

Hot smoke test 를 위한 화염 제어 방법

Flame control method for hot smoke test

김 진 국 *
Kim Jin Kook

Abstract

This paper presents the technical basis for hot smoke test intended to investigate the effectiveness of smoke ventilation system in both high-rise building and those containing atria and/or galleria. Smoke is particularly serious hazard in these building in which considerable time is required for complete evacuation. It is widely recognised that the effectiveness of large smoke ventilation system can be difficult to confirm by a critical analysis of the system design calculation. Thus a hot smoke test is recently introduced through the experiences of many attempts. Diffusion flames used for hot smoke test have a higher flame length, so that those can not be applied to small compartment. Therefore the objective of this paper is introducing the method of flame control which can be applied to any size of compartment.

* 한국화재보험협회 부설 방재시험연구소 선임연구원

1. 서 론

화재시 발생하는 열보다 오히려 연기가 대형건물의 거주자에게는 주요한 위험요소가 된다. 화재는 보통 발화지점의 구역(compartment)으로 한정되지만 연기의 경우는 발화지점에 인접한 영역뿐 아니라 멀리 떨어진 부분까지 쉽게 전파된다. 연기에 의하여 계단 및 승강기 같은 피난 경로가 오염되어 거주자로 하여금 피난에 어려움을 겪게 한다. 따라서 더욱 많은 사람이 열보다는 연기의 위험성에 놓이게 되고 결과적으로 열에 의한 사망보다는 연기에 의한 질식사 가능성이 훨씬 높다.[1]

특히 대형 건물에서는 피난시간이 늘어나기 때문에 연기는 특히 위험한 요소로써 건물의 높이가 높아질수록 연기에 의한 위험성도 늘어난다. 최근에는 대형복합건물 등에서 중앙부분에 아트리움과 같은 대공간이 설치되고 있다. 이러한 현대식 건물들이 나타나면서 화재안전과 관련된 설계에 문제점이 도출되었으며, 화재 관련 당국자들이 겪는 문제들 중의 하나로 이러한 빌딩에 대하여 건축규정의 완화가 요구되고, 종종 피난과 같은 문제를 개선 또는 보상하는 방법으로 제연시스템을 사용되고 있다. 대형 제연시스템의 효율성

을 직접적으로 확인한다는 것이 어렵다는 사실은 널리 인식되어 왔다. 이러한 제연 문제에 대하여 화재 당국이 그 시스템의 설계를 평가하기 위해서는 까다로운 해석을 해야 한다. 그러나 이러한 해석은 건축과 설치의 적합성과 함께 매우 복잡할 뿐 아니라 오차의 존재 가능성이 높다.

이런 문제들을 단순하게 처리할 수 있는 수단으로 연기배출 시스템을 설치한 후 효율성을 평가할 수 있는 만족할 만한 방법을 제공하기 위한 시도가 계속되어 왔다. 여러 가지의 Cold Smoke Generators와 Hot Smoke Generators (Cold Smoke 를 송풍기형 히터에서 나오는 고온가스와 혼합) 그리고 예열된 공간으로부터 Warm Smoke를 갑자기 주입하는 것이 이러한 시도의 예이다.[2,3,4] Cold Smoke와 Warm Preheated Smoke 방법은 나름대로의 효용성이 있지만 실제 화재의 조건을 충분히 만족하기는 어렵고, 송풍기 방식의 Hot Smoke Generator는 원리상 가장 화재와 유사하나, 실제 화재에 비하여 상대적으로 적은 열량을 가진다. 따라서 최근에는 부식성과 오염성이 없는 연료를 직접 연소시키고 주위에 인위적인 연기발생기를 설치하여 시험을 수행하고 있다.[5]

2. Hot Smoke Test 에서 화염제어의 필요성

기존 hot smoke test 에서는 확산화염을 이용하기 때문에, 화염에서 나오는 발열량은 복사와 대류에 의하여 주위로 열전달이 생긴다. 연기유동에 기여하는 부분은 대류열전달이고 복사에너지는 화재전파에만 기여하게 된다. 또한 복사에너지는 인접한 건축구조물을 고온으로 가열할 가능성이 있으므로 제연설비의 시험에 있어서는 부정적인 효과를 준다. 그리고 확산화염의 특성은 주위의 공기유입의 정도에 따라서 연소속도가 변하기 때문에 공간적인 영향을 받는다. 따라서 시험전에 예상한 열 발생률을 정확하게 따라가지 못하고 화염크기를 평가하여 그 발생량을 산정하게 된다. 또한 확산화염은 예혼합화염에 비하여 화염 크기가 크기 때문에 좁은 공간의 화재는 묘사할 수가 없어 화재 시나리오 작성시 그 한계를 가지게 된

다. 따라서 이러한 한계성을 극복하기 위해서는 화염을 적절히 제어할 수 있는 시스템의 도입이 요구된다. 본 연구에서는 가스계 연료를 사용하고 화염에 유입되는 공기량을 인위적으로 조절함으로써 적절한 화염형태를 얻을 수 있는 방법을 제시한다. 공기 유입량을 제어하는 위하여 Fig.1 같은 오디오 시스템을 이용한 음파가진(acoustic excitation)을 도입하였다.

3. 화염제어장치의 구성

Fig.1 Schematic diagram of experiment system

화염의 길이를 제어하기 위하여 Fig.1에서 보듯이 간단한 실험장치를 제작하였다. 이 장치는 크게 유량조절부, 음파발생장치 그리고 연소기 세 부분으로 나눌 수 있다. 본 실험에서 연료와 산화제는 상용 프로판 (LPG) 과 공기이고 이 가스들은 압력조정기 (regulator) 와 유량계 (flowmeter ; Fisher) 를 지난다. 가스의 유량은 버블미터(bubble meter)에 의하여 검정되었으며 나이드 밸브(needle valve)에 의하여 미세유량이 조절된 후 혼합실로 들어간다. 혼합실에는 유동가스에 들어 있는 수분을 제거하기 위하여 실리카겔(silicagel)이 들어 있다. 실리카겔은 수분 함유량이 늘어남에 따라서 청색에서 투명하게 변하는 것을 사용하여 변색 정도에 따라서 적절한 시기에 교환할 수 있다. 혼합실에서 나온 가스는 충분한 혼합시간을 주기 위하여 약 2m의 LPG용 튜브를 통하여 가진실(plenum chamber)로 보내어

진다. 가진실의 중앙부에는 스피커가 설치되어 있고 스피커의 가장자리와 가진실 벽 사이로 가진실 하단부 중앙에서 들어온 혼합기가 흐르게 된다. 따라서 유동은 축대칭으로 형성되었으며 가진실 상단부에 설치되어 있는 내경 47mm 길이 1.23m 의 파이렉스관(Pyrex tube)으로 만들어진 연소기로 혼합기가 흘러가게 된다.

음파는 함수 발생기(function generator; Hewlet Packard, 8116A), 파워앰프(power amplifier ; Pioneer, SA-510) 와 스피커(Sammi, 8", Max 200W)를 이용하여 생성된다. 함수발생기의 주파수를 변화시킴으로써 해서 다른 유동특성 시간을 얻을 수 있고, 음향강도는 파워앰프를 이용하여 조절된다. 본 실험에서 사용한 연료파이프에 의한 공명주파수는 다음과 같은 식에 의하여 계산된다.

$$f_n = \frac{n}{2} \frac{C}{L + \frac{16r}{3\pi}}$$

여기서 C 는 음속이고, L 은 파이프의 길이, H 는 가진실내의 스피커 윗부분의 높이, R 은 가진실의 반경, r 은 파이프의 반경이다. 관 공명주파수는 공기를 기준으로 하였을 때 상온에서 133Hz 이다.

4. 화염크기 및 구조의 변화

위식에서 계산한 관 공명주파수를 사용하면 관 출구에서 큰 속도변동성분을 얻을 수 있고 이로 인하여 관 출구에서 많은 공기의 유입을 생성시킬 수 있다. 음향의 파장에 비하여 관의 직경이 충분히 작기 때문에 일차원 음파라고 생각할 수 있으므로 일차원 음파방정식을 사용하면 화염위치(X_f)의 속도변동 크기(U_f)는 다음과 같이 표현된다. [6]

$$\rho c U_f = -A \sin(kX_f) + B \cos(kX_f) \quad , \quad k = 2\pi f/c$$

$$A = (P_1 \sin(kX_2) - P_2 \sin(kX_1)) / \sin(kX_2 - kX_1)$$

$$B = (P_2 \cos(kX_1) - P_1 \cos(kX_2)) / \sin(kX_2 - kX_1)$$

ρ, k, c, f 는 각각 밀도, wave number, 음속(sound speed), 주파수(frequency)이다. 화염위치에서의 속도변동성분의 크기 U_f 는 A 와 B 에 의하여 선형적으로 비례하고, A 와 B 는 주어진 측정위치 X_1, X_2 에서 음압 P_1, P_2 에 의하여 결정되어지고, 음압의 크기는 스피커로 들어가는 전압에 비례한다. 따라서 속도변동성분의 크기는 스피커로 주어지는 전압에 선형적으로 비례하여 결정된다. 본 연구에서는 속도변동성분을 증가시켜 가면서 화염이 변화하는 특성을 조사하였다.



(a) 0.27 (b) 1.34 (c) 2.41 (d) 3.48 (e) 4.56 (f) 6.70

Fig.2 Direct photographs of the flame structure and height as an oscillating velocity increases

Fig.2는 프로판/공기 혼합기의 당량비가 2.2 인 경우 스피커에 주어지는 입력전압 증가에 따른 화염모양변화를 직접 촬영한 것이다. 앞에서 언급한 것처럼 음향속도 즉 속도변동성분은 입력전압에 비례한다. 따라서 Fig.2 의 (a) - (f) 에 나타나 있는 수치는 스피커 구동을 위한 입력전압의 크기로 상대적인 의미를 가질 뿐 절대적인 의미는 없으며 속도변동성분의 크기를 나타내는 지수(index)이다. 입력전압이 증가함에 따라 관 출구 가장자리의 화염면의 왜곡이 심해지고 혼합이 촉진됨을 알 수 있다. 계속해서 입력전압을 올리면 화염의 길이는 최초 화염 길이의 수분의 일도 길이가 줄어든다. 따라서 같은 양의 연료가 연소되기 위한 공간의 크기가 줄어든 것은 연소강도가 증가했음을 나타낸다. 화염의 구조도 확산화염의 특성인 휘염(luminous flame)보다는 청염(blue flame)에 가까운 예혼합화염 특성을 가진다. 그리고 일정한 연료량을 소모하였으므로 총 발생열량은 유사하지만 복사로 인한 열 손실이 많이 줄어들기 때문에 연기유동에 관여하는 열량은 상대적

으로 많이 증가한 것이다. 따라서 연기유동특성을 시험하기 위한 경우에는 확산화염보다 작은 연료 소모량으로 같은 결과를 얻을 수 있는 예혼합화염의 구조를 가지는 것이 유리하다. 혼합기를 사용하여 예혼합화염을 생성하는 경우는 역화(flash back)의 위험성이 있고 연소범위(flammable limits)가 매우 좁지만 본 연구에서처럼 음과가진을 통하여 외부공기에 의한 예혼합화염구조를 만들면 역화의 위험성도 없고 사용 가능한 발열량의 범위도 넓어진다. 그리고 단순히 파이프를 이용하고 화염의 크기도 확산화염에 비하여 상당히 작기 때문에 좁은 공간에서도 적용이 용이한 이 점이 있다.

5. 결 론

- 1) 음과 가진을 통한 공기유입량을 제어하는 원리 및 장치를 제시하였다.
- 2) 속도변동성분의 크기가 증가할수록 화염의 길이가 줄어든다. 따라서 좁은 공간에서도 적용이 가능하다.
- 3) 화염의 직접사진을 통하여, 속도변동성분이 증가함에 따라 확산화염에서 예혼합화염의 구조로 점차 변화함을 알 수 있었다.
- 4) 외부공기의 유입 촉진에 의하여 예혼합 화염 구조가 생성되었기 때문에 역화의 가능성이 없으며, 휘염부분이 없어져서 복사에 의한 에너지 손실을 방지할 수 있었다. 따라서 확산화염에 비하여 적은 량의 연료를 이용하여 연기유동시험을 할 수 있다.

참고문헌

1. G. T. Tamura, Smoke movement & control in high-rising building, NFPA, 1994
2. T. Daly, Presentation of a test in Western Australia, NFPA round table on fire safety in atrium, DEC, 1988, Washington DC.

3. J. Scarff, Presentation of tests in several US hotels, ibrd.

4 J. J. Keoung and A W Moulen, Smoke control tests in a multilevel shopping mall and associated stores, Experimental Building Station Technical Record 495, April 1983 , Australia

5. C. Willian, R. Harrison, H. P. Morgan, M. P. Shipp, J. C. De Smedt, A hot smoke test at Brusells airport, fire safety engineering, 1994, Vol.1 No.5

6. 김진국, 공기 유입이 화재강도에 미치는 영향에 대한 실험적인 연구, 방재기술, 제 21 호, 1996