

## 계단형 공동주택 화재 시 재실자 피난특성 및 연기거동에 관한 연구

홍이표, 이재복, 정영진, 이승철, 이시영  
국립강원대학교 소방방재학부

### A Study on Evacuation Characteristics and Smoke Movement on High Rise Building Fires

Yi-Pyo Hong, Jae-Bok Lee, Young-Jin Jeong, Seung-Chul Lee, Si-Young Lee  
School of fire and Disaster Prevention, Kangwon National University

#### 1. 서론

국내의 경우 국토가 좁고 인구 집중과 주거공간의 부족 등으로 인하여 공동주택의 활용성이 더욱 더 증대되고 있는 실정이다. 그러나 공동주택의 경우에는 관계자들의 화재 경각심의 부족과 소방안전교육미비 등으로 인하여 자칫 대형 인명사고로 이어질 수 있는 개연성을 충분히 가지고 있다.

2004년 화재통계연보에 의하면 화재 발생시 사망의 원인 중, 질식사가 37.5%로 가장 높게 나타나고 있다.<sup>1)</sup> 사망의 큰 원인인 질식사는 유해가스에 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.

각 선진국에서는 이미 '70년대부터 공동주택에 대한 연구의 필요성이 대두됨에 따라 공동주택에 대하여 실제 공동주택의 화재실험과 수치해석과 같은 다양한 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 최근에 들어서 일부 연구<sup>2)</sup>되고 있지만 아직 미미한 상태이다.

공동주택 화재 시, 재실자들의 피난행동을 해석하기 위해서는 실물실험을 통해 직접 측정하는 방법과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하는 방법 등이 있다. 실험에 의한 방법은 실제 값을 얻을 수 있어 가장 신뢰할 수 있지만 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하는 방법은 가장 적은 시간과 노력으로 상세한 해석결과를 얻을 수 있으나 실제 상황과 일부 차이가 있을 수 있다. 그러므로 공동주택 화재 시, 연기거동이나 확산을 적절하게 해석하기 위해서는 실물실험을 수행하여 컴퓨터 시뮬레이션의 결과를 비교·검증하는 단계가 필요하다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션의 계산시, 실제와 차이가 있는 경계조건(보행속도, 가시거리 등)으로 인해 결과의 오차를 유발할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 계단형 공동주택에서 화재 모의실험을 통해 연기의 전파속도와 재실자들의 피난특성을 파악하고 그 결과를 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 비교·검토하고자 한다.

## 2. 피난대피

### 2.1 실물실험

#### 2.1.1 대상건축물

본 연구에서 선택한 실물실험 건축물은 강원도 삼척시에 소재한 강원대학교 삼척캠퍼스 두타생활관(2004년 10월 개관)으로써 건물높이 29.5m, 연면적 5,131.80㎡이고 재실 인원은 약 324명이다. Fig. 1에는 본 실물실험을 수행한 두타생활관 외부전경을 나타내었다.

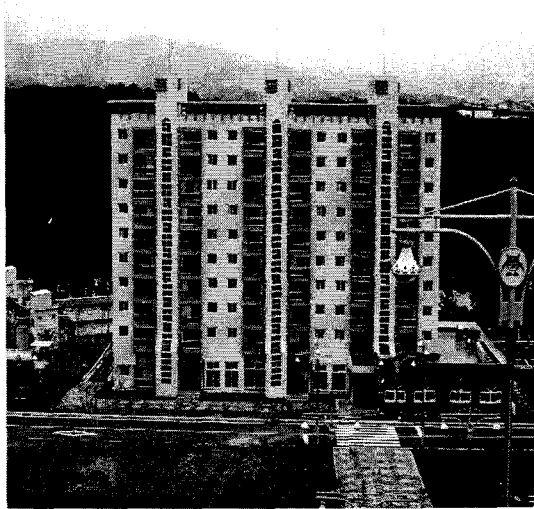


Fig. 1. 실물실험 대상 건축물

#### 2.1.2 두타생활관 층별 피난동선 및 현황

실험 대상인 두타생활관은 3개의 방화구획으로 나뉘어져 있으며, 방화구획 당 18개의 실(각층별 2개)과 거주인원 108명(각 층별 12명)이 생활하고 있다. Fig. 2에는 두타생활관의 방화구획, 피난계단 및 화재발생 위치와 규모를 나타내었다. Fig. 2에서 점선으로 표시된 부분이 실험구획이며, 화재발생위치는 2층 계단참이다.

각 실의 재실자들이 피난할 수 있는 방법은 계단을 이용하여 피난하는 방법과 각 실별로 설치된 완강기를 이용하는 방법 등이 있다. 하지만 대부분의 재실자들이 완강기 사용법의 미숙으로 본 피난대피 실험에서는 계단을 이용하여 대피하는 것으로 하였다. 따라서 대피구는 1층과 옥상에 위치하며 2층 재실자는 1층 대피구로 대피하며 나머지 3~10층 재실자는 옥상 대피구를 이용한다.

향후 상세한 결과 검토를 위해 Fig. 2에는 실물실험 시 각 층의 호실별 재실자 인원을 나타내었다. 실험에 동원된 인원은 66명으로써 이 중 2~3층 4개의 방에 거주하는 외국인 학생 22명에 대해서는 개별방문을 실시하여 실험 목적을 상세히 설명하여 주었다.

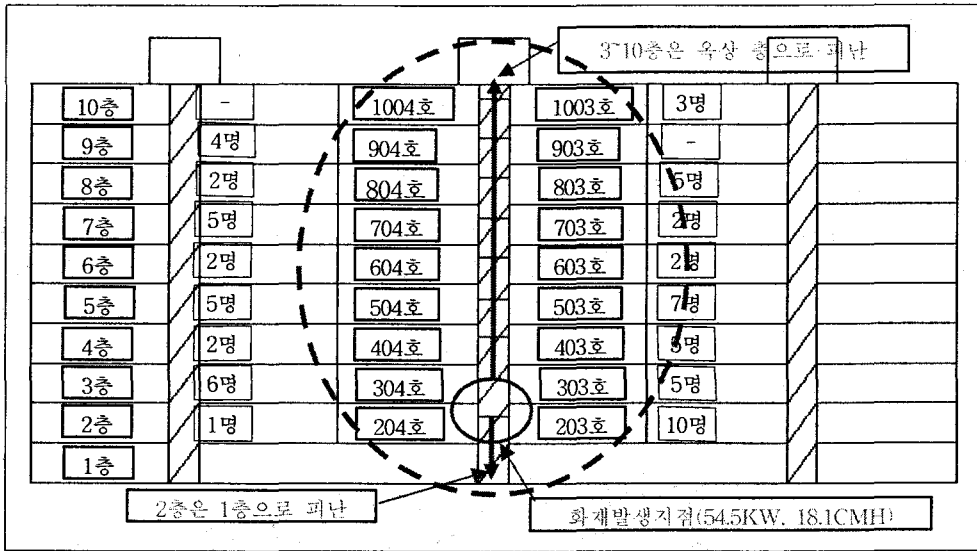


Fig. 2. 실물실험 대상 건축물의 층별 피난동선 및 호실별 현황

### 2.1.3 실험장치 및 방법

본 피난대피실험은 2005년 10월 26일 19시 30분부터 22시까지 예비실험 1회와 본 실험 1회를 실시하였으며, 실험대상생활관이 2층부터 10층까지 구획되어 있는 관계로 Fig. 2의 중앙부 18개실에 대해 실시하였다.

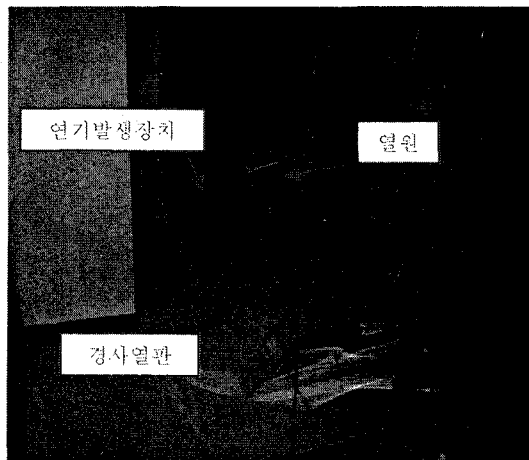


Fig. 3. 2층에 설치된 연기발생 장치

Fig. 3에 나타난 연기발생장치로부터 연기발생량과 열원의 발생열량은 각각 18.1CMH와 54.5kW 이다.

실물실험 시 피실험자 66명 소방서직원 12명 실험보조인원 25명으로 총 103명의 인원이 동원되었으며, 실험 전 사전방송으로 실험목적 및 안전사고 방지에 대한 교육을 실시하였다. 또한 1층, 2층, 4층, 6층, 8층, 옥상에 대피자들의 피난행동을 관찰하기 위하여 관찰자 및 비디오카메라를 동원하여 재실자들이 연기의 영향에 의한 피난특성과

피난시의 행동을 관찰하도록 하였다.

본 피난대피 실험의 순서는 다음과 같다.

- ① 열풍기(LP가스 사용)를 작동시키고 경사열판을 가열한다.
- ② 연기발생장치(질소가스 사용)로부터 연기를 발생시켜 가열된 경사열판을 통해 상부로 이동시킨다. 이 때를 화재발생 시점으로 한다.
- ③ 화재발생 30초 후, 연기감지기가 연기를 감지하여 화재경보를 발한다.
- ④ 화재를 인지한 재실자들의 피난대피가 시작된다.
- ⑤ 재실자들의 피난상황을 관찰, 기록한다.

## 2.2 피난대피 시뮬레이션

본 피난대피 시뮬레이션에 사용된 프로그램은 건물 등의 화재발생 시, 인간의 심리인자 및 행동특성을 감안한 2차원 피난대피 해석 전용코드인 SIMULEX이다.<sup>3)</sup> 이 프로그램은 CAD프로그램과의 호환 인터페이스를 통하여 해석대상영역을 정확하게 구현할 수 있으며 인간의 심리인자 및 특성을 감안한 보행속도, 응답시간에 대한 고려가 이루어짐으로서 소규모건축물에서 다층구조 및 여러 개의 존을 가지는 대규모 건물에 이르기까지 사용이 가능하다. 재실자의 나이와 성별에 따른 보행특성 및 심리학적 반응특성을 감안할 수 있고, 실내의 기물 등에 의한 동선변화를 감지할 수 있기 때문에 실제 대피 상황에 가까운 시뮬레이션을 행할 수 있는 장점이 있다.

시뮬레이션 수행 시 개인거동의 탈출형상과 방법에 대한 기본적인 몇 가지의 가정조건을 지니고 있으며, 그 가정은 다음과 같다.

- 각 사람들은 평범하다고 가정하며 보행속도에 방해받지 않는다.
- 보행속도는 사람들이 서로 가까울수록 감소한다.
- 사람들의 머리는 적당한 출구를 향하고 있으며, 그 방향을 향하여 움직인다.
- 추월, 몸의 회전, 옆걸음질과 작은 수준의 뒷걸음질을 모두 적용한다.

## 2.3 실물실험과 시뮬레이션과의 결과비교

피난대피 실물실험과 시뮬레이션 결과를 비교하기 위하여 Fig. 4에는 각각의 경우에 대한 화재진행시간에 따른 누적 대피자 수를 나타내었다.

Fig. 4에서 실선은 실물실험의 결과이고 점선은 시뮬레이션의 결과를 나타낸 것이다.

실물실험의 경우 최초 대피자는 43초 후 피난경로가 짧은 2층의 재실자들로부터 이루어 졌으며, 최종 대피는 화재경보발생 약 120초 이후 자욱한 연기로 인한 가시거리 확보의 어려움과 피난의 경로가 가장 긴 3층의 재실자들에게서 254초 후 최종 대피가 이루어졌다.

시뮬레이션의 경우 화재 경보 발생 약 120초 이후까지는 실물실험과 유사한 결과를 얻을 수 있었으나 최종 대피자의 경우 결과 값이 다소 차이를 보인다. 이는 시뮬레이션에 사용되는 대피자의 피난속도 및 가시거리 확보 여부 등은 일반적인 상황일 때를 가정한 것이고 실제 화재발생시와는 약간의 차이를 보일 수 있으므로 정량적인 결과의 일치하는 기대하기는 어렵지만 정성적으로 유사한 결과는 얻을 수 있다.

실물실험과 시뮬레이션 결과 화재경보발생 시점을 기준으로 130초까지는 실물실험 및 시뮬레이션 결과 값이 유사한 경향을 보인다. 하지만 130초 이후 각각 25~40초와 약 60초 차이를 보인다. 이와 같이 실물실험의 결과가 시뮬레이션 결과보다 다소 대피 시간이 더 소요되는 이유는 실물실험의 경우, 피난대피 시 대피자의 가시거리 확보와 독성가스에 의한 호흡 등에 어려움이 존재한 것이며 시뮬레이션 수행 시는 이에 대한 고려가 포함되지 못한 결과로 판단된다. 따라서 향후 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 계

단형 공동주택의 피난대피를 해석하는 경우 화재발생 후 대피자의 가시거리 확보 및 독성물질에 의한 호흡에 어려움 등의 상황을 고려한다면 실제피난대피상황과 유사한 결과를 얻을 수 있으며, 보다 적은 시간과 노력으로 실제 상황을 모사할 수 있을 것이다.

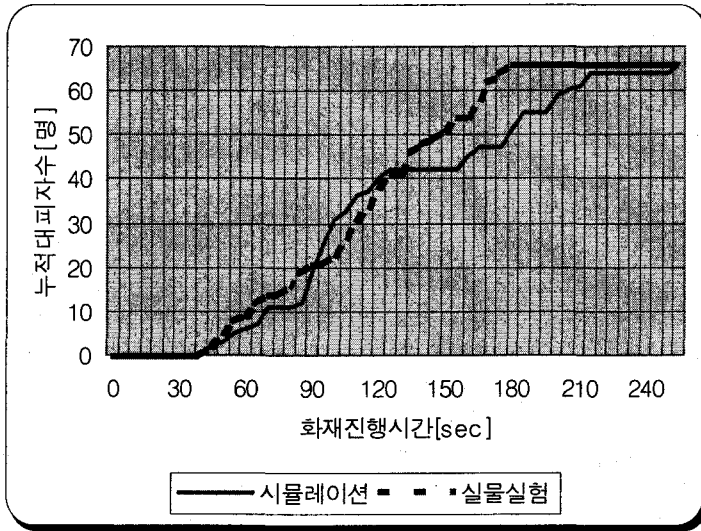


Fig. 4. 실물실험과 시뮬레이션과의 누적 대피자수

### 3. 실물실험의 연기 유동 특성

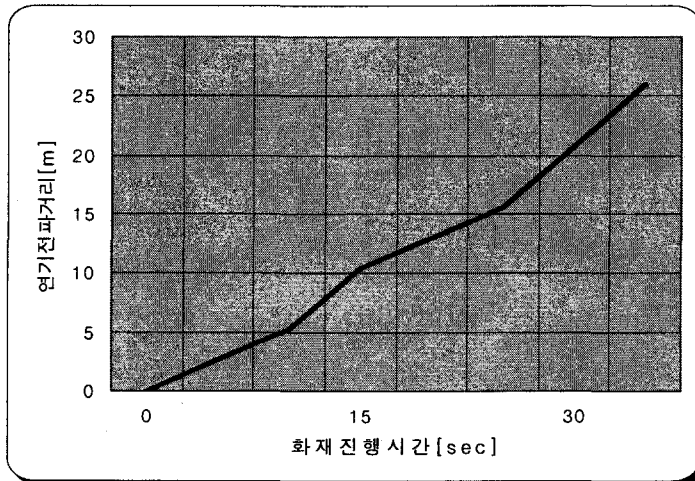


Fig. 5. 화재진행시간에 따른 연기의 전파거리

연기 유동특성에 대한 실물실험 결과, 연기발생 약 10초 경과 후에 4층 복도에 연기가 도달 하였으며, 약 15초 경과 후 6층 복도, 약 25초 경과 후 8층 복도, 약 35초 경과 후 옥상층에 연기가 도달하였으며, 연기의 평균유속은 약 2m/s이다. 또한 연기의 온도

는 실험장치 주위의 2층 복도에서는 약 35℃이며, 상층부로 이동하면서 온도는 점차 낮아져 옥상 대피구에서는 약 25℃로 나타났다. 이때 대기온도와 습도는 12.8℃와 41%였다. 따라서 이와 같은 실내와 실외의 온도차이와 2층 복도와 옥상대피구와의 온도 차이를 보아 연기의 유동은 연돌효과(stack effect)에 의한 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 계단형 공동주택에서 화재 모의실험을 통해 연기의 전파속도와 재실자들의 피난특성을 파악하고 그 결과를 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 비교 검토하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 피난대피에 대한 실험실험 결과 최초대피는 화재경보 43초 후 203호의 재실자에 의해 1층 대피구로 이루어 졌으며, 최종대피는 옥상 대피구로 254초 후 303호 재실자에 의해 대피가 이루어 졌다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과, 화재경보 45초 후에 2층 재실자가 최초 대피를 하였고 180초 후 3층 재실자가 최종적으로 대피를 완료하였다. 이러한 두 결과의 차이는 피난대피 시 대피자의 가시거리 확보와 독성가스에 의한 호흡 등에 어려움이 존재한 것이며, 시뮬레이션 수행 시는 이에 대한 고려가 포함되지 못한 결과로 판단된다.
2. 실험실험의 연기전파 평균속도는 약 2m/s로 측정되었으며, 연기의 유동은 실내외 온도차 및 층간 온도 차이에 의한 연돌효과에 기인된다.
3. 실험실험 결과를 종합적으로 분석해 볼 때, 연기의 전파속도(옥상까지 35초 소요)는 재실자들의 피난 속도(최종 대피자 255초 소요)보다 빠르며, 최종 대피자는 유독가스에 220초가량 노출 될 것으로 판단되는 바 이에 대한 개선방안으로는 계단참에 대한 비법정시설인 제연시설(환풍기 등) 및 계단 상부에 제연커튼을 설치하여 연기의 전파속도를 줄이는 방법 또한 모색되어야 할 것을 판단된다.
4. 향후 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 계단형 공동주택의 피난대피를 해석하는 경우 화재발생 후 대피자의 가시거리 확보 및 독성물질에 의한 호흡에 어려움 등의 상황을 고려한다면 실제피난대피상황과 유사한 결과를 얻을 수 있으며, 보다 적은 시간과 노력으로 실제 상황을 모사할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. 2004년 화재통계연보, "전국화재통계연보", p52, 소방방재청(2004).
2. 정차수 외, "건인 오피스텔", 한일MEC 연구보고서(2003).
3. IESVE Co. Ltd, "SIMULEX manual", IESVE Co. Ltd(2004).