

수도권 고속 및 광역급행철도 건설의 터널안전대책



ㅣ 김 동 현 ㅣ
한국철도기술연구원
철도환경연구실
책임연구원

1. 서론

급증하는 수도권 인구가밀은 서울을 중심으로 많은 위성도시를 건설하게 하였으며, 위성도시의 거주자 중 많은 부분이 서울을 생활권으로 하고 있다. 서울과 수도권 도시를 잇는 기존의 교통수단이 확장과 증설을 거듭하여 새로이 창출되는 교통수요를 충족하고 있으나, 위성도시의 반경이 넓어지면서 새로운 교통수단의 필요성이 대두되고 있다. (사)대한교통학회는 용역결과(2009년)에서 총 145.5km 구간으로 일산 킨텍스와 동탄를 연결하는 74.8km의 A노선, 인천 송도와 청량리를 연결하는 49.9km의 B노선, 의정부와 금정을 연결하는 49.3km의 C노선 등 총 3개 노선을 제시하였다.

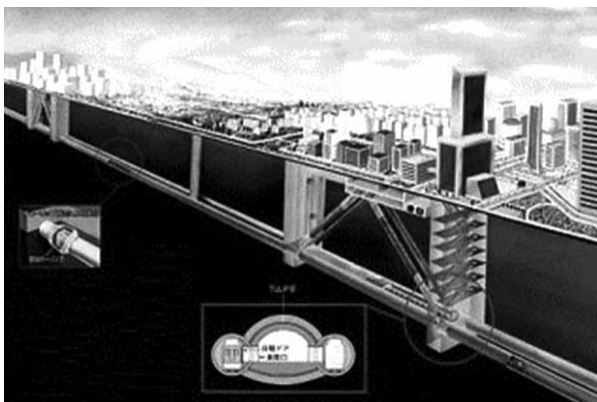


그림 1. 수도권 광역급행철도 GTX의 개념도

수도권 광역급행철도는 이러한 필요성에 의한 신교통수단으로 구체적인 건설계획이 수립 중에 있고, 노선이 선정되어 공사시기를 조율하고 있는 단계이다.

또한 수도권 고속철도(수서~평택구간, 설계속도 350km/h, 연장 61km)는 지하화 하여 노선연장의 80%가 하나의 터널로 건설될 예정이며 수도권 광역급행철도(삼성동~동탄구간, 설계속도 230km/h, 연장 38km) 터널과 47%를 혼용 운행할 계획이다. 고속-급행 혼용구간에도 3개의 지하정거장이 들어설 계획이다. 지하에 건설될 수도권 광역급행철도(Great Train Express, 이하 GTX)는 전체노선이 그림 1과 같이 깊은 곳은 지하 약 40m 이하에 건설되는 고심도 터널의 특성, 고속열차가 주행하는 고속철도 터널의 특성, 지하정차역이 건설되는 도시철도의 특성을 모두 가지고 있지만, 이에 대한 관련 기술의 정립 및 기준의 수립이 명확하지 않아 실질적인 설계 및 반영하여야 할 건설기술이 정립되지 못하고 있는 실정이다.

2. 기존 도시철도 터널방재 대책과의 차별성

설계속도 230km/h로 계획하고 있는 수도권 광역급행철도(GTX)는 터널연장이 약 40km~80km의 직선화 초장대 터널들이고 기존의 1.2km 이내의 역간거리가 짧은 도시철도와는 달리 지하역간 간격이 먼 곳은 약 10km이며 경기도의 도심지 지역을 통과하기 때문에 승객피난 및 화재안전 방재설계에 어려움이 있다. 국내의 경우에 지하 고심도의 정

거장에 대하여 제연 및 피난측면에서의 최적설계 경험이 미흡한 실정이다. 특히 심도 차에 따른 내부계단 및 에스컬레이터를 통한 굴뚝효과는 승강장의 연기제어 실패시 상층부로의 급격한 확산을 가져오게 되므로 고심도라는 특성을 감안한 연기제어 및 피난성능 향상방안이 필요하다.

3. 광역급행철도 기술동향

국외의 고심도 지하철에 대한 건설사례는 러시아 모스크바, 영국 런던, 우크라이나, 일본 동경 12호선, 미국 워싱턴 등지에 고심도 지하철의 사례가 다수 있으며 이들은 모두 지하 50m 이상의 심도에 계획되었다. 고속철도 개념의 고심도 급행철도에 대한 사례는 국외에도 거의 없어 관련 기술의 개발이 많지 않은 실정이다. 전 세계적으로 50km 이상의 급행철도 터널은 3개소 정도가 있으나 주로 산악 및 해저터널이며, 도심에 건설되는 고심도 급행지하철과는 접근개념이 상이하다. 철도터널에 대한 국제적인 관련기준(UN, UIC, TSI)에서도 15km 이상의 초장대터널은 별도의 터널안전 기준 또는 사양을 정하여 적용하도록 권고하고 있다.

홍콩에 이어 우리나라가 세계에서 두 번째로 지하정거장을 구비한 고속지하철도를 건설하는데, 설계속도 230km/h의 수도권 광역급행철도(삼성동~동탄구간, 터널연장 38km)와 47%구간을 혼용하는 설계속도 350km/h의 수도권 고속철도(수서~평택구간, 터널연장 61km) 건설이다. 이 지하 혼용노선에는 지하정거장이 3개소나 설치되는 초장대 터널이기 때문에 지하정거장 대기승객의 이명감 문제가 반영된 터널단면적 사양을 결정해야 한다. 그러나 지하정거장 이명감 문제가 반영되지 않은 호남고속철도 설계기준인 터널단면적 96.7m²로 상기노선을 설계하고 있어 큰 문제점을 가지고 있다. 호남고속철도의 터널 단면적 96.7m²은 터널 안에 지하역사가 없는 일반터널에 대한 내공단면적으로 마련된 것이다.

이와 같이 국내에는 지하역사 승강장에서의 대기승객 압력 쾌적도 기준(이명감 기준)이 없기 때문에 수도권 고속철도 및 광역급행철도 터널설계에 반영되지 못하였다. 더

욱이 고속으로 역사를 통과하는 지하역사가 존재하며, 이 경우 지하 승강장이나 대합실에 대기하는 승객들에게 압력변동폭이 더욱 커져서 불쾌감을 유발하며, 30분 이상 대기하는 승객들에게 이 상황은 큰 고통으로 이어질 것이다.

4. 광역급행철도 안전에 대한 설문조사

광역급행철도의 터널안전과 관련하여 학계, 업계, 연구소, 관계기관 등 다양한 분야에서 종사하는 전문가들을 대상으로 2009년도 말에 설문조사를 실시하였다. 응답결과를 분석하여 본 연구 분야에서의 기술수요를 조사하였다. 주요 설문항목의 응답결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 광역급행철도 건설단계에서 가장 우선시 되어야 하는 것으로 50%가 승객의 안전성으로 응답하였다.
- 광역급행철도 지하정거장의 화재발생시 승객의 대피에 가장 큰 위해요인으로는 과밀 승객에 의한 무질서가 33%, 길어지는 대피동선이 31%로 응답하여 정거장내 과밀도 하향조정, 대피동선의 최적화가 필요하였다.
- 이용인원이 많은 출, 퇴근 시간에 가장 붐비므로 과밀 승객에 의한 문제가 발생한다고 생각되는 곳으로는 승강장으로 향하는 계단이나 에스컬레이터 그리고 승강장순으로 답변하였다.
- 만약 지하역사에서 화재나 사고가 발생했을 경우 피난경로에 대해서 계단이 35%, 특별피난계단 31%로 나타났으며 92%가 도시철도 지하역사에서 특별피난계단의 위치를 모른다고 답변하였다. 따라서, 승객이 선택할 수 있도록 피난동선에 대한 홍보, 안내표지 부착 등이 필요하며, 특별피난계단에 대해서는 평상시 계도 및 홍보가 더욱 필요하다.

5. 광역급행철도 터널의 연기제어 및 배연기술

터널 내 환기구를 일반 도시철도와 같이 짧은 간격으로

설치할 경우에 지상권 침해 최소화라는 당초의 목적에 부합하지 않는 문제점이 있어 환기구 간격을 2km 이상으로 계획하고 있다. 환기팬이 환기구에 설치됨에 따라서 터널 내 발생된 화재지점을 중심으로 배기환기구 3개, 급기환기구 3개가 가동하는 조건으로 통상 설계용량을 산정할 수 있으나, 역간거리가 먼 장대터널의 경우에 환기구 3개소를 적용하여 환기구 간격을 약 2km로 적용하게 되면 4.0~5.0km 이상으로 배연거리가 확산될 것으로 예상된다. 역간거리가 먼 장대터널의 경우, 피난동선의 증가로 인해 환기구내 설치된 피난계단을 통해 외부로 탈출하며, 지하정거장 피난에 비하여 상대적으로 터널 속에서 정체현상이 증대될 것이다. 또한, 피난동선 증가, 제연팬 효율감소, 배연거리 증가 등 위험요소가 증대되는 특성을 가지고 있다. 지하터널에서 화재시 초기 신속한 승객피난유도와 제연설비의 가동이 필요하며, 역간거리가 먼 장대터널은 일반적인 지하철에 비해 정상적인 제연기류 형성시간은 더 많이 소요되어지고, 광역급행철도는 정거장 간격이 멀어 터널 내에서 승객이 안전지대까지 대피하는데 소요되는 시간이 길고, 배연구역이 3~7km 이상으로 장대화 되면서 환기구내에 설치된 환기설비의 용량이 부족하여 질 수 있다. 국내에서는 대구지하철 참사 이후 지하정거장에 대한 제연 및 화재에 대한 연구가 축소모형실험, 실물실험, CFD 시뮬레이션 등을 통해 활발히 진행 되었으나, 국내에서 상기 문제점이 반영된 설계력으로 역간거리가 먼 도시철도의 건설경험이 전무하여 환기방식 및 제연, 방재시스템에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다. 따라서 화재구역 밖으로 탈출하는 승객들의 안전을 보호하기 위한 시설로 배연거리를 최소화하기 위한 차선책으로 연기차단시설의 필요성이 대두되고 있다.

6. 광역급행철도 지하정거장에 대한 연기 제어 및 배연기술

고심도 지하정거장으로 건설하여야 하는 지역은 승강장이 깊은 심도로 인해 대합실에 비해 승객의 화재에 대한 위험성이 높아지는데, 설계 시 제연설비에 대한 제연풍량을

모든 심도의 정거장에 동일하게 적용하고 있어 약 40m 이하의 고심도 정거장에서 적절한 제연 가능여부는 불명확한 상황이다. 관련기준에서 제연용 송풍기는 화재 시 250℃에서 1시간 이상 가동할 수 있는 내열성을 가지도록하고 있으나 유럽에서와 같이 화재 시 450℃에서 견딜 수 있도록 상향 조정이 앞으로 필요하다. 그동안 지하 40~50m 심도의 지하정거장에 대한 연구가 제연 및 피난측면에서 미흡한 실정이며, NFPA 130과 같이 설계를 위한 명확한 기준수립이 시급한 실정이다. 특히 심도 차에 따른 내부계단 및 에스컬레이터를 통한 굴뚝효과는 승강장의 연기제어 실패 시 상층부로의 급격한 확산을 가져오게 되므로, 고심도라는 특성을 감안한 피난성능 향상방안이 반드시 필요하다. 지하정거장의 연기제어기술은 서울2기 지하철(5~8호선)의 건설 시에 처음 수립되어 적용되기 시작했는데, 정거장 기계실에 승강장 배연을 위한 별도의 배연 송풍기를 설치하고 이를 화재 시 작동되는 덕트 계통에 연결하는 등의 설비를 적용하였다. 그러나, 이러한 설비만으로는 대심도 정거장의 화재연기전파에 대한 완벽한 차단대책을 구축하기가 어렵고, 기존의 단순한 운전개념으로는 화재 연기의 발생지점에 따른 제어효과를 향상시키기가 어려운 문제점이 있다. 또한, 정거장의 연기제어 및 배연기술은 플랫폼 스크린도어의 유무에 따라 상이하게 구성되는데, 스크린도어가 없는 정거장은 정거장 본선의 기류와 승강장 내 기류가 혼합될 수 있으므로 이에 대한 적절한 분류와 제어가 핵심이 된다. 따라서 최근에는 지하정거장의 각 층별로 화재시나리오 및 연기배출 시나리오를 구축하고 이를 역학적으로 검토하여 기기의 설계 및 운전방법을 수립하고 있는 추세이나, 실제 정거장에서 화재가 발생하거나, 화재열차가 정거장으로 진입하는 경우 외부자연풍, 승객의 이동, 열차풍 등의 다양한 요소로 계획된 제어방법에 의한 운전이 원활하지 않는 문제점이 대두되고 있다.

7. 고심도 역사의 평면설계기술 및 계단설계기술

지하철 역사는 생활공간이라기보다는 교통시설이라는

측면에 대한 인식 속에서 구조, 토목, 설비, 소방 등의 기술 축적에 비하여 평면설계는 법규적 틀 속에서 기존 기술을 답습하는 상황이다. 건축설계분야에서도 내부인테리어나 조명 등의 의장부분과, 친환경재료의 사용, 친수공간의 적용, 장애인 편의시설의 확충 등 예전에 비하여 많은 발전이 이루어지고 있다. 하지만 근본적인 평면구성에 있어서 큰 발전을 보이지 못하고 있으며 특히 고심도 지하역사라는 특수성을 가지는 기존의 몇몇 역사에서도 예외는 아니다. 국내 지하역사의 설계는 건축법이나 소방법, 철도건설규칙 등의 법규적 제한과 지하철건설본부 등에서 제시하는 설계기준에 따라 계획되고 있다. 하지만 법규나 설계기준의 내용은 최소한의 안전과 사고를 예방하기 위한 차원이며 포괄적 성격으로 보다 다양한 상황에서의 안전성 확보와 구체적 내용에 대한 설계기술이 마련되어야 할 것이다. 서울시 지하철건설본부는 역사 건축 시 필요한 대합실, 승강장, 계단 등의 공간별 자체 설계기준을 운영하고 있다. 이 기준은 주로 공간의 규모에 대하여 규정하고 있으며, 피난안전성능을 확보하기 위한 구체적인 방안까지 규정하지는 못하는 실정이다. 2004년 서울시 국정감사 결과 현재 운행 중인 서울 지하철 역사를 대상으로 조사한 결과 다수의 역사가 대피기준인 승강장탈출시간 4분, 지상탈출시간 6분을 만족하지 못하는 것으로 지적되었다. 특히 3개 노선의 환승역인 종로3가역은 지상까지의 피난시간이 10분 50초로 나타났다. 이에 대하여 서울시는 현재 터널을 대피공간으로 활용하는 방안을 도입하여 고심도 정거장의 승강장내에 터널로 탈출할 수 있는 비상사다리를 비치하고 있다. 이는 현재의 정거장에 대한 설계기준이 현실을 반영하지 못하고 있으며, 정거장의 설계시 피난동선의 최적설계가 이루어 지지 않고 있음을 나타낸다. 또한 '지하철 역사의 피난안전성능 확보를 위한 설계기준에 관한 연구(대한건축학회 논문집, 2003년, 박재성외)' 등 고심도 지하 역사를 다룬 몇몇 연구에서 대심도 역사의 경우 외부까지 6분에 피난을 완료하기 어렵기 때문에 개찰구를 나온 대합실내에 안전구역설치하고 안전구역은 수막설비, 독립 제연구획 등에 의한 연기 및 열기류의 제어, 별도 비상전원설비 등을 갖출 것을 제안하고 있으나 적정 규모나 위치, 안전구역설치에 따른 피난효율성 등에 대한 객관적 정보에

대한 지침은 아직 연구 성과가 없는 실정으로 이에 대한 구체적 설계기준이 요구된다.

8. 단선병렬터널 및 단굴복선터널의 승객 피난사양

현재 국내에 건설된 대부분의 철도터널은 하저터널 및 정거장 인접구간 등 일부구간을 제외하고 단굴복선터널로 건설되어 있다. 단선터널과 복선터널은 화재발생시 연기의 전파특성이 다르고, 승객의 피난경로가 상이하므로 별도의 승객피난사양이 뒷받침 되어야 한다. 단굴복선터널의 경우에는 터널 본선을 피난로로 이용하고, 환기구 및 정거장에 설치된 피난통로를 통하여 외부로 대피하는 개념으로 계획되나, 단선병렬터널의 경우에는 도로터널과 마찬가지로 일정간격으로 설치된 피난연락통로를 이용하여 반대편 터널로 대피하는 개념을 적용한다. 현재 국내기준에서는 단선병렬터널과 복선터널에 대한 자세한 승객피난사양이 정리된 바가 없는 실정이다.

9. 광역급행철도의 방재구난지역 및 진입로

산악에 건설되는 철도터널의 경우에는, 사갱 및 수직탈출구 부근에 구급차, 소방차 등이 진입할 수 있도록 관련기준이 정비되어 있다. 광역급행철도는 도시외곽지역과 도시지역에 피난탈출구가 혼재되어 있을 것으로 예상되므로, 탈출구의 출구위치특성에 적합한 면적 및 시설을 계획하여야 한다. 또한 지하에 방재구난지역을 설치하는 경우에는 건축물의 피난층 개념으로 설계하여야 하기 때문에, 관련 기준 및 시설표준화 사양이 정립되지 않으면, 안전지역의 계획자체가 어려울 수 있다. 지상에 방재구난지역을 설치하는 경우에는 차량의 진입동선계획에 대한 사항이 수반되어야 하는데, 진입로 계획의 경우에도 기본적인 폭원 5m만 지정되어 있고, 차량의 회차 및 교차문제, 포장재 질등 상세한 내용이 정해져 있지 않은 문제점이 있다.

10. 고속철도와 광역급행철도 혼용구간의 지하정거장

고속열차가 지하정거장을 350km/h로 통과하는 경우에 도시철도의 지하철 승강장보다 공기압 변동량 및 열차풍이 매우 크게 증가한다. 지하정거장의 승강장에 대기하는 승객들은 공기압 변동을 경험하게 되는데 홍콩은 지하철과 고속철도 지하역사에 대하여 압력 쾌적도 기준으로 $\pm 700\text{Pa}$ 을 채택하고 있다. 설계 시에는 이와 같은 공기압 변동량 크기 뿐 아니라 압력파의 중첩, 열차풍의 크기도 고려되어야 한다.

지하정거장 승강장에 스크린도어를 설치하는 경우에도 기밀설계를 하여야 하나 여의치 않으며, 광역급행열차의 정차 시에 스크린도어를 열어야 하기 때문에 승강장의 승객들은 공기압 변동과 열차풍에 그대로 노출된다.

초장대터널 내부에 지하정거장이 설치되는 경우의 터널 단면적 크기사양을 결정하는 해석방법은 기존 산악터널의 터널단면적 크기사양 결정방법과 다르다. 즉, 광역급행철도와 47% 구간을 혼용하는 수도권 고속철도(수서~평택 구간, 설계속도 350km/h, 연장 61km)는 상기와 같은 문제점으로 인하여 호남고속철도의 기본설계사양을 그대로 사용할 수 없으며, 터널내공단면적 크기, 선로중심간격 등에 대한 검증절차가 필요하다.

지하정거장의 궤도선형설계 시에 고속열차는 정거장을 논스톱으로 통과하고 급행열차는 정거장에 정차할 수 있도록 선로는 적당한 위치에서 분기해야만 한다. 상대식의 2홈 4선 정거장이 비교적 선호도가 높으며 그림 2와 같이 궤도 고립으로 고속열차 통과와 터널 내 압력변동, 소음 그리고 열차풍을 차단시켜 준다. 그림에도 불구하고 고립궤도가 있는 지하정거장의 경우 열차 피스톤 효과로 유도된 공기 압력변동과 기류가 열차 진행방향으로 전파되어 적절히 통제해야 할 필요가 있다.

이러한 공기압과 열차풍의 영향은 고립궤도를 가능한 길게 하거나 지하정거장 전 후로 압력경감 수직갱을 많이 설치하거나 터널에서 지하정거장까지의 터널 단면적 변화를 비대칭으로 급격하게 설계하는 경우에 매우 효과적으로 줄어든다. 그러나 이러한 설계방법이 건설비와 직접적

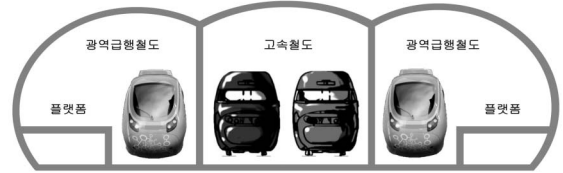


그림 2. 고립궤도의 개념

인 연관이 있기 때문에 적절히 조절할 필요가 있다. 또한 압력경감 수직갱은 고속열차 운행 시의 소음이 수직갱을 통하여 민가로 전달되기 때문에 소음차단에 대한 대책을 세우거나 설치 개수에서 제한을 가져오게 만든다.

11. 결론

신규 건설예정인 수도권 지하 광역급행철도와 수도권 지하 고속철도의 터널안전에 대하여 설계 시 반영해야 하는 기술적인 문제점과 필요한 대책을 검토하였다.

국내에는 지하역사 승강장에서의 대기승객 압력 쾌적도 기준(이명감 기준)이 없기 때문에 수도권 고속철도 및 광역급행철도의 터널설계에 지하정거장의 대기승객 이명감 문제가 반영되지 않았다. 수도권 고속철도(설계속도 350km/h, 연장 61km)는 지하화하여 노선연장의 80%가 하나의 터널로 건설될 예정이며 수도권 광역급행철도(설계속도 230km/h, 연장 38km) 터널과 47%구간을 혼용운행하고 이 구간에 3개의 지하정거장이 들어설 계획이기 때문에 수도권 고속철도는 호남고속철도의 터널관련 기본설계사양을 그대로 사용할 수 없으며, 지하정거장 대기승객의 이명감 문제가 반영된 별도의 기본설계사양을 정하여야 한다. 그러나 지하정거장 이명감 문제가 반영되지 않은 호남고속철도 설계기준인 터널단면적 96.7m²를 기본설계사양으로 정하여 상기노선을 설계하고 있어 큰 문제점을 가지고 있다. 더욱이 고속으로 역사를 통과하는 지하역사가 존재하며, 이 경우 지하 승강장이나 대합실에 대기하는 승객들에게 압력변동폭이 더욱 커져서 불쾌감을 유발하며, 30분 이상 대기하는 승객들에게 이 상황은 큰 고통으로 이어질 것이다. ☹