

지하생활공간 제연·배연 설계

지하생활공간의 제연·배연 설계를 위한 1차년도(2003.12~2004.12)에서는 국내외 지하생활공간 화재사례분석 등 방재설비 현장 실태조사를 통하여 방재시스템 기술개발을 위한 구성인자 기준 설정 및 구성자재(종이류, 목재류, 플라스틱류 등)에 대한 연소특성 평가를 통하여 연소특성 데이터베이스 구축을 수행하였으며, 본 고에서는 이를 소개하고자 한다.

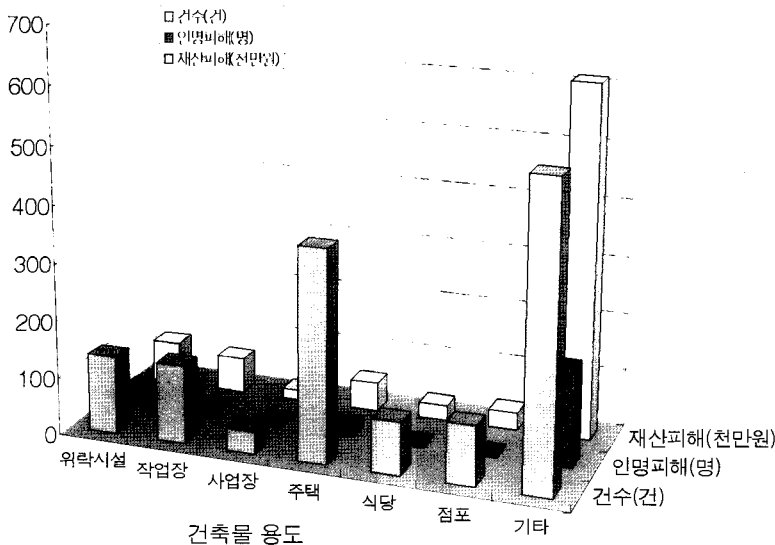
김 흥 열

한국건설기술연구원(hykim@kict.re.kr)

최근의 도시지역의 급격한 인구증가와 도시기능의 복잡 고도화로 지상의 개발가능토지의 부족과 지가의 상승 등으로 인해 지하공간에 관심이 집중되고 있다.

우리나라는 1974년 제 1호선의 지하철 개통을 시작으로 대도시를 중심으로 지하가, 지하상가 등의 개발이 이루어졌다. 그러나 불특정 다수가 이용하고 있는 지하생활공간에서는 화재시 발생하는 연기가

가시거리 저해로 대피를 불가능하게 하고 유해가스는 눈과 같은 감각기관과 호흡기관을 자극하여 기침, 질식, 시력손상을 야기하거나 또는 폐손상으로 사망에 이르게 하는 인자임에도 불구하고 아직 국내에서는 지하생활공간의 화재시 연기 및 유독가스를 발생시키는 구성재료의 연소특성 DB 구축, 연구유동 성장 파악 및 제연·배연에 대한 안전설계법이 전무한 상태이다(그림 1).



[그림 1] 국내 지하공간 화재피해 현황

지하생활공간의 범위

지하공간 심도별 구분은 크게 표층 지하공간, 중심도 지하공간, 대심도 지하공간으로 구분하고 있다. 그리고 지하공간 이용형태에 따른 공간구분은 인간이 거주하느냐 거주하지 않느냐에 따라 유인공간과 무인공간으로 대별하고 있다.

본 연구에서 일반 공공이 자유롭게 공간을 이용할 수 있는 지하생활공간으로 지하심도 30~50 m까지를 경계로 하였다(그림 2).

지하생활공간 화재 관련 국내외 법 규정

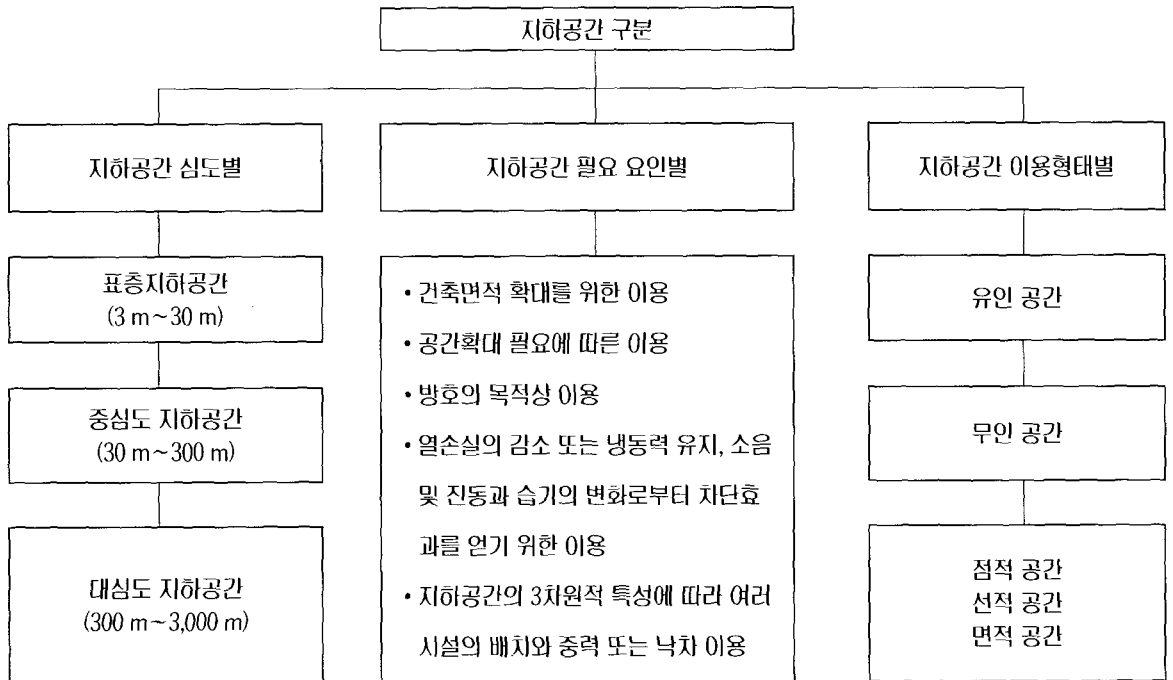
국내

국내에서 지하공간개발과 관련된 각종 규정은 민법, 도시계획법, 건축법 등 여러 법규에 산재해 있다. 지하생활공간은 인간의 거주가 가능한 지하 30~50 m 정도를 경계로 하는 공간으로 현행의 지하공간과 관련한 제도는 일반 지하건물, 지하도로, 지

하주차장 등이 대표적이다. 일반 지하건물에 대한 규정은 대부분의 사항을 건축법에서 규정하고 있으며 지하도로, 지하주차장에 대한 규정은 도시계획시설기준, 주차장법 등에서 규정하고 있다(표 1).

〈표 1〉 지하공간에 대한 건축계획 및 시설관련 제도 (지하건축물)

분 류	법 규	조 항
지 하 건축물	건축법	제 44 조 (지하층)
	건축법 시행령	제 35 조 (피난계단의 설치) 제 46 조 (방화구획의 설치) 제 56 조 (건축물의 내화구조) 제 61 조 (건축물의 내부마감재료)
	건축물 피난·방화구조 규칙	제 25 조 (지하층의 구조)
	주택건설기준등에 관한 규정	제 11 조 (지하층의 활용)



[그림 2] 지하공간의 구분



일본

일본에서의 지하공간에 대한 건축계획 및 시설에 관한 대표적인 규정은 “지하가의 취급에 대하여(地下街の取扱について, 5省 通達)”이다.

지하가의 설치에 대해서는 건설성(建設省), 소방청(消防廳), 경찰청(警察廳), 운수성(運輸省)의 4성청(省廳)에 의해 운용되어 왔다. 그러나 1980년 골덴가의 가스폭발사고로 인해 지하가에 대한 규제가 강화되었다. 이에 따라 기존의 4성청(省廳)에 자원에너지청이 가세한 5성청(省廳)이 지하가의 설치 및 시설기준에 대해 규제를 하게 되었다<표 2>.

<표 2> 지하가의 취급에 대하여(地下街の取扱について)

항 목	조 항
1. 용어의 정의 - 지하가, 공공지하보도, 지하 시설	제 二, -
2. 규제에 관한 취급방침	제 一, - 제 一, 二
<ul style="list-style-type: none"> · 신, 증설의 원칙금지 · 신, 증설의 기본적 고찰방법 완화- 조치가 정지되지 않는 경우 <ul style="list-style-type: none"> ① 역전광장 등, 도시기능 갱신의 거점 지역 ② 적설한랭지 등의 도시의 거점지역 <ul style="list-style-type: none"> · 증설을 인정하는 경우의 기존 부분의 개선 조치 	
3. 지하가의 계획기준	제 一, 四
<ul style="list-style-type: none"> · 공공지하주차장 병설의 지하가 연면적 · 지하가의 점포연면적 · 공공지하보도의 폭 · 공공지하보도의 지상에 이르는 유효폭원 · 공공지하보도의 보행거리(50 m 이내) · 다른 시설과의 접속금지 완화- 지하가 연락협의회에 의한 안전성이 인정되는 경우	四, 5(ア) 四, 5(ア) 六, 1(ア)
<ul style="list-style-type: none"> · 지하가의 배치 	六, 2(ア)
4. 사업주체	六, 4(ア)
<ul style="list-style-type: none"> · 국가, 지방공공단체, 또는 이에 준하는 공법인 또는 제 3sector(출자비율 1/3 이상) 완화- 1/3 이하 	五, 2
5. 관리규정	十二

미국

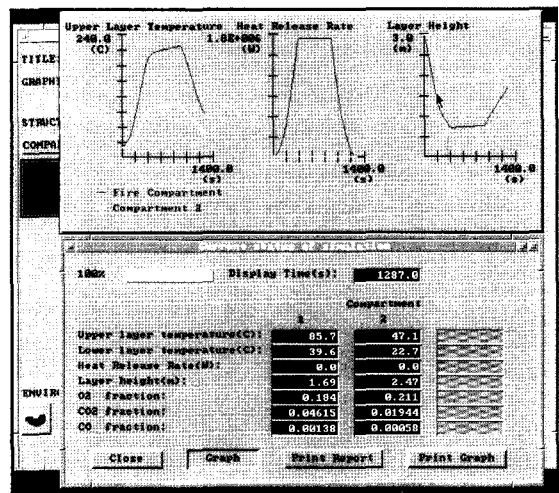
미국에서의 지하공간은 캔사스주의 곡물저장을 위한 공간으로서 개발되기 시작하였다.

캔사스주의 지하건물 관련규정은 크게 명칭과 적용범위(title and scope), 실행(enforcement), 허가와 점검(permits and inspection), 정의(definition), 거주에 따른 요구사항(requirements based on occupancy), 건설시 요구사항(requirements based on construction), 출구에 대한 요구사항(exit requirement), 방화시스템(fire protection), 기계시스템(mechanical system), 배수시스템(plumbing system), 전기시스템(electrical system), 엘리베이터 시스템(Elevator System)등 12개의 부문으로 구성되어 있다.

지하생활공간 연기제어 평가방법

존 모델 (Zone Model)

존 모델은 구획공간내부에서의 화재 확산의 영향성을 예측하는 컴퓨터 프로그램이다. 존 모델은 단일 공간이나 다수 실을 포함하는 건물에 적용하며, 평가 대상 공간은 동질성을 가지는 수 개의 존으로 구분하여 각 존마다 연속방정식을 적용하며 통상 두 개의 존 즉 고온의 상부 연기 층과 저온의 하부 공기 층으로 구분한다(그림 3).



[그림 3] 존모델의 개념과 FAST 실행화면

필드모델 (Field Model)

필드모델은 존 모델처럼 단일 공간 또는 다수 실에서의 화재확산을 예측하며 대상공간을 2개의 존이 아닌 다수의 제어체적(control volume)으로 구분하고 각각에 대하여 보존 방정식을 적용함으로써 존 모델에 비교하여 보다 상세한 해법이 가능하다. 필드모델은 2개의 존으로 화재현상을 표현하기에는 너무 복잡한 형태를 갖는 공간에 대하여 적합하며 대형 위험물 탱크화재와 같이 옥외화재에도 적용할 수 있다. 필드모델은 상대적으로 구체적인 결과를 제공하지만 상세한 입력정보가 요구되며 처리시간이 많이 소요된다(그림 4).

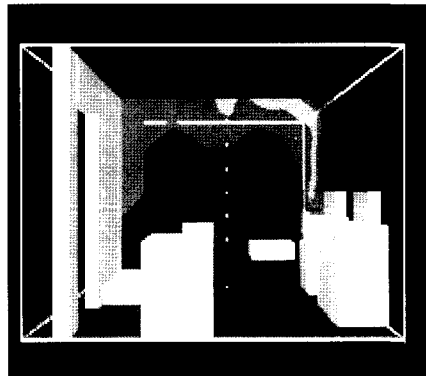
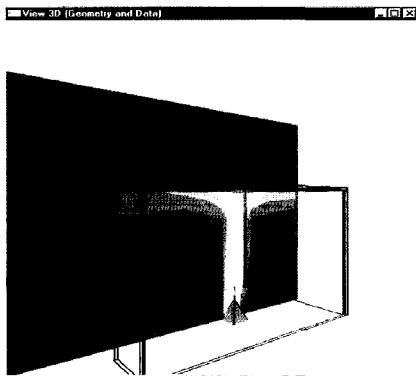
피난모델 (Egress Model)

피난모델은 건물내부의 거주자가 피난에 소요되는

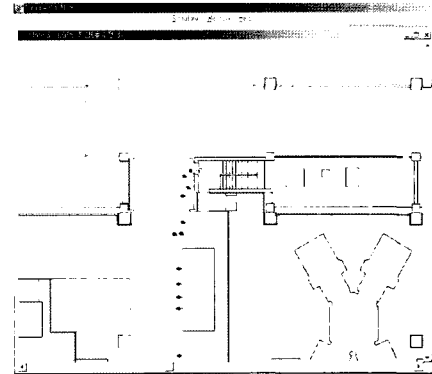
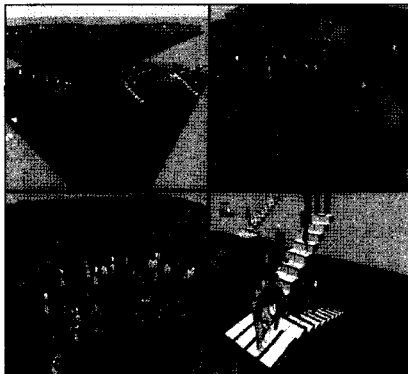
시간을 예측한다. 많은 피난모델이 존 모델과 연계되어 화재 시 공간의 체류 불가능한 시간을 예측하기도 한다. 피난모델은 성능기준 설계를 통한 법규상의 대안을 제시하거나 피난 시 정체되는 공간을 검토하는데 사용된다. 대부분 피난 모델은 화재 시 연기 유독성과 가시거리 변화에 따른 거주자의 심리적인 요소를 포함하며 거주자가 피난하는 시뮬레이션 과정을 그래픽으로 보여준다(그림 5).

지하생활공간 구성재료 연소특성 DB 구축

연소특성 시험은 최근 지하생활공간을 구성하는 재료로 많이 사용되고 있는 것을 대상으로 무기질계 재료 13종, 플라스틱계 재료 12종, 목질계 재료 8종, 복합재료 4종, 종이계 재료 3종, 섬유계 재료 9종 등



[그림 4] 필드모델 -FDS 및 Jasmine



[그림 5] 피난모델 - VR Exdodus 및 Simulex



총 49종의 재료를 선정하였다(그림 6).

산소소모지수 DB 구축

산소소모지수는 재료가 화재시 어느 정도의 산소 농도하에서 연소하는가를 평가하는 항목으로 한국 건설기술연구원에서 자체 제작된 장비에 의해 ISO 4589-2의 기준으로 평가되었다.

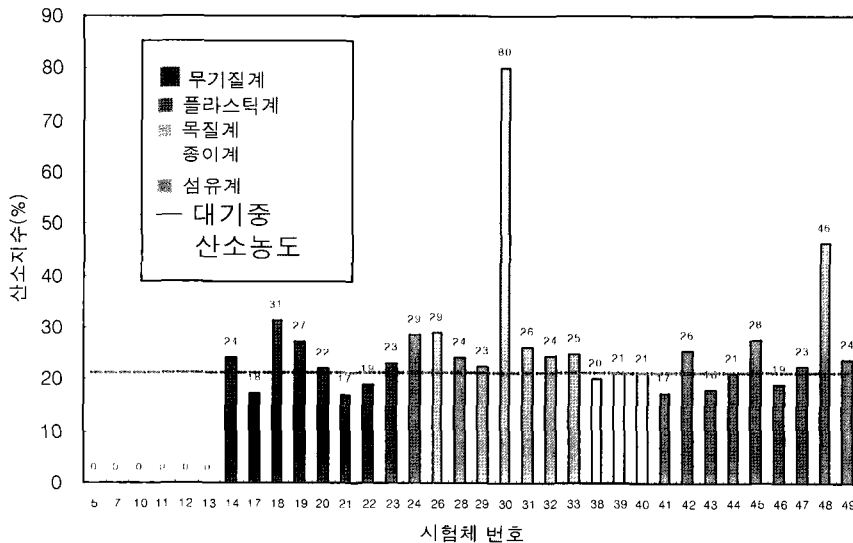
무기질계 재료는 어떠한 산소지수에서도 연소현상이 지속되지 않았다. 플라스틱계 재료의 경우, 22~24v%에서 연소현상이 지속되는 성능을 보였으며, 아크릴의 경우 최소산소지수가 17.1v%로 측정되어 실제 대기 중에서는 더욱 활발한 연소현상을 보일 것임을 예측할 수 있다. 목질계 재료의 경우, 모두가 22.5~28.9 v%로 플라스틱계 재료에 비해 우수한 난연성능을 보이고 있다. 종이류 재료의 경우, 모두 대기 중에서 포함된 산소의 농도만으로도 연소현상이 지속될 수 있는 20.0~21.1 v%의 값을 나타내고 있다. 섬유계 재료에서 면(100%)의 경우 17.4v%의 가장 낮은 산소지수를 나타내 조사대상 섬유 계열 중 가장 연소가 잘 되는 재료로 측정되었다. 특이한 점은 나일론(100%)과 폴리에스터(100%)가 각각 21.2 v%, 27.6 v%로 공기 중의 산소농도보다 높은 산소지수를 요구한 것에 비해 나일론(50%)+폴리에

스터(50%)가 대기산소농도 보다 낮은 19.0 v%의 성능을 보이고 있다.

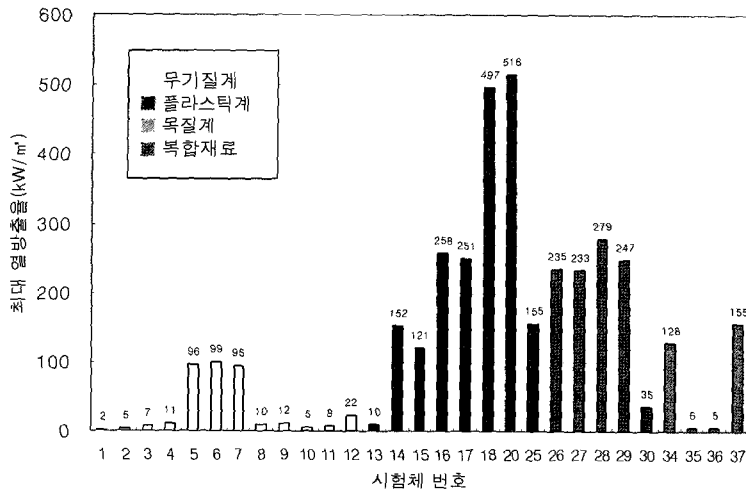
열방출률 DB 구축

열방출률은 재료가 화재시 발생하는 열량에 대한 평가로서 ISO 5660-1는 재료의 연소시 열방출률을 평가하였다.

무기질계 재료의 경우, 평균 열방출률 1~5 kW/m², 최대 열방출률 2~22 kW/m²을 보이고 있다. 플라스틱계 재료의 경우, 평균 열방출률은 21~148 kW/m², 최대 열방출률은 120~515 kW/m², 총 방출열은 21~40 MJ/m²를 보여 무기질계 재료에 비해 10~50배 정도 높게 나타났다. 난연플라스틱의 평균 열방출률 및 최대 열방출률에서 각각 148.4 kW/m² 및 515.9 kW/m²를 보여 가장 높은 값을 나타내고 있으며, FRP판의 경우에는 39.9 MJ/m²의 총 방출열을 보여 가장 높은 값을 보이고 있다. 목질계 재료의 경우, 평균 열방출률은 23~82 kW/m², 최대 열방출률은 35~280 kW/m², 총 방출열은 10~115 MJ/m²를 보여 무기질계 재료에 비해 10~20배 정도 높게 나타났다. 복합 재료의 경우에는 심재에 표면을 강판으로 한 복합 패널의 경우에는 심재만을 대상으로한 시험결과와 비교하여 열방출률, 최대 열방출률, 총 방출열



[그림 6] 재료의 산소지수 측정 결과



[그림 7] 재료의 최대 열방출량 측정 결과

및 질량 감소율에 있어서 약 2배 정도 낮은 값을 보이고 있어 차이를 나타내고 있다(그림 7).

맺음말

지하생활공간의 재해에는 화재, 가스폭발, 수해, 누수, 정전 등이 있는데 발생건수가 가장 많은 것은 화재이다. 지하생활공간 시설은 지상생활공간시설과 비교할 때 연기의 유동성상이 특이하다는 것 및 피난이 어렵다는 것 등 해결해야할 문제점이 많다. 연기의 유동에 관해서는 지하생활공간 시설의 설치

심도가 깊으면 깊을수록 외기의 도입이나 내부에서 발생한 연기의 배연이 지상에 비해 훨씬 어렵기 때문에 환기시스템의 설계시에는 충분한 배려가 필요하며, 배연을 목적으로 한 대규모 배란다형 오픈 스페이스 구조의 도입이 바람직할 것으로 판단된다.

또한 피난의 경우, 방화구획을 세분화하는 등에 의해 피난시간을 길게 확보하거나, 엘리베이터나 에스컬레이터 등의 기계설비를 이용하거나, 공간을 구획한 지하생활공간 자체에 안전피난장소를 설치해서 일시 피난에 의한 안전을 확보하는 방법들이 고려되어야 할 것이다. (*)