

피난계단 연기제어시스템의 적정차압 유지를 위한 개선방향 연구

Study on Improvement of Pressure Differential System for Smoke Management in Evacuation Stairs

김정엽[†] · 신현준
Jung-Yup Kim[†] · Hyun-Joon Shin

한국건설기술연구원 화재안전연구소

요 약

국내에서는 고층 건축물의 화재 시 피난계단으로의 연기침투를 방지하여 안전한 피난 경로를 확보하기 위하여 피난계단의 부속실에 외기를 급기함으로써 부속실을 단독으로 제어하는 급기가압 제연시스템을 주로 사용하고 있다. 그러나 실제 건축물에 설치되어 운영되고 있는 급기가압 제연시스템에 대한 현장 성능평가의 결과를 검토해보면 상당수의 건축물에서 급기가압 제연시스템이 소기의 운전성능을 발휘하지 못하고 있음을 알 수 있다. 즉, 제연구역인 부속실과 옥내간의 차압이 기준치 이상의 과압으로 형성되거나 또는 반대로 기준치 이하의 저압으로 유지되는 경우가 있다. 특히 피난에 따라 부속실의 출입문이 개방되면, 출입문이 열린 층 이외의 층에서 개방 전에 적절한 수준으로 유지되고 있던 차압이 크게 하강하는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 이러한 급기가압 제연시스템의 문제점과 이에 대한 개선방향을 검토하였다.

Keywords : Smoke management, Pressure differential system, Evacuation stairs, Field experiment.

1. 서 론

도시가 고도화·집적화되면서 건축물의 대형화, 고층화 및 복합화가 급격히 진행됨에 따라 화재에 취약한 건축물이 증가되고 있어, 인명안전을 위한 효과적인 화재 대책의 필요성이 절실히 요구되고 있다. 특히 화재 시 피난 및 소화활동에 큰 지장을 초래하고, 인명안전에 가장 큰 위협이 되고 있는 연기의 제어를 위한 제연시스템의 중요성이 강조되고 있다.

선진외국에서는 과거 대형화재사고인 MGM Grand 호텔, Roosevelt 호텔 및 Johnson City Retirement Center 화재에서와 같이 연기확산에 의한 질식사 사망사

망의 주요 원인이며, 이에 대처하기 위한 신뢰성 있는 제연시스템의 필요성을 오래 전부터 인식하여, 연기생성·확산·제어 분야의 이론적 기반 확립과 다양한 실험실 실험을 통하여 제연시스템 설계기술을 개발하여 왔으며, 효율성과 적용성을 확보한 제기준 정립에 지속적인 투자를 하고 있다.^{1,2)}

국내에서는 고층 건축물의 화재 시 피난계단으로의 연기 침투를 방지하여 안전한 피난경로를 확보하기 위하여 화재안전기준 NFSC501A의 “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준”이 제시되어 있다.³⁾ 상기 기준에서는 제연구역으로 연기의 침투를 방지하기 위하여 제연구역과 옥내 사이에 40 Pa 이상의 차압(스프링클러 설치시 12.5 Pa 이상)을 유지하고, 출입문 개방에 필요한 개방력을 110 N 이하가 되도록 하고 있다. 또한 피난을 위하

[†] E-Mail : jykim1@kict.re.kr

여 제연구역의 출입문이 일시적으로 개방되는 경우 0.5 m/s에서 0.7 m/s 이상의 방연풍속을 요구하고 있다.

이러한 목적을 위하여 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 방법이 Figure 1과 같이 제연용 송풍기와 수직풍도를 이용하여 옥내와 계단실 사이에 위치하는 부속실에 외기를 급기함으로써 연기가 주요 피난경로인 피난계단으로 침투하는 것을 방지하는 급기가압 제연시스템이다.

국내에 급기가압 제연시스템이 도입된 이후에 성능향상을 위하여 지속적인 연구가 시행되고 있으나, 실제 건축물에 설치되어 운영되고 있는 급기가압 제연시스템에 대한 현장 성능평가의 결과를 검토해보면 상당수의 건축물에서 급기가압 제연시스템이 소기의 운전성능을 발휘하지 못하고 있음을 알 수 있다.^{4,5)}

본 논문에서는 국내에서 적용하고 있는 급기가압 제연시스템의 작동개요와 설계방법을 설명하고, 현장실험과 이론적 검토를 바탕으로 급기가압 제연시스템의 문제점 및 개선을 위한 방향을 제시하고자 한다.

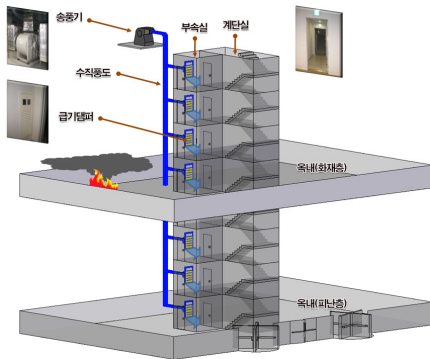


Figure 1. Schematic diagram of pressure differential system in evacuation stairs.

2. 작동개요 및 설계방법

급기가압 제연시스템에서는 화재가 발생한 옥내에서 부속실로 연기가 침투하지 않도록 하기 위해서 부속실의 압력을 높이거나 부속실의 출입문으로 방연풍속을 형성하도록 한다. 즉 부속실의 출입문이 닫혀 있는 경우에는 Figure 2(a)와 같이 부속실에 신선한 외기를 공급하여 부속실의 압력을 옥내보다 높게 유지함으로써 옥내로부터

부속실로 연기의 침투를 방지한다. 한편 피난을 위하여 부속실의 출입문이 일시적으로 개방되는 경우와 같이 부속실 출입문이 열려 있는 경우에는 Figure 2(b)와 같이 부속실에 신선한 외기를 공급하여 개방된 출입문에 방연풍속을 형성함으로써 옥내로부터 부속실로 연기의 침투를 방지한다.

급기가압 제연시스템의 설계에서 Figure 3(a)와 같이 부속실과 옥내 사이에 기준치의 차압을 유지하기 위해서는 차압이 형성되었을 때 부속실에 설치된 출입문의 틈새를 통하여 부속실로부터 흘러나가는 공기량 만큼을 부속실로 공급하여야 하며 이를 누설량이라 한다. 송풍기에서 건물의 모든 부속실로 공급하는 총 누설량, Q_L 은 각 층의 부속실에서 누설되는 누설량, q_L 과 건물층수, N 을 곱해서 구할 수 있다.

한편 Figure 3(b)와 같이 부속실의 출입문이 일시적으로 개방되는 경우 옥내로부터 부속실로 연기의 유입을 방지하기 위한 방연풍속을 유지하도록 외기를 부속실내로 공급하여야 하며 이를 보충량, Q_S 이라 한다.

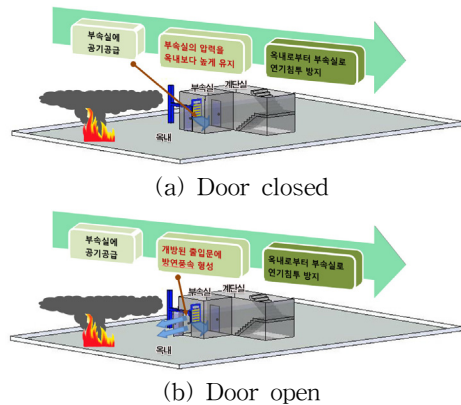


Figure 2. Schematic diagram of operation outline.

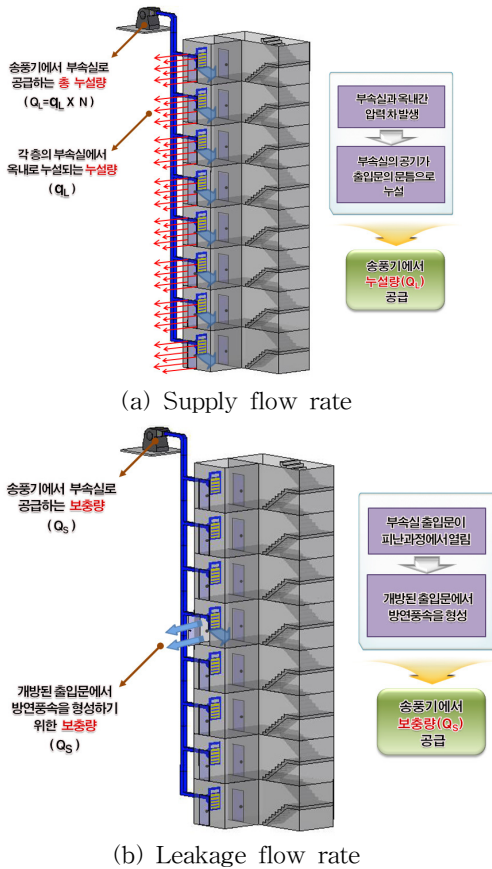


Figure 3. Flow rate of supply and leakage.

3. 주요 문제점 및 원인

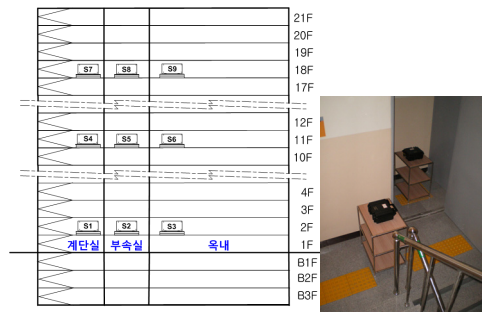
본 연구에서는 2장에서 설명한 작동개요와 설계방법에 따라 실제 건축물에 설치되어 있는 급기가압 제연시스템에 대하여 현장 성능평가 실험을 수행하였다.

Figure 4는 21층 규모의 건축물에서 부속실의 출입문이 모두 닫힌 상태에서 급기가압 제연시스템을 가동하면서 건축물내 압력을 측정한 실험결과를 보여주고 있다. Figure 4(a)와 같이 2층, 11층, 18층의 계단실과 부속실, 옥내에서의 압력을 동시에 측정하였다. Figure 4(b)에서 볼 수 있듯이 급기가압 제연시스템을 가동하면 부속실과 계단실의 압력이 상승한다. 부속실과 옥내간 압력차를 도시하는 그래프를 보면 부속

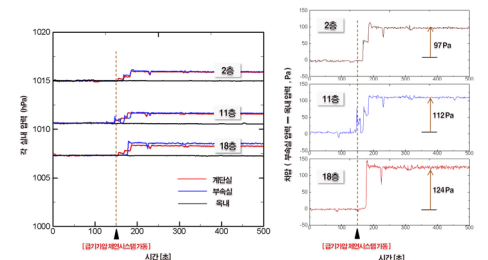
실의 압력이 옥내보다 97~125 Pa 정도 높아지며 이는 설계기준 이상의 과압이 형성되는 것이다. 이와 같이 실제 화재발생시 부속실과 옥내간 과압이 형성되면 재실자가 피난을 위해 계단실로 대피하는 과정에서 부속실의 출입문 개방이 곤란할 수 있다.

한편 Figure 5는 31층 규모의 건축물에서 급기가압 제연시스템을 가동하다가 한 개층의 부속실 출입문을 개방했을 경우에 대해 건축물내 압력의 측정결과를 보여주고 있다. Figure 5(b)에서와 같이 부속실의 출입문을 개방하면 부속실의 압력이 하강하게 되고, 부속실과 옥내간 압력차도 27~36 Pa 정도 낮아지게 된다. 이는 부속실의 출입문이 열리면 출입문을 통해 방연풍속 이상의 풍량이 빠져나가면서 다른 층에 위치한 부속실에서는 압력의 하강이 발생하는 것이다. 화재가 발생한 층의 부속실 압력이 옥내보다 설계기준 이하로 낮게 형성되면 옥내의 연기가 부속실로 침투할 수 있다.

본 연구에서는 상기와 같은 실험결과가 발생하는 원인을 고찰하기 위해서 20층 규모의 모델 건축물을 대상으로 네트워크 모



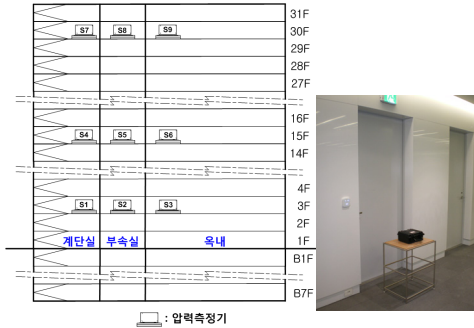
(a) Experimental layout and photograph



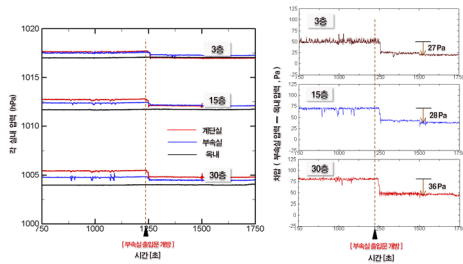
(b) Experimental results

Figure 4. Experiment for door closed.

텔⁶⁾의 수치해석을 수행하였다. Table 1에 급기압력 제연시스템의 주요 설계값을 정리하였다.



(a) Experimental layout and photograph



(b) Experimental results

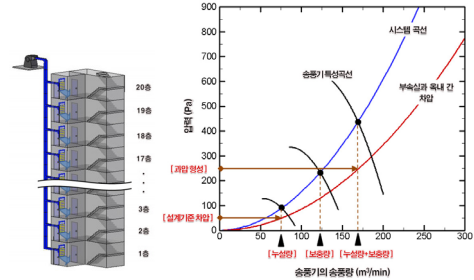
Figure 5. Experiment for door open.

Table 1. Design variables

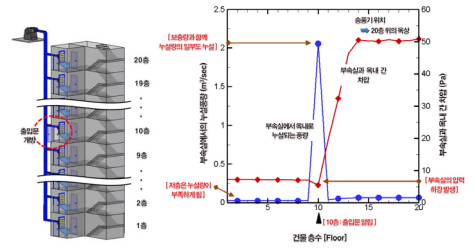
구분	설계값
층수	20 층
설계차압	50 Pa
누설량	1.2698 m ³ /s
보충량	1.5384 m ³ /s
송풍량	2.8082 m ³ /s

Figure 6(a)는 모든 층의 출입문이 닫혀 있는 상태에서 각 층의 부속실로 동일한 급기량이 공급되는 경우에 대한 해석결과를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 누설량 만큼만 송풍기를 통해 급기할 경우 부속실과 옥내간 차압이 적정치인 50 Pa로 유지되며, 누설량과 보충량을 합한 풍량을 급기할 경우에는 모든 층의 부속실내 출입문이 닫혀 있다면 부속실과 옥내간 차압이 약 244 Pa로 상당히 높게 형성되는 것을

알 수 있다. 이와 같이 과압이 형성되는 것은 송풍기의 설계풍량이 누설량과 보충량의 합으로 결정되면 적정한 차압을 생성하기 위해 공급해주어야 하는 누설량에 비해 송풍기의 풍량이 커지기 때문이다.



(a) Analysis results for door closed



(b) Analysis results for door open

Figure 6. Network model analysis.

한편 Figure 6(b)는 부속실의 출입문이 개방되는 경우로서 본 연구에서는 모델 건축물의 10층의 부속실 출입문이 개방되었을 경우에 대해 해석을 수행하였다. 이 경우 급기풍량은 누설량과 보충량을 합한 설계풍량을 적용하였다. 그림에서와 같이 10층의 부속실 출입문이 개방되면 10층 출입문을 통해 2.0571 m³/s 정도의 풍량이 옥내로 흘러나가게 되며, 이는 앞에서 방언 풍량으로 설계된 풍량인 1.5384 m³/s 보다 증가된 양이다. 이로인해 옥상에 위치하는 송풍기로부터 외기공급이 시작되는 20층에서 10층 근처인 14층까지는 각 부속실로 누설량 만큼의 외기가 공급되어 부속실과 옥내간 차압이 설계치인 50 Pa를 유지하게 되나, 13층부터는 부속실로 공급되는 풍량이 누설량에 미치지 못하여 부속실과 옥내간 차압이 50 Pa 보다 낮게 형성되며 10층 이하에서는 차압이 크게 떨어지게 된다.

4. 개선방향

국내의 화재안전기준에 의해 설계되는 급기가압 제연시스템은 “부속실과 옥내간 차압유지”와 “방연풍속 형성”의 기준을 만족하기 위해 누설량과 보충량을 합한 총 송풍량을 산정하여 하나의 송풍기와 하나의 수직풍도를 통해 건축물내 부속실로 공급한다. 그러나 누설량과 보충량은 기능과 역할에서 서로 독립적인 특성을 가지고 있는데, 이를 동일한 시스템을 통해 급기하기 때문에 앞에서 언급한 바와 같이 부속실과 옥내간 차압을 적정한 범위내에서 유지할 수 없게 된다. 따라서 누설량과 보충량을 분리하여 급기하도록 급기가압 제연 시스템을 개선하는 것이 필요하다.

참고문헌

1. BS EN12101-6, Smoke and heat control systems - Part6 : Specification for pressure differential systems(2005).
2. NFPA 92A, Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences(2006).
3. NFSC501A, 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(2009).
4. 허영준,유철권, “기계 제연시스템의 문제점과 개선 대책에 관한 연구”, 설비저널, 제32권 제1호, pp.27-35(2003).
5. 이용재,김운형, “고층 공동주택 제연설비의 안전성능에 관한 연구”, 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집(2000).
6. NIST, CONTAMW 2.4 User Guide and Program Documentation(2008).