

B-20

**계단형 공동주택 화재시 독성가스 전파 저감에 관한
수치해석적 연구**

**Numerical Simulations on Reduction of Toxic Gas Propagation at
High-Rise Apartment Building Fires**

이승철+, 홍이표**, 박영록***

Seong-Chul Lee, Yi-Pyo Hong, Young-Rok, Park

요 약

본 연구에서는 이전의 연구²⁾를 통해 계단형 공동주택 화재 시 재실자 피난특성 및 연기거동에 관한 연구를 실험실실험을 통해 수행한 바 있으나 이때 야기된 문제점들을 적절한 방재설비를 도입함으로써 일부 해소하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 이전의 연구²⁾와 동일한 대상 건물과 조건에서 수치해석을 수행하며 특히 계단실에 방재설비(배연팬 등) 설치 유·무에 따른 독성가스의 전파 특성 및 최상층까지의 도달시간등을 비교·검토하였다. 계단형 공동주택에서 층간에 배연팬이 설치되어 작동되는 경우가 배연팬이 없는 경우보다 약 45%의 CO 방출량을 줄일 수 있을 것으로 판단되지만 1층 출입구를 통해 유입되는 공기량은 배연팬이 없는 경우가 배연팬이 설치되어 작동되는 경우보다 약 23% 크기 때문에 이로 인해 제연풍속의 증가를 가져올 수도 있을 것이다.

키워드 : 계단형 공동주택 화재, 피난특성, 연기거동,

Key words : High-Rise Apartment Building Fires, Evacuation Characteristics, Smoke Movement

1. 서 론

우리나라의 경우 국토가 좁고 인구 집중과 주거공간의 부족 등으로 인하여 고층공동주택의 활용성이 더욱 더 증대되고 있는 실정이다. 그러나 국민들의 화재 경각심 부족과 소방안전교육의 미비 등으로 화재에 대한 위험성은 줄어들지 않고 있다. 또한 고층공동주택의 경우에는 하나의 건물에 다수의 세대, 많은 사람들이 거주하므로 화재시 자칫 대형 인명사고로 이어질 수 있는 개연성을 충분히 가지고 있다.

표 1에는 소방방재청의 2006년 화재통계연보의 인명피해현황을 나타내었다. 표에서 보이는 바와 같이 화재 발생시 사망의 원인 중, 질식사(31.4%)로 가장 높게 나타나고 있다.¹⁾

표 1. 2006년 인명피해현황

구분	계	취침중 (만취)	탈출시도	신체 (정신장애)	자살방화	화재진압·인 명구조	물건반출	기타
계	2,180	281	404	38	171	360	31	895
사망	446	130	78	20	77	8	3	130
부상	1,734	151	326	18	94	352	28	765

+ 정회원 · 강원대학교 소방방재학부 · 조교수 · E-mail: sclee@kangwon.ac.kr

++ 정회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 석사과정

+++ 정회원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 박사과정

화재시 사망의 큰 원인인 질식사는 유해가스, 특히 일산화탄소에 의한 직접적인 피해 이외에도 화재 시 발생한 연기가 재실자의 시정을 저해하여 피난로를 찾지 못함으로써 유발된다. 따라서 공동주택 내 화재 발생시 재실자의 안전을 확보하고 피난 구조 활동 및 화재진압활동을 수행할 수 있도록 하기 위해서는 고온의 유해가스와 연기가 피난로에 침투하지 못하도록 적절한 유속을 유지해 주는 방재설비가 필요하다.

본 연구팀은 이전의 연구²⁾를 통해 계단형 공동주택 화재 시 재실자 피난특성 및 연기거동에 관한 연구를 실물실험을 통해 수행한 바 있으며, 이때 야기된 문제점들을 적절한 방재설비를 도입함으로써 일부 해소하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 이전의 연구²⁾와 동일한 대상 건물과 조건에서 수치해석을 수행하며 특히 계단실에 방재설비(배연팬 등) 설치 유·무에 따른 독성가스의 전파 특성 및 최상층까지의 도달시간등을 비교·검토하여 재실자 인명피해 저감 방안을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 대상 모델

본 연구에서 선택한 건축물은 강원도 삼척시에 소재한 강원대학교 두타생활관(2004년 10월 개관)으로써 건물높이 29.5m, 연면적 5,132㎡이고 재실인원은 약 324명이다. 그림 1에는 본 실물실험을 수행한 두타생활관 외부전경, 실물실험영역 및 화재발생지점을 나타내었다. 화재는 2층 계단참에서 발생한 것으로 가정하였으며 1층 출입구와 옥상 출입구는 개방된 것으로 가정하였다. 실험 조건에 대한 상세는 참고문헌²⁾을 참조 바란다.



그림 1. 건물 전경

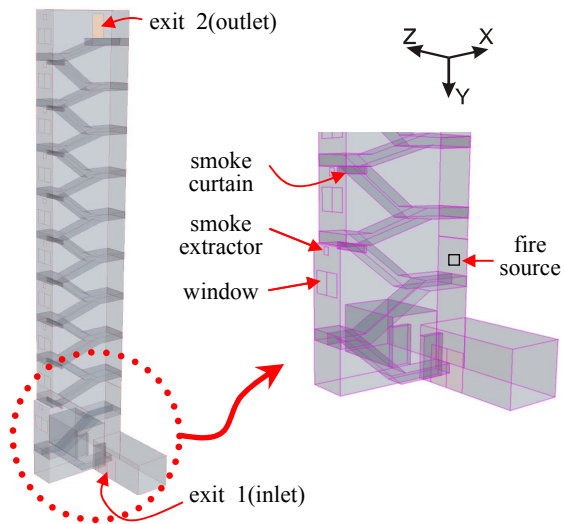


그림 2. 해석 모델

3. 지배방정식 및 경계조건

고층 공동주택의 화재 상황을 기술하는 비정상상태의 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 엔탈피방정식, 난류운동에너지방정식, 난류운동에너지소산율방정식, 그리고 농도방정식이다. 본 연구에서는 공기영역의 기류는 난류의 거동(표준 $k-\epsilon$ 모델³⁾)을 따른다고 간주하였으며, 밀도의 변화는 이상기체상태방정식을 이용하여 해석하였다. 이러한 지배방정식은 일반적인 형태를 따르며 지면 관계상 생략하였다.⁴⁾

전술한 화재상황을 기술하는 지배방정식들과 함께 정의되는 경계조건은 유입구, 유출구, 벽, 출입구 그리고 배연팬에서 정의될 수 있으며, 그 상세한 내용은 표 2에 나열하였다. 표에서 case1과 2는 배연팬(smoke extractor) 유·무에 따라 구분된다. 본 연구에서 사용한 독성물질은 CO(일산화탄소)이며 확산계수 $D_{co}=2.02 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ 이며 Schmidt수는 0.77을 사용하였다.

표 2. 초기조건 및 경계조건

	Case 1	Case 2
t=0	$C_0 = 0, T_0 = 293K, u = v = w = 0$	
Inlet (exit 1)	$P = 294 Pa, T_0 = 285.8K, C = 0$	
Inlet (exit 2)	$P = 0 Pa, \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial C}{\partial z} = 0$	
wall	$u = v = w = 0, \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial C}{\partial z} = 0$ $\frac{\partial K}{\partial x} = \frac{\partial K}{\partial y} = \frac{\partial K}{\partial z} = \frac{\partial \epsilon}{\partial x} = \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial \epsilon}{\partial z} = 0$	
Inlet (smoke source)	$\dot{m}_s = 4.89 \times 10^{-3} kg/s, \dot{m}_{\omega} = 0.9 \dot{m}_s$	
Outlet (smoke extractor)	-	개당 0.429 kg/s

4. 수치해석 방법

본 연구에서는 고층 공동주택의 화재확산특성을 해석하기 위하여 상용 CFD 코드인 STAR-CD⁵⁾를 사용하였다. 대류항을 계산하기 위해서 상류차분법(upwind differencing scheme)을 사용하였고 속도장을 얻기 위하여 PISO(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) 알고리즘을 사용하였다. 계산에 사용한 제어 체적의 수는 약 21만개이다.

5. 결과 및 검토

본 계산은 총 600초에 대해 수행하였으며, 그림 3과 4에는 층간 계단실에 배연팬이 없는 경우와 설치되어 작동되는 경우의 옥상 및 1층 출입구를 통과하는 공기유속을 각각 나타내었다.

그림 3에서 보이는 바와 같이 두 경우 모두 유동이 없는 초기에서 약 6초까지 실내의 온도차이에 기인하는 연돌효과(stack effect)로 인해 급속히 증가한다. 그 이후에는 큰 변화없이 거의 유사한 공기량이 유지됨을 알수 있다. 또한 층간 계단실에 배연팬이 없는 case 1의 경우가 배연팬이 설치되어 작동되는 case 2의 경우 보다 약 3.2 [kg/m²·s] 정도 큰 통과유량을 갖는다. 이는 case 2의 경우 중간층에 10대의 배연팬을 통해 건물 내부의 공기가 외부로 유출되기 때문이다.

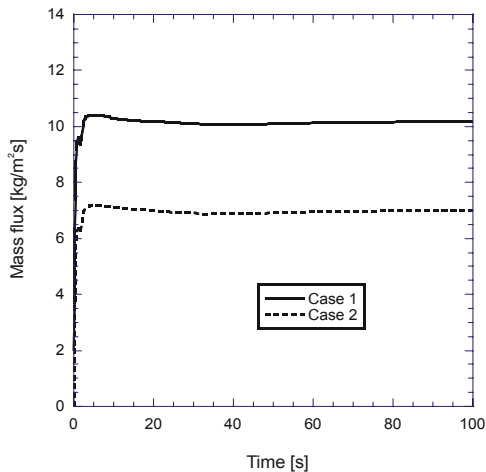


그림 3. 옥상 출구에서 시간에 따른 공기유속

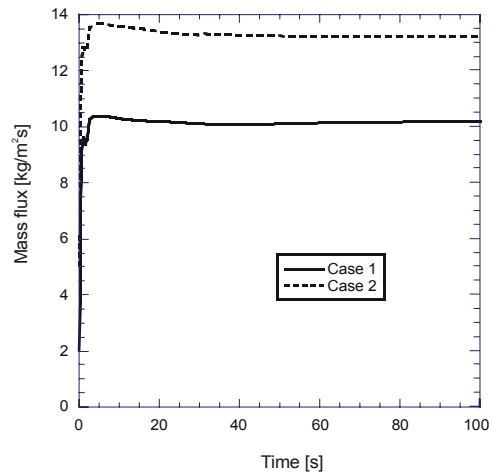


그림 4. 1층 출입구에서 시간에 따른 공기유속

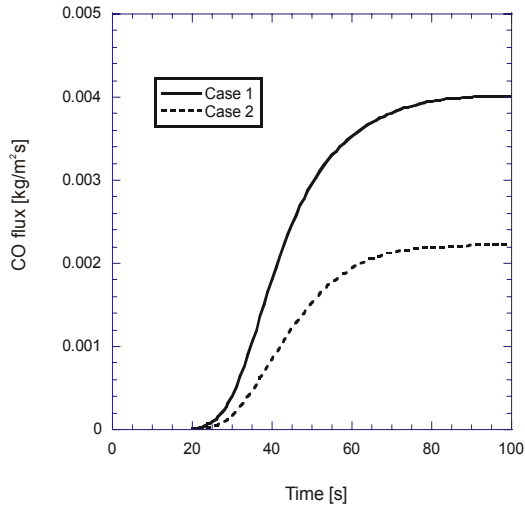


그림 5. 옥상 출구에서 시간에 따른 CO유속

CO 방출량이 배출되는데 걸리는 시간은 층간 계단실에 배연팬이 없는 경우 약 42초가 소요되었으며, 배연팬이 설치되어 작동되는 경우는 약 63초가 소요되어 약 21초의 차이를 보인다. 또한 80초 이후에 일정한 CO 방출량은 층간 계단실에 배연팬이 없는 경우 약 0.00402 [kg/m²·s]이며, 배연팬이 설치되어 작동되는 경우는 약 0.00223 [kg/m²·s]이다. 따라서 본 연구에서 채택한 계단형 공동주택에서 층간에 배연팬이 설치되어 작동되는 경우가 배연팬이 없는 경우보다 약 45%의 CO 방출량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 1층 출입구를 통해 유입되는 공기량은 배연팬이 없는 경우가 배연팬이 설치되어 작동되는 경우보다 약 23% 크기 때문에 이로 인해 제연풍속의 증가를 가져올 수도 있을 것이다.

6. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 계단형 공동주택 화재 시, 계단실에 방재설비(배연팬 등) 설치 유·무에 따른 독성가스의 전파 특성 및 최상층까지의 도달시간등을 비교·검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 옥상출구를 통해 배출되는 공기유속은 층간 계단실에 배연팬이 없는 경우가 배연팬이 설치되어 작동되는 경우 보다 약 3.2 [kg/m²·s] 정도 크며, 1층 출입구를 통해 유입되는 공기유속은 층간 계단실에 배연팬이 작동되는 경우가 배연팬이 없는 경우 보다 약 3.3 [kg/m²·s] 크다.
- 2) 약 80초 이후 옥상 출구를 통해 배출되는 CO량은 층간에 배연팬이 설치되어 작동되는 경우가 배연팬이 없는 경우보다 약 45% 줄일 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 연구결과를 보다 실제 기초자료로 사용하기 위해서 향후 계속되는 연구를 통해 실제 화재조건을 모사하여 시뮬레이션을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 소방방재청 (2006). “2006년 화재통계연보”, p.72.
2. 홍이표, 이재복, 정영진, 이승철, 이시영, (2006). “계단형 공동주택 화재 시 재실자 피난특성 및 연기거동에 관한 연구”, 2006년 한국화재소방학회 춘계학술논문발표회 논문집, pp.156-161.
3. B. E. Launder, and D. B. Spalding (1974). “The numerical Computation of Turbulent Flows”, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 3, pp. 269-289.
4. Suhas V. Patankar (1980). “Numerical Heat Transfer and fluid Flow”, McGraw Hill.
5. Computational Dynamics Ltd. (2002). STAR-CD Version 3.15 User Manual, Computational Dynamics Ltd.