

지하공간 역사에 대한 일본 방재 규정 검토

김운형 · 김종훈 · 노삼규* · 이덕희** · 정우성**

경민대학, 광운대학교*, 한국철도기술연구원**

Review of Japanese Fire Protection Code for Underground Station

Kim Woon-Hyung, Kim Jong-Hoon, Roh Sam Kew*,

Lee Duck-Hee**, Jung Woo-Sung**

Kyungmin college, Kwangwoon University*, KRRI**

요 약

일본의 경우, 반복적인 철도 및 지하공간 역사 화재를 통하여 차량의 불연화(不燃化) 등이 지속적으로 이뤄져 왔다. 피난 기준에 관해서는 2004년 국토교통성 철도국의 발표를 통해 지하철역 등의 피난안전에 관한 검토방법이 발표되었다. 이 규정에 의하여 지하역사의 화재안전성을 검토하는데 화원의 경우 통상화재와 대화원 화재로 구분하며, 발화지점은 차량과 매점으로 나누어 설정하도록 하고 있다. 또한 피난인원에 대한 설정은 3대 도시권과 그 외의 지역으로 구분하고, 행동능력에 따라 3가지 타입으로 분류하여 적용하도록 하고 있다. 본 연구는 일본의 방재규정을 분석하여 장단점을 알아보고 국내 적용가능성에 대한 검토를 수행하였다.

1. 서 론

산업의 발전에 따라 새로운 공간자원으로 지하생활공간의 적극적인 개발이 이루어지고 있다. 지하철은 현대인에게 기본 교통수단이 되었으며, 지하철 역사에 상업시설 및 기타 용도의 시설에 대한 수요가 증대되었다. 2003년 2월 대구지하철 1호선 중앙로역 화재사고로 192명의 사망자가 발생하였다. 화재의 직접 원인이 방화로서 엄청난 사회적 파장을 안겨 주었다. 이후 국내에서는 차량의 불연화 추진, 스크린 도어 설치 등 화재에 대해 대처하고 있으며, 철도의 안전성 향상을 위한 대규모 연구 프로젝트가 진행되어 그 성과를 통해 안전 수준을 향상 시키고 있다. 그러나 아직까지 국내 지하역사 공간에 대한 명확한 방화피난 대책이 제시되지 않고 있어, 이를 위한 연구 및 대책마련이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 지하공간의 역사에 대한 일본의 피난 규정을 분석하였으며, 국내 지하역사 피난기준 마련을 위한 기초연구자료 확보를 위해 수행되었다.

2. 국내 지하역사의 피난 특성 및 적용 시설

지하역사 방재대책은 기본적으로 화재가 발생했을 경우 승객들이 지상까지 안전하게 피난할 수 있는 대책을 종합적으로 강구하는 것이 필요하다. 지하역사 승강장은 단순히 승하차뿐만 아니라 대합의 기능을 가지는 공간으로서 2가지의 기능을 가지고 있으며, 승강장 형태는 크게 섬식(Island Platform)과 상대식(Slide Platform)으로 분류하고 있다. 승하차하는 승객의 안전을 위해 중요한 요소 중 하나가 승강장 폭이며, 이는 섬식(Island Platform)이 상대식(Slide Platform)보다 승하차 승객이 동시에 이용해야 하기 때문에 넓은 공간의 확보가 요구된다. 그러므로 섬식의 경우 승하차 승객이 집중되므로, 승강장내에서의 피난 시 인구집중에 관한 우려는 상대식에 비하여 더욱 높다고 할 수 있다.

대합실은 승객의 흐름상 외부와 승강장을 연결하는 매개공간의 성격을 가지고 있고, 비난 및 방재성능을 확보할 경우 화재 발생 시 중간피난거점으로 활용할 수 있는 장소가 되기도 한다. 대합실은 개찰구를 경계로 하여 모든 사람에게 개방되는 공간(Free-Area)인 매표, 안내, 공중전화, 상점 등의 편의 및 여객시설이 위치하는 공간과 개찰한 자에게만 개방되는 공간(Paid-Area)인 승강장과 연결동선과 환승에 필요한 통로 등으로 구분 할 수 있다. 승강장과 대합실에는 승객의 흐름에 병목현상 및 개찰구 앞 체류 등으로 인한 문제점이 발생 할 수 있다.

또한 지하철 노선의 증가와 토지이용의 제한 등의 문제로 인하여, 최근 역사건설은 점차 저심도에서 대심도화가 되어가는 특징이 있다. 대심도화는 지상까지의 피난거리를 증가시켜 화재발생 시 지상으로의 피난에 많은 시간이 소요될 것으로 예상된다.

이러한 문제점에 대하여 국내에서 적용하고 있는 대책은 소방관계법을 기준으로 하여 지하역사에 대한 소방시설을 표 1과 같이 설치하고 있다.

표 1. 국내 소방관계법규 시설적용기준

종 류		적용 기준
경보설비	자동화재탐지설비	연면적 2,000m ² 이상(역사), 연면적 6,000m ² 이상(지하가)
	비상경보설비	연면적 400m ² 이상 또는 바닥면적 150m ² 이상
	비상방송설비	연면적 3,500m ² 이상 또 지하 3층 이상
피난설비	유도등설비	모든 소방대상물
	비상조명등설비	바닥면적 450m ² 이상인 층
소화활동설비	배연설비	바닥면적 1,000m ² 이상인 층(역사), 연면적 1,000m ² 이상(지하가)
	연결송수관설비	지하층의 층수가 3층 이상
	연결살수설비	지하층의 바닥면적 150m ² 이상
	비상콘센트설비	지하층의 층수가 3층 이상
	무선통신보조설비	연면적 1,000m ² 이상

3. 일본의 피난안전 평가절차

일본의 경우, 지하 철도 화재대책에 대한 기본적인 개념은 지하철도의 불연화를 추진해 만일 화재가 발생했을 경우 승객들이 지상까지 안전하게 피난할 수 있는 대책을 종합적으로 강구하도록 하는 것이다. 또한 화재 출화장소 별로 피난시간을 계산하여 통상 화재 및 대화원(大火源) 화재에 대한 분석을 진행하고 있다.

3.1. 화재의 가정

차량 바닥 기기 발화나 라이터 등을 이용한 발화로 인한 매점 방화, 그리고 가솔린 방화 등을 화재원인으로 고려하고 있다. 대 화원 화재의 방화시나리오에는 대구화재의 영향이 다.

통상 화재는 화재 시 발생하는 연기의 온도가 낮기 때문에 연기가 한꺼번에 확산되는 특성이 있으며, 대화원 화재는 화재 시에 발생하는 연기의 온도가 높기 때문에 연기가 천정 면에 층을 형성하여 유동하며, 연기가 축적됨에 따라 연기가 하강하는 특성을 고려하고 있다. 통상 화재에서는 연기가 화점(火点) 블록 내에 한꺼번에 확산되는 모델로부터 산출되는 승강장층의 연기농도(감광계수) 및 콘코스(Concourse) 층의 연기확산용적을 통해 조사하여, 피난완료시간에 필요한 가시거리 20m 내에 대응하는 연기농도(s)가 0.1 이하가 되는 것을 확인하도록 하고 있다. 대화원 화재에서는 연기가 상부에 확산/축적되는 이중 존모델에서 산출된 바닥면에서 연기층 하단까지의 높이가 피난에 지장은 주는 높이인 2m에 도달하는 시간으로 피난안전 조사를 하고 있다.

화점블록이란, 열차화재 발생 시 승강장에서 연기가 확산되는 시간 중 연기농도가 가장 높을 것으로 추정되는 일정공간을 가리키며, 역 구조(단선 승강장 및 2선 상대식 승강장 등) 별로 선로 직각방향의 단면을 설정해 그곳에 화재 해당 차량 1차량분인 20m를 곱하여 용적으로 계산할 수도 있다.

표2. 상정 화재

화재종류		출화장소	피난안전 조사
통상 화재	차량	차량 바닥 기기에서의 화재	피난 완료 시의 연기농도 $C_s \leq 0.1(1/m)$
	매점	라이터 등에 의한 방화 ('75년 책정 기준)	
대화원 화재	차량	가솔린 4리터에 의한 방화	피난 완료 시의 연기하강높이 $H \leq 2.1(m)$
	매점	가솔린 4리터에 의한 방화	

3.2. 피난안전성 조사 범위

표2의 상정화재에는 출화장소 별로 피난유도 시나리오를 생각할 수 있으므로, 출화장소를 크게 역과 터널로 나누어 각각에 필요한 안전성 조사를 위한 범위를 나타내고 있다 (표3).

표3. 출화장소와 피난안전성의 조사(照査)대상

출화장소(열차운행)			조사 대상		
			열차승객	역 승객	
				승강장	콘코스 (Concourse)
차량	역 사이	(정지)	○	× 1	× 1
		(다음 역까지 주행)	○	× 2	× 2
	역	(정지)	○	○	× 3
역	승강장 매점		○	○	× 3
	중앙홀(Concourse) 매점		× 4	○	× 3
	거실		× 5	× 5	× 5
터널 케이블		(정지)	○	× 1	× 1
		(다음 역까지 주행)	× 6	× 6	× 6

- ×1 --- 역 사이이므로 역에 영향 없음
- ×2 --- 열차 도착 시에는 역 피난 완료
- ×3 --- 병목부분은 승강장 측 계단이므로 콘코스 승객에게는 영향을 주지 않음
- ×4 --- 열차는 해당 역을 통과
- ×5 --- 방화구획 등으로 연기확산방지 완료
- ×6 --- 터널 배연으로 대응

4. 피난 인원 산정

4.1. 각 국의 피난인원 산정 기준

우리나라에서는 피난대상인원 산정 방식에 대해서 명확한 기준은 없으나, 서울시지하철 건설본부에서 9호선 설계를 하면서 열차대피인원(재차인원 2배, 혼잡도 180%, 혼잡도 250% 중 중간 값)에 승차 대기인원을 가산한 것을 피난인원 산정 기준으로 제시하였다. 홍콩 LAR은 열차하중을 2,500명으로 규정하고 있는 것이 다른 국가와 차이점이라고 할 수 있다.

표4. 피난인원 산정에 관한 기준 비교

한 국	피난인원 = 열차하중 + 최대승차 대기인원 . 피난인원- 1 : 재차인원 2배, 연착고려 4분시격 승차대기 인원 . 피난인원- 2 : 혼잡도 180% . 피난인원- 3 : 혼잡도 250% 피난인원-1, 2, 3 중 중간 값으로 적용함
NFPA CODE	피난 인원 = 입장하중 + 열차하중 . 입장하중 : (피크 15분간의 입장하중/15)*(12분 또는 운행간격의 2배 중 더 큰 값) . 열차하중 : (피크 15분간의 연계하중/15분 동안 역에 도착하는 열차 수)*2
홍콩	피난대상인원 = 열차하중(2,500명) + 최대승차대기인원

4.2. 일본의 피난인원 산정

일본에서 피난 인원의 산정은 지하철도의 출퇴근 시간의 열차승차율 및 승강장 여객자수의 실태조사를 통해 설정하고 있다. 이전의 기준에서는 역의 형태를 승강장층을 지하 2층, 콘코스층을 지하 1층으로 하고, 필요 피난자수를 승강장 화재일 경우 해당 열차의 승객을 아침 러시아워의 200%, 콘코스 화재일 경우 승강장 대기 승객을 1,000명으로 하고, 배연설비 설계에서 고려하는 피난시간을 승강장 층 화재일 때 7분, 콘코스층 화재일 때 10분과 같이 일률적으로 계산하였다. 이에 비해 현행 기준에서는 역이 있는 지역을 3대도시권과 그 외로 나누어 승차율을 설정하고 있다. 또한 승강장의 형태(섬식, 상대식, 단식), 시발차량 유무로 승차율을 설정하고 있다. 3대도시권 이외의 지역에서는 3대도시권의 75%의 승차율, 시발차량이 있는 경우는 승강장 대기 중 승객을 시발차량이 없는 경우보다 50% 많게 잡고 있다. 또한 하루 평균 승하객수가 10만 명 이상인 터미널 역에서는 설정 승차율을 더욱 크게 잡고 있다.

5. 피난시간 계산

일반적으로 화재 발생 시 피난안전성에 대한 평가는 RSET(required safe egress time)와 ASET(available safe egress time)의 비교에 의해 수행된다. 즉 해당 공간에서 피난에 소요되는 시간과 인명에 위협이 발생할 수 있는 시간을 비교하여 수행하게 된다. 이러한 시간의 예측은 화재 및 피난 모델의 사용에 의해 주로 수행되고는 한다.

한국에서는 지하공간 역사 피난에 관하여 시간에 대한 명확한 기준은 없다. 그러나 미국의 NFC, 그리고 홍콩에는 피난허용시간을 규정하고 있다. 이는 분석의 결과가 규정된 시간내에 들어오지 않을 경우 피난안전이 확보되지않은 것으로 판단한다는 의미이다.

표5. 피난허용시간에 관한 기준 비교

한 국	명확한 기준 없음
NFPA CODE	승강장 대피시간 4분 이내 승강장의 가장 먼 지점에서 외부 또는 안전한 장소 : 6분 이내
홍콩	승강장에서 출구 : 4.5분 이내

결국 피난에 소요되는 시간은 분석을 해야 하는데, 이를 위해서는 기존의 수계산 공식을 사용하거나, Simulex, Exodus와 같은 상용모델을 사용해서 분석 할 수 있다.

이에 비하여 일본에서는 피난시간 산정을 위한 이론식을 제시하고 있다. 피난시간 산정 이론식은 체류인원과 체류시간으로 전원이 피난하는 데에 필요한 시간을 산출하는 것이며, 지하역의 피난경로로는 "전철 승강구→승강장→승강장 계단→개찰구 →출구계단→지상"과 같이 통로와 계단의 연속으로 구성되어 있으며, 각각의 보행시간과 체류 발생이 예상되는 전철 승강구, 승강장 계단 아래, 개찰구, 출구 계단 아래에서의 체류시간을 산출하고, 이 시간을 피난경로 순으로 가산함으로써 피난시간을 산정하고 있다.

피난시간 산출방법으로는 역의 형태에 따라 다음의 3가지를 참고로 표시하고 있다.

- ① 단순한 지하역 (피난경로가 1개 루트)
- ② 도중에 피난경로가 나뉘는 경우 (피난경로가 2개 루트)
- ③ 도중에 피난경로가 합류되는 경우 (승강장~개찰의 피난경로가 2개 루트 등)

그리고 승강장 계단 아래에 방화셔터 등을 설치한 일반적인 역에서 방화문/방화셔터를 설치한 곳의 앞쪽 체류가 방화문/방화셔터까지 영향을 미치리라 생각되는 경우에는 설치 앞쪽 체류공간에 필요 피난자수를 수용 할 수 있는지를 필요체류면적(계단부분은 0.25(m²/명), 통로부분은 0.3(m²/명))으로 조사하도록 되어 있다.

5. 결 론

일본 규정의 특징은 먼저 화재의 가정에서 화재의 종류와 출화장소 및 원인을 분류하고 있으며, 출화 장소 및 피난안전성에 대한 분석 대상을 선정하도록 하고 있다. 또한 피난인원의 산정에서는 3대 도시권과 그 이외지역으로 구분하고, 승강장의 형태(섬식과 상대식 및 단식)을 기준으로 하여 설정하도록 하고 있다. 또한 피난시간 산정 및 화재위험시간 산정을 위한 명확한 계산 지침도 제시하고 있다.

국내에서도 피난 시간예측을 기반으로 지하공간 역사의 안전성을 평가하기 위하여, 공학적인 피난시간예측을 위한 기법의 정립과 국내 상황에 맞는 데이터의 확보가 가장 중요한 사항일 것이다. 이를 위해 피난개시시간과 이동시간에 대한 체계적인 실험과 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 “철도중합안전기술개발사업”의 결과이며, 국토해양부의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 박재성 윤명오 이용재 (대한건축학회논문집 구조계 19권 8호 2003년 8월). “지하철 역사의 피난안전성능 확보를 위한 설계기준에 관한 연구”
2. 이호영 전규엽 홍원화 (대한건축학회논문집 계획계 21권 7호 2005년 7월). “지하철 건축설비에 의한 피난안전성 확보에 관한 연구 - 대구지하철 화재사고를 중심으로 -”
3. 일본철도시설협회 (평성19년 11월). “지하철 역 등의 화재대책 기준 동 해설”
4. 지하역 공간의 방재심포지움, 일본화재학회 (화재시의 피난행동전문위원회) 2008.7.4