

P-15

화재 시 연기거동 관련 연구 동향에 관한 조사

A Study on the Research Trends of Smoke Movement in Fire

김형진* · 신이철** · 황은경*** · 황금숙**** · 권영진*****

Kim, Hyung Jin · Shin, Yi Chul · Hwang, Eun Kyung

Hwang, Keum Suk · Kwon, Young Jin

Abstract

Smoke is recognized as the major killer in fire situation. smoke often migrate to building locations remote the fire space, threatening life and elevator shafts frequently become smoke-logged, there by blocking evacuation and inhibiting rescue and fire fighting.

It is the aim of this study to investigate and analyze the research trends of smoke movement in Fire

key words : Smoke Movement, Research trends, Simulation

1. 서론

1.1 연구의 목적

최근 산업 및 도시화의 발전으로 인하여 건축물의 형태가 초고층화, 지하심층화, 대형 복합화 되는 추세로 수용인원이 증가함에 따라 화재 시 대규모의 인명 및 재산 피해가 발생할 위험성이 증대되고 있다. 이에 따라 인명의 피난에 대한 문제가 대두되고 있으며, 이러한 피난에 가장 큰 영향을 미치는 것이 연기라 할 수 있다. 실제로 여러 화재사례를 분석해 볼 경우 화재가 발생하여 화재 자체에 의한 인명 피해는 거의 없으며 다수의 인원이 연기로 인하여 피난 시 문제에 봉착하게 되어 고온의 유독가스에 의해 중독·질식되는 경우가 대부분이다.

따라서 본 연구는 건축물의 연기 유동에 관한 실험 및 수치해석을 수행한 기존 연구를 중심으로 건축물 연기거동 관련 연구의 전반적인 현황을 살펴보고, 우리나라 건축공간의 연기거동 관련 연구 성과에 대한 기초적인 자료를 정리하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

건축물의 연기 거동에 관한 자료는 학술적으로 대한건축학회 및 검증된 대학 학위논문과 학술지 등의 기존연구를 수집하였다. 자료는 한국 화재소방학회, 대한기계공학회, 한국화재보험협회 등에서 연구논문을 선정하였으며, 국회도서관을 통하여 입수가 가능한 석·박사 학위 논문을 분석하여 연구 자료로 사용하였다.

논문을 요약 정리하여 건물의 종류와 실험방법을 분류하고 연기거동에 관한 연구의 동향에 대해서 통계적인 정성적 자료를 수치화하고 연도별 연기 거동에 대한 연구 방법을 요약하여 제시하였다.

* 정회원·호서대학교 소방방재학과 초고층·장대터널 연구실 E-mail: khjfkjhj@hanmail.net

** 정회원·호서대학교 소방학과 대학원 석사과정

*** 정회원·한국건설기술연구원

**** 정회원·한일MEC

***** 정회원·호서대학교 소방방재학과 교수·공박

2. 건축물 연기거동 관련 연구 방향 분류 및 동향 분석

2.1 연기거동 관련 논문의 연구 방향에 따른 분류

표1은 1992년부터 2007년까지의 연기거동에 관한 각 학회의 연구논문 및 석·박사 논문을 적용 건축물과 연구방법에 따라서 분류하여 수치화한 것이다.

총 92편의 논문을 건수에 따라 분류하여 살펴보면 건축물의 종류에 따라서는 터널형이 24건으로 39.1%, 밀폐공간형이 26.1%, 대형건축물이 23.9%, 초고층형이 10.9%의 비율로 연구가 진행되어져 왔다. 터널은 대구 지하철 참사 이후 관심이 높아져 이에 대한 연구가 증가하였으며 현재까지 연기거동의 연구 중에서는 가장 큰 영역을 차지하고 있다. 또한 건축물 구조의 변화에 따라 초고층과 대형 건축물, 밀폐공간과 같은 분야에 연구도 조금씩 증가하는 추세에 있다.

연구방법은 크게 축소모형과 실물화재실험, 시뮬레이션을 통한 수치해석으로 나누었으며, 이중 축소모형 실험이 48건으로 52.2%를 차지하여 가장 높은 비율로 나타났다. 이는 실물화재실험은 장소와 비용 등의 많은 어려움이 있으며, 여러 연구결과 축소모형실험이 실물화재 실험과 유사한 연구결과가 나타났기 때문에 판단된다. 더불어 실험 결과를 Zone Model과 Field Model을 이용하여 수치해석을 수행한 연구가 증가하는 추세를 보이고 있다.

표 1 연도별 분류기준에 따른 논문 현황

(단위: 건)

구분 \ 분류기준	건축물 구조				연구 방법			
	밀폐공간	대형	터널형	초고층형	축소모형실험	실물화재실험	시뮬레이션	합계
1990년 ~ 1994년	1	1	1	1	2	1	1	4
1995년 ~ 1999년	7	7	8	1	12	4	7	23
2000년 ~ 2004년	8	7	13	3	14	5	12	31
2005년 ~ 2007년	8	7	14	5	15	6	13	34
합	24	22	36	10	48	15	29	92

2.2 연기거동에 대한 연구 동향 분석

표 2는 연도별 연기거동 관련 주요 논문을 정리한 것으로 연기의 유동에 대한 연구 논문은 1992년 김충익¹⁾의 연구결과에서 축소 모형을 통한 HVAC 시스템의 제연 성능을 시험 하였으며 연기유동의 차단이 미비하다는 것을 알 수 있었다.

1996년 노재성, 유홍선은²⁾ 밀폐공간에서 극부적을 물질이 연소 시 연기의 거동 및 유동장, 온도장을 시뮬레이션을 통해 예측하고 배연설비 및 피난대책에 대한 Data base 및 이론적 자료를 제공하였다.

1997년 김명배, 한용식은³⁾ 2층 Zone의 모델을 열전대와 레이저로 실험 수행하여 이 모델에 대한 개념의 한계성을 밝히고자 하였으며 그 결과, 복도에서의 긴 구획의 연기유동에서 연층형성은 천장제트로부터의 전형적인 연기 하강과 구획의 기하학적 구조에 따른 유체유동에 의한 연기전달 현상에 의하여 이루어지는 것으로 2층 Zone모델의 적용한계를 알 수 있었다.

1998년의 김명배 외3명은⁴⁾ 복도현상의 구획을 대상으로 연기유동의 이동형태를 가시화하는 Laser sheet의 장점을 설명하였으며, 열전대의 온도신호와 동기된 순간의 단발연기 사진들로부터 연기전단의 도착순간을 급격한 온도상승 시점으로 간주해왔던 종래의 직관적 평가 기준의 적합함을 보여주었다.

2000년에는 조민태 외3명은⁵⁾ 시뮬레이션을 활용한 연기의 이동을 프로그램을 이용하여 효과적으로 보여

표 2 연도별 연기거동 관련 주요 연구 동향

연도	연구 저자	연구 제목
1992	김충익	연기의 제어 ¹⁾
1996	노재성, 유홍선	밀폐공간에서의 화재에 의한 연기의 유동이론 ²⁾
1997	김명배, 한용식	유동에 의한 연층 확산에 관한 실험적 연구 ³⁾
1998	김명배 외3	Laser와 열전대를 이용한 연기선단의 위치추적 비교에 관한 연구 ⁴⁾
2000	조민태 외	지하철 터널 내 화재 발생 시 연기의 확산과 제연에 관한 수치 해석적 연구 ⁵⁾
2002	정진용 외3	실내공간에서 화재 발생 위치에 따른 연기 거동에 대한 실험 연구 ⁶⁾
2003	김수영 김우석 외3	피난자의 연기 영향을 고려한 피난프로그램 개발에 관한 연구 ⁷⁾ 축소용도의 실내 화재 시 연기유동에 관한 연구 ⁸⁾
2005	장희철 외3	지하역사에서 화재 발생 시 자연풍 및 강제배연의 유무에 따른 열 및 연기거동 특성 연구 ⁹⁾
2006	홍이표 외4	계단형 공동주택 화재 시 재실자 피난 특성 및 연기거동에 관한 연구 ¹⁰⁾
2007	박원희 외2	광주지하철 지하역사에서의 열부력 연기화재 실험 ¹¹⁾

주었으며 CFX 4.1 code를 이용하여 지하철 터널 내 기류상태 및 공간 온도분포를 수치화 하였다.

2002년 정진용 외3명은⁶⁾ 중심형 화재, 벽체형 화재 모서리형 화재의 3가지형태의 모형실험을 통해서 실내 화재의 화원의 위치에 따른 벽 영향이 화염구조와 연기거동에 중요한 요소임을 확인 하였으며 이론적 해석으로서 Heskestad와 최대구배법을 수치화 하고 화재소프트웨어에의 실험적 데이터로서 제공 하였다.

2003년 김수영은⁷⁾ 복도 구조의 피난자의 연기 영향에 대하여 Pool Fire 실물화재실험을 통하여 데이터를 확보하고 이를 축소모형실험을 실시하여 비교·분석 하였다. 또한 CFD Program 중 CFX를 이용하여 난류모델 해석을 하여 실험결과와 유사한 형상을 나타내는 것을 확인하였다. 김우석 외3명은⁸⁾ computer simulation으로 FAST 3.17과 JASMINE 3.23을 사용하고 축소 모형을 이용한 실험을 하여 연기거동을 비교하고 그 결과, 대형건물들의 방재계획은 다방면으로서 화재에 대한 연구가 되었다고 보이며 화재의 발생이 많은 소규모 건물들에 대한 화재의 대비는 미흡하다고 판단하였다.

2005년 장희철 외 3명의 논문⁹⁾ 지하역사 승강장 가판대에서 화재발생시 자연풍의 영향과 강제배연시스템의 작동 여부에 따른 열과 연기의 유동 특성을 알아보기 위하여 실제 공동구 simulation과 CFD, 축소모형(SMEP)을 통한 소방설비의 작동에 대한 검증을 하였다.

2006년 홍이표 외4명은¹⁰⁾ 계단형 공동주택에서 화재 모의실험을 통해 연기의 전파속도와 재실자들의 피난 특성을 파악하고 그 결과를 컴퓨터 시뮬레이션과 비교·검토 하였다. 강원대학교 삼척캠퍼스의 두타생활관을 실물화재로서 실험을 하여 각층의 옥상의 대피자들의 피난 행동을 관찰하여 재실자들의 연기 영향에 의한 피난 특성과 피난 시 행동요령을 관찰하였으며 시뮬레이션은 SIMULEX manual을 통한인간의 심리인자 및 특성을 감안한 보행속도, 응답시간에 대한 고려를 하여 이루어 졌으며 그 결과, 실험의 결과가 시뮬레이션의 결과보다 시간이 더 소요되는 것을 확인 하였으며 피난 시 대피자의 가시거리 확보나 독성물질에 의한 호흡에 어려움 등의 상황을 시뮬레이션에 도입하여 실제와 유사한 상황을 만들 것이라는 결론을 얻게 되었다.

2007년 박원희 외2명은¹¹⁾ 광주지하철의 연기화재 실험을 실물 모의 연기화로 실험은 열풍기4대를 사용하였다. 그 결과, 계단의 경우에는 유동이 약하여 대합실로 상승함을 알 수 있었고, 비 연기 구역에서는 기류형성이 별로 생기지 않음을 보여주며 광주 지하철에서의 화재 시의 연기거동에 대한 자료를 제공 하였다.

3. 향후 국내 연기거동에 관한 연구 방향

1990년대 초부터 그림1에 나타난 바와 같이 연기거동에 관한 연구가 시작되어 현시점까지 점차적으로 증가하고 있는 추세이다. 연구동향을 분석한 결과 실물 및 축소실험과 시뮬레이션을 이용한 연구가 진행되어

왔다고 할 수 있다. 하지만 현재 시점에서 화재 시 연기에 대한 연구의 필요성을 재검토 할 필요가 있다.

연기에 대한 연구의 근본적인 목적은 인간의 피난에 있어서 연기거동을 제어하여 피난 시 발생하는 어려움을 최소화 시키는데 있다고 할 수 있다. 따라서 향후 연기거동에 관한 연구방향은 인간의 피난특성과 피난 시간을 고려한 연구가 진행되어야 하며, 연기를 제어 할 수 있는 제연설비와 더불어 연구가 진행 되어야 할 것으로 판단된다. 또한 현재 무분별하게 사용되는 시뮬레이션 프로그램에 대한 검증이 이뤄져야 하며, 국내 건축물 용도별 재실자의 상황을 판단 할 수 있는 Program의 개발이 매우 시급한 것으로 조사 되었다.

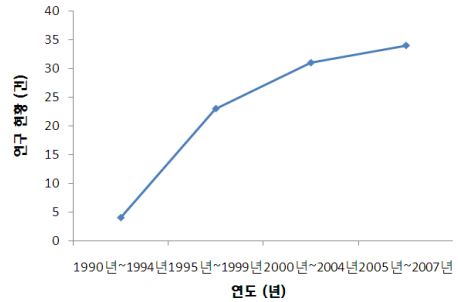


그림 2 연도별 연기거동 연구 현황

4. 결론

국내 연기거동 관련 연구 동향을 살펴본 결과 건축물의 변화와 화재사태에 따라서 연구 분야가 점차 증가하는 것을 확인하였으며, 컴퓨터의 성능 향상과 함께 시뮬레이션 분야가 확대되어지는 것을 볼 수 있었다. 반면 검증되지 않은 프로그램을 이용하여 산출된 데이터를 현장에 적용하는 것은 상당한 문제점이 발생 할 수 있으며 따라서 프로그램에 대한 검증이 하루빨리 이루어져야 하며, 시뮬레이션은 실험을 통한 검증이 되어야 한다고 판단된다.

건축물에 화재가 발생할 경우 인간 피난에 있어 가장 큰 영향을 미치는 것은 연기이다. 또한 최근 건축물 변천 구조를 살펴보면 지하 심층화, 초고층화로 건물이 밀폐공간으로 형성되어 연기제어에 중요성이 대두되고 있다. 따라서 향후 연구방향은 단편적인 연기의 거동에 대한 연구를 넘어 인간의 피난을 집중시켜 연기의 제어기술과 피난안전설계 측면까지 통합적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 김충익 (1992). “연기의 제어” 한국화재소방학회논문지, 제6권1호 , pp.80-89 ,
- 2) 노재성, 유홍선 (1996). “밀폐공간에서의 화재에 의한 연기의 유동이론” 한국화재소방학회 학술발표회, pp.5-9
- 3) 김명배, 한용식 (1997) “유동에 의한 연층 확산에 관한 실험적 연구” 한국화재소방학회논문지, pp.3-14
- 4) 김명배 외3 (1998). “Laser와 열전대를 이용한 연기선단의 위치 추적 비교에 관한 연구” 한국화재소방학회 논문지, 제12권3호 pp.11-20
- 5) 조민태 외3 (2000). “지하철 터널내 화재시 연기의 확산과 제연에 관한 수치해석적 연구” 한국화재소방학회:학술대회지 pp.50-56
- 6) 정진용 외3 (2002) “실내공간에서 화재 발생위치에 따른 연기거동에 대한 실험연구” 대한기계학회논문집 pp703- 709
- 7) 김수영 (2003). “피난자의 연기 영향을 고려한 피난프로그램 개발에 관한 연구” 박사학위 논문
- 8) 김우석 외3 (2003).“숙소용도의 실내화재 시 연기유동에 관한 연구” 한국화재소방학회 춘계학술논문 pp.80-86
- 9) 장희철 외3 (2005). “지하역사에서 화재발생시 자연풍 및 강제배연의 유무에 따른 열 및 연기거동 특성 연구” 한국화재소방학회논문지 , 제19권1호 pp.156-16
- 10) 홍이표, 외4 (2006) “계단형 공동주택 화재시 재실과 피난 특성 및 연기거동에 관한 연구” 한국화재소방학회 춘계학술논문 발표회 pp.156-161
- 11) 박원희 외2 (2007) “광주지하철 지하역사에서의 열부력 연기화재 실험” 한국화재소방학회 춘계학술논문 발표회 pp.345-348