

초고층 건축물 지하공간의 연기거동 특성 및 영향인자에 관한 연구

배상환*, 이병권**, 홍천화**

대림산업(주)/연세대학교 건축공학과*, 대림산업(주)**

A Study on the Smoke Movement Characteristics in the Underground Space of the High-rise Building

Bae Sang-Hwan, Lee Byoung-Kwon*, Hong Cheon-Hwa**

Daelim Industrial Company/Yonsei University, Daelim Industrial Company

1. 서 론

자연적인 통기와 일조가 없는 지하공간은 본래 인간이 살기에 적합하지 않은 장소라고 할 수 있으나, 과학기술의 발달에 따라 조명과 공조설비를 이용하여 인공적으로 생활가능한 환경을 유지할 수 있게 되었다. 그러나, 화재 등의 재해가 발생하면 인공환경은 매우 짧은 시간에 파괴될 수 있으며, 특히 화재가 지하공간에 일어났다고 했을때의 위험성은 지상공간에서의 화재와는 본질적으로 차이가 있다. 지하공간의 화재특성은 지상공간에서의 화재특성과는 상이하며, 지하공간의 환경특성으로 인해 불완전 연소가 발생되기 쉽고, 이에따라 주된 인명피해의 원인이 지하공간에서는 연기에 의해 발생하는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 지하공간 계획시에는 화재시 연기제어에 대한 고려가 이루어져야 하며, 더욱이 초고층 건축물의 지하공간에서는 수직적 연기확산 현상을 연계한 대책도 수립되어야 한다. 이러한 배경에서 본 연구는 초고층 건축물 지하공간에 대한 연기거동 인자로서의 연돌효과에 의한 환경특성을 파악하고, 건축적 영향인자에 국한하여 화재발생시 연기제어 방안의 적절성에 대한 사례연구를 수행하여 향후 초고층 건축물 계획시 지하공간의 연기제어 방안에 대한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 지하공간의 환경특성

지하공간에서의 화재초기 연소는 지상의 성장과 같은 양상을 나타내나, 시간이 경과함에 따라 공기의 공급이 부족해져서 연소가 불완전하게 되어 다량의 연기를 발생시키고, 때에 따라서는 산소결핍의 현상도 일어날 수 있고, 폐쇄공간이기 때문에 대기 중의 연기와 열의 방출이 적고, 장기간 농연과 열기가 축적되어진다. 그리고, 점포의 용적에 비하

여 지하공간의 용적이 작기 때문에 화재가 발생한 점포에서 유출된 연기로 빠른 시간내에 지하공간에 오염될 가능성이 크다. 또한 피난 및 소방활동의 문제점으로 볼 때에도 창 의 부재로 인하여 화재발생 정보의 지연과 화재정세를 파악하기 어려워 구조 또는 적절한 소화대책 수립이 곤란하며, 축적된 농연과 열기의 배출이 어렵기 때문에 진입한 소방 대원의 활동이 위축되고 체력 소모도 크다는 특징이 있고, 소방대의 진입로가 계단, 차도 만으로 국한되어 피난자와 역행하는 경우가 발생하여 소방활동의 거점설정 시간이 길어 진다는 특징이 있다. 주요 특징을 요약하면 다음과 같다.

표 1. 지하공간과 지상공간의 피난 및 소방특성

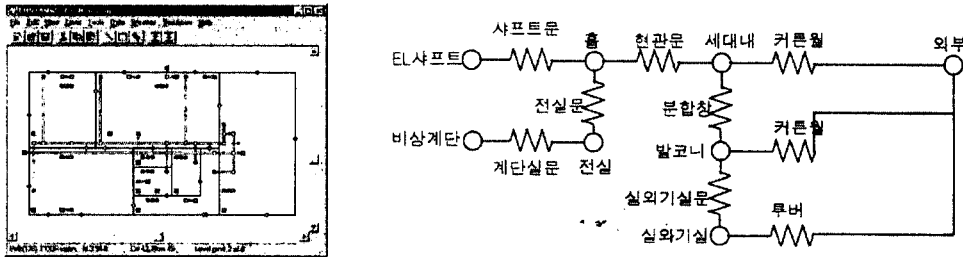
구분	지 하 공 간	지 상 공 간	문제점의 발생원인
피 난	1)수직 상부로의 피난에 따른 육체적부담	하부방향 피난	지상보다 낮은 위치
	2)피난방향이 상승하는 연기속의 계단	발화층 하부는 연기로 오염되지 않음	"
	3)지하 전체의 연기확산으로 위험 중대	위험이 큰 곳은 발화층의 상부	외부창에 의한 자연환기 불가능
	4)피난방향 상실로 인한 심리적 불안감	피난방향을 찾기 쉽다.	공간의 방향인지 불가능
	5)외부창을 통한 비상탈출 불가능	외부창을 통한 비상탈출 가능	무창의 폐쇄공간
소 방	1)화재상황 파악곤란(무전교신 곤란포함)	화재상황 파악 가능	"
	2)시설로의 진입 곤란	시설로의 진입 가능	상승하는 연기속의 계단
	3)건물 외부창에서의 구조 불가능	외부창에서 구조가능	무창의 지하 폐쇄공간
	4)자연적인 연기배출 불가능	자연적인 연기배출가능	"
	5)자연적인 배수 불가능	자연적인 배수 가능	지상보다 낮은 위치

3. 초고층 건축물 지하공간의 연기거동특성

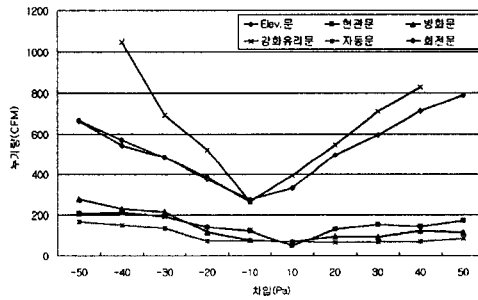
3.1 연돌효과에 의한 수직적 연기거동 특성

건물내 연기의 거동에 관해서는 크게 두 가지 방식으로 나눌 수 있다. 그 하나는 화재 실과 그 부근에 있어서 연기가 연소에 의해 발생된 에너지에 의한 열팽창과 부력을 생성 하기도 하고 혹은 각종 가스를 발생하여 체적이 증가하는 등의 움직임이며, 또 하나는 외 부 바람이나 이미 화재 이전에 발생해 있던 연돌효과에 의한 기류 등으로 화재가 계속 진행하여 발생된 대량의 연기 등의 영향으로 연기를 확산하려고 하는 움직임이다. 전자를 마이크로(Micro)적인 거동이라 한다면 후자는 매크로(Macro)적인 거동이라 할수 있다. 본 연구에서는 초고층 건축물의 지하공간에 대한 매크로적인 거동파악을 위해 다음과 같은 동절기 내외부 환경조건에 따른 연돌효과 시뮬레이션을 수행하였고, 동절기 초고층 건축 물의 연돌효과에 의한 부위별 압력분포상태를 파악하여, 제연설비(급가압시스템) 설계시

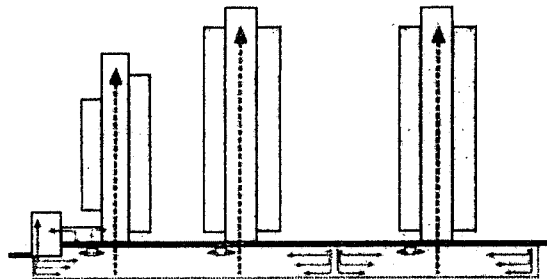
변수로 반영될 수 있도록 하였다. 연돌효과에 영향을 미치는 평가대상건축물의 부위별 기밀성능은 기존 연구문헌인 ASHRAE의 데이터와 선행연구로 파악된 부위별 기밀성능 측정자료를 활용하였고, 해석프로그램은 CONTAMW 2.1 Version을 사용하였고, 사용 프로그램 개념도는 다음과 같다.



[그림 1] 연돌해석 프로그램 개념도

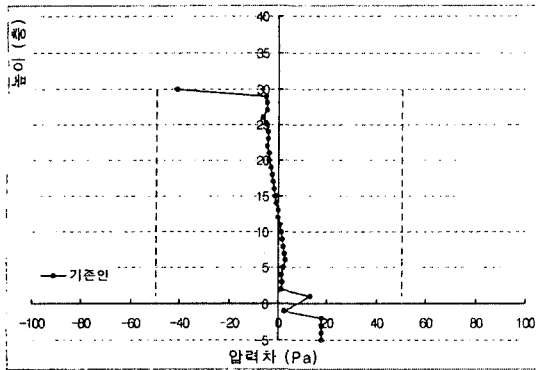


[그림 2] 부위별 특정차압에서의 누기량



[그림 3] 연돌현상 발생흐름도

위와같은 입력조건에서 40층 규모의 초고층 주상복합 건축물에 연계된 지하공간에 대한 동절기 압력차 발생량 시뮬레이션 결과, 위에 제시된 연돌현상 발생 흐름도와 같이, 건축물의 지하층 부분과 1층부분에서 주된 공기의 유입이 일어나며, 지하층 피난계단실 부분의 압력차는 외부와 비교할 때 약 20 Pa 정도의 차압이 발생하는 것으로 예측되었다. 이는, 건물의 수직적 높이에 따라 연돌효과로 인한 여러가지 환경적인 문제가 발생할 수 있음은 물론, 지하층에서의 화재발생시 연돌효과 등의 복합적인 영향으로 인해 상층부로의 연기확산효과가 더욱 확대될 것으로 예상된다. 또한 피난층면에서 불 때에는 피난계단



[그림 4] 계단실 수직압력분포 해석결과

실 문의 개폐에도 영향이 나타날 것으로 판단된다.

3.2 건축적 영향인자에 따른 연기거동 특성

이 장에서는 지하공간의 연기제어 영향인자중 건축적 특성에 의한 영향정도 파악을 위한 분석을 수행하였다. 평가도구로서는 NIST에서 개발한 FDS 4.0을 활용하였으며, 시뮬레이션에 적용한 전제조건 및 가정은, 위험구역별 단일구획 내에서 화재가 1건 발생하는 조건, 화재의 성장속도는 가상화재의 위험도를 충분히 반영하고, 건축물 지하상가의 용도상 많은 가연물 및 화재하중이 분포되는 사례를 감안하여 Fast Fire 화재 성장곡선을 사용하였고, 화재하중은 지하공간의 용도를 감안하여 2.0MW로 설정하였다. Case별 분석조건 및 결과는 다음과 같다.

	Case1 (제연/방연 대책 미적용)	Case2 (지하1층 아트트리움계획)	Case3 (지하2층 제연경계벽)
1분			
3분			
6분			

시뮬레이션 결과, 건축적/설비적 계획이 수반되지 않는 경우 불과 화재발생 3분여 내에 지하2층에서 발생한 화재가 지하1층부분의 주요부분까지 확산되는 것으로 나타났으며, 일정규모 아트트리움 계획 및 제연경계벽 설치 등에 따라 2~3분 정도의 추가적인 연기 지연효

과가 나타났다. 평가대상 건축물의 경우, 지하1층의 피난시간이 5분 44초 소요되고, 지하2층 재실자의 피난소요시간은 9분 5초인 점을 감안하면 방재계획상 문제가 발생할 수 있는 분석조건이 된다.

4. 결 론

이상에서 살펴본 바와같이, 초고층 건축물의 지하공간은 동절기 실내외 온도차에 의한 연돌효과에 의해 화재발생 전에도 부요부위에 차압이 발생되며, 평가사례 건축물의 경우에는 지하층 피난계단실에서 20 Pa 내외로 나타났다. 이는 가압제연방식에 의해 연기제어 방식을 적용하는 경우, 외부환경의 기준으로 한 차압설계량으로는 실제 화재실과의 적정 차압 유지가 이루어지지 않을것으로 판단되어 설계시 고려되어야 할 인자중의 하나로 예측되었다. 또한, 건축적 영향인자에 대한 연기거동 특성을 시뮬레이션 한 결과, 평가대상 사례에서는 건축적 수법에 의한 연기제어 방안만으로는 화재안전대책으로서 충분하지 않으나, 아트리움 및 제연경계벽에 의해 2~3분 정도의 연기지연효과가 있는 것으로 분석되어 Fail Safe개념을 적용한 건축적 영향인자의 적극적인 활용방안에 대한 필요성이 있는 것으로 사료된다. 향후 지하공간의 다양한 해석조건에 대한 영향인자별 민감도 분석이 수행될 예정이며, 이는 지하공간 연기제어 성능설계의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) 김명배, 한용식, “건물의 가압제연시스템 설계를 위한 유동해석에 관한 연구”, 한국 화재·소방학회지, 제 14권 2호, 2000, pp14-20
- 2) 김은종, “지하/해저도시의 방재시설에 대한 제언”, 한국화재·소방학회지, 제 1권 2호, 2000, pp42-45
- 3) 배상환, 홍천화 외, 건축물의 부위별 기밀성능에 관한 실태조사 연구, 한국화재소방학회 04 하계학술논문발표회 논문집, pp.158-162, 2004
- 4) 윤명오 외 3명, “지하공동구 화재 실험 및 시뮬레이션에 의한 화재 실험 예측 평가”, 한국화재·소방학회지, 제 15권 1호, 2001, pp23-33