

수치해석 및 모형실험을 통한 초고층 공동주택의 화재안전성 평가

이승철

본 연구에서는 지상 66층 초고층 공동주택을 대상모델로 선정하여 피난대피층 수에 따라 총 4가지 피난대피 시뮬레이션을 통해 화재안전성을 평가하였다. 또한 모형실험과 수치 시뮬레이션을 통해 유해가스 전파특성을 분석하였다. 본 연구에서 실제 초고층공동주택을 대상으로 한 피난대피시뮬레이션 수행 결과, 투자비용과 피난안전성을 고려하였을 때, 피난대피층이 2개(20층, 40층)인 case 3이 가장 효과적이라고 판단된다. 또한 모형실험과 시뮬레이션 결과 피난대피층의 수가 증가함에 따라 유해가스의 유동시간이 길어지는 것을 확인할 수 있었다.

주제어: 초고층 공동주택, 화재안전성, 피난대피시뮬레이션, 전산유체역학, 피난대피층

1. 서론

우리나라는 국토의 70%가 산지이고 급격한 산업화와 도시의 인구집중으로 인한 주거공간의 부족 등으로 인하여 고층주택의 활용성이 더욱 증대되고 있는 실정이다. 2005년 기준 통계청 자료에 의하면 단독주택은 우리나라 주택의 약 40%를 차지하며, 공동주택은 약 60% 이상을 차지하는 것으로 나타나 대표적인 주거유형으로 자리 잡고 있다. 이 중 초고층 공동주택이 차지하는 비중이 최근 들어 급속히 증가하고 있다. 이러한 초고층 공동주택의 경우 동일면적당 거주인원의 증가로 인해 화재 발생 시 대형화의 우려가 있으며 위험요소가 증가할 여지가 있다(이승철, 2008; 최재필, 2005; 홍이표, 2006).

최근에 건설되는 초고층 공동주택의 경우, 건물 중앙에 엘리베이터와 계단실로 구성되는 코어를 중심으로 단위세대가 형성되는 탑상형이 대부분을 차지한다(박현구, 2007). 그리고 화재위험성을 고려하기 위해 피난대피층을 30층마다 설치하게 법적규제가 실시되고 있다(국토해양부, 2009).

따라서 본 연구에서는 Y자 코어형 단면을 갖는 초고층 공동주택을 대상모델로 선정하여 피난대피층이 없을 때와 각각 1개, 2개, 3개일 때로 구분하여 피난대피 시뮬레이션을 통해 피난특성과 최종 피난대피시간 등을 정량적 수치로 비교·분석하여 화재안전성을 평가하고자 한다. 또한 인근 15층 이상 공동주택 주민들을 대상으로 피난대피층 인식에 관한 설문조사를 실시하고, 단순한 모형실험과 시뮬레이션을 통해 독성가스 전파형태를 한눈에 볼 수 있도록 하였다. 이에 따라 본 연구결과가 향후 초

고층 건축물 화재안전성평가에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

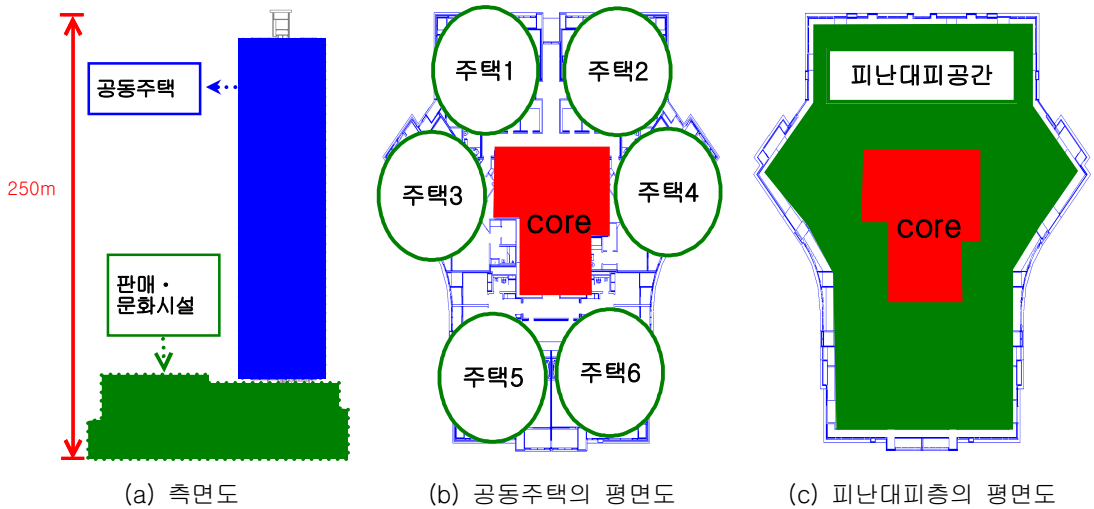
II. 연구 방법

1. 설문조사

시민들의 피난대피층에 대한 인식여부를 파악하기 위해 인근 15층 이상 공동주택 주민들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문응답 인원은 20대-60대 성인 남녀 80명으로 남성 21명, 여성 59명이다. 또한 회사원, 공무원, 자영업, 주부 등 여러 직종의 사람들이 설문에 참가하였다.

2. 피난대피시뮬레이션

1) 대상모델



<그림 1> 대상건물의 측면도 및 평면도

대상건물은 연면적 약 23만㎡, 바닥면적 약 2만 7천㎡, 높이 약 250m로 지하4층, 지상 66층의 주상복합건물이다. <그림 1>에 대상건물의 측면도, 공동주택의 평면도, 그리고 피난대피층의 평면도를 각각 나타내었다. 지상 1층에서 5층까지는 판매시설, 문화시설 등으로 사용되고 지상 6층부터 66층까지는 공동주택 용도이다. 공동주택 각 층당 132㎡(40평형) 2가구, 152㎡(46평형) 1가구, 158㎡(48평형) 1가구, 178㎡(54평형) 2가구로 구성되어 있으며 가운데 코어는 일반 엘리베이터 6대, 피난용 엘리베이

터 1대 그리고 직통계단 2개로 이루어진다.

피난대피층의 경우 주택층과 달리 화재 시 화염 및 독성가스의 위협으로부터 안전하도록 코어부분에 별도의 구획이 되어있다.

2) 시뮬레이션 방법

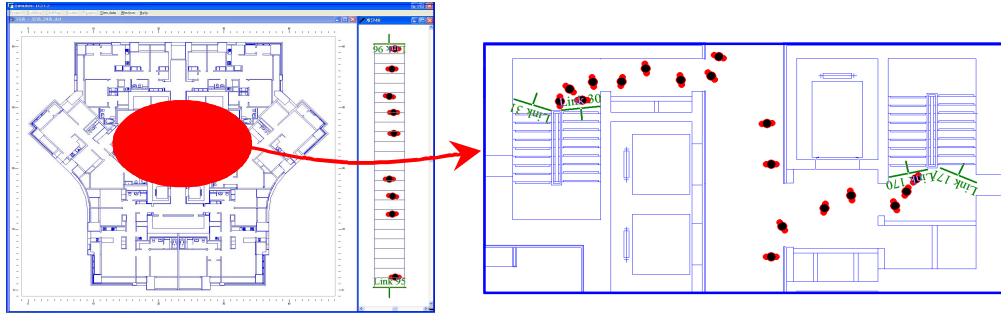
본 연구에서는 초고층 공동주택을 대상으로 <표 1>에 나타낸바와 같이 피난대피층의 수를 변화시키며 총 4가지 경우에 대해 피난대피시뮬레이션을 수행하였고 피난대피층의 변화에 따라 대상 층수가 변화함으로 재실인원 및 최종대피 출구 수가 달라진다.

피난대피층이 없는 case 1은 기본형으로 6층~66층 전 층을 시뮬레이션 대상으로 하며 가구별 4인 가족 기준으로 설정하여 각 층에 24명씩 거주하는 것으로 하였다. 이때 최종대피 출구는 1층에 2개소와 옥상에 1개소로 모두 3개소이다. 또한 case 2, 3, 4는 피난대피층이 한 개 층씩 증가하므로 최종 대피출구 수는 증가하고 시뮬레이션 대상은 각각 60개 층, 59개 층, 58개 층이 되며 계산 대상 층수가 감소함으로 인해 재실인원은 줄게 된다. 이러한 피난대피시뮬레이션 수행을 위해 SIMULEX 프로그램을 사용하였으며 대피자 특성은 한국인 체형 및 주거용도와의 유사성을 고려하여 'Japan: Hall/hotel+'을 적용하였다. 피난대피의 시작은 화재발생 30초경과 후로 설정하였다. 이동 중 인원밀집으로 인한 병목현상은 고려되나 사고로 인한 지체는 고려되지 않는다. 또한 건물 내 화재발생은 가정하지 않고 모든 피난경로가 안전하다고 가정하였다. 대피자는 엘리베이터를 이용하지 않고 계단을 이용하여 최단경로를 택하여 피난 목적지로 이동하는 것으로 설정하였다(황재호, 2009).

<그림 2>는 주택 내에 있던 사람들이 통로를 통해 계단으로 이동하고 있는 실제 시뮬레이션 상황을 나타내었다.

<표 1> 피난대피시뮬레이션 종류별 조건

Case	피난대피층	최종 대피출구 수	재실 인원
1	-	3	1464명
2	1개	5	1440명
3	2개	7	1416명
4	3개	9	1392명

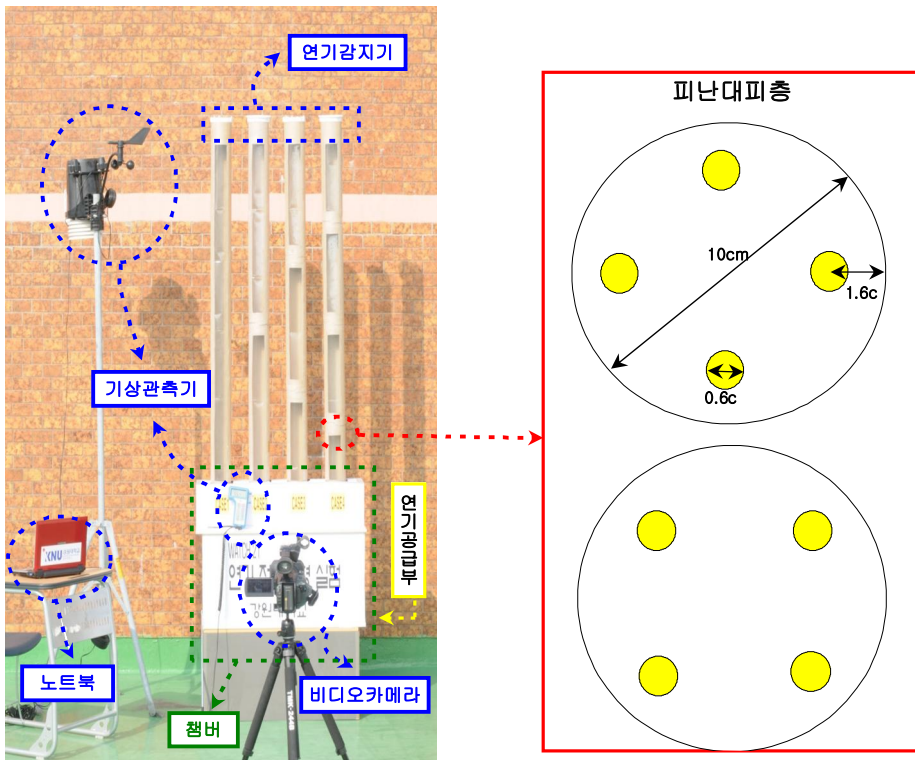


<그림 2> 피난대피 시뮬레이션 실제 상황

3. 모형 연기유동 실험

초고층 건축물의 경우 실제실험이 어렵기 때문에 단순 형태의 축소모형을 제작하여 피난대피층의 유무에 따른 연기유동의 특성을 쉽게 파악하고자 하였다.

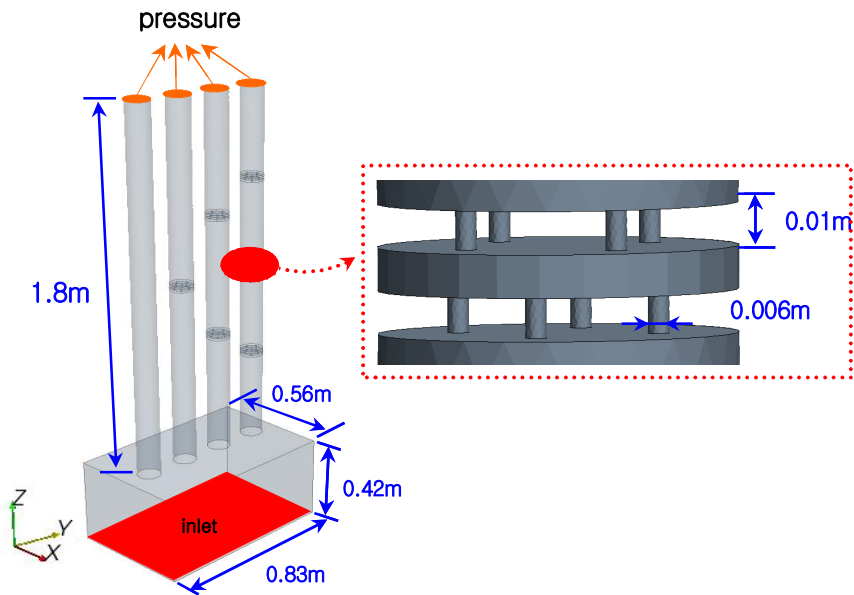
1) 모형실험장치



<그림 3> 실험장치

본 모형실험장치를 <그림 3>에 나타내었다. 실험 장치는 고온의 연기를 공급하는 연기 공급부(연기 발생장치, 열원, 챔버), 초고층 공동주택을 모사하고 연기 통로가 되는 원기둥 4개, 그리고 계측기(연기감지기, 기상관측기, 비디오카메라, 휴대용 컴퓨터, 초시계)로 구성된다.

초고층 공동주택을 모사하는 원기둥은 높이 1.8m, 지름 0.1m이며 60층 건축물의 모형으로 가정할 때 0.03m가 한 층의 높이가 된다. 4개의 원기둥은 그림의 좌측부터 우측으로 앞서 <표 1>에 나타낸 case1~4에 해당되며 피난대피층은 <그림 4>의 우측 그림과 같이 얇은 판2개에 각각 4개의 작은 구멍을 뚫어 엇갈리게 배열함으로써 연기 통로의 단면적을 급격히 줄여 연기 전파속도를 감소시키게 모사되었다. 이러한 실험 장치를 이용해 그림의 아래쪽 챔버에 연기가 공급되어 4개의 원기둥으로 어떠한 경우가 얼마나 빨리 일정 농도의 연기가 배출되는가를 실험하였다. 실험당시 주위 온도와 상대습도는 27.3℃, 77.8%였다. 실험은 연기공급을 연막탄으로 하여 2회, 연기발생장치로 1회 하여 총 3회 실시하였다.



<그림 4> 연기유동 시뮬레이션 3차원 해석 모델

2) 실험방법

본 모형실험은 다음 순서에 의해 수행되었다.

- ① 모형실험장소의 온도, 습도를 측정한다.

② 모형을 설치하고 연기감지기를 모형의 원기둥 상부에 설치한다.

③ 연기를 연막탄 또는 연기발생장치를 이용하여 발생시켜 챔버로 공급하고 원기둥을 가로막고 있는 나무판자를 제거한다. 이때 시간측정을 시작한다.

④ 연기가 각 원기둥을 통해 유동하여 상부의 연기감지기가 작동할 때까지 각각의 시간을 측정한다.

4. 모형 연기유동 수치해석

앞서 기술한 모형실험에서 사용한 장치와 동일한 크기와 조건에서 연기유동 시뮬레이션을 수행하였다. 3차원 비정상상태 난류유동인 연기유동을 해석하고 또한 여고생들의 편의를 위해 상용 열유동해석 프로그램인 STAR-CCM+를 사용하였다.

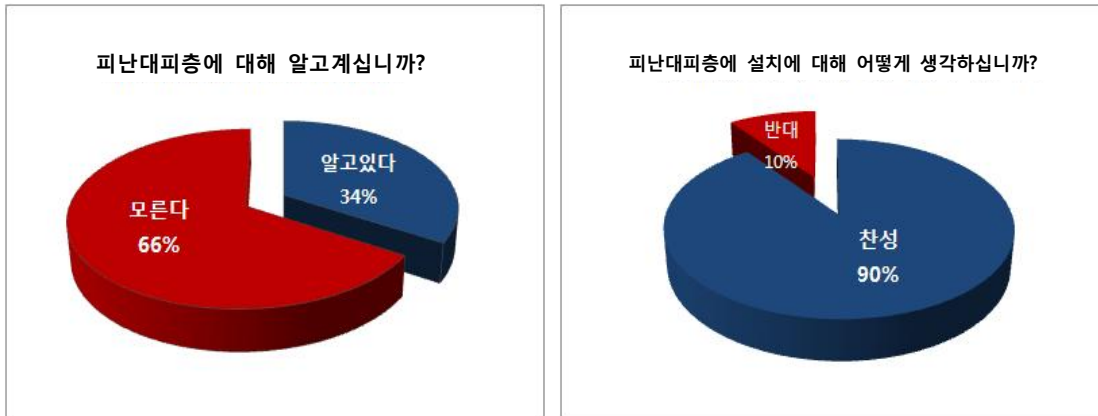
본 시뮬레이션에서 사용된 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 난류유동에너지방정식, 난류유동에너지소산율방정식, 에너지방정식과 농도방정식이다.

<그림 4>에 시뮬레이션 해석모델을 나타내었다. 챔버 하부면에는 Inlet 경계조건을 부여하여 18.1m³/h의 유량이 균일하게 유입되며, 원기둥 상부면은 압력경계조건으로 대기압을 부여하였다. 나머지 부분은 벽면경계조건으로 점착(no-slip)조건을 부여하였다. 계산 격자는 벽면근처에 조밀하게 배치하였으며 약 120만개가 사용되었다.

III. 결과 및 토론

1. 설문조사

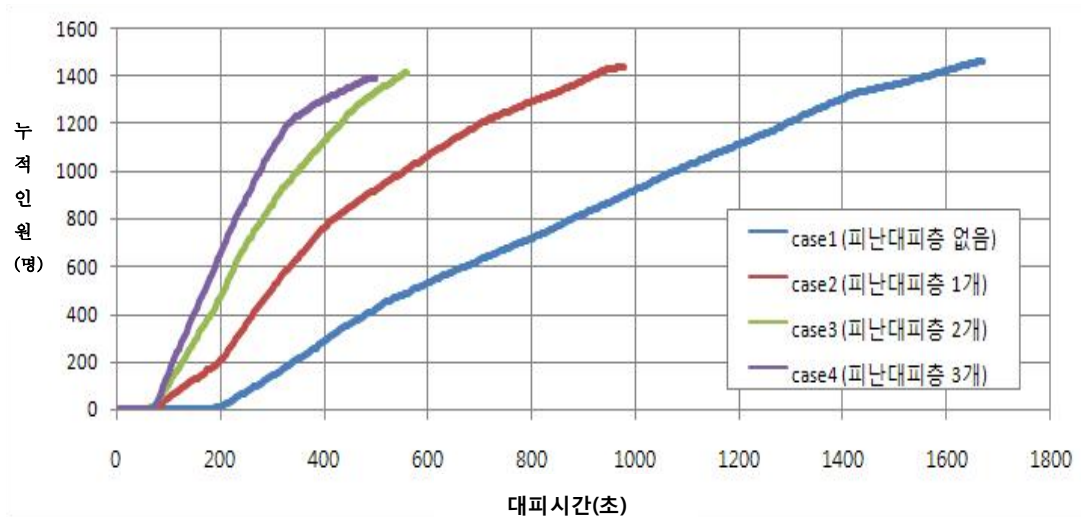
<그림 5>에는 설문내용 중 초고층 공동주택의 피난대피층에 대한 인식여부 및 설치의 필요성여부에 관한 질문의 응답내용을 나타내었다. 피난대피층에 대해 알고 있는지에 대한 질문에 66%인 53명이 모른다고 답했으며, 피난대피층 설치에 대해 어떻게 생각하느냐는 질문에는 90%인 72명이 찬성한다고 답해 안전에 대한 의식이 많이 보편화 된 것을 알 수 있었다.



<그림 5> 설문조사 결과

2. 피난대피시뮬레이션

지상 66층인 대상건물에서 피난대피층의 개수에 따라 공동주택의 모든 거주자가 지상층, 옥상, 피난대피층의 출구로 피난하는데 소요되는 시간은 case1의 경우 27분 18초로 가장 긴 대피시간을 보였으며 각각 피난층 1개인 case2, 2개인 case3, 3개인 case4의 경우 피난대피 시간이 각각 15분 47초, 8분 49초, 7분 45초로 줄어드는 결과를 나타냈다.



<그림 6> 피난대피 누적인원

<그림 6>에는 시간 경과에 따른 누적 피난대피인원을 그래프로 나타내었다. 피난대피층이 없는 case1의 경우 1층 출구와 옥상으로만 대피가 가능하여 일부 계단참에서 병목현상이 발생하지만 비슷

한 인원이 지속적으로 대피를 하게 되어 시간이 지남에 따라 피난인원이 고르게 분포하는 반면, 대피층의 개수가 늘어날수록 짧은 시간에 보다 효율적인 대피가 가능하므로 대피 초기에 많은 인원이 빠르게 대피하는 뚜렷한 패턴을 볼 수 있었다.

특히 case3과 case4의 경우, case3은 국지적인 변화가 있기는 하지만 누적인원이 선형을 이루며 짧은 시간에 원활한 대피가 이루어진 것을 볼 수 있으나, case4의 경우 선형을 이루지 않고 피난대피 시작에서부터 약 300초까지는 빠른 대피가 이루어지는 반면 후반에서는 비교적 느린 대피가 이루어지는 것을 알 수 있다. 이는 피난대피 시작 후 약 300초가 경과된 때부터 병목현상이 두드러지게 나타났기 때문이다.

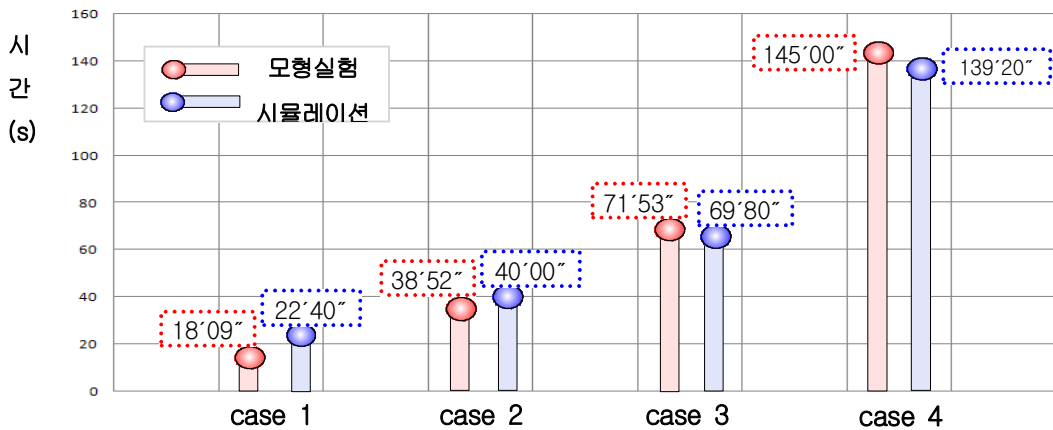
이러한 결과로 미루어 투자비용과 피난안정성을 고려하였을 때, 피난대피층이 2개(20층, 40층)인 case3이 가장 효과적이라고 판단된다.

3. 모형 연기유동 실험 및 수치해석

초고층공동주택을 단순한 축소모형으로 제작하여 연기유동 실험을 실시했으며, 같은 규격으로 연기유동 시뮬레이션도 수행하였다. <그림 7>에 연기유동 실험에서 4개의 원기둥을 통한 연기속도인 연기감지기 작동시간 그래프와 일정농도가 출구를 통해 나가는 시간을 나타낸 연기유동 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 대체적으로 피난대피층이 많을수록 연기 전파시간이 길어지는 것을 알 수 있다.

연기유동 실험의 경우 피난대피층이 없는 case 1의 경우 약 18초 만에 연기감지기가 작동하여 가장 빠른 연기전파시간을 보였고 case 2, case 3, case 4는 각각 약 38초, 71초, 145초가 소요되어 case 1과 눈에 띄는 차이를 확인할 수 있었다.

연기유동 시뮬레이션의 결과도 연기유동실험과 유사한 결과를 나타내었다. 피난대피층이 없는 case 1의 경우 약 22초 만에 일정농도가 출구로 나가 가장 빠른 연기전파시간을 보였고 case 2, case 3, case 4는 각각 약 40초, 69초, 139초가 소요되어 case 1과 눈에 띄는 차이를 확인할 수 있었다. 실제 초고층 공동주택 화재 시 이와 유사하게 독성가스가 전파된다면 피난대피층이 없는 case 1의 경우 상당한 인명피해가 발생할 것으로 예상된다. 또한 향후 이러한 해석 수행에서 실물실험이 어려운 경우 시뮬레이션 해석도 유용하리라 판단된다.



<그림 7> 연기유동 실험과 시뮬레이션 결과

IV. 결론

본 연구에서는 초고층 공동주택을 대상모델로 선정하여 피난대피층 수에 따라 피난대피 시뮬레이션을 통해 화재안전성을 평가하고자 설문조사를 실시하고, 모형실험과 시뮬레이션을 통해 유해가스 전파형태를 한눈에 볼 수 있도록 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

설문조사 결과 응답자의 대부분인 90%가 피난대피층 설치에 찬성하는 것으로 나타나 피난대피층의 필요성에 대해 다시 한번 각인할 수 있었다. 모형실험과 시뮬레이션 결과 피난대피층의 수가 증가함에 따라 연기유동시간이 길어지는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 실제 초고층공동주택을 대상으로 한 피난대피시뮬레이션 수행 결과, 투자비용과 피난안전성을 고려하였을 때, 피난대피층이 2개(20층, 40층)인 case 3이 가장 효과적이라고 판단된다.

참고문헌

국토해양부. 2009. 제정 2009.7.16. 제34조(직통계단의 설치). 건축법시행령 제21629호.
 박현구·송혁·고성석. 2007. 초고층 공동주택의 건축적 특성 분석. 한국주거학회논문집. 18(1): 11-18.
 이승철·홍이표·박영록. 2008. 계단형 공동주택 화재 시 독성가스 전파 저감에 관한 수치해석적 연구. 한국화재소방학회. 춘계학술논문발표회 논문집. 255-258.
 최재필·강범준·박영섭·이윤재. 2005. 초고층 건축물의 ‘대피층’ 및 ‘대피공간’ 개념 도입 방안. 대한

건축학회. 21(11): 147-154.

홍이표 · 이재복 · 정영진 · 이승철 · 이시영. 2006. 계단형 공동주택 화재 시 재실자 피난특성 및 연기거동에 관한 연구. 한국화재소방학회 춘계학술논문발표회 논문집. 156-161.

황재호 · 김영수 · 임창현. 2009. 화재피난 시뮬레이션. 동화기술.

李承哲: 한양대학교에서 “유동관성을 고려한 복합덕트시스템의 유량분배특성”으로 공학박사학위를 취득하였으며 (2000.2), 현재는 강원대학교 삼척캠퍼스 소방방재공학전공 부교수로 재직중이다. 주 연구분야는 초고층건물 및 지하공간(터널포함)의 HVAC 및 방재설비 분야이다.(sclee@kangwon.ac.kr).

투 고 일: 2011년 06월 24일

수 정 일: 2011년 07월 17일

게재확정일: 2011년 08월 10일

Numerical Study and Model Experiment on the Fire Safety Assessment of a High-Rise Building

Seung Chul Lee

In this study a sixty six-storied high-rise building was selected as a target model, and the fire safety was assessed by using evacuation simulations in accordance with the number of evacuation floors. Also the propagation of toxic gas was analyzed by scale model experiments and numerical simulations. As results of the evacuation simulation about the actual high-rise building, case 3 with two evacuation floor(20th floor, 40th floor) was considered as the most effective, when considering the investment costs and the safety of evacuation. As a result of model experiments and simulations, it was confirmed that the time of upward moving of toxic gas takes longer, as the number of evacuation floors increases.

Key words: high-rise building, fire safety, evacuation simulation, cfd, evacuation floor