

대심도 철도의 방재 대책 고찰



김 학 범
한국철도기술연구원/
철도환경연구실 선임연구원
kimhb31@kri.re.kr



장 용 준
한국철도기술연구원/
철도환경연구실 책임연구원
jangyj@kri.re.kr

서론

최근의 도시철도는 대량수송 수단의 교통으로 점점 비중이 커지고 있으며 이로 인해 국내의 대도시에서 운영되고 있고 추가될 예정이다. 또한 증설되어 운영되는 지하철 사중에는 각 호선이 겹치는 환승역과 산과 언덕의 지형으로 심도가 20m를 넘는 곳이 생기고 있으며, 최근에는 수도권에서 1시간이내 광역 교통수단으로서 수도권 광역급행철도(Great Train Express, 이하 GTX)로 명칭되는 프로젝트가 추진되고 있는데 GTX 또한 전체 노선이 지하 40m 이하로 건설될 계획이다. 이렇듯 대심도 철도는 우리나라에서 증가가 예상되고 있지만 이에 못지않게 대심도에 대한 화재안전문제가 대두되고 있다. 일반적으로 지하철역사는 창문이 없이 밀폐된 공간이기 때문에 화재가 발생할 경우 연기가 빠르게 충전되어 가시거리 저해가 크고 호흡선까지 연기의 하강속도가 빠르다. 심도가 깊게 되면

심도차에 따라 굴뚝효과가 발생되어 상층의 대합실로 빠르게 상승되고 안전지대인 지상까지 이어진 계단이 길기 때문에 피난의 어려움도 예상이 된다. 대심도 철도의 본선 터널은 장대터널과 마찬가지로 매우 긴 장대터널의 형태이기 때문에 철도가 정거장 사이의 본선 터널에 비상 정차한 경우 대피와 구난의 어려움도 예상된다. 이러한 이유로 대심도 철도에 대하여 시급히 방재대책과 기준을 세우고 관련방재기술을 개발하고 정립되어야 한다. 본 고에서는 대심도 철도에 대한 화재 방재대책에 대하여 기존 철도와 비교하여 제시하고자 한다.

본문

기존철도와 대심도 철도의 특성 비교

대심도 철도는 서론에서 언급한 바와 같이 지하 40m

이하에서 운행되는 장대 도시철도 형태이다. 따라서 기존의 장대터널, 지하역사, 도시철도등의 구조 및 운영 특징을 모두 가지고 있는데(표.1), 먼저 도시철도와 마찬가지로 도심지에서 지하역사가 운영된다. 도시철도는 지하 10m내외의 지하 승강장(지하 2~3층내외)에서 승객들이 이용하지만 대심도 지하역사는 승강장이 40m 이하(최소 지하 5층)에서 철도를 이용한다. 반면에 장대터널은 철도 차량이 통과되는 구간이므로 지하승강장이 없으며, 일반적으로 승객이 장대터널에 접근되는 일은 없다. 터널의 관점에서 보면 대심도 철도는 노선당 40km이상이고 역간 거리가 최대 10km이 되기 때문에 장대터널과 매우 유사하다. 이는 역간 거리가 1km 내외의 도시철도와 차별되는 점이기도 하다.

(표-1) 대심도 철도의 구조적 특징

	대심도 철도	도시철도	장대터널
지하역사(정거장)	운영	운영	없음
철도차량 정차여부	승강장 정차	승강장 정차	철도차량 통과
터널연장/역간길이	역간길이 : 최대 10km	역간 길이 : 1km 내외임	터널연장 5km 이상
심도	40m ~	대부분 10m~30m	산악지형에 다름
승객의 접근성	에스컬레이터/승강기에 의한 수직이동	계단/에스컬레이터에 의한 수직이동	없음

피난통로

대심도 철도에 대한 피난 대책을 알기 위해 먼저 국내를 비롯한 주요 각국의 도시철도 방재기준을 살펴보면 표 2와 같다.

표에서 보는 바와 같이 각국의 대피통로에 대한 공통점은 승강장에 1개 이상의 피난통로를 구비하여야 하며, 특히 미국과 한국은 승강장에서 4분 역 전체에 6분 이내 대피할 수 있도록 대피통로의 용량을 설계하도록 하고 있다.

대심도 지하역사의 경우 수직이동경로가 40m이상일 뿐만 아니라 복잡한 구조로 인하여 지상까지 복잡한 이동 경로를 가질 경우가 크다. 또한 일반건물과 달리 지하에서 지상으로 올라가는 구조이므로 피난이 용이하지 않고 피난에 시간소요가 커 사실상 6분이내에 지상으로의 대피가 불가능 할 것으로 판단된다. 따라서 대심도 철도에 지하 승강장에서 지표까지 바로 연결된 비상용 승강기와 특별

(표-2) 각 국의 피난 대책

국가	구분		승강장의 피난통로	터널의 피난통로
	규정			
미국	규격NFPA 130 (2007)		<ul style="list-style-type: none"> 승강장에서 4분 이하의 시간 내에 대피 소개 되도록 설계 안전 지점까지의 소개 시간은 6분 이하의 시간에 플랫폼의 가장 먼 지점에서 안전 지점까지 소개를 완료 플랫폼에서의 최대 대피 경로 거리는 100m(300ft)를 초과해서는 안 됨 	<ul style="list-style-type: none"> 지하 또는 밀폐 철로 안에서 출구 사이의 최대 거리는 762m(2,500ft)를 초과하지 않아야 함 철로가 쌍궤에 있는 경우, 지표로 가는 비상 탈출 계단을 대신해서 사용하도록 허가되며, 교차 통행로를 사용하는 경우 서로 244m(800ft) 이내 제한함
일본	[지하철 화재대책 기준 취급에 관해] 1975년 2월 14일 철도 제9호		<ul style="list-style-type: none"> 대피통로는 각기 다른 2개 이상의 대피통로를 설치하고 각각은 50m이내 설치하고 각 집무실에서 대피구까지의 거리는 100m 이내로 함 	없음
세계철도 연맹	UIC 779-9		<ul style="list-style-type: none"> 승강장에 지상까지 다른 2개 이상의 피난통로 구비 	<ul style="list-style-type: none"> 대피통로 간 간격을 1km 이내로 제한하도록 권장 복선터널은 500m 이내로 제한하여 대피통로수 결정
한국	승강장 관련 : 도시철도건설규칙 2004.12.4 개정 「도시철도 정거장 및 환승 편의시설 보완설계 지침」 2009년 9월 23일 터널관련 : 철도 시설 안전기준에 관한 규칙 2008.3.14 개정		<ul style="list-style-type: none"> 지하 3층 이하의 승강장에는 비상시 승강장과 지상을 계단으로 직접 연결한 별도의 비상계단을 설치 본선과 본선 사이에 설치된 승강장에는 1개소 이상, 본선의 양옆에 설치된 승강장에는 승강장별로 각 1개소 이상의 특별 난계단을 각각 설치하여야 한다 승객이 4분내에 승강장에서 벗어나고, 6분 이내에 연기나 유독 가스로부터 안전한 외부 출입구를 벗어나도록 한다 	<ul style="list-style-type: none"> 대피통로간의 간격은 비상시 승객 또는 승무원이 신속하게 대피할 수 있도록 안전성분석 결과에 따른 적절한 간격 유지 터널내 대피로 설치

비상계단 설치 검토가 필요하다고 판단된다. 승강기 및 특별비상계단의 수직통로는 연기에 취약하므로 연기로부터 방호가 반드시 되어야 하는데 수직통로를 전체적으로 가압하고 균등한 압력이 되도록 하여야 한다. 또한 연기 확산 방지를 위한 제연벽과 비상문이 달린 방화/방연셔터 설치에 대한 검토가 필요 하다. 이 외에도 화재가 발생한 승강장에서 6분이내로 지상까지의 피난은 현실적으로 어려운 점을 감안하여 지하역사내에 별도의 안전지대를 설치하는 것을 고려할 수 있으나 현재의 규정에는 없으므로 추가적인 연구를 통하여 객관적이고 구체적인 설계지침이 요구된다.

화재가 발생한 철도차량이 역간 사이 터널에 비상 정차

한 경우 장대터널과 마찬가지로 별도의 대피통로를 갖추어야 한다. 현재 대심도 철도의 터널은 아직 계획단계이므로 터널형태에 대한 구체적 설계안이 제시된 것은 아니나 국내에 건설된 철도터널의 종류로 유추하여 볼 때 단선 병렬터널과 단굴 복선터널의 형태일 가능성이 크다. 단선 병렬터널의 경우 일정간격으로 교차통로를 설치하면 한쪽 터널은 대피통로로서 역할을 할 수 있다. 반면에 단굴 복선터널의 경우에는 외부로의 대피 및 구난이 가능한 정거장/장소에 비상정차를 하고, 피난로를 통하여 대피를 유도하여야 한다.

지하역사의 제연배연대책

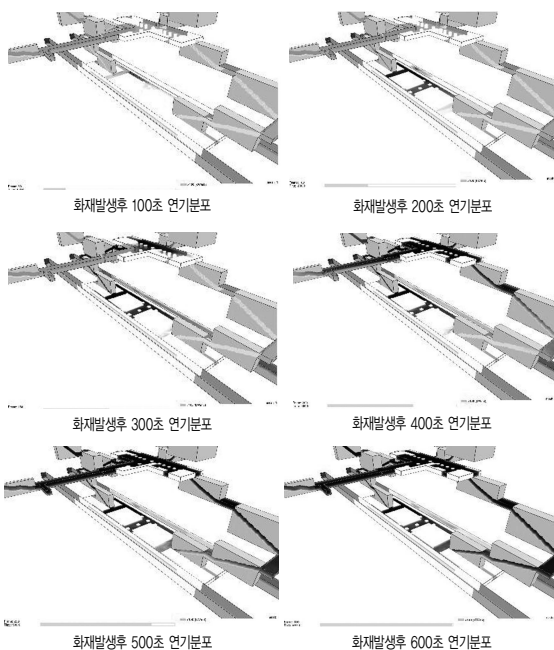
기존 도시철도의 경우 승강장에 제연구획을 설정하고 화재가 발생한 경우 화재위치와 가장 가까운 구획공간에 설치된 배연덕트로 배연을 하게 되며, 연기의 확산을 방지하기 위하여 계단 진입로에 제연벽등을 설치하고 있다. 그러나 이러한 방식의 기존 도시철도의 제연/배연 개념으로는 대심도에서와 같이 심연차에 의한 굴뚝효과로 상층부

의 대합실로 연기의 강한 확산을 지연하거나 차단하기가 쉽지 않다. 그림 1은 현재 국내에 운영되는 가장 심도깊은 역사인 만덕역사에 대해 화재시물레이션(FDS v5.2)을 수행한 것으로 화재시나리오는 만덕역사에 설치된 제연/배연시스템이 구동되지 않은 경우에 연기확산이 시간대별로 진행되는 모습을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 200초대에는 승강장 전체에 연기가 차게 되며, 300초에서 상층부의 대합실에 연기가 충전되고 있는데 에스컬레이터를 통하여 연기가 확산된 것을 볼 수 있다.

대심도 철도의 승강장에서의 4분 이내 대피를 용이하게 하고 대합실로의 유입을 최대한 지연하기 위하여 보다 강력한 제연/배연대책이 필요하게 되는데 승강장 전체를 하나의 제연구획으로 보고 연층이 파괴되지 않으면서 배연할 수 있도록 승강장 상부의 전 배연시스템을 도입이 필요하다고 판단되며[참고문헌 4], 승강장 양단의 환기팬을 이용하여 승강장 양단으로 대규모 배연방식도 제기되고 있다.

기존의 도시철도와 같은 덕트시스템은 대심도에 적용할 경우 압력손실이 커 비효율적인 제연/배연 방식이 될 가능성이 크다. 이에 압력손실이 적으면서 충분한 배출용량을 가지는 배연덕트/배기구 시스템에 대해 연구되어 구체적인 설계기준 제시가 필요하다.

안전편의시설인 밀폐형 스크린도어가 대심도 승강장에 설치될 경우 고속급행차량의 피스톤 효과에 의해 발생하는 압력변동 및 터널풍동에 불쾌감을 유발하는 현상을 승객에게 차단하는 효과가 있다. 하지만 화재 측면에서 고려하면 스크린도어에 의해 공간이 협소해져 연기의 충전과 하강속도가 빠르게 된다. 또한 스크린도어에 의해 분리된 승강장내부에서 화재가 발생하면 본선터널로의 배연효과가 스크린도어에 의해 차단되게 되므로 연기의 배출이 용이하지 않게 된다. 따라서 대심도 철도에 밀폐형 스크린도어가 설치되면 승강장 내부 상단과, 선로부 측에 개별 제연/배연 시스템을 설치해 고려되어야 한다.



<그림 1> 대심도 지하역사의 시간대별 연기확산

터널의 제연배연 대책

터널에서 외부로의 피난을 용이하게 하는 방법에는 연기의 전파 방향이 피난 방향과 다르게 하거나 피난 방향과 같더라도 차단 및 지연을 시키는 방법이 있다. 제연/배연 시스템이 없어도 자연적으로 연기 전파 방향이 다를 수 있으나 이는 화재 위치가 일정하지 않고 지하 터널에서 발생하는 터널풍이 불규칙하여 일관되게 유지되기가 어렵다. 따라서 실질적으로 제연/배연설비를 이용하여 연기전파 방향을 제어하여야 한다.

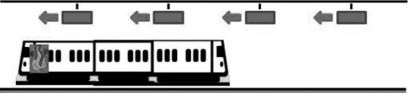

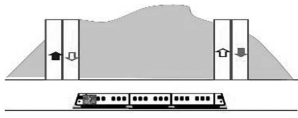

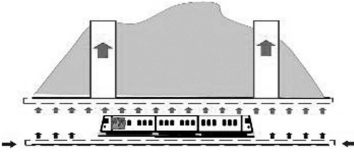
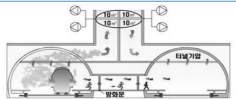
일반 터널의 경우 제연/배연 방식으로 종류식 또는 횡류식을 사용하고 있으며 최근에는 장대터널에 구난역에서

서 Active Type을 적용하고 있다.[표 3 참조]

대심도 철도의 경우 지하공간에 승강장이 존재하여 환기문제가 중요하게 대두되고 있는데, 대심도의 장대터널에서 환기문제를 해결하기 위하여 환기구의 개수가 많을수록 유리하지만 환기구의 공사비용과 도심지의 지상권을 침해할 가능성이 있어 현재 2km이상 급/배기 교대 환기방식으로 계획되고 있다.[참고문헌 1, 2, 6]

이러한 환기구는 화재지점을 중심으로 역간 거리가 멀면 배연구역이 장대화 되어 환기설비의 용량이 부족하여 질 수 있다. 뿐만 아니라 환기구 시설에 지상으로의 비상 대피로도 계획 예정이므로 대피거리를 감안한 적정 환기

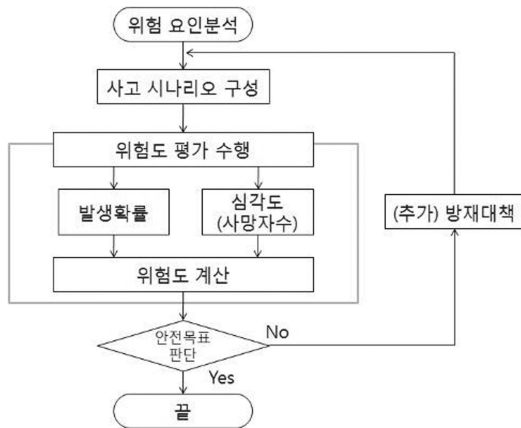
[표-3] 배연설비의 종류(참고문헌 5)

구분		특징	
Passive Type	종류식	젯트팬	<ul style="list-style-type: none"> • 철도터널 연장이 짧은 터널에 적용 • 젯트팬에 의해 운영 • 정역회전이 가능 
		사카르트	<ul style="list-style-type: none"> • 철도터널 연장이 짧은 터널에 적용 • 수직갱 및 노즐을 통한 급기 • 정역회전이 불가능 
		수직터널	<ul style="list-style-type: none"> • 장대 터널 적용 • 수직갱을 통한 급배기 • 정역회전이 가능 
	반횡류식		<ul style="list-style-type: none"> • 장대 터널 적용 • 수직갱을 통한 급기/배기 • 화재의 부력 이용 배연 • 터널 단면 확대 필요 • 정역회전 가능 
		횡류식	<ul style="list-style-type: none"> • 장대 터널 적용 • 수직갱을 통한 급배기 • 화재의 부력 이용 • 터널 단면 확대 필요 • 정역회전 가능 • 급/배기 동시 적용 
	Active Type		<ul style="list-style-type: none"> • 비화재 터널과 화재 터널이 각각 구획되어 가압 또는 강제 배기에 의한 제연 • 병렬터널 적용 

구 간격과 배연설비 용량이 결정되어야 한다.

현재 국내터널의 설계 기준으로는 [철도시설 안전기준에 관한 규칙] 2006. 9.22에서 안전성 분석을 통하여 주요 방재구조물 적용 여부를 판단하게 하고 있다. “안전성(위험도)분석 수행”은 목표하는 수준의 안전성에 도달할 정도로 적절한 방재설비를 갖추도록 평가하고 검증하는 절차이다. 특히 많은 비용이 소요되는 5가지 주요시설물(방연문, 배연설비, 대피통로 접속부, 대피통로 간격, 연결송수관 설비)이 안전성 분석결과에 따라 설치여부나 설치 간격이 결정되는 대상설비다. 안전성 분석의 세부 방법으로는 정량적 위험도 분석법(Quantitative Risk Analysis)이 보편적으로 사용되고 있다. 정량적 위험도 분석 방법은 일반적으로 분석대상의 위험요인 분석, 사고 시나리오 구성 및 위험도 평가 수행과 목표수준에 대한 충족여부를 판단하는 과정으로 진행된다. 목표한 수준에 도달하지 못할 경우 방재시설을 추가하거나 변경하여 재평가 하는 과정으로 진행된다.[그림 2]

그러나 대심도 철도에 대한 안전성 분석을 적용하여 진행한 사례가 기초적인 수준이므로 향후 대심도의 방재설계기준이 될 수 있도록 구체적이고 다양한 사례가 정립되고 수행되어 제시되어야 한다.



<그림 2> 정량적 위험도 분석 수행 절차

결론

지금까지 GTX (수도권 광역급행철도)로 대변되는 대심도 철도에 대한 방재대책에 대하여 고찰하였다. 방재대책으로 피난통로, 지하역사의 제연/배연시설, 터널의 제연/배연시설을 중점으로 향후 반영되어야 할 내용과 연구검토가 필요한 사항등을 제시하였다.

참고문헌

- [1] 김동현, "수도권 고속 및 광역급행철도 건설의 터널안전대책", 철도저널 제 13권, 제3호, 2010년 pp 3-7
- [2] 김상환, 한명식, "수도권 광역급행철도 터널계획 및 기술적 타당성 고찰", 철도저널 제 13권, 제1호 2010년 2월, pp. 8-17
- [3] "부산 만덕지하역사 화재연기전파평가", 2010.2 한국철도기술연구원 보고서
- [4] 장용준, 김학범, 이창현, 정우성, "대심도 지하역사의 제연/배연 시스템 고찰", 2009. 대한기계학회 추계학술대회 pp 2344-2349
- [5] 강중구, 이덕희, 김학범, 정우성, "철도터널 화재안전관리 기술 연구동향", 대한토목학회지 특별기사 제58권 제3호 2010년 3월, pp.27-33
- [6] 오세준, 김남영, 이항, 이호석, "대심도 장대철도터널의 방재 및 환기계획", 한국터널공학회지 자연, 사람 그리고 터널, Vol.10. No. 4, pp. 71-81