

초고층 건축물 제연 시스템 개발

■ 유 흥 선 / 중앙대학교 기계공학부, cfdmec@cau.ac.kr

■ 이 성 혁 / 중앙대학교 기계공학부, shlee89@cau.ac.kr

■ 김 남 일 / 중앙대학교 기계공학부, nikim@cau.ac.kr

초고층 건축물에서의 제연 시스템

최근 도시 경쟁력 강화의 핵심 키워드인 건축문화 발전을 위해 신흥국가의 대도시들은 LAND MARK로서 초고층 건물을 경쟁적으로 건설하고 있다. 국내 또한 이러한 추세가 이어져 인천 송도 신도시를 비롯하여 용산 국제 업무단지, 상암 국제 업무 센터 등 초고층 건물의 건립이 가시화 되고 있다. 특히 좁은 국토로 인한 토지 효율성을 높이기 위해 점차적으로 초고층 빌딩을 선호하고 있으며 최근 추진 중인 초고층 건물은 오피스용이나 상업용을 넘어 거주용으로까지 확장되어 우리 생활에 더욱 가깝게 다가와 있다.

초고층 건물의 경우 건물의 높이가 매우 높기 때문에 건물 높이 방향으로 내부와 외기의 압력차로 인한 연돌효과가 상대적으로 크게 발생하여 건물 내에 다양한 문제를 일으킨다. 예를 들어 연돌효과로 인하여 건물 내부로 유입된 공기는 소음을 발생시키며, 화재 시 가스의 상승으로 상층부에서부터 하층부로의 피해가 우려된다^{1,2}. 고층 건물 화재시 상당한 인원이 피난로로 물리게 되면서 병목현상이 일어나고, 피난거리도 상당하기 때문에 피난시간은 기하급수적으로 늘어난다^{3,4}. 또한 최근 빈번히 발생하고 있는 화재 참사를 살펴보면 희생자의 대부분이 화염에 의한 열에 의한 사망이 아닌 확산되는 연기에 의해 질식사로 판명되고 있는바, 연기 및 유독가스의 확산방지가 중요한 제어요소로 부각되고 있다⁵.

초고층 건물의 화재 시에서 가장 이상적인 소화 방법은 화재 초기에 건물이 가진 화재 소화능력이 발휘되어 화재를 진압하는 것이다⁶. 또한 건물 내부의 인원들은 제연 구역으로 설정된 피난로를 통

해서 안전한 피난지역으로 모두 대피할 수 있어야 한다⁶. 만약 건물이 가진 화재 소화능력이 화재 시 제때 발휘되지 못하였거나 화재의 크기가 건물의 화재 소화능력의 한계를 넘어서는 경우, 건물 내의 재실자에게 가장 중요한 것은 제연 구역의 안전한 보호이다⁶.

제연 구역을 안전하게 보호하기 위해서 화재실의 연기를 외부로 배출하고 제연 구역에 신선한 공기를 공급하여 제연 구역 내의 압력을 높여 연기의 침입을 방지하는 방법을 사용하고 있다⁶. 따라서 미국, 중국, 캐나다 등에서는 초고층 건축물의 경우 중간 피난 층을 법으로 규정하고 있으며 일반적으로 기계 층을 기준으로 재실자들이 수직적으로 긴 피난동선에 부담을 느끼지 않도록 수십 층 마다 설치를 하고 있으며 국내에서도 관련 규정을 개선하여 50층 이상 초고층에서는 최대 30층마다 1층씩 피난층을 설치하도록 건축법시행령이 제정됐다. 또한 피난소요 시간을 감안하여 피난 엘리베이터의 활용을 적극 감안하고 있지만, 국내에서는 지난 수년간 학계에서 중간 피난 층의 설치에 대한 필요성을 주장하였으나 그 설치 규모 및 성능에 관한 기준이 나와 있지 않은 상태로 이에 대한 기술 및 법적 제도마련이 요구되며 피난 계단, 피난 층, 피난 엘리베이터에 대한 최적 제연시스템의 연구개발이 요구된다. 고층건물의 제연시스템에 관해서 국내에서는 화재안전기준으로 NFSC 501A⁶를 두어 특별 피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비로 급기가압 제연시스템의 적용을 요구하고 있으며, 건축법에 의해 배연창이 설치되지 않은 공간에 설치되어 화재 시 가압되도록 요구하고 있다.

본 연구에서는 국내에 적용되고 있는 제연시스템에 대해 간단히 살펴보고 그 중 최근 널리 보급되



고 있는 대표적인 제연 댐퍼인 자동차압·과압 조절형 급기댐퍼(이후 자동차압댐퍼)의 성능 평가에 대해 검토하였다.

제연시스템의 종류

제연설비를 크게 나누면 연기를 배출하는 배연설비와 신선한 공기를 급기하는 차압제연 설비로 나눌 수 있다^[4]. 초고층 건물에서는 고층에서 부는 강한 풍압으로 인해 연기의 배출에 어려움을 겪고, 배출량의 한계가 있기 때문에 일정 크기 이상의 화재가 발생 시에 배연설비가 감당하지 못하는 경우가 종종 발생하였다^[4]. 그래서 초고층 건물에서의 제연설비는 압력의 차이를 이용한 차압제연방식을 기본으로 하고 배연설비의 적용을 통해서 안전성을 높이고 있다^[4].

국내에서는 표 1과 같이 지하철 터널과 같은 지하층에서는 기계식 배연 시스템 적용을 법규화 하고 있으며 지상 고층 및 피난 계단, 비상용 승강기 승강장은 배연창 및 기계설비 그리고 급기 가압 방식의 적용을 법규화 하고 있다.

배연창

현재 국내 초고층 건물에는 용도에 따라 건축 관계법령에 의한 배연창 또는 소방관계법령에 의한 기계적 배연설비를 설치하도록 규정하고 있다. 국내에서 규정하고 있는 배연창 관련 기준은 국토해양부령으로 정한 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙” 제14조 제1항 및 제87조 제2항의 규정에서 6층 이상의 건축물로서 문화 및 집회시설, 판매 및 영업시설, 의료시설, 교육연구 및 복지시설 중 연

구소·아동관련 시설·노인복지시설 및 유스호스텔, 운동시설, 업무시설, 숙박시설, 위락시설 및 관광 휴게시설에 쓰이는 거실에는 피난층을 제외하고 배연설비를 설치하도록 규정하고 있으며^[7], 배연창 설치와 관련된 세부사항은 다음과 같이 정하고 있다.

- 1) 건축물에 방화구획이 설치된 경우에는 그 구획마다 1개소 이상의 배연창을 설치하되, 배연창의 상변과 천장 또는 반자로부터 수직거리가 0.9미터 이내일 것, 다만, 반자높이가 바닥으로부터 3미터 이상인 경우에는 배연창의 하변이 바닥으로부터 2.1미터 이상의 위치에 놓이도록 설치하여야 한다^[8].
- 2) 배연창의 유효면적은 산정된 면적이 1제곱미터 이상으로써 그 면적의 합계가 당해 건축물의 바닥면적의 100분의 1이상일 것. 이 경우 바닥면적의 산정에 있어서 거실 바닥면적의 20분의 1이상으로 환기창을 설치한 거실의 면적은 이에 산입하지 아니한다^[8].
- 3) 배연구는 연기감지기 또는 열 감지기에 의하여 자동으로 열수 있는 구조로 하되, 손으로도 열고 닫을 수 있도록 할 것^[8].
- 4) 배연구는 예비 전원에 의하여 열 수 있도록 할 것^[8].
- 5) 기계식 배연설비를 하는 경우에는 제1호 내지 제 4호의 규정에 불구하고 소방관계법령의 규정에 적합하도록 할 것^[8].

위의 규정에 따라 현재 그림 1과 같은 배연창이 사용되고 있으나 다음과 같은 문제점 및 제한 사항이 검토되고 있다.

첫째, 해외 선진국에서는 배연창의 성능적 측면을 고려한 평가기준을 제시하고 있는 반면 국내에서는 배연창의 최소 규격만을 기준으로 제시하고 있다^[8]. 그러므로 국내 배연창이 화재 시 작동성을 확보하기 위해서는 배연창의 현장 적합성 및 안전성, 내구성 등에 관한 성능평가기준의 재정이 필요하다^[8].

둘째, 국·내외 기준 모두 배연창이 갖추어야 하는 제연 성능에 관한 평가기준을 제시하고 있지 않다. 특히, 초고층 건물은 일반 건물에 비해 연돌효과 및 외기풍속의 영향을 크게 받아 배연창이 가지

<표 1> 층수에 따른 방재 시스템

구분	적용 시스템	
지하층	기계식 배연	
지상 저층	무창층	기계식 배연
	유창층	배연창
지상 고층	배연창 또는 기계설비	
특별피난계단 부속실	급기가압방식	
비상용승강기 승강장	급기가압방식	



a) <http://blog.naver.com/charly5>



b) <http://www.suhkwang.co.kr>

[그림 1] 배연창 또는 기계설비의 종류

는 제연성능에 대한 평가가 어려워 많은 실험과 시뮬레이션을 통한 연구를 바탕으로 배연창의 제연 성능 평가기준의 제정이 필요하다⁸⁾.

급기가압제연설비

급기가압이란 가압하고자 하는 공간에 공기를 공급하여 그 공간의 기압이 다른 공간의 기압보다 높게 함으로써 이른바 차압(pressure differential)을 형성하게 하는 것을 말한다⁹⁾. 가압공간의 구획구조부에는 출입문이나 창문 등으로 인한 공기의 누설틈새가 존재res이므로, 가압공간의 가압상대가 지속되고 있는 한 당해 공간으로부터 이들 틈새를 통하여 주위공간으로 공기가 누설된다. 하나의 공간을 대상으로 가압하고자 하는 경우 가장 먼저 대두되는 것은 공기의 필요 공급량이다. 단위시간당 공급하는 공기량이며, 그것은 가압공간으로부터의 공기 누설률에 의하여 결정된다. 또한 공기 누설량은 누설경로가 되는 틈새의 면적과 차압의 크



<http://blog.daum.net/jc1960>

[그림 2] 급기 댐퍼

기에 의해 좌우되며, 급기량은 누설량과 같다⁹⁾. 급기 댐퍼는 그림 2와 같다.

또한 제연구역의 과압 방지를 위하여 당해 제연



구역에 자동 차압·과압 조절형 급기 댐퍼 또는 과압 배출장치를 설치하여야 한다⁸⁾. 누설량만으로는 문이 닫혀도 차압이 초과되는 일이 없으나 문이 닫혀 있을 경우에도 불필요한 보충량이 공급되므로 이로 인하여 과압이 발생하게 되어 출입문 개방에 필요한 힘이 초과될 수 있다⁹⁾. 이를 방지하기 위하여 압력 상승 시 이를 감지하여 동력 또는 무동력에 의해 작동되는 일종의 과압 공기 배출장치를 설치하여야 하며 이를 과압 방지장치라 하고 작동은 플랩 댐퍼를 이용한다⁹⁾.

그림 3은 플랩 댐퍼를 나타낸다. 플랩 댐퍼는 과압에 따라 날개를 자동으로 개방하는 구조의 과압 방지장치를 말하는 것으로 급기 가압된 제연구역에 출입문의 개방에 필요한 힘이 110 N 초과 시에 개방되도록 감압하는 기능을 말한다⁹⁾. 화재의 피난 시 노약자가 방화문을 용이하게 개방하기 어려우므로 이를 배출시켜 항상 일정 차압을 유지하기 위한 과압 공기의 배출장치이다⁹⁾.

이와 같이 국내 소방법에 의해 적용되는 급기 가압시스템은 설치취지에 비하여 적용상의 문제점과 유지관리상의 미흡으로 말미암아 성능확보에 큰 어려움을 갖고 있기 때문에 고층 건물의 화재

시 효과적인 피난 확보가 이루어질 수 있을지는 미지수이다¹⁴⁾.

자동차압 댐퍼의 성능 지표 및 평가 개선의 필요성

급기가압 방식의 제연시스템은 송풍기, 덕트, 댐퍼 등으로 구성되어 있어서 각 기계 요소에 대한 적절한 성능 기준 및 평가 방안이 요구된다. 특히, 피난 구간 내의 안전 확보를 위해 제연 공간의 실시간 상황 변동에 직접 대응하는 요소 기기가 급기 제연댐퍼이며, 이러한 급기제연댐퍼의 성능 지표 및 평가 결과는 제연 시스템의 선택과 시공에 있어 매우 중요한 사안이다. 일반적으로 연기 거동에 영향을 주는 많은 인자 중에서 초고층 건물의 경우 건물 내 연돌효과, 높은 고도에서의 외부 바람의 영향, 그리고 제연 시스템의 스케일 증대로 인한 효과 등이 일반 건물의 제연시스템과 차이를 가질 것으로 예상된다. 하지만 국내에서는 초고층 제연 시스템에 대한 별도의 규정이 마련되지 않은 상태이며, 초고층 제연시스템에 대한 성능 규정의 검토가 절실히 요구되는 시점이다. 이 외에도 국내의 제연 시스템의 운전 환경은 설계 조건과 달리 출입문 상시 폐쇄가 잘 지켜지지 않는 문제점을 가지고 있으며, 부속실과 계단실 사이가 양쪽 개방형 문의 전체 개방으로 인한 방연풍속 유지가 어려운 현실적 문제점을 가지고 있다. 아울러 최근에는 피난 공간의 제연 설비 특성과 부속실 차압 특성에 대한 모델링과 수치해석 등이 이루어지고 있다^{10), 11)}.

현재 소방방재청 고시 제2008-47호에서는 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전 기준을 제시하고 있다⁶⁾. 이러한 기준은 제연 댐퍼를 통해 거실(옥내)로부터 제연구역으로의 연기 유입을 차단하고 제연공간에 위치한 각종 방화문의 개폐가 가능하도록 제연구역의 압력을 일정 범위로 유지함을 목적으로 한다. 하지만 방연풍속 기준이 합리적이지 못하다는 지적과, 제연구역에 설치된 출입문 기준 등이 구체적이지 못하다는 지적, 급기댐퍼의 위치가 부적절하다는 지적 외에도 제연 설비의 계산상의 문제 등이 지적되고 있다¹⁰⁾⁻¹⁴⁾.

이와 관련하여 한국소방산업기술원에서는 이러



(유성분체기계, ENP 연구소)

[그림 3] 더블 플랩 댐퍼 및 중력식 플랩댐퍼

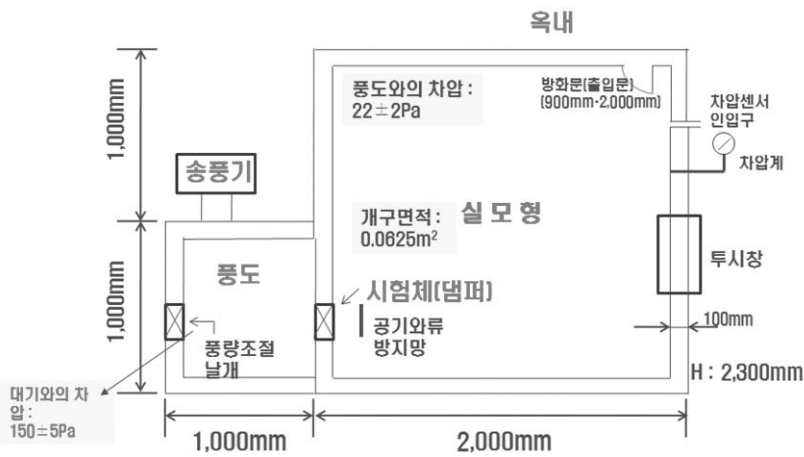
한 자동차압댐퍼의 인정기준(FIS 001)을 별도로 제시하고 자동차압댐퍼의 작동성능 시험에 대해서 상세하게 기술하고 있다^[15]. 그런데, 이러한 작동시험 방법에는 댐퍼의 직접적 성능 외에도 시험 시설이나 방법에 의한 영향이 다수 포함되어 있는 것으로 판단되며, 시험 결과로부터 제연시스템의 설계에 활용할 수 있는 데이터가 검증되지 않는다는 점 등 논란의 여지가 많다. 이러한 문제점 지적과 함께 자동차압댐퍼의 성능 시험을 위한 여다양한 방안들도 제안되고 있다^[14]. 하지만 자동차압댐퍼의 성능에 대한 시험 방안에 대한 연구는 여전히 부족한 현실이다. 특히 자동차압댐퍼는 부속실의 환경 변화에 따라 다양한 작동을 보이게 되므로 다양한 조건

에서의 시간에 따른 성능의 변화와 요구 성능 확보 여부에 대한 연구가 추가로 요구된다.

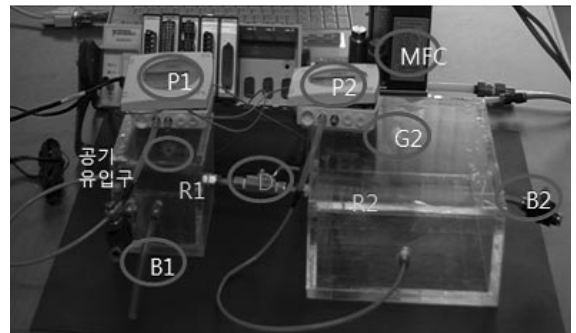
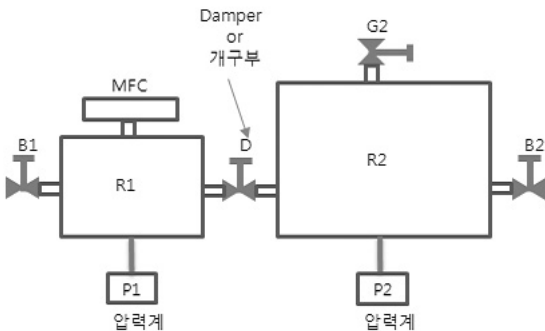
본 연구를 통해 기존의 자동차압댐퍼의 인정기준(FIS 001)의 문제점을 다시 제시하고 자동차압 댐퍼 고유의 유체역학적 특성 시험에 대한 방안과 다수의 거실과 부속 공간 간의 차압 측정 방법에 대해 고찰하고자 한다.

자동차압댐퍼의 인정기준(FIS 001)의 문제점

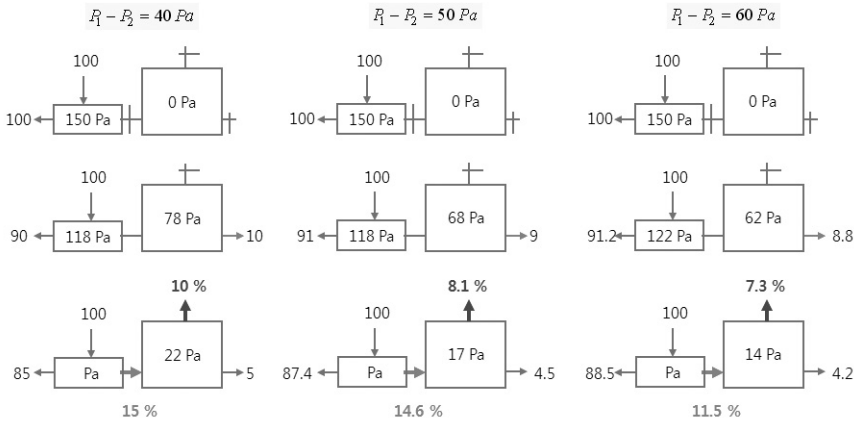
한국소방산업기술원에서는 자동차압댐퍼의 인정을 위한 기준으로 그림 4와 같은 실험 공간에 댐퍼를 설치하고 정해진 실험 매뉴얼을 따라 성능을 시험하고 있다. 하지만 ‘댐퍼날개는 풍량 조절에



[그림 4] 자동차압댐퍼의 인정기준(FIS 001)



[그림 5] 댐퍼 상하류 압력차에 따른 유량 분포 예측 기초 모델 실험



누설 유량이 10% 정도 있는 조건에서 실험이 실시.
 전체 송풍량의 15% 이하가 댐퍼를 통해 흐름.
 전체 송풍량의 10% 이하가 문을 통해 유출.

⇒ Damper 자체의 역학적 성능 시험 방법 필요

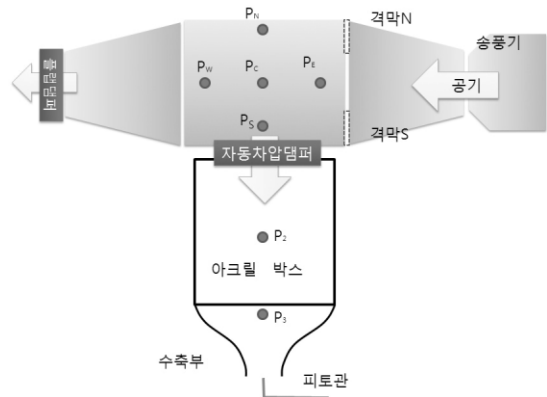
[그림 6] 시험 조건에서의 유량의 분배 특성 모델 시험

지장이 없는 개폐각도를 가져야 한다', '급기 송풍기는 작동시험을 할 수 있는 충분한 용량이어야 한다' 등 실험 대상 댐퍼와 실험 수행 조건이 명확히 제시되지 않은 점들이 상당 수 있다. 그리고 방화문의 개방에 걸리는 시간과 댐퍼의 작동 시간의 오버랩 등 많은 문제점이 지적된다.

이러한 인정 시험 기준을 실험적으로 모사하기 위해 그림 5와 같이 간단한 소형 모델 시험기를 제작하고 유량과 밸브의 개폐에 따른 압력의 변화를 시험하였다. 풍도에 해당하는 부분이 R1, 부속실에 해당하는 부분이 R2이며, 댐퍼와 각종 개폐문들을 밸브로 대체하였다.

그 결과 댐퍼에 해당하는 밸브 전후의 압력차가 40, 50, 60 Pa인 조건에서 송풍기에 해당하는 유로 시스템에서 공급되는 유량을 100% 기준하였을 때, 댐퍼에 해당하는 밸브를 통한 유동과 풍도의 외부로 유출되는 유량, 그리고 출민문을 통한 유출 유량의 비의 변화를 그림 6에 나타내었다.

결과적으로 상당 유량이 풍도에서 직접적으로 외부로 유출됨을 알 수 있으며, 15% 이하의 유량만 댐퍼를 통해 흐르는 결과를 확인하였다. 물론, 실제 시험 방안과 비교하기 위해서는 스케일 및 유동에 대한 적절한 스케일 보정이 필요하겠지만 기본



[그림 7] 도 내부의 유속 교란에 의한 댐퍼 성능 시험 방법의 영향 평가

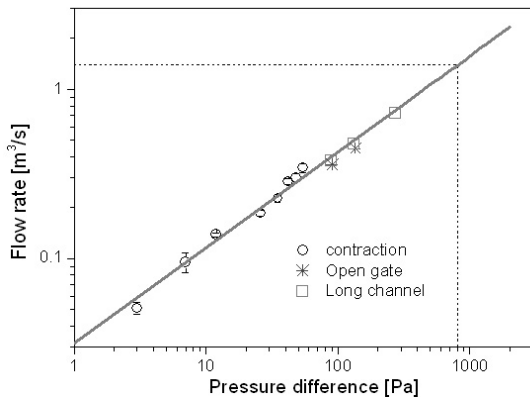
적으로 댐퍼의 성능 시험을 하기에는 과도한 시험 설비가 운용되고 있으며, 그 결과 역시 재해석이 필요할 정도로 모호한 상태임을 알 수 있다.

자동차압댐퍼의 성능 직접 실험

이러한 논의와 별도로, 그간 다양한 연구자들이 댐퍼의 직접적인 시험의 필요성을 주장해 왔으며, 그 방안으로 다양한 시험 방법을 제시하고 있다.

본 연구에서도 댐퍼의 직접 성능을 테스트하기 위해 그림 7과 같은 시험 설비를 갖추고 실험을 실시하였다. 실험의 특징은 기존의 성능 테스트가 송풍 유동 방향으로 시험 대상물을 설치한 반면, 본 연구에서는 실제 댐퍼의 적용과 유사하게 풍도에 수직한 방향으로 댐퍼를 장착한 상태에서 이루어졌으며, 댐퍼 상류에서의 유동 교란이 댐퍼의 성능에 미치는 영향을 평가함으로써 댐퍼 성능 시험을 위한 시험 설비의 허용 유동 오차 범위를 가능하고자 하였다. 보다 자세한 내용은 별도의 논문에 제시되었다¹⁶⁾.

결과적으로 풍도 내부의 유동 교란은 댐퍼의 성능에 영향이 매우 적었다. 댐퍼를 통한 유량 측정 방법 또한 실험에서는 그림 7에 제시한 방법처럼 추측부를 통한 출구에서의 피토크를 이용한 유량 측정방법 외에도 개구부에서의 국부적 유량 측정을 통한 적분법과 출구에 사각덕트의 연장을 통해 완전 발달된 유동을 형성하고 유량을 측정하는 등 다양한 방법이 사용되었다. 이 역시 결과적으로는 실험 방법에 따른 유량의 차이가 크지 않으므로 임의의 방법에 대해서 각각의 엄밀성만 보장된다면 측정 방법을 제안할 필요는 없는 것으로 판단된다. 특히 방연풍속 확보를 위해서는 별도의 공기 공급라인이 요구되기도 하지만 기본적으로 댐퍼를 통해 상당한 유량이 공급되는 조건이다. 이러한 조건에서의 압력과 유량의 실험 결과를 그림 8과 같이 지수함수로 표시하면, 다양한 유량 측정 방법에 따



[그림 8] 댐퍼 상하류 압력차에 따른 유량

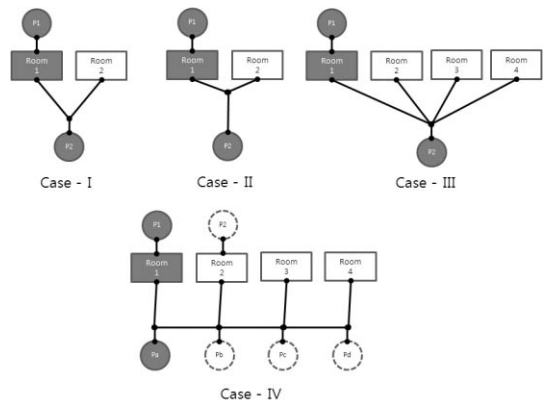
른 결과들이 동일한 직선축에 분포함을 알 수 있고 그 기울기로부터 댐퍼와 유량의 압력관계를 쉽게 유추할 수 있는바, 이를 이용하여 방연풍속 조건에서의 댐퍼 상하류 압력차를 예측할 수 있을 것이다.

이상에서 보인 바와 같이 댐퍼의 시험 기준은 실험 방법에 무관한 댐퍼 자체의 성능으로 제시됨이 제품 개발과 설계를 위해서 바람직하며, 이를 바탕으로 송풍기의 유량 등을 결정하는 절차가 요구된다.

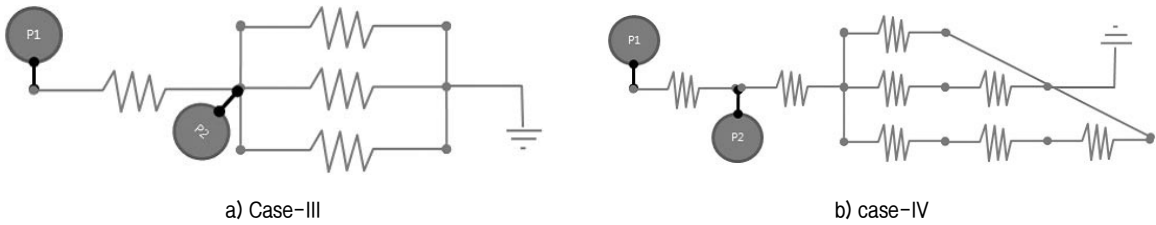
자동차압댐퍼의 차압 측정 방법의 불명확성

그 외에도 자동차압 댐퍼의 차압 측정 위치에 대한 명확한 규정이 제시되지 않고 있다는 것도 문제점으로 제시될 수 있다. 정확한 차압 측정은 하재가 발생한 공간과 부속 공간 사이의 거실문의 개방에 따른 방연풍속 확보를 위해 매우 중요한 인자이다. 특히, 다수의 거실 공간과 인접한 부속공간의 경우 하나의 차압 센서를 사용하고 서로 다른 길이의 압력관을 사용한 차압 측정 방법은 기본적으로 그림 9와 같이 다양한 응용을 가능하게 하는데, 압력관의 배치에 따라 상당한 차이를 보이는 것을 쉽게 예측할 수 있고 간단한 실험을 통해 확인할 수 있었다.

예를 들어, case-III과 case-IV의 경우는 각각 그림 10 a), b)에 보인 등가회로에 해당한다. 이러한 결과를 토대로 이론적으로나 실험적으로 압력관의 결선 방식에 따라 압력의 차가 생길 수 있음을 보다 명확히 이해할 수 있다.



[그림 9] 차압 측정 위치별 압력 차이의 존재



[그림 10] 거실 및 부속공간의 압력관 결선에 해당하는 등가 저항 회로

만일, 압력관 결선에 대한 차이의 고려가 없으면 화재가 발생한 공간의 압력이 50 Pa 이상인 조건에서 화재공간과 부속 공간 사이의 문이 개방될 때 댐퍼에서는 추가적인 압력 상승을 위한 방연 풍속 증대의 필요성을 인지하지 못함으로 인해 화재 공간으로부터 부속공간으로의 역류가 발생할 수 있음을 의미한다. 물론, 화재공간의 압력이 50 Pa 이상으로 올라갈 수 있는지에 대한 검토는 별도로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 박영우, 전용준, 김재수, 박명식, “초고층 건물의 연돌 효과 평가”, 2002, 대한설비공학회, 2002하계학술발표대회 논문집, pp.1216~1220
2. 임채현, 박용환, “초고층 건축물에서 급기가압 제연이 연돌효과에 미치는 영향”, 2008, 추계 학술논문, pp.235~238.
3. 손봉세, “초고층 건물의 소방 안전 계획”, 2003, 방재 연구지, 제 5권, 제 3호 pp.1~10
4. 최승혁 “초고층 건물의 제연설비 개선 연구”
5. 박형주, 김상욱, “국내고층건물의 피난성능화보를 위한 급기가압방연(제연)시스템의 제도 개선 연구”, 2001, 한국화재·소방학회, 제15권, 제4호, pp.49~56
6. 소방방재청고시 제2008-47호 “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)”, (2008.12)
7. “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”
8. 임채현 “초고층건물 화재시 배연창 개방이 연돌효과 및 제연성능에 미치는 영향” 2009
9. 이규락 “고층 공동주택의 급기가압식 제연시스템에 관한 연구” 2004
10. 박외철, “제연방식과 풍량에 따른 제연성능의 수치적 연구”, 한국화재소방학회, 제17권 제2호, pp. 56-61 (2003)
11. 박용환, “피난 시나리오에 따른 승강장 부속실 차압 특성 연구”, 한국화재소방학회 논문지, 제21권, 제4호, pp. 38-43 (2007)
12. 김진수, “급기가압 제연설비의 계산법 모델링에 대한 연구”, 대한설비공학회 하계학술 발표대회 논문집 (2002)
13. 허영준, 유철권, “기계 제연시스템의 문제점과 개선 대책에 관한 연구” 대한설비공학회, 설비저널, 제 32권 제1호, pp. 27-35 (2003)
14. 박재현, “제연댐퍼에 있어서 성능만족도를 제고하기 위한 공기역학적 설계 및 시험방법 개발에 관한 연구”, 석사학위논문, 서울시립대 도시과학대학원 (2007)
15. 한국소방산업기술원, “자동차압과압조절형 급기댐퍼의 인정기준(FIS 001)”, (2007).
16. 윤영민, 이민정, 김남일, 유홍선, “풍도 내 유동 교란과 자동차압 댐퍼의 성능 특성 기초 연구”, 화재소방학회 투고 (2009) ㉔