

A-18

초고층주거시설의 화재 위험성 평가에 관한 사례 연구

이우윤*, 정희진*, 최미란*, 권영진**

호서대학교 소방방재학과 *

호서대학교 소방방재학과 교수**

A Case Study on the Fire Risk Assessment in the Domestic High-Rise Buildings

Woo-yun Lee, Hee-jin Jung, Mi-lan Choi, Young-jin Kwon

Fire & Disaster Protection Engineering of Hoseo Univ. ,

Fire & Disaster Protection Engineering of Hoseo Univ. Professor**

1. 서론

시대적 흐름에 따라 사람의 욕망과 욕구를 충족시키는데 있어 초고층건축물 또한 보다 높게 시공되고 있으며 그 수 또한 증가 하고 있다. 초고층 건축물은 당대의 첨단 건설기술이 총체적으로 집약된 결정체이고 오늘날에 이르러서는 국가의 상징물 또는 경제성장의 척도로 인식되는 경향이 짙기에 여러 건의 초고층 붕괴사건이 있음에도 불구하고 세계적인 초고층화 추세는 계속 될 것으로 전망된다.

우리나라의 경우 90년대 후반 도곡동등을 중심으로 초고층의 주거시대가 열렸으며, 2000년대에 이르러서는 70층이상의 주상복합이라는 새로운 주거시설의 형태를 갖춰 나아가기 시작했다. 이에 건설회사별로 각자의 브랜드별 마케팅을 시작하였고 이것이 상류층의 요구와도 결합되면서 서울은 물론 지방대도시까지 확산되어 새로운 주거양식의 전환점을 마련하였다.

그러나, 초고층복합건축물이 도입될 당시의 취지는 도심의 공동화 현상을 완화하기위해 추진되었지만 지금에 와서는 새로운 개념의 고급주거유형으로 확산되어져 가고 있다. 하지만 현재 확산되고 있는 초고층복합건축물이 화재나 다른 위험으로부터의 안전성을 검토하고 연구되어지면서 건설되고 있는지는 의문이다.

이에 본 연구에서는 전보에 이어 L사의 초고층주거시설의 화재에 대한 위험성을 피난 및 내화 대책이라는 측면에서 해석하고 그에 따른 Simulation을 수행하여, 그 결과를 바탕으로 화재 위험성에 대한 대처방안을 제시하고자 한다.

2. 초고층복합건축물의 화재 위험성

2.1 고강도콘크리트의 화재 위험성

건축물의 초고층화에 따라 발생하는 막대한 수직하중을 줄이기 위하여 구조재료로서 초고강도 및 고성능 콘크리트를 적용하였으나 화재 시 그에 따른 안전성에 대한 충분한 연구와

기술축적 없이 대형 건설회사에 의하여 시공되고 있으며 그 수 또한 증가 되어 지고 있어 최근에 이르러 그에 따른 문제점들이 사회적으로 이슈화 되고 있는 실정이다. 그 대표적인 요인으로서 화재 시 취약한 고강도 콘크리트의 폭발현상을 들 수 있다.

그림1은 온도에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 일반강도인 21MPa에서는 400℃까지 강도 저하가 크게 일어나지 않음을 볼 수 있지만 40MPa이상에서는 300℃에서부터 압축강도가 저하됨을 볼 수 있다. 이것은 초고층건축물에 사용되는 고강도 콘크리트가 40MPa이상인 것으로 미루어 볼 때 300℃전후로 압축강도가 현저하게 떨어져 폭발현상이 일어남을 예측할 수 있는데 그림2는 온도에 따른 고강도콘크리트의 시험체를 나타낸 것으로 300℃이후부터 압축강도가 저하되어 폭발현상이 일어남을 알 수 있다.

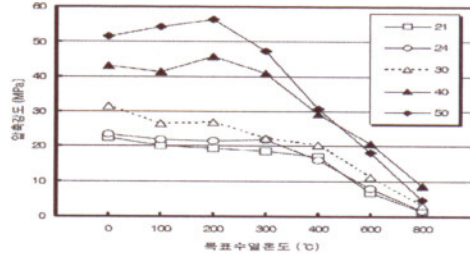


그림1 기준강도별 가열온도에 따른 잔존압축강도

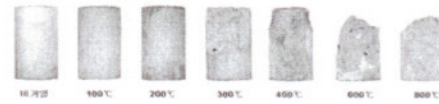


그림2 온도에 따른 시험체 변화

2.2 발코니확장에 따른 화재 위험성

2006년 1월 공동주택 발코니의 확장이 합법화되었고, 초고층 주상복합 건물의 초기 설계시부터 발코니가 없는 평면으로 설계되기 시작하였다. 또한 채광 및 조망확보, 단열과 보온 효과라는 긍정적인 기능을 갖춘 커튼월구조가 많이 사용되어지고 있는 추세이다. 이러한 발코니 확장과 커튼월구조가 초고층주상복합건축물에 적용되면서 주거생활공간 개선과 에너지 절감이라는 효과를 가져다 주었지만 화재에 대한 위험성 증가라는 결과를 초래하게 되었다. 발코니 확장에 따른 화재 위험성은 화재시 상층부로의 전이과정에서 확인한 차이를 나타내는데 이는 화재 시 그에 따른 위험도와 밀접한 관계를 갖는다.

2.3 화재에 따른 피난 위험성

초고층복합건물은 주거시설의 혁명이라 불리울 만큼 편리한 생활과 넓은 주거공간등 많은 장점을 갖고 있지만 그에 따른 화재에 대한 위험성 또한 적지 않다. 화재에 있어 가장 중요한 것은 인명의 피난이며, 이는 곧 화재 시 위험요소로부터 얼마만큼 빠르게 피난하는가가 중요한 요점이 되는 것으로써 화재 시 위험요소로는 여러 가지로 설명할 수 있지만 표1은 성능기준범위에서의 위험요소를 나타낸 것이다.

표1 위험요소에 따른 성능 기준 범위

	성능기준	최소기준	최대기준
열에 의한 영향	복사열[KW/m ²]	2.5	2.5
	대류에 의한 공기의 온도[°C]	65	190
	상층부 연기온도[°C]	80	200
시계에 의한 영향	일반적인 공간의 시계확보[m]	2	3
	대공간의 시계확보	10	-
	실내의 연기층 높이	2.0 or 1.6*o.1H 중 큰 값	-
독성에 의한 영향	CO[ppm]	1400	1700
	COHb[%]	30	40
	O ₂ [%]	10	15
	CO ₂ [%]	5	6

표1과 같이 화재 시 사람에게 영향을 미치는 주요원인은 열과 연기로 볼 수 있으며 그에 따른 수치로 알 수 있듯이 화재발생 후 최소기준치에 도달하기 전까지 재실자가 화재구역으로부터 피난을 완료해야 안전성이 확보됨을 알 수 있다.

3. 화재 Simulation 실행 및 결과

3.1 고강도 콘크리트 폭열에 관한 화재 Simulation

1) 화재시 부재에 받는 열 온도 측정 Simulation(FDS)

본 연구에서는 화재실과 부재의 시간 대별 온도를 측정하기 위해 FDS를 사용하였다. 그림 3은 초고층복합건축물의 한세대의 화재실만 구분하여 모델링한 모습으로 화재 시 화재실과 부재에 받는 온도를 측정하고, 그림4는 부재에 받는 열전대의 위치와 번호이다. 또한 모델링에 적용된 경계조건은 격자간격 10 cm×10cm×20cm, 총 그리드 개수 384,000 개이며 화원은 3500KW으로써 NIST에서 실험한 데이터를 모델링에 적용하였다.

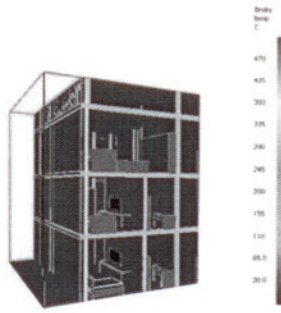


그림3 화재실 모델링



그림4 열전대 위치

2) Simulation 결과

화재실 내 부재의 온도변화는 그림 5,6과 같다. 화재 발생후 50초 부근에서 창문이 개방되면서 플래쉬오버현상이 발생하고 그에 따라 급격히 온도가 상승함을 볼 수 있다. 또한 기둥 하단에서부터 상부로 갈수록 온도가 상승함을 볼 수 있고 이러한 특성은 화염이 상층부로부터 전이되어도 똑같이 나타남을 확인할 수 있다.

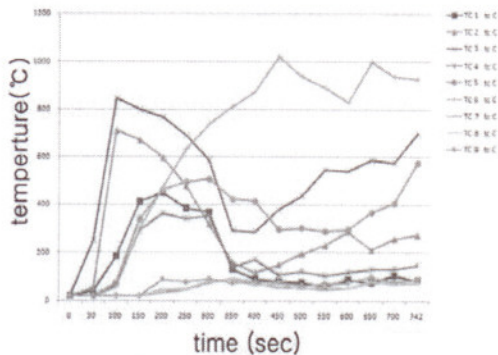


그림5 기둥1의 온도그래프

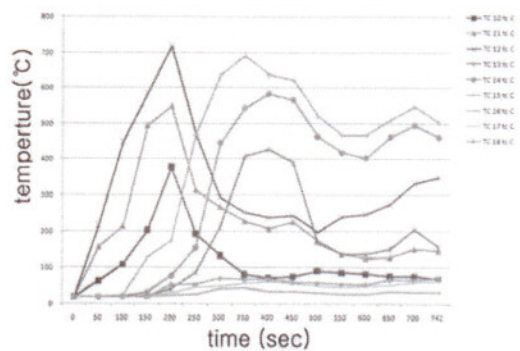


그림6 기둥2의 온도그래프

그림 5,6의 그래프를 바탕으로 해석한 결과 기둥1과2에서 받는 평균온도는 500℃, 300℃ 이상으로 고강도 콘크리트의 폭열현상이 일어나기 위한 최소온도보다 높은 것을 확인할 수 있고 시간이 경과함에 따라 부재의 하부에서 상부로 올라갈수록 온도가 상승하는 것을 알 수 있다 이러한 결과로 미루어보아 화재가 진행됨에 따라 부재의 열에 의한 폭열현상이 일어날 것을 예측할 수 있다.

3.2 화재시 발코니 유무에 관한 비교 Simulation(FDS)

본 simulation은 화재시 발코니의 확장에 따른 상층부로의 전이현상을 보여주는 것으로써 해석에 사용된 cell수는 총 384,00개이며 상층부로 화염의 전이현상을 구현하기 위하여 유리창은 지정온도가 되면 자동으로 열리는 것으로 설정하였다.

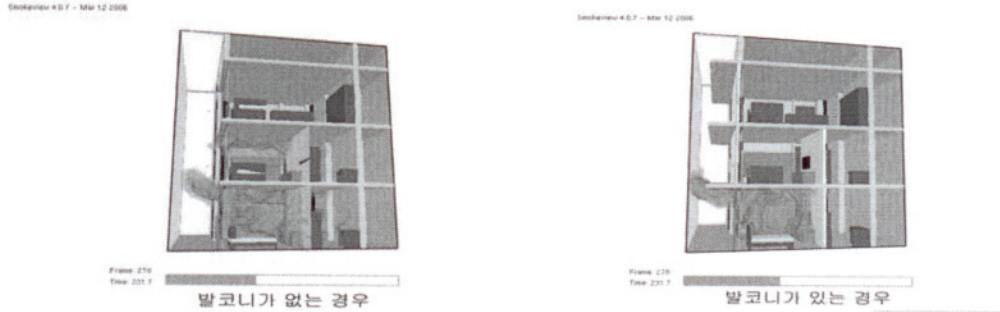


그림7 화재시 발코니 유무에 따른 화염의 형상

동일시간동안 같은 조건으로 화재가 발생하였을 때 발코니의 확장에 따른 상층부로의 전이현상을 해석한 결과 발코니 유무에 따라 상층부로 화염의 전이과정에 커다란 영향을 끼친다.

그림7은 이러한 전위과정을 나타내는 것으로 발코니 확장에 따라 상층부로의 빠른 전이가 이루어져 화재가 확대됨을 볼 수 있으며, 비확장시에는 발코니가 상층부로의 화염의 전이를 차단하여 화재가 확대 되는 것을 막고 있는 형상을 볼 수 있다. 이는 발코니가 화염을 차단하여 층간 방화구획을 형성함으로써 화재의 확대에 대한 안전성 확보에 커다란 도움이 될 것이라 생각된다.

3.3 초고층 화재 시 화재 및 피난 Simulation (FDS,Simulex)

1) 화재 Simulation (Fire Dynamics Simulator)

그림 8은 초고층 한 개층을 모델링한 모습으로 해석에 사용된 cell들은 총 400,000개로 실제 화재와 유사하도록 경제조건을 주었으며 화재실과 출구로 이어지는 통로에 온도와 연기를 측정하기 위하여 센서를 부착하였다. 그림 9은 센서의 위치를 나타낸 모습이다.

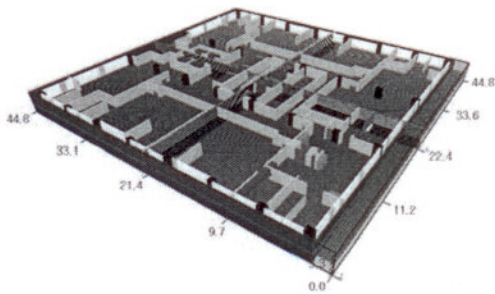


그림8 층 전체 modeling grid

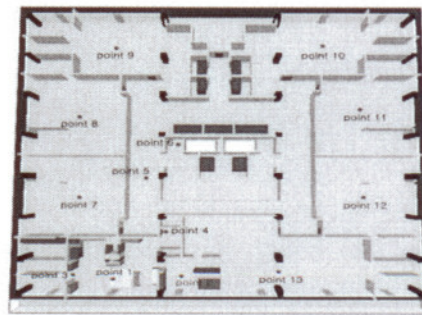


그림9 측정위치

본 Simulation은 표3과 같은 평가기준을 확인하기 위하여 WALL_TEMPERATURE, HEAT_FLUX 그리고 그림9와 같은 특정위치에서의 Temperature of themocouples과 연농도 변화를 측정할 수 있도록 output file을 적용하였다.

표4 평가 항목 기준

평가 항목	평가 기준
온도	65℃
연기 한계기준높이	1.8 m (일본 피난 안전 평가)
일산화탄소 농도	500ppm

2) Simulation 결과

화재 시뮬레이션을 통하여 초고층복합건축물 1세대의 화재로부터 데이터를 산출하였고 내용을 표로 정리하면 다음과 같다

표5 각 측정 지점별 평가 기준에 따른 허용피난시간

구분		평가기준별 허용피난시간(초)		
		온도(65℃)	CO(500ppm)	연기한계기준높이
point 1	화재실	10	24	4
point 2	화재실	33	50	21
point 3	화재실	13	22	5
point 4	화재실	10	16	8
point 5	복도	80	604	14
point 6	계단입구	80	604	22
point 7	비화재실	-	604	66
point 8	비화재실		604	85
point 9	비화재실		604	81
point 10	비화재실		604	146
point 11	비화재실		604	172
point 12	비화재실		604	162
point 13	비화재실		604	205

표4와 같이 화재실에서 피난 계단까지 65℃온도 도달시간은 80초, CO(500ppm)농도 도달시간은 604초, 연기한계기준높이까지의 도달시간은 22초로 이중 가장 빠른 시간인 22초 안에 피난을 완료해야 한다. 이는 화재시 가장 위험요소가 되는 요인은 연기임을 나타내며 실제화재시에도 화염에 의한 피해보다 연기의 질식에 의한 피해가 더 많음을 보여줄 수 있는 데이터이다.

3) 피난 Simulation (Simulex)

피난 simulation에 사용한 해석프로그램은 ISE사에서 개발한 SIMULEX를 사용하였다. 이 프로그램은 평면CAD file에 피난자들을 설정하여 출구까지 가는 상황을 실시간으로 보여줌으로써 피난 흐름 및 정체지역들에 대한 파악을 쉽게 할 수 있으나 화재시 연기나 열에 따른 영향은 고려되지 않는다는 단점이 있다.

본 시나리오는 초고층건축물의 한 개 층의 피난상황을 해석한 것으로 주거시설의 화재를 고려하여 재실자의 인원 및 장소를 설정하였다.

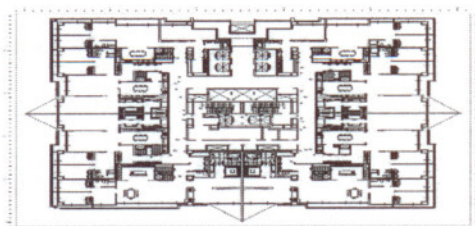


그림10 층 피난 모습

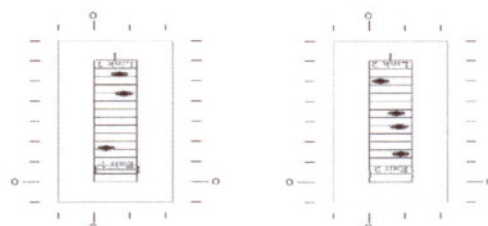


그림11 계단에서 피난 모습

시나리오 따른 Simulex해석 결과는 표5와 같다.

표5 피난지점에 따른 소요시간

피난 지점	피난 소요 시간 (초)	
	계단 1	계단 2
각 세대 ~ 계단입구	85	65
계단입구 ~ 출구	15	10

표5는 각세대별 재실자가 계단 입구까지 전원 피난할 때까지의 소요시간을 나타내며 이는 신체적 특성에 따라 적용된 데이터 이다.

4) 종합결과

화재 시뮬레이션 과 피난 시뮬레이션의 결과 데이터를 정리하면 표6과 같다.

표6 Simulation 비교 데이터

위치	평가요소	허용피난시간(초)	simulex 피난시간(초)	
			계단 1	계단 2
공동 주택	온도 65℃	80	85	65
	연기한계기준높이	22		

위의 결과는 재실자가 층피난에 있어 온도의 허용피난시간은 거의 만족하였으나 연기의 허용피난시간은 만족하지 못하는 것을 보여주는데 이는 화재시 연기가 재실자의 피난시간보다 빠르게 하강하므로 그에 대한 피해가 클 것임을 나타내는 결과이다.

4. 결론

전보의 초고층 주거시설의 화재 위험성 평가에 이어 초고층 화재 위험성의 고강도 콘크리트의 폭발, 발코니 확장, 피난 안전성을 평가하였으며 그에 대한 결과는 다음과 같다.

1. 초고층복합건축물의 주재료인 고강도 콘크리트의 사용에 있어 내폭렬설계, 내화설계, 강재 내화피복재의 성능을 향상시켜야 한다.
2. 두피난방향을 확보하고 화재시 빠른 화재확산의 원인이 되는 발코니 확장 허용은 철회 되어야 한다.
3. 공기분산덕트를 통하여 초고층 전체 공간에 연기이동 통로를 설비하여 화재시 연기 하강시간을 늦추어 피난시간을 확보하여야 한다.
4. 화재 및 피난 simulation을 통하여 초고층복합건축물에서의 화재 영향을 분석하고 그에 따른 위험 요인들을 발견하여 이에 대한 대응책을 효율적으로 수립하여야 한다.

5. 참고문헌

1. 이우윤 외 4명, “일본내화안전성 평가 기준에 따른 초고층 주거시설의 화재 위험성 평가 사례” 2007년도 추계학술논문발표회 논문집, pp.83~88
2. 권영진, “국내 초고층 주거시설의 화재안전상의 과제” 한국초고층건축포럼, (2007.5) pp.1~14
3. 김원국, 손봉세, “ 초고층 건축물의 화재안전성 확보를 위한 성능위주 소방설계” 한국초고층 건축포럼, pp.203~212
4. 한국화재소방학회, “초고층건물 화재예방 및 진압대책 개발연구”(2006.11), pp.173~204
5. 권영진 외 3명, “화재피해를 입은 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구” 大韓建築學會論文集 構造系 21권1호(통권195호) 2005년1월, pp.107~114