

## 부속실 급기가압제연시 차압변화에 관한 실험적 연구

김범규, 박용환\*, 김홍식\*\*

\* 호서대학교 소방방재학과 \*\* 중앙소방학교 소방과학연구실

### An Experimental Study on the Pressure Differentials during the Pressurized Air Supply to the Elevator Lobby

Kim, Bum-Kyu · Park, Yong-Hwan\* · Kim, Hong-Sik\*\*

\* Hoseo University \*\* National Fire Service Academy

#### Abstract

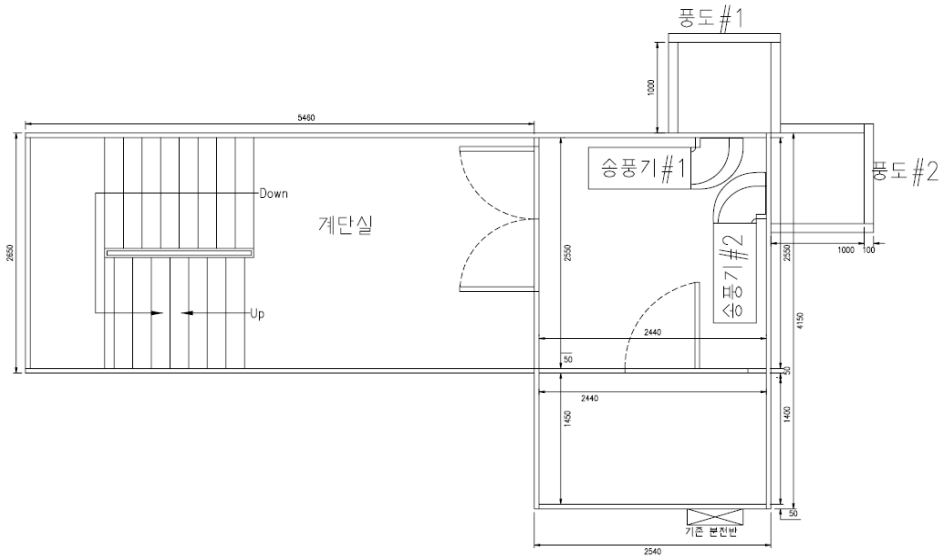
A fire should be accompanied by the heat and smoke. However, smoke is considered main cause of heavy casualties. Smoke easily spreads away from the fire area to remote space and cause mortal wound for the resident. A technical way effectively protecting the life and property from the smoke is the smoke control system of the building. Pressurized air supply system can be considered to prevent the refuge area from the smoke infiltration that evacuate residents via evacuation route for life safety. This paper is related with performance estimation and the effectiveness of the pressurized air supply system through experiments.

**Keyword** : smoke control, air supply system, differential pressure.

#### 1. 서 론

최근, 건축물이 고층화, 심층화, 대형화 및 용도의 복합화, 다양화 되어감에 따라 화재 시 재산피해 뿐만 아니라 거주자의 인명안전 문제가 중대한 문제로 대두되고 있다. 특히, 생활수준의 향상으로 직통계단식 공동주택의 경우 고층화, 심층화되어 가고 있으며, 이러한 건축물들이 급격히 증가하고 있는 실정이다. 이 중, 고층화, 밀집화, 대형화되고 있는 추세를 보이고 있는 직통계단식 공동주택 및 아파트의 경우 다른 건물과 달리 유아, 노인 등 다양한 거주자들로 구성되어 있어 화재발생건수에 비해 인명피해가 높게 나타나므로 화재발생 시 신속한 경보 및 안전한 피난동선의 확보를 통해 거주자의 안전을 보장하는 것이 가장 우선적으로 고려되어야 할 사항이다. 현 화재안전기준에서는 직통계단식 공동주택 부속실 급기가압 시 부속실과 화재실의 차압을 40Pa이상(스프링클러 미설치)으로 유지하는 것을 법제화하고 있다. 그러나 부속실의 차압유지는 화재실 내의 압력변화 및 부속실 내에 존재하는 화재실문과 계단실문의 개·폐조건, 개·폐 횟수, 개·폐 상태에 따라 부속실에 큰 차압변화를 주게 되며 피난자의 수나 행동특성에 따라 많이 달라질 수 있게 된다. 이로 말미암아 화재 시 피난안전공간인 부속실로의 연기침투가 발생할 가능성이 높





a) Second floor

Figure 1 Drawing of the experimental space



a) Window with cover



b) Door closure



c) Smoke control damper



d) Front door



e) Staircase door



f) Blower

Figure 2 Experimental apparatus and structures

화재실은 창문(650mm\*500mm), Figure 2-d)와 같이 방화문으로 구성하였으며 화재실문에 장착된 도어클로저는 저차압용으로 설치하였다. 창문 폐쇄는 시로 가정할 경우 Figure 2-a)와 같이 덮개를 설치할 수 있도록 구성하였다. 화재실 차압측정을 위해 천정 중앙부에 차압측정공을 설치하여 계단실에 설치된 차압계를 통해 차압 값을 확인할 수 있게 하였다. 부속실의 장치구성은 일정 설계차압(40~60Pa)으로 자동제어해주는 자동차압·과압 조절형댐퍼 Figure 2-b), 도어클로저 Figure 2-c)로 구성하였다. 그 외 연기감지기, 시각경보기, 발신기함, 계단실문으로 구성하였다. 계단실문에는 문 상단에 도어클로저를 설치하였고 계단실에서 부속실을 관찰할 수 있도록 계단실 Figure 2-d)와 같이 양쪽 문에 강화유리를 설치하였다. 송풍기는 실험동의 2층에 설치하였으며 부속실 상부 2층에서 1층으로 급기되도록 설치하였다. 송풍기는 Figure 2-f)와 같으며 3상 380V 3HP(2.2Kw) 감속기/벨트 방식으로 하였으며 풍도는 최대차압 값이 1,000Pa인 풍도차압 조절이 가능한 것으로 설치하였다.

## 2.2 측정장비

차압을 측정하기 위해 풍도, 부속실과 화재실에 각각 차압계(ULFA Tech., PLT-1000PA)를 설치하였다. 차압측정은 급기풍도의 경우 1000Pa, 화재실과 부속실은 200Pa까지 측정할 수 있도록 설정하였고, 데이터(차압) 수집은 저항, 전압, 온도를 초당 최대 250채널 스캔이 가능한 데이터 수집장치(Agilent 34970A)로 하였으며, 제어패널에서 출력된 가변저항을 압력 값으로 환산하여 장치에 입력 후 데이터를 획득하였다. 사양은 Speed: 60ch/sec, Max Voltage: 300V, Max Current: 1A이며, 모듈은 (34970A-20), 82357B - USB/GPIB Interface HIGH-Speed usb 2.08 케이블로 구성되어 있다.



a) Pressure differential gauge



b) Data logger

Figure 3. Pressure differential gauge and data logger

## 3. 실험방법

차압측정실험은 화재실 내 개구부가 부속실 차압변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 Table 1과 같은 피난시나리오를 설정하여 부속실차압변화가 피난안전성에 미치는 영향을 분석하는데 그 목적을 두었다. 이에, 차압측정은 피난상황을 재현하고자 실험자가 직접 행

동을 취해 피난 상황을 모사하였으며 그 때의 부속실과 화재실의 차압을 데이터수집장치를 통해 각 시나리오별로 약 30초간 측정하였다. 단, 화재실내는 비화재 조건이며 현관문에서의 방연풍속은 0.7m/s 이상이 형성되는 조건 하에 실험을 수행하였다. 피난상황 별로 모사한 시나리오는 Table 1과 같다.

Table 1 Establishment of scenario

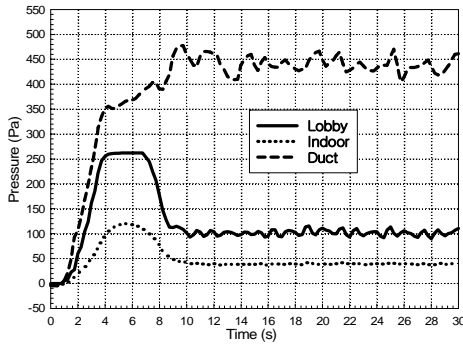
화재실개구부 미개방 시	화재실개구부 개방 시
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시나리오 1: 화재실문 및 계단실문 미 개방 (댐퍼작동 시)</li> <li>· 시나리오 2: 댐퍼작동 15초 후 화재실문 개방 후 폐쇄</li> <li>· 시나리오 3: 댐퍼작동 15초 후 계단실문 개방 후 폐쇄</li> <li>· 시나리오 4: 댐퍼작동 15초 후 화재실문 개방/폐쇄 후 계단실문 개방/폐쇄 (순차적 개방)</li> <li>· 시나리오 5: 댐퍼작동 15초 후 화재실문 및 계단실문 일시적 동시개방</li> </ul>	

## 4. 결과 및 고찰

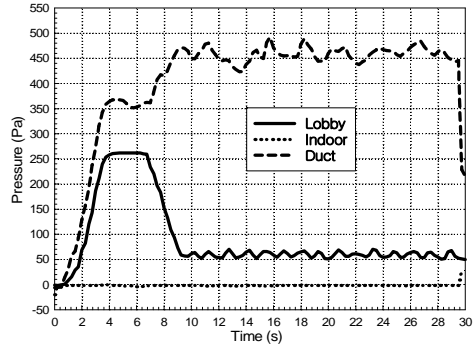
### 4.1 화재실문 및 계단실문 미개방 (시나리오 1)

Figure 4는 화재실문 및 계단실문을 미개방 하였을 경우의 차압분포를 나타낸 그래프로서 두 그래프 모두 댐퍼 작동 후 약 4초가 경과했을 때 부속실차압이 약 250 Pa로 최대를 나타내다가 자동으로 설계차압(40~60 Pa)을 유지하기위해 감소하는 것을 보인다. 즉, 부속실과 화재실의 기압차(차압)가 40~60 Pa로 안정되는 시간은 약 10초 정도 소요됨을 알 수 있었는데 이는 높은 과압으로 인해 피난 시 화재실문이 열리지 않게 되는 상황이 생길 수 있다는 문제점을 나타내고 있다. 이를 방지하기 위해서는 화재실감압 및 플램댐퍼 설치 등의 과압방지조치를 고려해야 한다고 판단된다.

또한, 약 4~8초경 Figure 4-b)가 Figure 4-a)보다 화재실과 부속실의 차압이 약 120Pa 정도 더 높게 나타나는 것을 알 수 있는데 이는 화재실내의 개구부가 열려있어 부속실 급기가압 시 화재실로 유입된 기류가 쉽게 배출되기 때문으로 분석된다. 이는 화재실에 개구부가 있을 경우에 화재실 개구부를 통해 빠져나가는 기류로 인해 부속실과의 차압범위가 증가하여 오히려 초기(약 4~10초)피난 시 화재실문의 개방을 어렵게 할 수 있다는 것을 말해준다.



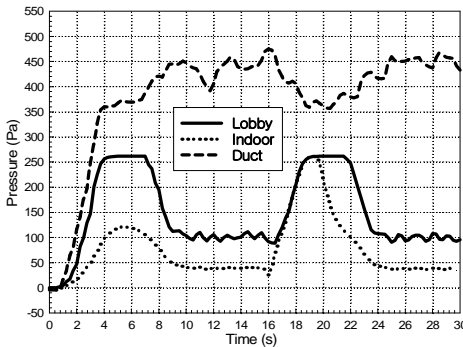
a) Window close position



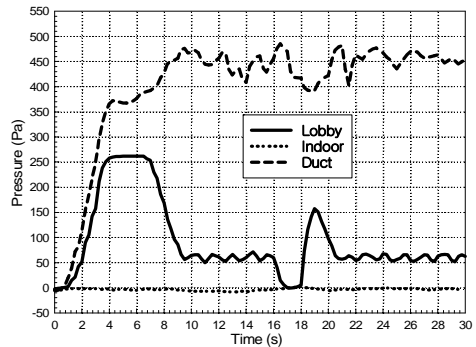
b) Window open position

Figure 4. Pressure differential with door closed

#### 4.2 화재실문 개방 후 패쇄 (시나리오 2)



a) Window close position



b) Window open position

Figure 5. Pressure differential with open/close of front door

Figure 5는 댐퍼작동 후 약 15초경과 뒤 화재실문을 열고 닫았을 때의 시간에 따른 부속실과 화재실의 기압(차압)분포를 나타낸 그래프이다. Figure 5-a)의 경우 화재실문이 열리는 순간(15초)부터 부속실차압이 250 Pa까지 상승하고 약 18초에 문이 닫히도 약 3초 정도 이 상태를 유지한 뒤 24초 이후에 안정화되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 차압이 안정화되는 소요시간이 길게 나타나는 이유는 화재실에 누설틈새가 없어 화재실에 단시간 체류하는 기류로 인해 부속실과 화재실의 설계차압회복시간이 길어지기 때문으로 분석된다. 반면, Figure 5-b)의 경우는 Figure 5-b)와는 다르게 화재실문이 열리는 순간(15초) 약 1~2초내에 부속실 차압이 0 Pa로 떨어지다가 문이 닫히는 순간 차압이 다시 급격히 올라가는 (약 150~200 Pa) 것을 알 수 있는데 이는 화재실의 개구부를 통해 빠져나가는 누설량이 부속실차압유지에 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다. 위의 결과로 볼 때, 화재실에 개구부가 없을 경우 화재실문 개방 시 설계차압회복시간이 길기 때문에 부속실로의 연기침투의 문제점이 발생될 것으로 판단되며, 개구부가 있을 경우에는 화재실문이 닫

히는 순간에 발생되는 순간 과압형성으로 인해 제2의 피난자가 순간적으로 문을 열기 힘든 상황을 초래할 가능성이 높을 것으로 예상된다.

#### 4.3 계단실문 개방 후 폐쇄 (시나리오 3)

Figure 6은 댐퍼작동 약 15초 후 계단실문을 개방 후 폐쇄 하였을 경우 Air Hole이 닫혔을 때의 부속실과 화재실의 기압(차압)분포를 나타낸 것이다. Figure 6-a)의 경우, 약 15 초에 계단실문을 열게 되면(15초) 부속실차압이 급격히 떨어진 뒤 닫히는 순간(18초) 상승하는 형태를 나타내었다. 이 때, 댐퍼에서 배출되는 급기풍량으로 인해 계단실문이 매우 천천히 닫히는 문제점을 발견할 수 있었는데 이는 저차압용 도어릴리저의 때문인 점도 있지만 화재실문의 누설틈새를 통해 화재실 개구부로 빠져나가는 누설량이 적어 계단실문에 미치는 기류의 영향이 크기 때문에 나타나는 현상 때문인 것으로 판단된다. 반면 Figure 6-b)의 경우에는 화재실 개구부를 통해 빠져나가는 기류로 인해 계단실문에 미치는 기류의 영향이 적게 나타나 저차압용 도어릴리저에도 불구하고 문이 닫히는 것을 관찰할 수 있었다.

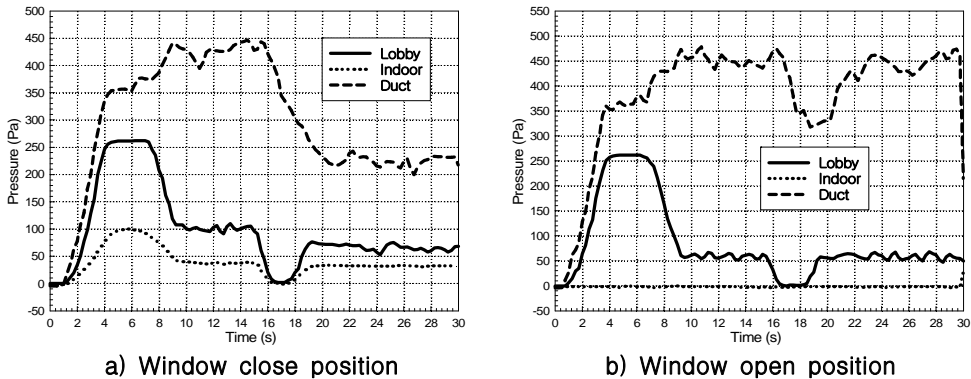


Figure 6. Pressure differential with open/close of staircase door

#### 4.4 화재실문 개방/폐쇄 후 계단실문 개방/폐쇄 (시나리오 4)

Figure 7은 댐퍼작동 약 15초 후 화재실문 개·폐 후 순차적으로 계단실문을 개·폐쇄 하였을 경우 부속실과 화재실의 기압(차압)을 나타낸 그래프다. Figure 7-a)의 경우 초기에 부속실과 화재실의 차압차가 약 60 Pa를 유지하다가 화재실문과 계단실문 개방 폐쇄 후에는 부속실과 화재실간 차압이 약 20 Pa로 감소한 것을 볼 수 있다. 15초에 화재실문이 열리는 순간 부속실차압이 화재실에 직접적인 영향을 미쳐 부속실과 화재실간의 차압은 거의 같게 나타났으며 두 실 모두 250 Pa까지 상승하였다. 또한, 계단실문이 닫히는 시간이 지연되어 두 실 모두 차압이 0Pa인 상태로 약 6초간 지속되다가 약 22초에는 부압까지 발생하였다. 이는 화재실 및 계단실문이 순차적으로 개방되게 되면 화재실문 개방 시 손실되었던 부속실의 설계차압이 회복되기도 전에 계단실문이 열리게 되면 부속실과

화재실과의 차압 값이 같아지거나 부압이 형성되어 연기의 급속한 확산이 일어날 수 있다는 것을 말해준다. 반면, Figure 7-b)의 경우에는 화재실문이 닫히는 순간 부속실의 차압이 약 150Pa까지 순간상승하는 것을 제외하고 큰 차압변화를 나타내지 않았다. 이는 화재실개구부가 개방 되어 있으면 부속실기압이 화재실을 통해 밀폐 시 보다 급격히 배출되므로 부속실차압을 설계차압으로 회복시키기 위해 자동차압·과압조절밸브의 반응도 빠르게 나타나게 된다는 것을 나타낸다. 이로 인해 화재실문 개방 시 떨어진 부속실차압은 화재실문이 닫힌 직후 급격히 상승하고 바로 계단실문을 개방하면 다시 하락하는 양상을 보이는 것을 알 수 있다.

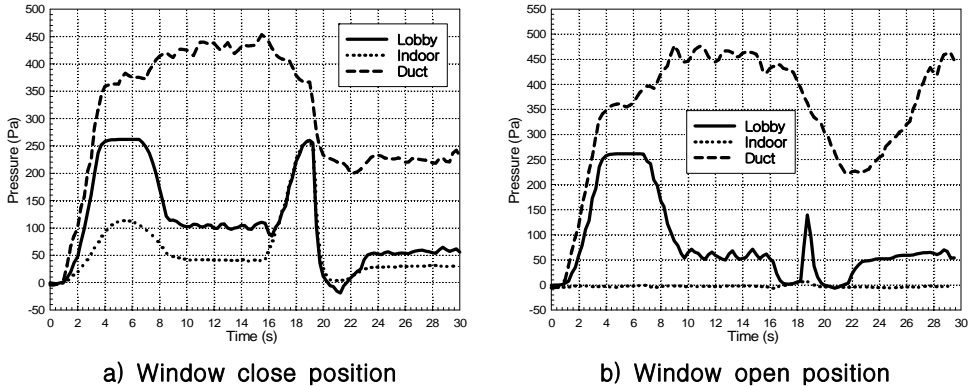
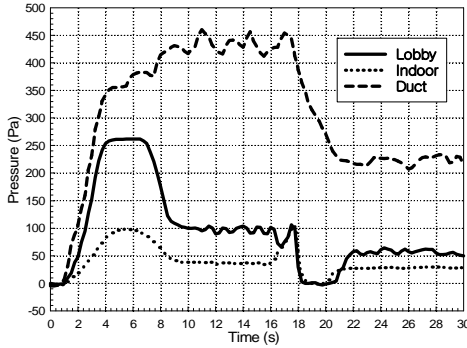


Figure 7. Pressure differential of staircase door and front door with open/close consecutively

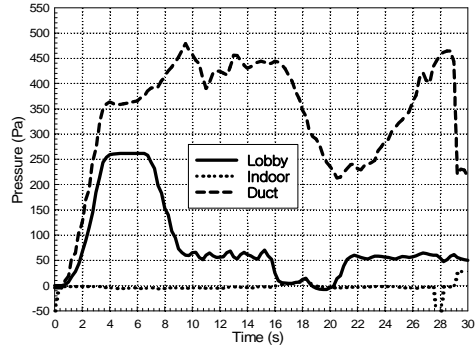
#### 4.5 화재실 및 계단실문 일시적 동시개방 후 폐쇄 (시나리오 5)

Figure 8은 화재실문을 개·폐 후 바로 계단실문 개방하여 일시적으로 화재실문과 계단실문을 동시에 열려있도록 한 뒤 폐쇄하였을 경우 부속실과 화재실의 차압분포를 나타낸 그래프이다. 앞서 분석되었던 시나리오 4의 경우에는 화재실의 문이 열리는 순간 각 실의 차압이 급격히 상승하다가 화재실문이 폐쇄된 후 계단실 문이 개방되게 되면 급격히 하강하는 것을 알 수 있었다. 반면, Figure 8-a)의 경우 화재실문이 열리는 순간 부속실차압은 미세하게 상승하다가 부속실차압조절을 시작하기 전에 계단실문도 열리게 됨으로써 차압 상승구간이 형성되지 않고 0 Pa까지 떨어지는 것을 볼 수 있다. 또한, 화재실문과 계단실문이 모두 닫힌 뒤(약21초)에도 설계차압형성이 이루어지지 않는 것을 볼 수 있다. Figure 8-b)의 경우도 경향은 유사하나 화재실문이 닫히는 시점에서 급격한 기압상승은 나타나지 않았으며 화재실문 폐쇄 전에 계단실문이 개방되므로 이로 인해 부속실차압은 계단실문이 닫히기 전까지 (약 4초간) 0Pa로 유지되는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼 때, 화재실 내에 개구부가 있는 경우가 문이 닫힌 이후(약 21초 이후)의 설계차압유지에 효과를 나타내는 것으로 판단된다.





a) Window close position



b) Window open position

Figure 8. Pressure differential with staircase door and front door at once opened simultaneously

#### 4.6 각 시나리오별 차압분포 비교

각 시나리오에서 나타난 차압분포 및 현상학적 특징을 종합해보면 Table 2와 같다.

Table 2 Characteristics according to the scenario

	화재실 개구부 없을 시	화재실 개구부 있을 시
시나리오 1	- 초기(약 4~8초) 화재실문 개방의 어려움 발생.	- 약 4~8초경 화재실과 부속실의 차압이 개구부가 없는 경우보다 약 120Pa정도 더 높게 나타남에 따라 화재실문 개방의 어려움 발생.
시나리오 2	- 화재실문 개방 시 설계차압회복 시간이 길기 때문에 부속실로의 연기침투의 문제점이 발생될 것으로 판단됨.	- 화재실문이 닫히는 순간에 발생하는 순간 과압형성으로 인해 제2의 피난자가 순간적으로 문을 열기 힘든 상황을 초래할 가능성이 높을 것으로 예상
시나리오 3	- 계단실문 개방 후 폐쇄 시 계단실문이 매우 천천히 닫힘.	- 계단실문 개방 후 폐쇄 시 계단실문이 정상적으로 닫힘.
시나리오 4	- 화재실문이 열리는 순간 부속실과 화재실간의 차압은 거의 같게 나타나 두 실 모두 250 Pa까지 상승. - 계단실문이 닫히는 시간이 지연되어 두 실 모두 차압이 0Pa인 상태로 약 6초간 지속되다가 약 22초에 부압 발생	- 화재실문이 닫히는 순간 부속실의 차압이 약 150Pa까지 순간상승 이후 정상설계차압 유지.
시나리오 5	- 문 개/폐 시 차압상승구간이 발생되지 않으나 문이 닫힌 뒤 설계차압형성이 이루어지지 않음.	- 문 개/폐 시 차압상승구간이 발생되지 않음. -문이 닫힌 뒤(약 21초 이후)의 설계차압유지

## 5. 결 론

본 실험에서 도출된 결론은 다음과 같다. 첫째, 초기 댐퍼작동 시 약 10초간 부속실과 화재실의 기압차(차압)가 약 250Pa의 과압에서 설계차압(40~60Pa)으로 안정되는 시간이 길게 나타났다. 또한, 부속실의 순간적인 차압상승은 현관문 개방에 어려움을 주는 것을 알 수 있었다. 이를 방지하기 위해서는 화재실 감압 및 플랩댐퍼 설치 등의 과압방지조치가 필요하다고 판단된다. 둘째, 화재실 차압상승에 따른 부속실의 차압상승으로 인해 계단실문이 개방 후 폐쇄 시 안 닫히게 되는 것을 알 수 있었다. 또한, 현관문과 계단실문이 동시에 개방되었을 경우에는 부속실과 화재실의 설계차압이 형성되지 않게 되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 피난 시 문의 개방 및 폐쇄가 확실한 도어클로저 설치 및 조정이 요구된다. 셋째, 화재실을 통한 적정 누기량(개구부)이 있는 경우 계단실문이 일시적 또는 장시간동안 안 닫히는 현상을 방지할 수 있고, 문이 닫힌 뒤 설계차압을 유지하게 되는 것을 관찰할 수 있었는데 이러한 결과로 볼 때, 화재실 내 개구부 또는 배출구의 설치를 고려한 설계가 고안될 필요성이 있다고 판단된다. 마지막으로, 부속실급기가압제연설비의 성능적설계 및 시공을 위해서는 검증을 위한 현상학적 연구가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 2007년 중앙소방학교 소방과학연구실과 협동 연구로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 중앙소방학교 소방과학연구실에 진심으로 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A), 행정자치부 고시 제2004-30호
2. 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501), 행정자치부 고시 제2004-30호
3. 자동차압 과압조절형 급기댐퍼의 인정기준(FIS 001), 한국소방검정공사
4. 제연구역의 출입문 자동폐쇄장치의 인정기준(KFIS 021), 한국소방검정공사
5. NFPA 92A Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences p.130~131, 2006