



# 지하공간의 화재안전을 위한 새로운 도전

## 1. 머리말

자연적으로 형성된 자연지하공간에서부터 인공지하공간에 이르기까지 인류는 시대적인 상황에 따라 지하공간을 하나의 생존수단으로 이용해 오고 있다. 최근의 지하공간은 경제적인 개념이 주로 도입된 개발경향을 보이면서 우리에게 더욱 친숙한 공간으로 다가와 있다. 즉 대도시에서 겪고 있는 가용공간을 확보하기 위한 대안으로, 지하상가, 지하철, 지하도로의 보급이 본격화되고 도로의 성능을 개선하기 위한 도로터널이 증가하고, 환경처리시설을 건설하는 공간으로 이용의 가능성이 높아지는 등 향후 인류의 생존을 위한 하나의 유효공간으로 자리잡아가고 있다.

이와 같은 추세에 따라 이를 이용하는 인구가 기하급수적으로 증가하면서 이들에 대한 화재사고 등 안전사고에 대비한 방재안전 확보는 가장 중요한 현안으로 대두되고 있다. 따라서 향후 지하공간의 지속적인 개발여부는 화재사고 등 유사시에 얼마나 대처능력을 확보할 수 있는지가 좌우할 것으로 보인다. 이에 본 고에서는 이들 지하공간을 대상으로 방재안전, 특히 화재안전의 확보방안을 위주로 검토하고자 한다.

지하공간이 사람들의 생활유지를 위한 하나의 유효공간으로 자리잡아 가면서 이들에 대한 화재 사고 등 안전사고에 대비한 방재안전 확보가 중요해지고 있다. 지하공간의 개발여부는 이들 공간의 안전성에 많이 좌우되고 있는만큼 본 고에서는 지하공간의 화재안전 확보방안에 대해 알아보려고 한다.

## 2. 지하공간과 화재안전

모든 시설물의 화재안전과 마찬가지로 지하공간의 화재안전은 공간의 특성에 대한 분석을 기반으로 대책이 마련되어야 한다. 지하공간은 반밀폐적인 구조를 가지고 있어 화재에 있어서도 이에 크게 좌우되는 특성이 있다. 즉 외부와 차단된 지하에 위치하기 때문에 유사시 산소의 공급이 원활하게 이루어지지 않는다. 따라서 화재 초기에 내부의 산소를 소비하고 나면 그 이후에는 불연소가스가 다량으로 발생하면서 국부적인 연소가 지속적으로 진행되어 장시간에 걸쳐 연소가 진행된다. 또한 폐쇄성으로 인해 이용자는 평소에도 항상 잠재적인 불안감을 느끼고 있기 때문에 유사시 쉽게 패닉 현상에 빠지게 되어 방향 감각을 잃고 대형참사로 이어지게 된다. 이러한 점은 최근 국내외에서 발생한 사고를 통해 쉽게 이해할 수 있으며, 화재발생시 감지, 초기진화 및 피난유도의 중요성이 어느 곳보다도 중요시 된다는 점을 알려주는 대목이기도 하다.

한편, 화재안전에서 간과할 수 없는 것이 관리주체에 의한 체계적인 관리이다. 국내에서 지하공간을 관장하는 기관과 기준은 용도에 따라 각각 다르게 적용되고 있다. 최근 건설교통부에서는 효율적인 지하공간의 개발과 관리를 위해 “국토이용의 계획 및 이용에 관한 법률” 제 43조에 근거를 두고 지하공간 이용시설 기준에 관한 규칙을 2005년 7월에 입법예고하였다. 본 규칙에서는 도심지에서 지하공간개발가능성이 가장 높은 도로, 광장 등 공공시설용지의 지하에 설치하는 지하공공보도, 지하도상가 등의 시설기준에 관해 규정하고 있다.

그 밖에 지하공간의 건설과 관련된 법으로는 도로터널과 관련하여 도로법, 지하철과 관련해서는 도시철도법, 고속철 등 일반 철도와 관련해서는 철도건설법, 화재안전과 관련해서는 소방법, 건축법 등과 같이 지하공간의 용도에 따라 제각기 다른 법률체계를 가지고 있다. 화재안전은 계획단계의 설비 및 구조적인 측면도 중요하지만 평소의 유지관리가 무엇보다도 중요함을 감안할 때 다양한 관리체계에 인하여 화재안전에 미치는 영향은 지대하다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 지하상가, 도시철도, 도로터널 등 최근 사용빈도가 높은 지하공간을 대상으로 화재안전을 확보하기 위한 개선 사항과 향후의 기술개발 방향에 대하여 언급하고자 한다.

### 3. 지하공간의 화재안전 확보 방안

#### 가. 지하생활공간의 화재안전 확보 방안

지하생활공간은 지하도상가를 비롯한 지하역사, 지하주차장, 지하광장 등 다중이용시설을 지칭하는 것으로, 대표적인 시설인 지하도상가는 서울의 25곳을 비롯해 전국적으로 70여 곳이 운영 중이며, 총 면적은 약 400,000m<sup>2</sup>에 달하는 것으로 추산되고 있다. 특히 적용 규정이 지하도로, 영업장소(상점), 소방설비로 구분되어 도시계획법, 건축법, 소방법 등으로 나뉘어져 있기 때문에 화재안전관리가 어려운 점이 있다. 특히 우리나라 지하도상가의 경우 의류, 신발, 서점 등 화재발생시 다량의 유독가스가 발생하는 업종과 화재발생의 위험성이 높은 LP가스를 연료로 사용하는 음식점들이 혼재하고 있기 때문에 화재안전에 매우 취약한 조건을 갖추고 있을 뿐만 아니라 유사시 대형사고를 유발할 위험성을 내포하고 있다.

지하생활공간에 이러한 시설들이 위치할 수 있었던 것은 관련법의 테두리 내에서 합법적으로 이루어진 것이지만 우리나라 등 몇 안 되는 국가의 특징이라 할 수 있다. 따라서 우리나라의 지하생활공간에 대한 화재안전시설은 이러한 특성을 반영한 시설들이 도입되도록 되어야 할 것이다. 이에 대한 방안으로서 설계 단계에서 간과되고 있는 화재하중을 고려한 성능설계법을 도입하여 화재안전시설을 구축하는 것이 근본적인 해결방안이 될 수 있다. 즉 설계 단계에서 해당 업종별 취급품목들에 대한 발열량, 발생하는 가스의 종류 및 량 등 자료조사를 통해 화재시 내화성능을 확보하기 위한 자료로 활용하고 배연설비를 결정하는 기초자료로 활용하며, 소방시설의 용량을 결정하는 자료로 활용해야 한다. 또한 재실자의 피난을 확보하기 위한 피난대피로의 구조를 결정할 수 있도록 하여야 한다.

#### 나. 도시철도

1974년에 우리나라에 도시철도가 처음으로 준공된 이래로 지하철은 오늘날 대부분의 대도시에서 교통난을 해결하는 대안으로 자리를 굳히면서 현재 전국적으로 총 연장 약 420km를 보유하고 있다. 지하철의 보급이 활발하게 이루어지면서 이용자가 기하급수적으로 증가하는 과정에서 발생한 대구지하철 화재사고는 지하철의 화재안전에 대한 중요성을 일깨워주는 새로운 계기가 되었다. 지하철은 일반 지하생활공간과는 달리 협소한 공간에서 다량의 이용자가 이용한다는 점을 고려하여 안전의 확보방안을 검토해야 한다. 즉, 본선 구간에서의 사고에 대한 대처방안과 승강장에서의 사고에 대한 안전을 염두에 두고 대책을 수립해야 한다.

현재 차량화재에 대한 방재 시나리오는 본선 구간 내에서 사고가 발생하여도 일단 차량을 인근의 역사 승강장으로 진입시켜 조치를 취하도록 하고 있으며, 소방법의 적용을 받지 않는 시설물로 분류되기 때문에 사고의 발생유무를 자동적으로 감지하는 감지기의 설치도 의무화되어 있지 않다. 따라서 사고의 유무도 승무원이 사령실에 연락하거나 사령실에서 원격 감시하도록 구성됨으로써

주로 인력에 의존하는 부분이 많이 있다. 한편, 평상시의 환기를 위한 본선 환기시설이 설치되어 있으나 화재시에 대비한 방재용 팬의 설치는 아직까지 보편화되지 않고 있으며, 승강장의 경우에는 배연설비를 구축하는 정도이다. 그러나 최근 승강장의 환경개선 방안의 일환으로 설치되고 있는 스크린도어로 인해 지하철의 화재안전 등 방재개념은 종래와 다른 각도에서 접근할 필요가 있다. 법적인 적용뿐만 아니라 연소 확대, 기류유동의 성상예측 및 제어, 제연방법, 대피시나리오 등이 재정립되어야 하며, 이를 토대로 설비의 합리적인 설치기준도 마련되어야 한다. 이와 관련하여 유럽에서는 유로터널, 아제르바이잔 지하철, 오스트리아 산악터널 등의 열차화재사고 등을 겪으면서 화재위험의 심각성을 인식하여 대책마련을 서두르고 있다. 유럽철도연맹에서는 14개국의 방재전문가들을 중심으로 2003년에 새로운 철도터널안전기준(UIC779-9)을 제정하는 한편, UN에서는 '철도터널 안전기준'을 제정하여 1km 이상의 터널에 적용하도록 권장하고 있다. 또한 각국의 운영기관에서는 신규 지하철뿐만 아니라 기존 운행지하철에 대하여 비교적 선진화된 기준으로 평가받고 있는 북미 도시철도 안전기준인 NFPA 130의 기준의 적용도 추진하고 있음을 참고할 필요가 있다.

#### 다. 도로터널

도로망의 확충과 성능개선을 위한 도로의 직선화로 장대화되고 있는 도로터널은 교통량의 증가로 사고 발생시 대형화될 가능성이 높은 지하공간시설이다. 도로터널은 기류의 유동상태의 변화가 빈번하기 때문에 정형화된 화재안전기준을 확립하는데 많은 어려움이 있는 시설이다. 즉, 교통량에 의한 교통환기력과 자연환기력이 상호작용을 하기 때문에 평상시에 환기상태가 계속 변하며, 화재 초기에는 이러한 환기력에 의한 기류가 그대로 유지되지만 일정시간이 지나면 이후에는 열에 의한 부력과 외부의 압력차에 따라 방향이 결정된다. 또한 터널에 설치된 배연시스템의 구조(횡류식, 반횡류식, 종류식)에 따라서 기류를 제어하게 되는 데 이에 대해서는 터널의 특성별로 시나리오를 작성하여 운영하여야 한다.

터널의 화재안전은 초기의 이용자에 대한 신속한 대피에 초점이 맞추어져 있으며, 위에서 언급한 바와 같이 이를 위해서 기류의 유동을 제어하기 위한 기준의 마련이 특히 중요하다. 국내에서도 이러한 점을 중심으로 화재감지, 피난유도, 소화설비에 이르는 모든 화재설비기준을 마련하여 연장 1km 이상의 터널에 대하여 관련 시설을 구축하도록 정하고 있으며, 그 이하의 터널에 대해서도 적절한 설비를 구축하도록 하고 있다.

유럽은 도로터널과 관련된 기술이 가장 많이 발전한 지역으로 전 세계의 화재안전기준을 주도하고 있다. 몽블랑터널화재 등 최근에 빈번하게 발생하고 있는 터널화재사고를 겪으면서 종래의 시스템에 문제가 있는 것으로 인식하고 안전기준을 재정립하기 위한 EURO project를 수행하였다. 이 사업에는 유럽 및 미국 등이 참여하여 감지기, 제연팬 등 각종 시설은 물론 화재발생 후의 터널구조에 대한 안전문제에 이르는 전 분야를 종합적으로 포함하고 있다. 이 사업에는 스웨덴, 노르웨이, 영

국, 핀란드 등의 연구소를 중심으로 수치해석, 기기의 성능실험, 기류유동해석, 실물화재실험 등 화재안전기준을 개발하기 위한 연구를 종합적으로 수행하였다.

특히, 실물화재실험의 경우 1.6km의 터널을 이용하여 20MW급의 실물화재실험을 수행하여 화재안전에 관한 각종 자료를 정립하였다. 과거 미국에서도 Memorial Tunnel을 이용하여 실험을 수행한 바 있으며, 이러한 예에서 보는 바와 같이 도로터널의 화재안전기술 및 기준개발은 철저한 기초실험과 실물화재실험을 기본으로 하고 있다. 도로터널은 주변 환경이 매우 열악한 특성이 있기 때문에 감지기로부터 소화설비 및 배연설비에 이르기까지 신뢰성을 확보하기에 어려움이 많다. 따라서 평상시의 유지관리와 다양한 방재시나리오의 구축을 통한 운전방법의 정립이 무엇보다 중요하며, 도로터널의 화재안전 확보에 초점이 맞춰지고 있다.

#### 4. 지하공간의 화재안전 대책

지하공간의 화재안전 대책은 일반 지상건축물에서 발생하는 화재와 크게 다를 바가 없다. 단지

■ 표 1. 지하공간 화재안전 확보를 위한 국내·외의 기술개발 비교



지하공간의 특성을 고려한 설비가 도입되도록 해야 할 것이다. 밀폐공간에 대한 감시체제의 강화, 외부에서 재해상황을 감시할 수 있는 시스템의 구축, 패닉에 대한 효과적인 대처방안으로 육성에 의한 피난유도, 유사시의 대피공간 확보를 위한 대피 쉼터 확보, 소방대의 진입로 확보, 위치정보시스템 구축, 밀폐공간의 화재진압에 적합한 소화약제 개발 등을 검토할 수 있다. 지하공간의 화재안전은 피난안전, 연소확대 방지, 내화설계, 종합방화설계법의 도입을 통해 확보할 수 있다. 이에 대한 선진국과 국내의 현황을 비교하면 <표 1>과 같다.

한편, 지하공간의 화재안전기술개발은 연소/내화분야, 연기제어분야, 피난분야, 예측(시뮬레이션)분야로 구분하여 추진되는 것이 국내외의 경향이다. 지하공간의 특성에 비추어 향후 추진되어야 할 과제들을 정리하면 <표 2>와 같다.

■ 표2. 지하공간 화재안전 대책

요소	지하 환경의 특성			기술적 과제와 대책
	지하의 특성	문제점	고려해야 할 대책 (구조물, 설비, 운용)	
일상의 예방 감시	밀폐된 공간이므로 일상적인 감시와 조기 발견이 중요	방재 감시체제의 확립 (감시설비나 센서의 설치가 중요)	- 재해를 상정한 risk management의 확립 (자체 소방대의 조직화, 정기적인 방재훈련의 입안·실행 등) - 센서나 설비의 일상적인 보전 관리 실시(설비의 점검, 피난로의 점검 등)	① 발화 방지 대책 - 내장재의 불연화 - 1시간 내화 케이블 및 내화 덕트의 사용 - 고난연·저발연·non-halogen 케이블 등의 사용 - 전기 기기의 발화방지 대책 - 위험물 시설 등의 폭발을 미연에 방지·관리 ② 재해 발생시에 잔류자의 소재지를 확인할 수 있는 대책
재해 장소의 특징	외부에서 재해상황의 확인이 곤란	육안에 의한 장소의 특징이 곤란	- 화기 사용장소의 한정 - 설비나 센서에 의한 재해장소의 특징이 중요	초기 화재 감지 대책 - 화재 성상에 대응하는 센서의 선정(냄새, 유해가스 등) - 영상정보 등에 의한 재해장소의 확인
통보·경보	패닉에 빠지기 쉬운 심리상태	경보하는 즉시 혼란에 빠질 수 있으므로 오보는 절대 허용되지 않음	- 시설에 의한 통보에만 의존하지 않고 사람이 개입한 통보 - 철저한 경보와 통보체제의 확립 - 재해에 건디는 통보 시스템의 확립과 보호대책의 배려	① 센서의 고감도화에 따라 오작동을 생각할 수 있으므로 복수 센서의 조합에 의한 신뢰성 향상이 필요 ② 지하이용자에게 적절하며 정확한 정보 전달 - 지하내 및 자선공의 통신수단 확보
초기 활동	- 지상시설에 비해 초기활동이 중요 - 밀폐된 공간이므로 산소결핍에 의한 불안전 연소가 발생 - 피난유도가 최우선	- 외부에서의 구조작업에 대한 사전 입안이 곤란 - 외부에서의 신속한 대응이 곤란 - 연기와 유해가스의 발생과 가득 차는 것에 대한 대책 - 초기 활동자의 피난경로와 안전의 확보	- 위험개소의 특징과 사전대책에 따른 초기대응이 중요 - 외부에서 구조대나 기계의 도착이 늦어지는 경우가 있으므로 상비된 설비를 사용한 자체 소방대에 의한 초기활동이 중요(초기활동용 설비 설치) - 피난로의 확보	① 초기 소화활동 - 초기 활동용 소화설비의 설치 - 대상물, 가연물의 종류에 따른 소화대책 ② 피난유도의 지시

■ 표2. 지하공간 화재안전 대책

요소	지하 환경의 특성			기술적 과제와 대책
	지하의 특성	문제점	고려해야 할 대책 (구조물, 설비, 운용)	
피난 유도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자신의 현재위치가 불분명한 경우가 많음</li> <li>- 연기의 확산방향과 불길이 퍼지는 방향이 피난방향과 동일</li> <li>- 상향으로의 피난이 되기 때문에 동력(전력)이 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 패닉에 의해 야기된 사람들의 흐름 제어</li> <li>- 피난을 위한 전력·산소 확보와 공급 대책</li> <li>- 신체장애자나 노인, 아이들 등 약자 대책</li> <li>- 피난완료의 확인수법 확립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 피난자와 구조대 진입의 혼란을 방지하기 위한 구조적 배려</li> <li>- 유도·안내 시스템의 확립(비상 등, 유도경로 등)</li> <li>- 전력의 비상용 공급설비 설치</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 거점 안전 구획의 도입 - 쉼터 등 일시 피난 장소의 확보</li> <li>② 피난 안내</li> <li>③ 연기확산과 동일 방향으로의 피난에 대한 안전대책 - 고속·대량 피난수단의 확립</li> <li>④ 부상자(재해약자)의 피난대책</li> <li>⑤ 안전 피난로의 확보, 시설구조에 의한 연기·가스 대책</li> </ol>
확대 방지	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 외부에서의 방재활동이 곤란</li> <li>- 가장 깊은 곳에서 재해가 발생했을 때는 소방대와 필요기재의 현지 도착이 늦음</li> <li>- 지상과 달리 소화작업에 대량의 물을 사용할 수 없음</li> <li>- 밀폐도가 높아 금방 연기가 가득 참</li> <li>- 자연배연의 효과가 적어 강제배기가 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소방대의 진입경로 확보</li> <li>- 소방대가 자신의 위치를 잃지 않기 위한 대책</li> <li>- 연기에 의해 불량한 시계 속에서 피난경로나 재실자, 부상자의 확인수법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 피난자와 구조대 진입의 혼란을 방지하기 위한 구조적 배려</li> <li>- 유도·안내 시스템의 확립(비상 등, 유도경로 등)</li> <li>- 전력의 비상용 공급설비 설치</li> <li>- 피난유도와 방화문을 연동시키는 방법의 검토</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 방화문, 셔터 등에 의한 재해장소의 구획화, 피해의 축소화</li> <li>② 소방활동의 효율화 - 보급 거점의 설치</li> <li>③ 재해상황의 파악·연락 등 소방활동의 일원적 관리, 지하 내 및 지상과의 통신수단 확보</li> <li>④ 2차 재해의 방지 - 프레온 가스를 대신할 소화수단의 확립</li> </ol>

## 5. 맺음말

정보화된 산업사회로 발전하면서 시설이 고도화되고, 실내에서 활동하는 시간이 증가하면서 화재로 인한 인적·물적피해의 가능성은 오히려 높아지고 있다. 지하공간의 경우 공간의 이용형태가 대형화·대심도화·장대화되면서 이용자가 급증하는 등 사용패턴이 급격히 변하고 있어 이에 대응하기 위한 화재안전의 중요성이 날로 높아지고 있다. 지하공간의 화재안전은 일반건축물의 경우와 근본적으로 동일한 개념을 바탕으로 하지만 지하공간의 특성에 부합되도록 고려되어야 한다는 점에서 고도의 기술을 요하는 분야이다. 이용자가 많은 도심지의 지하도 상가와 같은 다중이용시설의 경우에는 감지기의 신뢰도를 향상시키는 한편 배연설비 및 피난로 확보에 중점을 두어야 하고, 지하철의 경우에는 본선구간과 승강장으로 구분하여 화재안전 시나리오를 구축하여야 하며, 최근 도입이 되고 있는 스크린도어의 설치에 따른 화재안전 방안이 마련되어야 한다. 도로터널의 경우에는 기류의 변화가 매우 심하기 때문에 이를 고려한 방재안전계획이 수립되어야 하며, 특히 도심지에서 멀리 떨어져 있음을 감안하여 통신시스템의 구축이 중요하며 무엇보다도 화재안전시설은 신뢰성의 확보가 가장 중요하다. 이러한 관점에서 TAB를 포함한 현장 모의실험은 반드시 이루어져야 한다. 식물화재실험과 현장으로부터 수집한 자료를 이용하여 구축된 합리적인 설계기준의 정립, 고도의 정보통신기술을 접목한 RFID 및 유비쿼터스 기술, 화재안전시설의 성능을 위주로 한 성능설계법의 구축이 향후의 지하공간 화재안전을 확보하는 핵심과제가 될 것으로 예상된다. (🌀)