

구획화재 열유동에 대한 축소법칙의 유효성에 관한 수치해석 연구

고권현

동양대학교 건축소방행정학과

Numerical Study on the Validity of Scaling Law for the Heat and Fluid Flow of Compartment Fires

Ko, Gwon Hyun

Dongyang University

요 약

본 연구에서는 환기 특성에 근거한 축소법칙의 유효성을 평가하기 위해 실규모 및 2/5 축소 구획에 대한 화재를 FDS를 이용하여 모사하고 기존의 실험 결과 및 해석 결과 상호간에 비교 분석을 수행하였다. 실규모 및 축소 모형에 대한 해석 결과를 비교할 때 구획 내부 유동 형태 등에 있어서 다소간의 차이를 보였으나 화염의 분출 거동 및 열유동 분포 등의 거시적인 특성에 대해서는 유사한 결과를 보여주었다.

1. 서 론

일반적으로 건축물의 내부 공간에서 발생하는 화재를 표현할 때 건축학에서 사용하는 ‘구획(compartment)’이란 용어를 사용한다. 구획화재(compartment fires)는 건물의 구조, 가연물의 성분 및 분포, 환기 조건 등에 따라 다양한 화재 특성을 보이며 바람이나 습도 등의 외부 요인에도 민감하게 변화한다. 특히 환기 조건은 화염의 연소 특성에 결정적인 역할을 하게 된다. 즉, 외부로부터 유입되는 공기의 양과 화염의 열적 피드백으로 인해 발생하는 연료 증기의 양의 비에 따라서 과환기 화재(over-ventilated fires), 또는 환기부족 화재(under-ventilated fires)의 특성을 보이게 된다. 특히 환기부족 화재에서는 인체에 유해한 일산화탄소(CO)와 피난 활동을 방해하는 그을음(soot) 성분의 발생이 증가하기 때문에 더욱 위험하다^{1,2)}.

구획화재와 관련된 학술적 연구는 주로 ISO 9705 표준 화재실에 대해서 이루어져 왔는데 이것은 다양한 연구 결과를 수집하고 분석하여 표준화하는데 큰 도움을 주고 있다. Pitts³⁾은 그 이전에 발표된 여러 실험 결과를 비교 분석하여 구획화재의 특성을 총괄 당량비(GER, global equivalence ratio)를 기준으로 구분하고 CO의 생성을 예측하고자 하였다. 그 이후로 최근에 이르기 까지 실규모 혹은 축소 모형에 대한 구획화재 연구는 계속 이어

지고 있는데 Blomqvist et al.⁴⁾은 ISO 9705 화재실의 환기부족 화재에 대한 실험적 연구를 수행하였으며 Gann et al.⁵⁾은 플래쉬오버 전후의 유독가스 생성에 관한 데이터를 축적하기 위해 다양한 가연물질을 이용한 실내화재 실험을 수행한 바 있다.

그런데 실규모의 화재실험은 비용의 측면에서나 위험성의 측면에서 매우 어렵고 제한적일 수 밖에 없기 때문에 적절한 상사를 통해 구현된 축소 모델에서의 실험이 보다 현실적이고 유용하다. 일반적으로 화재로 인한 부력플럼 유동에 대한 상사 법칙으로 Froude 상사를 많이 사용하고 있으나 구획화재의 경우 공간적 제약과 이로 인한 물리화학적 특성의 변화를 고려하기 위해서 환기 변수(ventilation factor)에 근거한 상사 법칙을 사용한다⁶⁾. 본 연구에서는 이와 같은 환기 특성에 근거한 축소법칙의 유효성을 평가하기 위해 실규모 및 2/5 축소 구획에 대한 화재를 FDS를 이용하여 모사하고 기존의 실험 결과^{6,7)} 및 해석 결과 상호간에 비교 분석을 수행하였다.

2. 해석 조건

본 연구에서는 ISO 9705 표준 화재실⁷⁾과 2/5 크기의 축소 모형⁶⁾에서 메탄을 연료로 하여 수행된 기존의 화재 실험 연구에 대해서 수치해석을 수행하였다. 그림 1과 표 1은 실규모(FSE, Full Scale Enclosure) 및 축소규모(RSE, Reduced Scale Enclosure)의 화재실에 대한 형상과 규격을 보여준다. 연소가스의 농도가 계측된 상층부 두 지점(FP, RP)의 좌표도 함께 나타내었다. 그림에 나타내지는 않았으나 화재실 내부의 앞쪽 및 뒤쪽의 두 지점에서 열전대 트리를 설치하여 온도분포를 측정하였다^{6,7)}.

앞서 언급한 바와 같이 구획화재의 상사에는 환기 변수($A\sqrt{h}$)가 주로 사용된다. 여기서 A 는 개구부의 단면적이고 h 는 높이이다. 표 1에 나타난 FSE와 RSE의 크기의 비는 1 : 0.4이며 개구부 크기에 근거한 환기 변수의 비는 약 6.5 : 1 이 된다. 연료 소모율과 개구부를 통한 공기유입량의 합을 화재실로의 전체 유입 유량이라 할 때 이 전체 유입 유량의 비를 6.5 : 1의 크기로 맞추므로써 총괄당량비(GER)을 일치시킬 수 있다. 표 1에 나타

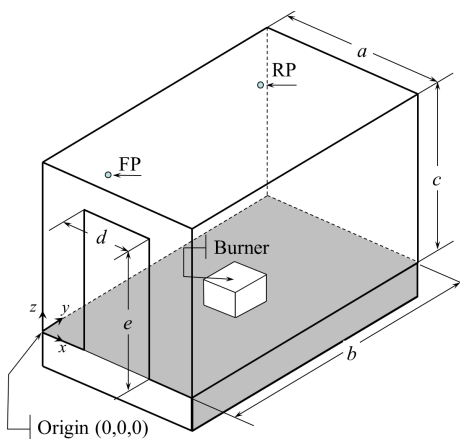


그림 1. 화재실의 형상.

표 1. 실규모 및 축소 규모 화재실의 규격

	실규모 화재실 (FSE)	축소규모 화재실 (RSE)
크기 (a×b×c)	2.4×3.6×2.4	0.98×1.46×0.98
개구부 (d×e)	0.8×2.0	0.48×0.81
화원 크기	0.31×0.31	0.13×0.13
FP (x,y,z)	(0.75,0.25,2.15)	(0.29,0.10,0.88)
RP (x,y,z)	(0.75,2.85,2.15)	(0.29,1.15,0.88)
HRR [kW]	850,1250,2700	100,200,400

넨 바와 같이 100 kW와 850 kW, 200 kW와 1250 kW, 400 kW와 2700 kW의 전체 유입 유량비는 각각 6.7, 6.7, 6.6 으로 환기 변수비 6.5에 근사하며 이에 따라 결정되는 GER은 각각 0.7, 1.0, 2.4 이다⁷⁾.

본 연구에서는 FDS Ver. 5.5를 이용하여 해석을 수행하였다. 화재실 출입구를 통한 공기의 유출입 과정을 함께 해석하기 위해서 화재실 외부로 확장된 해석 영역을 구성하였다. FSE와 RSE는 각각 한 변의 길이가 약 2.5 cm와 5 cm 크기의 정방형 격자로 구성되어 총 격자의 수는 각각 35만개와 46만개 정도이다. 1250 kW(FSE)와 200 kW(RSE)의 경우 격자크기에 대한 무차원 특성길이의 비(D^*/dx)는 각각 약 19와 20이다.

3. 결과 및 고찰

그림 2와 3은 FSE와 RSE에 대한 해석 결과를 실험 결과^{6,7)}와 비교한 내용 중 일부이다. 그림 2는 고온 상층부의 온도에 대한 결과를 보여주는데 실험의 경우 화재실 내부의 위치에 따라 온도차를 보이고 있으며 해석의 경우 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 그림에도 불구하고 해석결과가 실험에서 보여주는 시간에 따른 경향성을 잘 따르는 것을 확인할 수 있다. 그림 3은 RSE 400 kW의 경우에 대해서 고온 상층부 두 지점에서의 CO 농도에 대한 실험 및 해석 결과를 보여준다. 해석 결과를 보면 시간에 따른 변동폭이 크고 초반의 농도 변화 예측에 다소간의 오차를 보이고 있으나 후반으로 갈수록 해석 결과와 좋은 일치를 보여주고 있음을 알 수 있다.

그림 4와 5는 FSE 2700 kW와 RSE 400 kW의 해석 결과를 보여주는데 x 방향의 중심 단면에서의 유동장과 단위체적당 발열량(HRR/PUA), 혼합분율(mixture fraction)의 예측 결과를 비교할 수 있다. 환기 변수 측면에서 상사에 해당하는 두 경우를 비교할 때 유동장의 특성, 화염면의 위치 등이 매우 유사한 것을 확인할 수 있다.

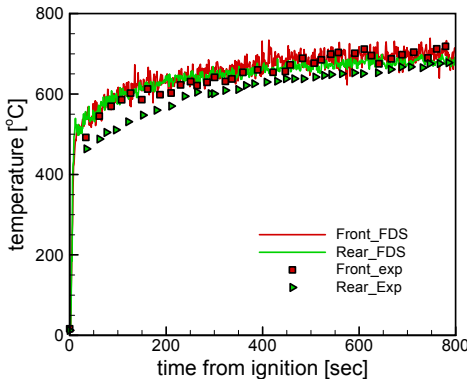


그림 2. FSE 850 kW에 대한 고온 상층부의 앞쪽 위치(1.90, 0.50, 1.96)과 뒤쪽 위치(0.50, 3.10, 1.96)의 온도에 대한 실험⁷⁾ 및 해석 결과 비교.

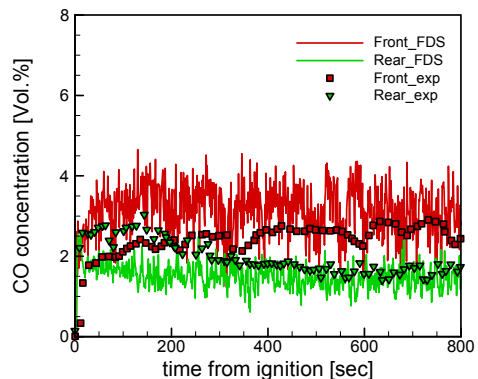


그림 3. RSE 400 kW에 대한 FP 와 RP 위치에서의 CO 농도에 대한 실험⁶⁾ 및 해석 결과의 비교.

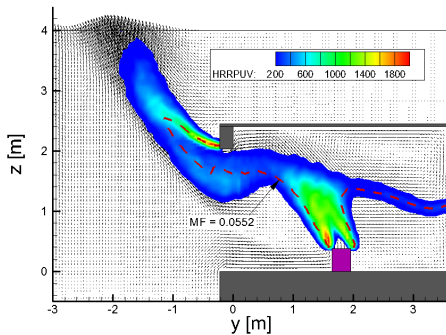


그림 4 FSE 2700 kW에 대한 x-center 단면의 유동장, 단위체적당 발열량 (HRRPUA), 혼합분율(MF)의 해석 결과.

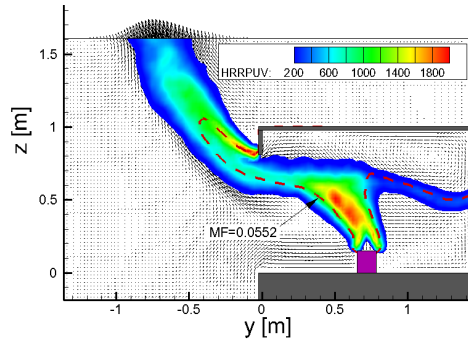


그림 5 RSE 400 kW에 대한 x-center 단면의 유동장, 단위체적당 발열량 (HRRPUA), 혼합분율(MF)의 해석 결과.

4. 결론

본 연구에서는 환기 특성에 근거한 축소법칙의 유효성을 평가하기 위해 실규모 및 2/5 축소 구획에 대한 화재를 FDS를 이용하여 모사하고 기존의 실험 결과 및 해석 결과 상호간에 비교 분석을 수행하였다. 실규모 및 축소 규모의 화재 해석 결과를 비교할 때 구획 내부 유동 형태 등에 있어서 다소간의 차이를 보였으나 화염의 분출 거동 및 열유동 분포 등의 거시적인 특성에 대해서는 유사한 결과를 보여주었다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2010-0024182).

참고문헌

1. Quintiere, J.G. et al. (1981). Comb. Sci. Tech., Vol.26, pp.193-201.
2. Beyler, C.L. (1986). Fire Safety Journal, Vol.10, pp.47-56.
3. Pitts, W.M. (1995). Prog. Ener. Comb. Sci., Vol.21, pp.197-237.
4. Blomqvist, P. et al. (2001). Fire and Materials, Vol.25, pp.71-81.
5. Gann, R.G. et al. (2003). NIST TN 1453.
6. Bryner, N.P. et al. (1994). NIST IR 5568.
7. Pitts, W.M. et al. (1995). "Combustion Product Formation in Under and Overventilated Full-Scale Enclosure Fires" Proc. Comb. Fund. and App.