 있다. a)는 급기가압을 하지 않는 경우로서 b)의 경우보다 압력 이 낮게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 b)의 경우가 현관문의 누설 틈새로의 공기 유입으로 인하여 화재실의 압력이 더욱 많이 상승하기 때문이다. 그러나 b)에서 나타나는 것과 같이 화재실 압을 기준으로 하였을 경우 부속실과 화재실의 차압은 화재실 압력 상승에도 불구하고 일정하게 유지가 되고 있음을 알 수 있다.



a) 댐퍼 미 작동 시                      b) 1MW 화재에서의 댐퍼 작동 시  
Fig. 2 급기가압댐퍼 작동 유무에 따른 화재실 및 부속실 압력

#### 4.2 현관문 개방 및 계단문 미개방 시의 차압 변화

Fig. 3은 화재 발생으로 부속실 급기가압이 이루어지고 이 때 거주자가 피난을 위하여 화재 발생 약 12초 후 현관문을 개방하고 피난 후 다시 현관문을 닫았을 경우의 차압 변화를 나타낸 그래프이다. 그림에서 보듯이 댐퍼 작동과 동시에 기준차압 범위 내에서 자동차압 조절이 잘 이루어지고 있으며, 현관문을 개방할 경우 차압은 순식간에 0Pa로 되는 것을 볼 수 있다. 이는 현관문 개방으로 부속실과 화재실간의 압력이 평형을 이루는 과정으로 분석된다. 이 후 현관문이 다시 닫히게 되면 차압이 약 200Pa대까지 급속도로 증가한 후 다시 자동차압조절 기능에 의하여 기준차압 범위내로 도달하게 되는데, 이 과정에서 차압이 기준차압 이상으로 과도하게 올라가 있는 경우에는 화재실 안의 또 다른 거주자가 현관문을 개방하기는 어려울 것으로 예상된다.

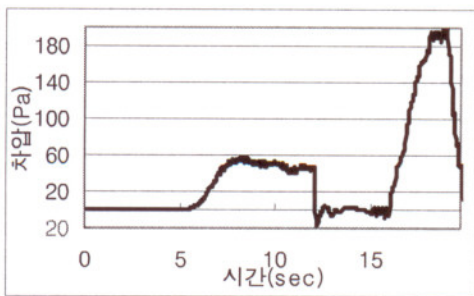


Fig. 3 현관문 개방 및 폐쇄시의 차압변화

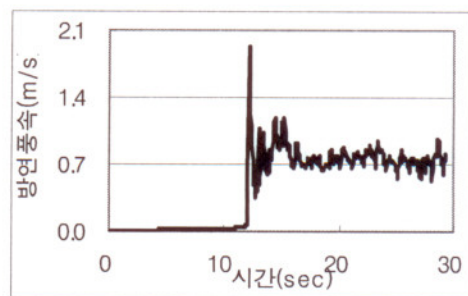
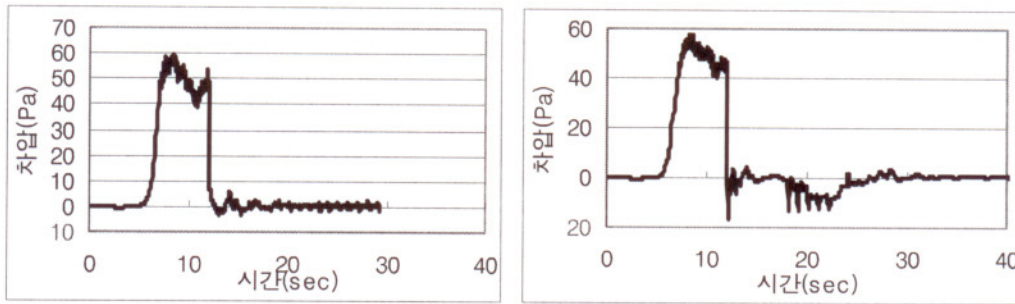


Fig. 4 현관문 개방 시의 평균방연풍속

이때 현관문에서의 방연풍속은 계산 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 기준방연풍속 0.7m/s 이상으로 유지되는 것으로 나타났다.

#### 4.3 현관문과 방화문 동시 개방 시의 차압 변화

피난을 위하여 현관문이 개방된 후 바로 계단실 방화문이 동시에 열리거나, 평소 계단실 방화문이 열려 있는 상태에서 화재발생으로 현관문이 열리는 상황이 발생할 수 있으며 Fig. 5a)와 Fig. 5b)는 각각 현관문만 개방 시와 현관문과 계단실 방화문 동시 개방 시의 차압 변화를 나타낸 그래프이다. 자동차압조절에 의해 40~60Pa의 차압을 유지하다가 현관문이 개방 된 후에는 차압형성이 전혀 되지 않는 것을 볼 수 있으며, 동시 개방의 경우 현관문만 개방 했을 때보다 부속실 내 압력이 순간적으로 더 떨어지게 되며 이후 압력 평형을 이루어 차압이 0Pa이 되는 것을 볼 수 있다.



a) 현관문만 개방 시의 차압      b) 현관문, 방화문 동시 개방 시의 차압  
Fig. 5 현관문 및 방화문 개폐 시나리오에 따른 차압 변화

#### 4.4 연기유동

Fig 6은 각각의 시나리오에 대한 화재실, 부속실, 계단실로의 연기유동을 나타내는 것으로 현관문 개방에도 불구하고 부속실 급기가압에 의하여 화재실의 연기가 부속실로 유입되지 못하고 있다.

반면 현관문과 방화문 동시 개방의 경우에는 적정 풍량의 급기가압에도 불구하고 화재실의 연기가 부속실로 그리고 다시 계단실로 유입되는데, 이는 급기가 이루어지더라도 열린 방화문을 통해 상당량의 공기가 계단실로 유출됨으로 인해 적정 차압은 고사하고 화재실 압력보다 낮은 부압이 형성되기 때문으로 분석된다. 이는 피난안전공간으로 설정된 EV 부속실이나 계단실이 위험한 상황에 놓일 수 있음을 나타낸다.

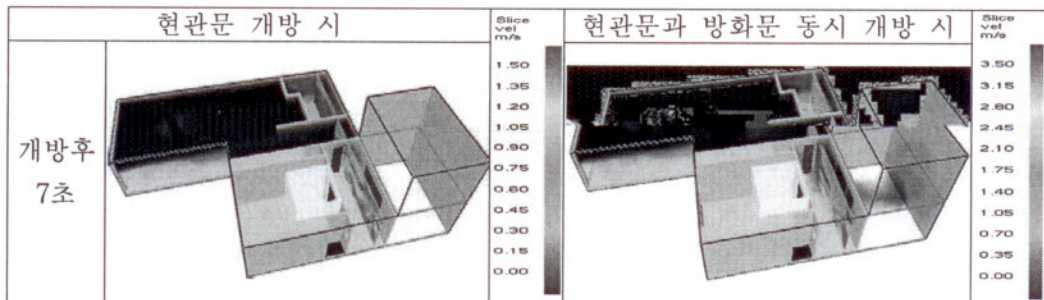


Fig. 6 현관문과 방화문 개방 시의 연기유입



## 5. 결론

본 연구 결과 1MW 화재 시 급기압댐퍼 작동 시에는 현관문 틈새를 통한 공기 유입으로 화재실 및 부속실 모두 절대압이 크게 상승하는 결과를 가져왔으며, 이는 피난으로 계단실 방화문이 개방 후 다시 닫히지 않아 부속실내의 차압형성이 안 되는 문제점이 예상되었다. 따라서 화재실압이 지속적으로 상승하지 않도록 거실에 별도의 개구부가 필요한 것으로 판단된다.

적정 차압이 형성된 후 현관문 개방 시에는 적정방연풍속이 발생하는 것으로 나타났으며, 현관문이 닫힐 경우 순간적으로 200Pa 정도의 높은 차압이 형성되어 이 시간 동안에는 화재실 안의 또 다른 거주자가 현관문을 개방하기는 어려울 것으로 예상되었다. 과압 시간이 비교적 짧다면 별 문제가 되지는 않지만 그렇지 않을 경우에는 부속실에 과압조절용 플랩댐퍼의 사용 등을 검토할 필요가 있는 것으로 나타났다.

현관문만 개방 시에는 방연풍속이 유지되어 부속실로의 연기유입이 일어나지 않았으나, 현관문과 계단실 방화문이 동시에 개방되어 있을 경우에는 적정방연풍속이 생성되지 않아 부속실 및 계단실로의 연기유입이 발생하는 것으로 예측되었다. 따라서 피난 시에는 현관문을 반드시 닫은 후 계단실 방화문을 개방하도록 사전 교육이 필요한 것으로 나타났으며, 또한 계단실 방화문이 평소에 개방되어 있더라도 화재 시에는 자동으로 폐쇄되는 기능의 자동도어클로즈형 방화문의 사용이 강력히 요구된다고 하겠다.

## 6. 참고문헌

- 1) NFSC 501-A, 특별피난계단의\_계단실및\_부속실 제연설비, 소방방재청, 2007.
- 2) FDS v4.07 Users & Technical Manual, BFR/L/NIST Special Publication, 2006.
- 3) E.G. Butcher, A.C. Parell, "Smoke Control in Fire Safety Design".
- 4) John, H. Klote., James, A. Milke., "Principle of smoke management," 2002.
- 5) Fire precautions in design, construction and use of buildings, Part 4. Code of Practice for smoke control using pressure differentials, BSI, 1998.