

지하생활공간의 화재위험과 안전대책

기획
특집

01



글 | 이강훈 경남대학 건축학과 교수

최근 토지의 한정성과 지가 상승 등의 이유로 지하공간의 개발 및 활용방안이 활발히 논의되고 있다. 따라서 지하생활공간에서 생활하는 사람들이 예전보다 훨씬 증가함에 따라 지하환경의 환기나 방재 등에 대한 여러가지 문제점이 대두되고 있다. 지하공간의 특성에 맞는 적절한 화재안전대책이 시급한 실정이다.

1. 머리말

현재 우리나라의 도시건축은 초고층화, 대형화, 지하심층화 현상이 증대되고 있으며 대규모의 지하상가도 증가하고 있다. 또한 최근 토지의 한정성과 지가 양등에 의한 도심주거 및 사무소 부족 등의 이유로, 토지이용에 대한 규제완화와 지하공간의 개발 및 활용 방안이 활발히 논의되고 있다.

이러한 사회적 배경 하에서 지하생활공간을 이용 또는 근무하는 사람들이 증가함에 따라 공기환경, 환기성능 및 방재 등에 대한 여러 문제점이 대두되고 있으며, 지하심층화의 경우 화재 등으로 인한 비상시의 피난에 대한 불안이 매우 증대하고 있다.

2. 지하생활공간의 개발 현황 및 특성

가. 우리나라 지하생활공간의 개발현황

현재 우리나라에서 개발되어 사용하고 있는 지하생활공간으로는 건축물의 지하층, 지하상가, 지하보도, 지하주차장 및 지하철 등을 들 수 있다. 1980년대까지만 해도 건축물의 지하공간은 대부분 주차장 용도로 지하 3~4층이 일반적이었으나, 최근에는 지하 6~9층 이하로 개발되고 있으며 그 용도도 다양해지고 있다.

지하상가의 개발은 1967년 서울시청 앞 '새서울 지하상가'를 필두로 시작, 1974년 지하철 개통을 기점으로 본격적으로 개발되기 시작하여 현재 서울 30개소, 인천 및 경기 15개소, 지방대도시 10개소, 기타 도시 3개소 등 전국에 59개소 이상이 개발되고 있다. 특히 서울시 코엑스몰의 경우 다수의 고층건축물 지하층이 서로 연계되어 대규모 지하복합시설을 형성하고 있으며, 도심 대규모 고층 백화점의 지하층은 지하보도 및 지하철과 연계되어 개발된 지하상가와 보행동선이 직접 연결, 대규모 지하공간을 형성하고 있다.

지하주차장은 차량 보급의 급증과 더불어 도심지 주차공간의 절대 부족현상을 해소하기 위해 개발되기 시작했다. 서울시의 경우 세종로, 종로, 동대문운동장, 서소문 등에 민자 유치에 의한 대규모

공공 지하주차장이 개발되었다. 지하철의 개발은 도시의 교통문제를 해결하려는 기본적인 기능뿐 아니라, 지하공간의 적극적인 활용에 대한 기폭제가 된다는 측면에서도 그 의미가 크다고 하겠다.

그러나 건축방재 측면에서 지하생활공간을 평가해보면, 지하공간은 지상공간에 비해 상대적으로 화재위험성이 클 뿐만 아니라 화재에 불리한 취약점이 매우 많아, 화재가 한 번 발생하면 대형 화재참사에 이르는 사례가 많다. 우리나라에서도 예전에 끔찍한 대구지하철 화재사고를 경험한 바 있다.

나. 지하생활공간의 화재안전 측면에서의 특성

지상공간과 비교할 경우 지하공간의 가장 큰 특징 중의 하나는 일반적으로 창이 없다는 것이다. 따라서 지하공간은 무창 공간과 많은 공통점을 갖는다. 창은 일조, 채광, 자연환기 및 조망 등의 일반적인 기능 이외에 화재성상, 피난, 구조 및 소방활동 등과도 밀접한 관계를 가지고 있다.

지하공간에서는 화재 시 피난 및 구조 활동 등에 있어서 건물의 창이나 발코니를 활용할 수 없으며, 폐쇄된 공간이고 피난방향이 지상으로 올라가야 하기 때문에 피난 및 소방활동상 많은 문제가 발생한다. 지하공간은 건물의 전체 매스와 형태를 볼 수 없고, 창의 결핍은 외부에 대한 참고점을 감소시켜 공간에 대한 방향감각이 상실되며, 이는 지하공간의 기본적인 문제점의 하나이다.

지하상가, 지하철 및 인접건물의 지하층이 서로 연결된 대규모 지하생활공간은 무질서하고 부정형의 미로와 같은 거대한 공간이 형성된다. 이러한 지하공간에 화재가 발생할 경우 지하보도를 통하여 전체 지하공간으로 화재가 확산됨은 물론 인접건물의 지하층에까지 확대될 가능성이 높다. 또한 부정형의 미로와 같은 지하공간에서는 방향감각을 잃게 되어 피난에 큰 지장을 초래하게 되고, 지상으로 통하는 계단과 인접건물의 내부로 통하는 계단의 구별이 분명하지 않기 때문에 피난상 중요한 문제점이 야기될 수 있다.

그리고 지하상가 등이 연계되어 개발된 대규모 지하공간에서 화재가 발생할 경우 각 관리사무소의 연락체계, 각종 소화설비의 작동, 피난시설의 운용 등 공동으로 협의 결정하여야 할 사항이 매우 많지만, 각각 별도의 관리조직체로 운영되고 있기 때문에 방화관리상 많은 문제점이 야기될 수 있

■ 표1. 지하공간과 지상공간의 피난 및 소방상의 특성 비교

	지하 공간	지상 공간	발생 원인
피 난	수직 상부방향으로의 피난은 육체적 부담이 큼	하부방향으로의 피난은 육체적 부담이 크지 않음	지상(피난층)보다 낮은 위치
	피난방향이 상승하는 연기 속의 계단이 됨	발화 층 하부는 연기로 오염되지 않음	상동
	지하 전체의 연기 확산으로 위험 증대	위험이 큰 곳은 발화 층의 상부	외부 창에 의한 자연환기 불가능
	피난방향의 상실로 심리적 불안감 조성	피난방향 찾기 용이	지하는 공간의 방향인지 곤란
소 방	외부 창을 통한 비상탈출 불가능	외부 창을 통한 비상탈출 가능	무창의 지하 폐쇄공간
	화재의 상황파악에 어려움(무전교신 곤란 포함)	화재상황 파악 용이	상동
	시설로의 진입 어려움	시설로의 진입 용이	상동, 상승하는 연기 속의 계단
	건물 외부 창에서의 구조 불가능	건물 외부 창에서의 구조 가능	무창의 지하 폐쇄공간
	자연적인 연기배출 어려움	자연적인 연기배출 용이	상동
자연적인 배수 불가능	자연적인 배수 가능	지상보다 낮은 위치	

다. <표 1>은 피난 및 소방활동상 지하공간이 지상공간보다 상대적으로 불리한 점을 비교, 정리한 것이다.

3. 지하공간의 화재안전대책

지하공간에서 화재시 인명안전의 확보를 위해서는 화재예방, 탐지, 진압 및 피난을 위한 전략 등이 종합적으로 고려되어야 함을 인지하는 것이 중요하다. 지하공간은 화재안전상 지상공간보다 매우 불리한 환경조건이지만 이것은 보다 우수한 화재예방, 탐지, 그리고 진압시스템에 의해 보완될 수 있다.

가. 명확한 내부공간 구성

지하건물의 내부 공간구성은 가능한 한 단순하고 명확해야 하며, 피난로는 그 시설의 출입시 일상적으로 이용하는 친숙한 동선패턴과 일치해야 한다. 친숙하지 않은 피난로가 요구될 경우 그 피난로는 분명히 강조되고 설명되어야 한다.

일반적으로 지하시설도 전통적인 건물법규에 맞추어 안전피난을 확보하는 설계가 가능하다. 그러나 지하시설은 일반에게 친숙하지 않으며, 공간방향성의 결여는 통상 길찾기에 있어서 문제점으로 지적되고 있다. 공간방향성의 결여는 재해 발생에 대한 근심 및 재해 발생시 탈출에 대한 두려움, 그리고 공간적 감각을 제한시키고 폐쇄되었다는 느낌을 갖게 한다.

R. Passini(1984)는 건물의 명료성(legibility, 공간의 방향성이 유지됨)을 높일 수 있는 중요한 3가지 요소를 제안하고 있다. 첫째, 건물 내부의 구성원리에 대한 이해가 쉬워야 한다. 둘째, 공간방향성은 건물 외부의 구성원리(즉 건물의 전체 형태와 볼륨)에 의해 높일 수 있다. 셋째, 건물 내 공간방향성은 공간의 상응관계에 의해 개선될 수 있다. 이것은 공간 사이의 상관성 조성을 말한다. 특히 실내와 실외, 지상과 지하, 시각적 접근 가능성 및 조절 가능성 등의 상응관계를 말한다. 이러한 패턴의 예는 건물의 통과로(thoroughfare), 지하정원(sunken garden), 내부 아트리움(atrium), 지하광장 등이다.

나. 안전한 수직 피난로의 확보

수직 피난은 통상 건물 내 전체 피난절차상 마지막 구성요소이다. 대부분의 경우 수직 피난은 외부 출입구로 유도되는 계단실이다. 또한 이것은 방화구획, 방연, 가압 및 환기시설을 갖춘 것이어야 한다. 계단실이 대피장소이며 소방대의 출입구일 뿐만 아니라 주요한 피난지점이라면, 이러한 기능에 적합한 디자인이어야 한다. 예를 들면 계단실은 쌍방향 음성통신시설뿐 아니라 소방용 파이프와



호스를 설치해야 한다. 지하시설의 피난 계단실에 유용한 디자인 개념의 하나는 공간의 방향성을 높일 수 있으며, 도움이 필요한 지하의 사람과 지상과의 시각적 접근이 가능하도록 계단실의 중앙에 개방공간을 형성하는 것이다.

비상피난을 도울 수 있는 에스컬레이터 디자인은 에스컬레이터 주위의 개방공간을 통해 상승하는 연기를 방지하는 것이다. 이를 위해 각층의 천장에 방연수벽(smoke curtain)을 설치함으로써, 축연장소에 연기를 가두어 에스컬레이터 쉘프트 내로의 연기전파를 방지할 수 있다. 이 개념은 비상시 기계적으로 천장으로부터 떨어져 내려오는 방연수벽을 이용할 수도 있다.

이 방법은 연기경보와 각 축연장소의 연기배출 능력에 좌우된다. 계단이 합리적 피난수단이 될 수 없는 대심도의 지하공간에서는 상용 및 비상용 엘리베이터의 설치를 고려할 수 있다. 즉 상용의 엘리베이터는 개방적인 일상동선으로 이용하고(예를 들면 아트리움 내의 유리로 구획된 엘리베이터), 비상용 엘리베이터는 각 층에 대피장소로 이용되는 구획된 로비를 갖추고 단지 비상용으로만 사용하도록 디자인된 것을 말한다.

다. 공간의 구획화 및 안전 대피장소의 확보

전통건물뿐 아니라 많은 경우 공간의 구획화는 화재안전의 기본 개념이다. 지하공간에서 구획화와 안전 대피장소의 확보는 종종 적절한 안전을 제공하는 유효하고 필요한 전략으로 작용한다. 최소한 계단실의 구획뿐 아니라 지하공간의 엘리베이터 로비는 기타 부분과 분리 구획되어야 한다. 대심도의 고립된 지하 구조물에서는 다양한 피난로의 이용보다는 구조를 기다릴 수 있는 안전한 대피장소를 제공하는 것이 바람직하다.

화재안전을 목적으로 구획화를 이용하는 것과 관련된 잠재적 문제점은 창이 없는 지하공간의 개방감 조성이라는 건축적 목표와 상충되는 것이다. 다층의 아트리움은 바람직한 전략의 하나이며, 유리 간막이 벽으로 분리되어 서로 연결된 공간의 사용은 또 다른 전략이다.

라. 명확한 유도표지와 비상조명

앞에서 살펴 본 지하공간의 화재안전상의 많은 문제점들을 해결하기 위해서는 명확하고 효과적인 비상표지시스템의 설치가 필수적이다. 비상표지 및 조명의 혁신적 방법의 하나는 발광성 재료를 이용하는 것이다. 발광재료는 방향지시 화살표의 형태로 낮은 벽과 바닥에 설치될 수 있다. 다른 중요한 요소로는 비상구(방화문), 문의 손잡이, 피난경로 지도, 소화기, 전화 그리고 경보장치 등을 들 수 있다. 특히 피난경로지도는 사람들에게 건물의 전체 구성원칙의 이해를 도울 뿐만 아니라, 그들이 목적지에 도달할 수 있는 적합한 경로탐색을 돕는 지하시설의 중요한 요소이다.

발광재료는 중요한 건축형태 및 상세를 강조하는 데 사용할 수 있다. 예를 들면 중요한 계단실

형태의 윤곽, 계단의 미끄럼 방지 부분, 계단의 손잡이 부분을 강조하는데 사용할 수 있다. 발광재료는 높은 신뢰성에 비해 코스트가 낮으며, 전원이 필요하지 않기 때문에 안전성이 높은 것이 장점이다. 그러나 대부분의 비상표지 시스템 및 피난경로지도의 주요 문제점은 첫째, 정보에 쉽게 접근할 수 없다는 것, 둘째, 정보가 불명료 또는 애매모호하다는 것, 셋째, 정보가 과다한 시각 환경 속에서 분별이 잘 되지 않는다는 것 등이 지적되고 있다.

마. 효과적인 화재탐지, 경보 및 통신시스템

지하건물은 시야의 결핍과 접근의 곤란성 때문에 재실자의 구조뿐만 아니라 화재를 확인하고 공격하기가 어렵다. 이러한 장애요소는 그 시설이 비상상황의 조기탐지를 위한 효과적인 시스템, 중앙 제어센터(방재센터), 대피장소 및 건물 내 주요 공간 사이의 쌍방향성통신시스템을 갖추고 있다면 상쇄될 수 있다.

NFPA의 인명안전규정을 보면, 고층건물에서는 음성전달을 이용한 화재경보시스템과 소방서용 쌍방향전화통신시설의 설치를 요구하고 있다. 이 시스템은 방재센터에서 모든 엘리베이터, 엘리베이터 로비, 각 층의 피난계단을 조작할 수 있어야 한다. 이러한 형태의 시스템은 도심도의 지하복합 시설에도 유효할 것이다. 특히 무선통신장치는 지하에서 항상 작동이 가능하지 않기 때문이다. 또한 화재의 탐지와 피난을 감독하기 위한 능력은 폐쇄회로 TV시스템(내열성이 검증된 것)에 의해 보강될 수 있다.

바. 효과적인 연기제어 및 공기조절

화재시 효과적으로 연기를 제거하는 것은 지하시설의 전체 인명안전시스템의 가장 주요한 구성 요소이다. 폐쇄되고 창이 없는 환경에서는 연기, 화열 및 압력이 급속히 축적될 것이다. 연기의 축적은 피난을 방해할 뿐 아니라 화재관련 사고사의 80%가 연기에 의한 것으로 보고되고 있다.

기계적 연기제어시스템에서 화재발생 인접지역은 정압을 유지하여야 하며, 정압은 연기가 인접 지역으로 이동하지 못하게 할 것이다. 대피 장소는 물론이고 피난시스템의 다른 중요한 구성요소(예를 들면 계단 및 피난로) 또한 적극적으로 가압해야 한다. 복도는 공기조절을 위한 덕트의 설치장소로 사용해서는 안된다. 이러한 연기배출방법은 화재발생 지역 내에 부압을 조성한다. 부압이 조성된 후 신선한 공기가 그 공간에 갑자기 들어오면 산소결핍환경에 갑자기 산소가 들어올 때와 같이 'blow-back' 폭발이 발생할 수 있다. 전통적인 해결책은 지하공간에서도 방화구획 내의 낮은 위치에서 급기하고 천장 가까이 설치된 배출 덕트를 통해 연기제거를 촉진시키는 것이 바람직하다.

지하건물이 별개의 방연구획으로 분리되면, 비상 공기조절시스템은 각 구획을 별도로 급기 또는 배출하도록 설계해야 한다. 그러나 어떤 경우에는 방화구획이 매우 크게 되기도 하고 건물의 기능이 넓은 개방지역을 요구하기도 한다. 이러한 경우 천장에서 단지 머리높이 위까지 내려오는 방연

수벽의 사용은 공간을 여러 개의 '축연장소'로 분리할 수 있다. 이 방법은 어떤 지역 내에 연기를 가두고, 피난을 위해서 방연수벽 아래의 통행은 가능하게 한 것이다. 이 방법을 효과적으로 운용하기 위해서 방연수벽은 연기감지기 연동으로 작동해야 하고 축연장소에는 배출 팬과 덕트를 설치하여 연기를 신속히 제거해야 한다.

사. 효과적인 화재진압

소방 및 피난 상 잠재적 취약점을 지닌 지하공간에서 효과적인 자동 화재진압시스템은 전체 인명안전시스템의 주요 구성요소 중의 하나이다. 일정 규모 또는 최소 수용인원을 초과하는 지하공간에는 자동 스프링클러 시스템의 설치가 대부분의 화재관련 법규에서 요구되고 있다. 자동 스프링클러 시스템은 화재탐지 및 소화에 매우 효과적이다. 대심도의 격리된 지하공간에서는 더욱 더 정교한 자동소화, 진압시스템의 개발이 요구된다. 예를 들면 소방 로봇은 폐쇄되고 고립된 지하 공간에서는 효과적인 방법이 될 수 있다.

아. 내화구조의 사용과 위험

재료 및 용도의 사용제한 지하공간의 전체 인명안전시스템에서 가장 확실하고 기본적인 구성요소는 위험성 및 가연성의 재료 사용을 허용하지 않는 것이다. 그러한 재료가 어떤 제조과정상 필요할 경우에는 완전히 분리된 장소에 저장해야 한다. 대부분의 벽, 바닥 및 천장의 내화도는 부압 또는 중성대의 압력 하에서 시험하여 추정된 것이다. 그리고 화재시험은 지하건물의 실제 화재조건과 유사하지 않은 특별한 화재조건 하에서 부재를 평가하고 있다. 따라서 지상건물에서 1.5시간 내화도를 허용하는 경우, 높은 압력상태의 지하건물에서는 더 높은 수준의 내화성능이 요구된다. 그리고 화재에 매우 취약한 지하공간에서는 화재발생 및 폭발위험성이 높은 용도의 사용금지에 대한 규정이 필요하며, 또한 대규모 집회시설(나이트클럽, 심야 영화관 등)과 같이 많은 인원을 수용하는 시설의 사용도 제한하는 것이 바람직하다.

자. 공동 방화관리체제의 확립

지하시설은 건물의 지하층, 지하상가, 지하주차장 및 지하철 역사 등 여러 가지 시설이 지하에 접속하여, 평면적·입체적으로 매우 광범위한 공간으로 대규모화, 복합화되고 있는 경향이다. 다른 시설이 접속되는 지하 연락통로 등은 피난의 측면에서는 유효하지만, 연소 확대 및 연기확산의 위험성을 배제할 수 없다. 따라서 접속부분의 화재안전성의 확보 및 방화관리 상의 대책이 동시에 필요하다. 대규모화, 복합화된 지하시설에서의 방화시설 및 설비의 설치와 방화관리는 광역적으로 취급하는 것이 필요하며, 또한 화재안전의 관점에서 기본적인 단위지역의 설정이 필요하다. 그리고 그러한 기본 단위지역 상호간의 정보전달 및 초기대응 등을 위한 공동 방화관리체제가 강구되어야 한다.

4. 맺음말

지금까지 지하공간의 화재안전에 대해, 특히 화재로 인한 비상시 인명안전의 확보에 주안점을 두고 건축방재적인 측면에서 살펴보았다. 지하공간의 화재안전대책이 지상공간의 안전대책 원리와 크게 다르지 않지만, 지하공간의 환경조건이 지상공간과 비교하여 화재안전상 상대적으로 열악하고 취약점이 많다.

지하공간의 화재안전대책을 모색하기 위해 화재안전의 기본개념과 지하공간의 특성에 부합되는 구체적인 디자인 방법을 살펴보았다. 물론 지하공간의 인명안전대책은 화재예방, 탐지, 통신, 진압 및 피난을 위한 전략이 종합적으로 고려되어야 유효하다. 따라서 앞에서 살펴본 디자인 해결방안들은 합리적이고 효과적인 종합대책을 구성하는 요소들로 고려되어야 한다. 창이 없고 출입구가 한정되어 고립되고 폐쇄된 지하공간에서 안전조건을 확보하기 위해서는, 구조 및 피난을 위해 대기해야 하는 사람들을 위한 안전한 대피장소의 확보가 필수적이다. 또한 방재시스템의 고도화와 대심도의 지하공간에서는 피난용의 엘리베이터 및 에스컬레이터의 개발이 요구된다.

지하공간의 화재안전에 관한 법규의 기준은 지상공간보다 더 강화된 규정이 요구되며, 지하공간과 같이 화재위험이 큰 곳은 건축허가시 대규모 집회시설(나이트 클럽, 심야 영화관 등)의 사용을 제한할 필요가 있다. 아울러 초등학생은 물론 일반 시민들에 대한 교육 및 홍보를 통하여 안전의식을 높이고, 소방체험 등을 실시하여 재난에 대처하는 능력을 키울 수 있는 소방훈련 교육시설의 설립, 운영이 요구되는 시점이다. 

참고문헌

1. 심우갑 외, 지하공간건축, 시공문화사, 1997
2. 김세동, 지하공간 방재상의 문제점과 안전대책, 건설기술정보, 8월호, 1994
3. 松下敬幸, 지하공간과 화재안전, 건축잡지,106(1309), 1990
4. 홍원화 외, 대구지하철 피난자 행동유형 분석을 통한 지하공간 안전피난대책에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 계획계, 21권, 1호, 2005
5. 佐藤 掄, 대심도 지하건물의 공조, 환기, 방재 등의 제 문제와 전망, 건축설비와 배관공사, 6월호, 1991
6. 이강훈, 지하공간의 화재안전에 관한 연구, 경남대 공업기술연구소 논문집, 제1집,1993
7. John G. & Degenkolb, Fire Protection for Underground Buildings, Underground Space, V. 6, 1981
8. Passini, R., Wayfinding in Architecture, Van Nostrand Reinhold, 1984
9. National Fire Protection Association, NFPA 101 Life Safety Code. NFPA, 1991
10. John Carmody & Raymond Sterling, Underground Space Design, Van Nostrand Reinhold, 1993