

## 아트리움 공간에서의 화재성상에 관한 축소모델 실험연구 The Experimental Study of Fire Properties in Reduced-scale Atrium Space

류승관 · 김충익<sup>†</sup> · 유홍선

Seung-Kwan Ryu · Choong-Ik Kim<sup>†</sup> · Hong-Sun Ryou

중앙대학교 공과대학 기계공학과

### 요 약

본 연구에서는 atrium 공간에서의 화재성상을 파악하기 위해 실험실 실험의 대안으로서 축소 모형 실험을 수행하였다. 연속방정식, 운동량 보존 방정식, 에너지 보존 방정식과 같은 지배 방정식의 차원해석으로부터 추론된  $\pi$ 변수로부터 축소법칙을 얻었다. 이 축소법칙에 따라 일본의 시반스 atrium을 1/50로 축소한 모형에서 실험을 수행하였다. 여기서 얻어진결과를 실험실 실험 결과와 비교하였다. 더 나아가 이러한 결과들은 레이저 편광을 이용한 가시화 시스템에 의해 가시화 되어졌다.

### ABSTRACT

In this study, reduced-scale experiments as the alternative to a real-scale fire test were conducted to understand fire properties in atrium space. The scaling laws were derived from  $\pi$ -parameters which were deduced by dimensional analysis of governing equations (continuity, conservation of momentum and conservation energy). The 1/50 scale experiment simulated the real-scale fire test in SIVANS atrium at Japan were conducted under the scaling laws. And this results were compared with real-scale experiment results. Furthermore these results were visualized by video recording system using laser light sheet.

**Keywords :** Fire properties, Reduced-scale experiments, Atrium, Scaling law, Visualization

### 1. 서 론

근래에 국내에서도 대형 건축물에 atrium 공간을 설치하는 것이 점점 보편화되고 있다. 이는 최근 현대 도시들이 점점 고층화, 고밀도화됨에 따라 태양광선을 건물 중앙에 끌어 끌어들이고 단순한 로비나 통행 공간으로서가 아닌 휴식을 취할 수 있는 쾌적한 공간으로서 atrium 공간의 수요가 점차 증가하고 있기 때문이다.

이러한 atrium 공간의 설계에 있어서 고려되어야 할 것은 atrium 공간의 이점인 시각적으로는 개방성을 보장하고 채광기능을 유지하면서 바람이나 비, 외기 온도 등을 적절히 차단함으로써 쾌적한 공간을 만드는 것일 것이다. 이와 함께 atrium 공간의 설계에서 중요하게 부각되는 문제는 화재 발생시 어떻게 재실자의 안전을 확보할 것인가의 문제일 것이다. 아

트리움 건축의 설계에 있어서 발생하는 기술적 문제가운데 가장 중요한 과제가 바로 이 화재 안전에 관한 것이다.

일반적으로 종래의 건축공간은 각층으로 구획되어 겹쳐 쌓여진 구조를 가지고 있으므로 화재의 수직 확대가 억제되고 피난 경로를 통하여 화재의 영향을 받는 층으로부터 영향을 받지 않는 층으로 대피할 수도 있다. 물론 위는 이상적인 경우이고 반대로 실제로는 근대 건축물들이 가지고 있는 덕트나 공동을 통해 화재의 확대경로가 되어 화재가 발견될 무렵에는 건물 전체에 화재가 번졌을 수도 있고 또한 복잡한 복도나 칸막이에 의해 피난이 어려워지며 화인을 발견하기 어려워 질 수도 있다. 하지만 위와 같은 위험들은 지금까지 많은 연구가 진행되어져 왔고 설계자에 의해 적절한 방화대책이 세워질 수 있다.

하지만 atrium 공간의 경우 상하를 관통하는 큰 개구부로 구성되어 있기 때문에 수직 방향으로의 화염

<sup>†</sup> E-mail: cik@cau.ac.kr

의 확대가 급속히 진행되고, 현재까지의 건축법이나 소방법의 규정이 atrium 공간과 같은 새로운 형태의 설계에 대해 적절히 대응하지 못하는 등 구획된 소규모의 공간의 화재 안전대책과는 많은 차이가 있으면 또한 여러 문제점들을 가지고 있다. 아직 일반적으로 받아들여지고는 있지 않지만 atrium 공간에서의 화재의 경우 적절한 감지, 소화, 연기제어 시스템에 의해 구획된 소규모의 공간보다 쉽게 화재를 발견할 수 있으며, 화인에 쉽게 접근할 수 있고 시인성이 높아 피난 경로의 확보가 용이하며, atrium 공간의 거대한 기적에 의해 화염을 냉각시키고 또한 연기를 얽게 해준다는 화재 방재상의 이점도 논의되어지고 있다.<sup>1)</sup>

atrium 공간에서의 화재성상을 연구하는 방법에는 일반적인 화재성상 연구와 마찬가지로 실험적 방법과 수치 해석적 방법이 있다. 가능하다면 실물 규모의 실험을 하는 것이 화재 성상을 연구하는데 가장 정상적이고 타당한 정보를 제공할 수 있다. 하지만 화재성상은 매우 복잡한 메커니즘과 다양한 외부조건에 의해 영향을 받기 때문에 실제 규모의 화재실험은 상당히 어려운 것이 현실이다. 또한 atrium 공간 같은 대형 공간의 실제 규모의 실험에 들어가는 막대한 비용도 atrium 공간의 화재성상에 대한 실제 규모의 화재실험을 가로막는 한 요인이다.

그래서 이에 대한 대안으로 본 연구에서는 축소모형 실험을 통해 atrium 공간에서의 화재성상을 해석하였다. 합리적인 축소모형 실험을 하기 위해 기계학적 상사뿐만 아니라 화재성상을 지배하는 주요 변수들을 차원 해석하였다. 또한 위와 같은 차원 해석을 통하여 나온 축소법칙의 타당성을 검증하기 위해 1991년에 일본에서 타케우치 케이고 등에 의해 실물 규모로 행해진 실험<sup>2)</sup>에서의 atrium 공간을 축소법칙에 의해 모형과 화원을 제작하였다.

본 연구에서는 atrium 공간의 실물 규모의 실험과 축소 모형 실험의 화재성상을 비교함으로써 본 연구에 사용된 상사법칙의 타당성을 입증하고 이를 바탕으로 앞으로의 화재 축소 모형 실험에 과학적이고 타당한 기준을 제시하려 한다.

이러한 결과들을 바탕으로 atrium 공간을 설계하고 이러한 대형 개방 공간에서의 화재 방재 대책을 세우는데 있어 보다 현실적이고 유용한 기초 자료를 제공하고자 한다.

**2. 실험개요**

본 실험은 1991년에 일본에서 타케우치 케이고 등

에 의해 시행된 실물 크기의 atrium 공간에서의 화재 실험결과를 atrium 공간의 축소모델 실험의 검증 대상으로 설정하였다.

**2.1. 실험 건물**

atrium 공간에서의 화재성상에 관한 실험에 사용된 atrium 공간 모형은 현재 일본 지포에 있는 시반스 atrium 건물을 축소하여 제작하였다. 실물 atrium 공간은 폭 19.2 m, 길이 102.4 m, 높이 28.7 m의 황장의 대공간이다. 이 실물 atrium 공간을 길이에 대해 1/50으로 축소시켜 폭 0.384 m, 길이 2.048 m, 높이 0.574 m의 내부공간을 갖는 축소 모형을 가시화를 위해 두께 1 cm의 투명 아크릴을 사용하여 제작하였다. 내부공간의 밀폐를 위하여 고무와 실리콘을 사용하여 접합부와 이음새를 마무리하였다. 이해를 돕기 위해 본 실험에서 사용한 atrium 공간 축소모형의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

**2.2. 실험 장치**

atrium 공간 모형의 내부에서의 온도변화를 측정하기 위해 0.32 mm 두께의 T-type (구리-콘스탄탄, 측정범위 : -270~400°C) 열전대를 설치하였다. atrium 공간 모형의 내부에 31개의 열전대를 설치하였고 설치

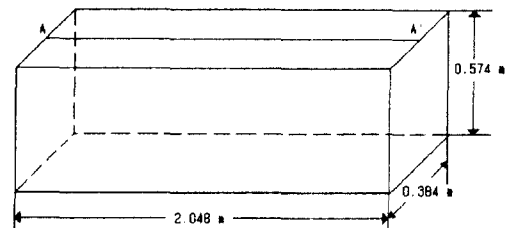


그림 1. Schematic of the reduced-scale atrium space.

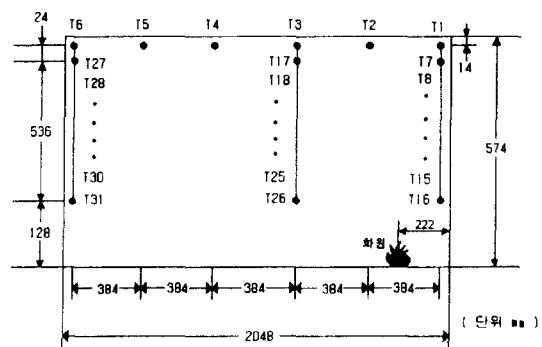


그림 2. Schematic of the thermocouple arrangement in the reduced-scale atrium space.

위치는 실물크기의 복도 형태 공간과 아트리움 공간에서의 실험에 설치된 열전대의 위치를 본 모형의 축월에 따라 축소하여 설치하였다. 아트리움 공간 축소 모형 실험에서의 열전대의 위치를 그림 2에 나타내었다.

이렇게 설치된 열전대로부터 들어오는 데이터는 온도 센서를 가지고 있는 DT730-T 스크류 터미널과 데이터 수집 보드인 DT3003-PGL을 사용하여 데이터를 얻은 후 데이터 수집 소프트웨어인 HP VEE를 사용하여 프로그래밍한 전압을 온도로 변화시키는 프로그램을 통해 아트리움 공간 모형 내부에 설치된 열전대로부터의 온도 데이터를 수집하였다. 좀더 정확한 온도 값을 얻기 위해 본 실험에서 사용된 0.32 mm 두께의 T-type 열전대에 대해 0°C의 얼음주과 100°C의 수증기에 대해 각각 보정을 행하였다. 보정의 결과로서 다음 식을 얻었다.

$$\text{실제온도} = \frac{\text{측정온도}}{0.97543} \quad (1)$$

또한 연기선단의 전파속도와 연층을 가시화하기 위하여 수냉식의 Argon, Krypton, Mixed Gas Ion Laser 시스템과 Laser Light Sheet Probes를 사용하였다. Laser로부터 나온 빛은 Sheet Probes를 통하여 편광으로 만들어지고 이 편광을 이용하여 본 실험에서 가시화 하고자 하는 부분을 CCD Camera와 Frame Grabber DT3155를 사용하여 일정 시간간격마다 연기의 유동을 이미지 파일로 저장하였다. 본 실험에서 사용된 가시화 시스템의 개략도를 그림 3에 나타내었다.

### 2.3. 화원

실물 크기의 아트리움 공간에서의 화재실험에서 사

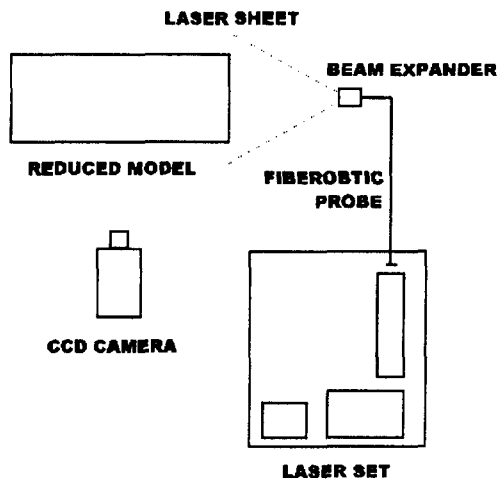


그림 3. Schematic of the visualization system.

한국화재·소방학회, 제13권 제4호, 1999년

용된 화원은 아트리움 끝 부분에서 11.1 m 떨어진 위치에 설치되었다. 화원의 크기는 50 cm×50 cm의 연소판 8개를 합친 것에 메탄올을 넣어 연소시켰으며 발열량은 약 800 KW이다.

축소 모형의 아트리움 공간에서의 화원의 위치는 축월 1/50에 따라 아트리움 끝 부분에서 22.2 cm 떨어진 위치에 설치하였다. 축소 모형에서의 화원의 크기를 결정하기 위하여 다음과 같은 발열량에 대한 무차원수를 고려하였다.

$$Q_D^* = \frac{Q}{\rho_{\infty} C_{p\infty} T_{\infty} (gD)^{1/2} D^2} \quad (2)$$

McCaffery(1979)는 위 무차원수에서  $\rho_{\infty} C_{p\infty} T_{\infty}$ 는 압력과 지구 표면에서의 중력상수  $g$ 에 비례하기 때문에 다른 무차원 형태와 궁극적으로 다르지 않다는 가정 하에 다음과 같은 새로운 무차원 변수를 제안하였다.<sup>3)</sup>

$$Q_f^* = \frac{Q}{D^{5/2}} \quad (3)$$

본 축소 모형 실험에서는 화원의  $Q_f^*$  값을 실물 크기의 실험에서 화원의  $Q_f^*$  값과 일치시킴으로서 좀더 정확한 데이터를 얻고자 하였다. 실물 크기의 실험에서는 원형의 화원이 아닌 정사각형의 연소판을 연결한 형태의 화원이 사용되었으므로 다음 식에 의해 수력지름을 구하였다.

$$D_h = \frac{4A}{P_c} \quad (4)$$

축소 모형 실험에서는 가연물질로서 휘발유를 사용하였으며 휘발유의 발열량은 다음 식에 의하여 얻어진다.

$$(\text{발열량}) = (\text{연소량}) \times (\text{연소열}) \times (\text{연소효율}) \quad (5)$$

휘발유의 연소량(Burning Rate), 즉 단위 면적 연소되는 연료의 양은 준 정상상태에서의 값인 약  $1.667 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 로 고려하였다. 휘발유의 연소열(Heat of combustion)은  $4.39 \times 10^4 \text{ KJ/kg}$ , 그리고 연소효율은 연기가 발생하지 않는 연료의 경우 0.7, 유색의 연기가 나오는 경우 0.6으로 고려되는데 휘발유의 경우 연기가 발생하지 않는 연료이므로 연소 효율을 0.7로 고려하였다.<sup>4)</sup> 이렇게 해서 얻어진 휘발유의 발열량을 이용하여 실물 크기의 실험과 축소 모형 실험의  $Q_f^*$ 를 일치시킨 결과로서 지름 2.13 cm의 화원을 제작하였다.

또한 연층의 가시화를 위한 실험에서는 가연물질로 마른 담뱃잎과 톨루엔의 혼합물을 사용하였다. 위 가연물질의 물질의 연소시 발생하는 연기에 포함되어 있

는 여러 입자들에 의해 산란된 laser beam에 의해 연층은 가시화 되어진다.

### 3. 축소 법칙

본 축소 모형 실험에서는 주로 대류에 대한 상사를 행하였다. 다음과 같은 지배 방정식의 차원해석을 통하여 추론된  $\pi$  변수를 유도하였다.

· 연속 방정식 (continuity equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \tag{6}$$

· 운동량 보존 방정식 (momentum conservation equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) + \rho g_i \tag{7}$$

· 일반적인 스칼라 수송 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_{eff} \frac{\partial \phi}{\partial x_j}\right) + S_\phi \tag{8}$$

위의 지배방정식으로부터 추론된  $\pi$  변수는 다음과 같다.

$$\pi_1 = \frac{L_0}{t_0 u_0} \tag{9}$$

$$\pi_2 = \frac{\Delta p_0}{\rho u_0^2} \tag{10}$$

$$\pi_3 = g\beta \frac{\Delta\theta_0 L_0}{u_0^2} \tag{11}$$

$$\pi_4 = \frac{Q_0}{\rho c_p u_0 \Delta\theta_0 L_0^2} \tag{12}$$

여섯 개의 normalizing parameter에 대해 네 개의 방정식이 존재하므로 여섯 개의 normalizing parameter 중 네 개( $u_0, Q_0, t_0, \Delta p_0$ )는 남아있는 두 개의 parameter( $L_0, \Delta\theta_0$ )에 의해 나타내질 수 있다.

결국 다음과 같은 축소법칙을 얻을 수 있다.

$$n(t) = \left[\frac{t_M}{t_R}\right] = n(L)^{1/2} \tag{13}$$

$$n(Q) = \left[\frac{Q_M}{Q_R}\right] = n(L)^{5/2} \tag{14}$$

$$n(u) = \left[\frac{u_M}{u_R}\right] = n(L)^{1/2} \tag{15}$$

### 4. 실험 결과 및 고찰

부력에 의해 화재시 생성된 연기는 천장에 도달하고 천장을 따라 이동하게 된다. 이렇게 생성된 연층의 수평전파를 아트리움 천장에 설치된 열전대를 이용하여 그 도달 시간을 파악하였다. 또한 이 결과를 실물 크기 실험에서의 연층 도달 시간 결과와 비교하였다. 실물 크기의 실험과 축소 모형 실험에서의 천장 온도분포를 각각 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

축소 모형 실험에서 천장 제트가 화원 반대쪽 아트리움 천장 끝 부분(T6)까지 도달하는데 걸린 시간은

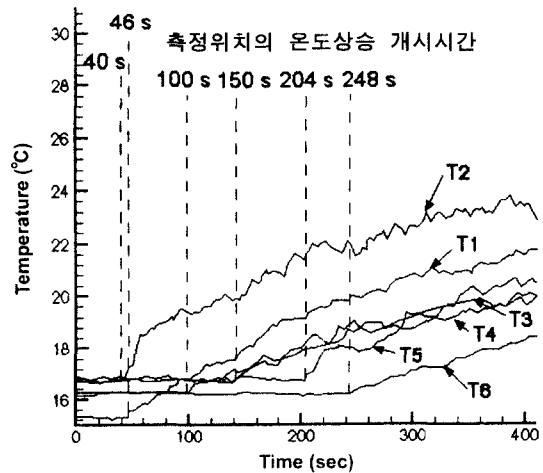


그림 4. Temperature of the smoke under the ceiling in the real-scale atrium.

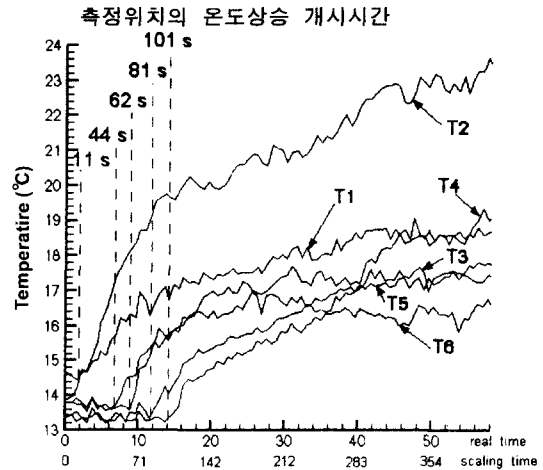


그림 5. Temperature of the smoke under the ceiling in the reduced-scale atrium.

약 14초이다. 이를 축소법칙에 의해 time-scaling해 주면 도달시간은 약 101초로 실물 크기 실험에 비해 약 2.5배정도 상향 예측하는 것을 알 수 있었다.

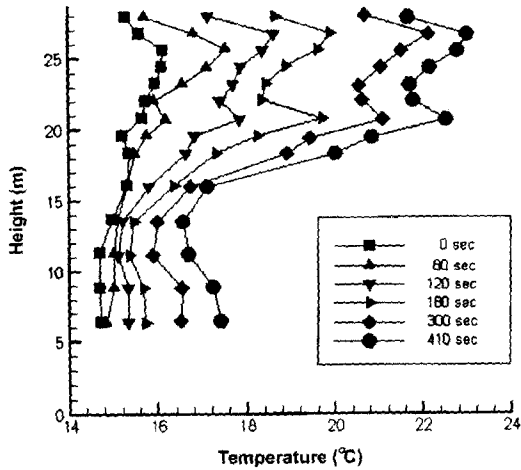
이는 실물 실험의 경우 제어할 수 없는 외기 온도, 바람 같은 외란(外亂)조건과 앞에서 언급한 축소법칙이 단지 차원해석에 의한 축물에 대한 것이고 실제 모형 실험의 보정 계수를 포함하지 않음으로써 나타나는 차이로 보여진다. 실제로 실물 크기의 실험의 경우 아트리움 외부의 온도는 내부에 비해 약 10°C 낮은 상태였고 풍속도 5 m/s였다. 이에 반해 축소 모형 실험의 경우 바람이 없고 아트리움 모형내부와 외부의 온도차이도 거의 존재하지 않았다. 또한 추후 외란 조건을 차단시킨 여러 케이스에 대한 축소 모형 실험을 통해 보정 계수를 도출하는 것이 필요할 것으로 보인다.

연층의 하강 현상을 보기 위해 수직방향으로의 온도 분포를 살펴보았다.

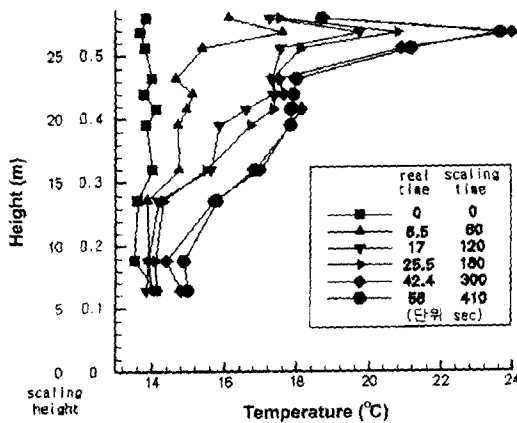
실물 크기 실험과 축소모형 실험에서의 수직 방향의 온도분포를 그림 6, 7, 8에 나타내었다.

화원 쪽 끝단에 설치된 T1의 수직 온도 분포를 살펴보면 실물 크기의 실험에서의 연층이 축소 모형 실험에 비해 더 두텁게 성장한 것을 볼 수 있다. 이는 천장 제트의 경우와 마찬가지로 실물 크기의 실험에서의 차가운 외기 온도에 의해 연층이 급속히 식으면서 하강을 시작하기 때문인 것으로 보인다. 이에 반해 아트리움 공간 외부의 온도가 내부의 온도와 비슷한 축소 모형 실험의 경우 연층은 수직 전파보다 수평 전파가 더 급속히 일어나는 것을 볼 수 있다.

화원 반대쪽 끝단의 T6의 수직온도 분포를 살펴보

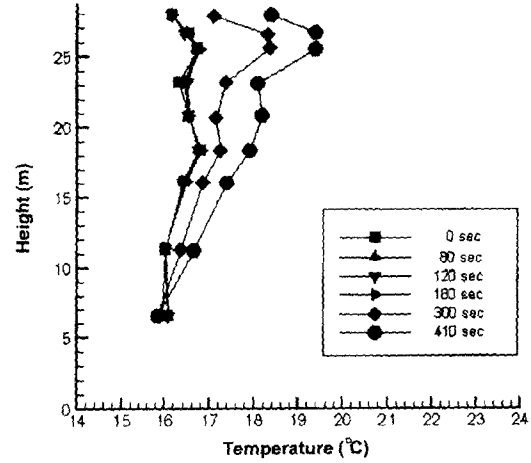


(a) Real-scale atrium

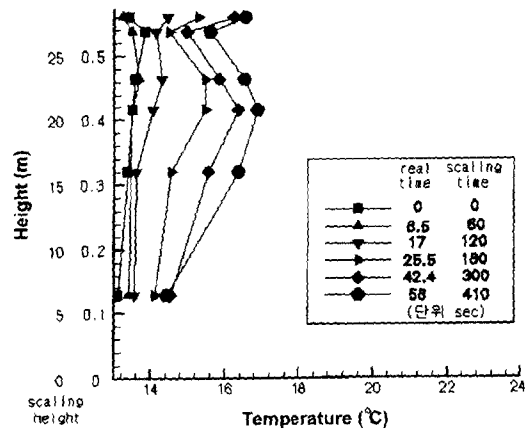


(b) Reduced-scale atrium

그림 6. Vertical profiles of temperature at T1.

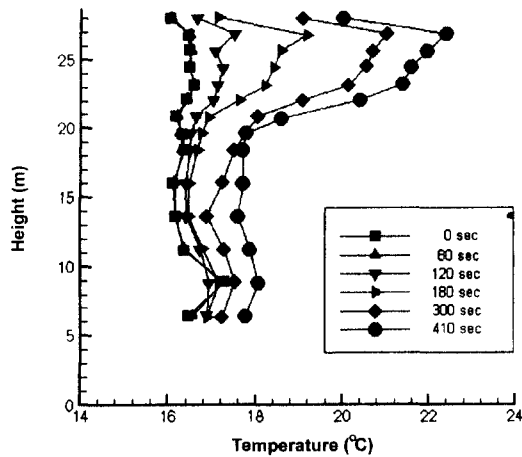


(a) Real-scale atrium

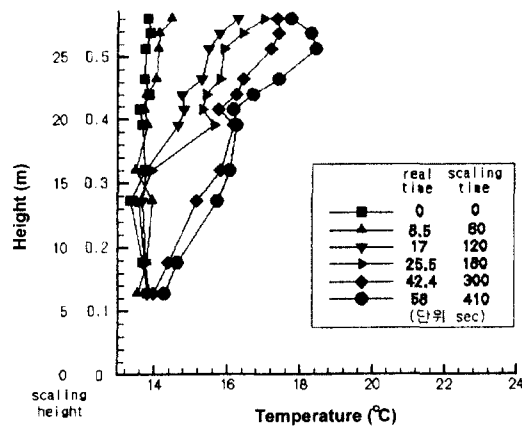


(b) Reduced-scale atrium

그림 7. Vertical profiles of temperature at T6.



(a) Real-scale Atrium



(b) Reduced-scale atrium

그림 8. Vertical profiles of temperature at T3.

면 실제 실험에 비해 천장 부분의 온도보다 중간 높이 부분의 온도가 더 크게 성장하는 것을 볼 수 있다. 이는 그림 9의 연기 유동 사진에서 보는 바와 같이 연층의 하강에 의한 것이라기보다는 연기 유동에 의한 현상으로 파악된다. 실물 크기의 실험에 비해 상당히 빠른 속도로 아트리움 끝단에 도달한 연기 선단은 벽에 부딪히면서 급격히 방향을 선회하게 되고 이는 순환유동을 발생시킴으로써 천장 밑 쪽 부분(T27)에 비해 중간부분(T28, T29, T30)의 온도를 더 상승시키는 결과를 가져온다.

또한 T3의 수직온도 분포에서 scaling time으로 180초와 300초 사이에 급속하게 연층이 하강한 것을 볼 수 있다. 이도 마찬가지로 벽에 충돌한 연층이 방향을 바꾸면서 화원 방향으로 형성된 제트에 의한 것이다.

아트리움 공간 내에서의 연기의 거동을 파악하고 온도 분포에 의한 연기 거동 파악수법의 타당성을 검증하기 위한 가시화 실험의 결과를 그림 9에 나타내었다.

사진 (a)에서 화원으로부터 형성된 부력에 의하여 상승하여 천장에 부딪치고 이 때 와류(vortex)가 형성되고 (b)~(d)에서 와류는 성장하면서 그 안에는 또 다른 와류들이 형성되면서 천장 제트를 형성한다. (e)에서 천장 제트는 화원 반대쪽 벽에 충돌하는데 이는 연층의 화원 반대편 벽에 도달하는 시간으로 보는 T6에서의 온도상승 개시시간 14초와도 거의 일치한다. 또한 벽에 충돌한 천장 제트는 방향을 선회하여 하강하기 시작한다. (f)에서 하강하던 연기는 거의 바닥에 이른다. (g)~(h)에서 연기는 방향을 선회하여 화원 쪽으로 제트를 형성하기 시작한다.

(i)~(j)위에서 형성된 제트는 30초에 이르러서는 아트리움 가운데 부분까지 이르며 연층을 급격히 두껍게 만든다.

(k)~(l)에서 (j)에서 아트리움 가운데 부분까지 이룬 연층은 화원까지 도달하고 연층의 하강은 더 이상 급격히 진행되지 않고 정체되는 모습을 보이면서 연기의 농도만 증가하는 것을 볼 수 있었다.

축소 모형 실험에서의 가시화를 통하여 축소 모형의 경우에 부력 감소, 질량 확산, 그리고 운동량 교환에 의한 연층 하강에 비해 벽과의 충돌로 인해 발생한 연기의 대류운동이 큰 영향을 줄을 알 수 있었다. 또한 온도 데이터에 의한 연기 거동 파악이 타당함을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 아트리움 공간에서 화재성상을 축소 모형 실험을 통해 아트리움 공간 내에서의 연층의 이동과 성장과정 그리고 온도분포를 연구하였다. 또한 이 결과를 실물 크기의 실험과 비교함으로써 본 연구에 사용된 축소법칙의 타당성을 검토하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 실물 크기의 실험에서 아트리움 내부와 외부의 큰 온도차 그리고 아트리움 외부의 바람 등 화재성상에 영향을 줄 수 있는 외란(外亂)조건에 의해 축소 모형 실험과의 정상적인 비교가 어려웠다. 하지만 앞에서 언급한 축소 법칙에 외란 조건을 차단시킨 여러 케이스에 대한 축소 모형 실험을 통해 보정 계수를 얻어냄으로써 축소 법칙에 대한 타당성이 검증 받을 수 있을 것으로 보여진다.

2. 연기 거동을 가시화 함으로써 축소 모형 내에서

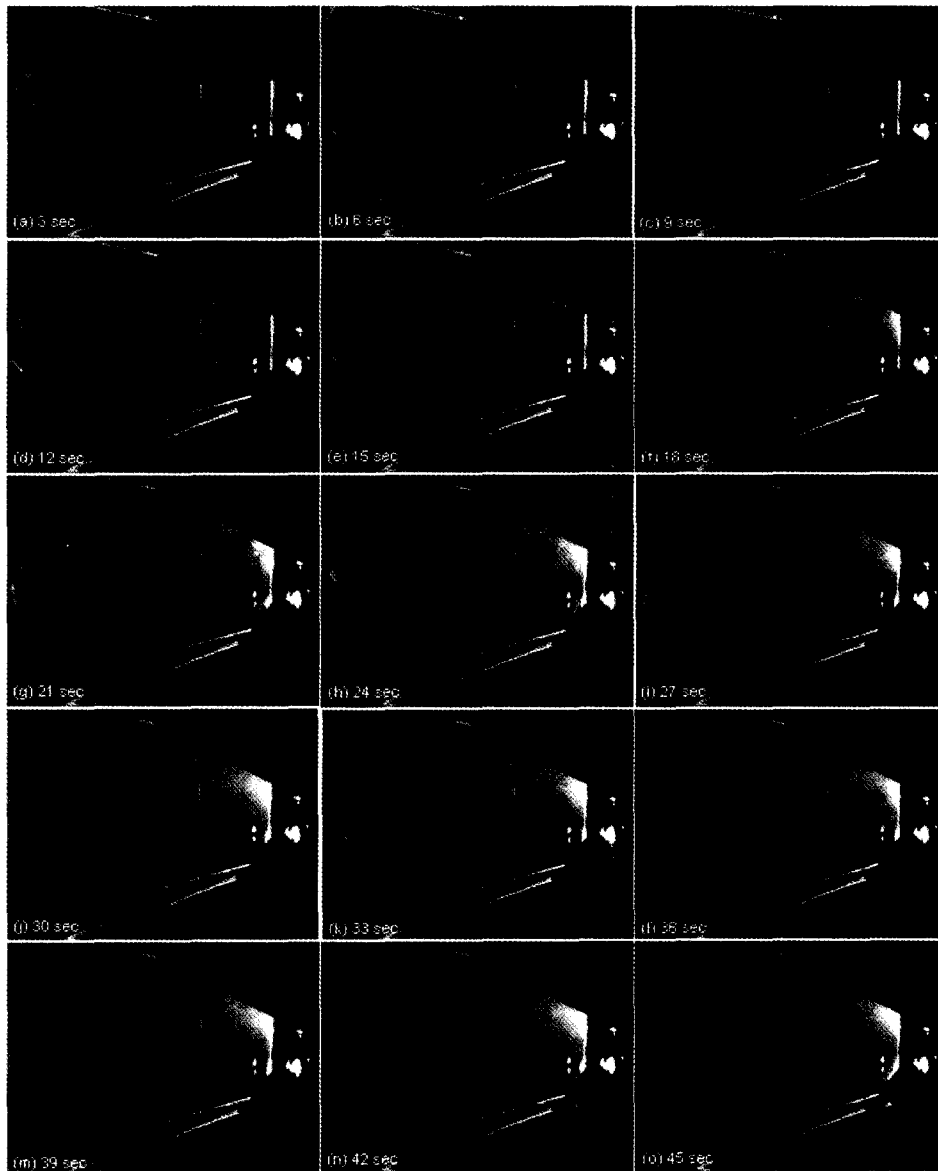


그림 9. Photograph of smoke flow in reduced atrium.

의 연층의 형성, 전파 그리고 하강 과정을 파악할 수 있었다. 이 결과 본 축소 모형 실험에서의 연층 하강에 연기의 벽과의 충돌에 의해 발생한 대류운동이 연층의 하강에 주요한 영향을 끼침을 파악할 수 있었다.

3. 온도분포에 의한 연기거동 파악과 가시화에 의한 연기거동 파악이 일치함으로써 온도분포에 의한 연기거동 예측이 본 실험에 있어서 타당함을 알 수 있었다.

한국화재 · 소방학회, 제13권 제4호, 1999년

이에 따라 앞으로 축소 법칙의 좀더 높은 신뢰도를 얻기 위한 외기 조건을 일치시킨 축소 모형 실험이 추가적으로 요구 되어지며 공간의 형상에 따른 상사의 영향도 연구되어져야 할 과제로 남아있다.

**기호목록**

$c_p$ : Specific heat of air at constant pressure - 정

## 압비열

H: Height of atrium[m] - 아트리움의 높이  
 g: Gravitational acceleration[m/s<sup>2</sup>] - 중력가속도  
 P: Pressure[Pa] - 압력  
 Q: Heat release rate[w] - 발열량  
 t: Time - 시간  
 T: Temperature[K] - 온도  
 V: Volume[m<sup>3</sup>] - 체적  
 W: Width of the atrium[m] - 아트리움의 폭  
 L: Length - 길이  
 u: Velocity - 속도  
 D: Diameter - 직경  
 A: Cross-sectional area - 단면적  
 Pe: Wetted perimeter - 접수길이

## Greek

$\rho$ : Density[kg/m<sup>3</sup>] - 밀도  
 $\Gamma$ : Diffusion coefficient - 확산계수  
 $\mu$ : Viscosity[N · s/m<sup>2</sup>] - 점성  
 $\beta$ : Coefficient of thermal difference

## Superscript

\*: Dimensionless quantity - 무차원

## Subscript

R: Real scale - 실물 스케일  
 M: Model - 모형  
 0: Characteristic - 특성  
 h: Hydraulic - 수력

## 참고문헌

1. 이강훈, "아트리움건물의 화재안전에 관한 연구", 대한 건축학회논문집 10권 8호 (1994).
2. 타케우치 케이고, "연기층 단면의 가시화에 의한 유동과 압수법 ; 실물크기 아트리움에 있어서 연기유동실험", 일본건축경제학회대회학술강연경개집(1991).
3. G. COX, "Combustion Fundamentals of Fire", ACADEMIC PRESS INC. San Diego, CA92101 (1995).
4. 김명배, 한용식, "유동에 의한 연층 확산에 관한 실험적 연구", 한국화재소방 학회지 11권 3호 (1997).
5. Quinterre, J. G., "Scaling Application in Fire Research", Proc. of the International Symposium on Scale Modeling (1998).