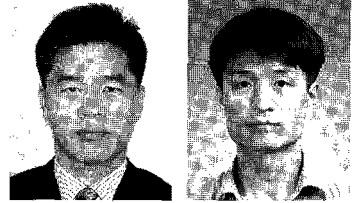


# 지하도로의 토목시설, 교통 및 선형설계



오 흥 운 | 정회원 · 경기대학교 공과대학 도시교통공학과 교수  
박 재 범 | 비회원 · 도로교통연구원

## 1. 서론

대도시에서의 지정체가 주요 사회이슈로 부각되고 지정체 범위 또한 지속적으로 확대됨에 따라 이를 해결하기 위한 다양한 방안이 추진되고 있다. 이와 관련하여 과거 꾸준히 추진해왔던 용량 보강 측면의 도로 신설 및 확장은 한정된 가용 부지로 인해 추진이 어려운 것이 현실이다. 따라서 최근에는 이러한 한계를 기존의 평면에서가 아닌 입체적으로 해결해보고자 하는 시도가 다양하게 논의되어 왔는데 그 중에 하나가 지하도로라고 할 수 있다.

현재 국내에서 검토되고 있는 지하도로 계획 중 가시화되고 있는 지하도로 계획은 3가지 정도로 구분할 수 있는데, 서울시 U-smartway 지하도로 기본계획, 국토부 수도권지하고속도로망 구상계획, 그리고 인천시의 경인고속도로 일부 지하화계획이 이에 해당된다.

이러한 지하도로 건설계획과 맞물려 최근 지하도로에 대한 여러 가지 논의가 진행 중인데 이는 지하도로가 우리나라의 기술분야와 사회에 그다지 익숙하지 않기 때문에 제기되는 문제로, 현재 지하도로에 대한 무용론과 유용론이 서로 팽팽하게 대립하고

있다. 즉, 지하도로가 잠재된 유발수요를 자극시켜 교통량을 증가시킬 것이며 이로 인해 도심 정체 해소효과는 기대한 만큼 크지 않고 오히려 일부의 경우에 있어서는 도심혼잡을 가중시킬 것이므로 지하도로는 필요 없다라는 의견이 있다.

다른 한편에서는 선진 해외사례의 경우, 지하도로를 설치하여 도심의 내부 간선기능이 회복된 사례가 존재하며 우리나라의 경우도 지하도로 건설을 통해 도심 지정체를 개선시키고, 지상공간을 친환경적으로 변화시켜 보행자 및 거주자 환경을 개선시킬 수 있다고 주장하는 의견이 서로 대립하고 있다. 이러한 논란은 지하도로 사업이 구체적으로 확정되기까지 지속될 전망이다. 국내에 지하도로를 도입함에 있어 보다 신중하면서도 구체적인 검토가 선행되어야 하는 필요성을 제기하고 있는 반증이라 할 수 있다.

본 글은 최근의 이러한 지하도로 타당성 관련 논의와는 별도로 지하도로 건설 및 운영과 관련하여 그동안 발표되었던 연구사례를 중심으로 관련 이슈를 소개하고자 하며 본 글의 순서는 토목시설, 교통 및 선형설계의 순으로 기술하고자 한다.

## 2. 지하도로 관련 토목 및 시설설계

김홍배 등(2009)은 지하도로 토목설계 시 검토가 필요한 일반적인 사항에 대하여 기술하였으며 그 중 특히 주의를 기울여야 할 사항을 다음과 같이 제시하고 있다. 토목설계 시에는 주변에 미치는 환경 영향을 최소화하기 위해 갱구부의 계획, 터널 발파소음 및 진동영향 최소화에 신중을 기해야 하며, 상부구조물의 안전성을 위한 보강공법에 대해서도 충분한 검토가 필요하다고 제시하였다. 또한, 터널 내에서 발생하는 지하수를 지상으로 배수하는 방안과 지하도로 운영시를 고려한 제연 및 피난 등 방재설계가 중요함을 강조하였다.

도심지에 설치되는 지하도로는 일반 산악지에 설치되는 터널과는 달리 시공 시에 특별히 주의해야 할 사항이 있다. 이에 대해 장석부 등(2009)은 도심에서는 산악지와 다른 입지조건과 지반침하와 발파진동을 고려해야 하는 문제점이 있으므로 지반침하를 막기 위하여 산악지 설계보다 더 높은 수준의 안전성이 필요하고, 표토층과 풍화대층에 대하여 특별한 처리를 해야 하며, 시공중 지반손실과 지하수위 저하에도 특별히 신경을 써야 한다고 강조하였다. 또한 진동에 의한 영향을 철저히 고려해야 하며, 저토피층에 대하여는 특별한 공법을 사용하여야 한다고 제시하였다.

환기 및 방재시스템은 지하도로의 성공적인 운영은 물론 잠재적인 사고 경감을 위해 필수적인 검토요소이다. 이창우(2009)는 이에 대하여 다음과 같이 제시하고 있다. 도심에서는 교통량이 일반 산악지 터널에 비해 매우 많기 때문에 시스템 설계시 높은 기준의 적용이 필수적이며, 세부적으로도 각별한 설계, 건설 및 관리가 필요하다. 또한 환기시스템은 분진집진배기와 제거기술이 필수적이고 소음저감설비, 내화설비, 속도제어설비, 유고감지시스템, 소화설비, 비상대피공간 및 통로 등을 필수적으로 갖추어야 한다고 제시하였다. 환기 및 방재시스템과 관련된 해외 사례를 살펴보면, 도쿄외곽순환고속도로

에서는 진출입부에서 방재기능을 추가하였고 100m 간격으로 CCTV를 설치하였으며, 25m 간격으로 물분무헤드, 350m 간격으로 비상대피로를 설치하였다. 또한, 25m 간격으로 화재감지기와 VMS를 설치하여 신속한 화재감지 및 전파를 위해 노력하고 있다. 프랑스 파리의 A86 터널의 경우에는 400m 및 4m 간격으로 배기구 및 급기구를 설치하고 상부덕트에 200m 간격으로 비상계단을 설치하였다. 또한, 1000m 마다 엘리베이터 또는 비상계단을 설치하였고 100m 간격으로 CCTV를 그리고 400m 간격으로 유고감지센서, 선형열감지기를 설치하였다.

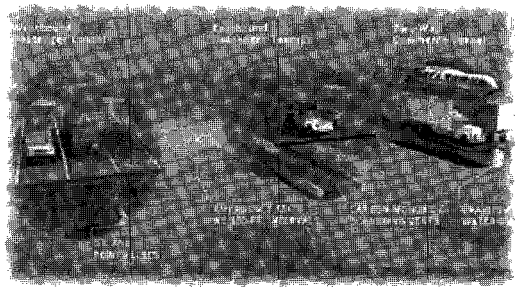
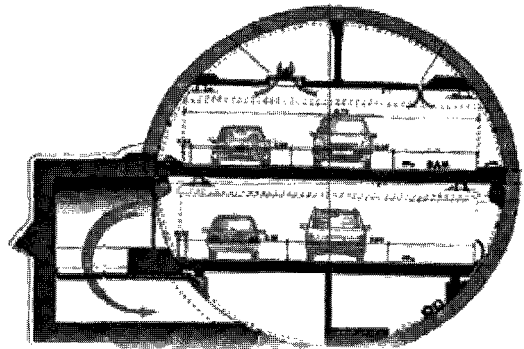


그림 1. 프랑스 파리의 A86 대피구조와 Irvine-Corona 지하고속도로 갱간 연락갱

## 3. 지하도로의 교통관리

지하도로 교통관리시스템은 환기 및 방재시스템과 마찬가지로 성공적인 지하도로의 운영을 위한 필수적인 요소임과 동시에 직접적으로 주행 중인 운전자

에게 영향을 미치는 요소로서 지하도로 내부에서의 지정체를 예방하고 유고시 신속한 처리를 수행해야 함과 동시에 주행중인 운전자의 불안감을 해소할 수 있는 역할을 수행하여야 한다. 이와 관련하여 이 청원 등(2009)은 지하도로에서의 교통관리를 위해 고려해야할 사항으로 혼잡방지, 돌발상황처리, 운전자 불안감 해소, 배기가스 처리 등의 예를 들고 있다. 우선 혼잡상황과 관련하여서는 혼잡상황을 회피하거나 감소 혹은 개선하기 위해 다양한 교통관리기법의 필요성을 제기하였으며, 지하도로 입구에서의 단일 램프미터링과 더불어 본선미터링에 대한 검토 필요성도 제기하였다. 또한, 운전자에게는 혼잡상황에 대한 정보전파가 신속하고 확실하게 이루어질 수 있도록 하는 정보 제공의 중요성을 강조하였다.

돌발상황과 관련하여서는 돌발상황이 그 자체로도 관련된 운전자에 큰 위협을 줄 수 있는 상황이기도 하지만 시간이 지남에 따라 2차적으로 다른 운전자들에 위협이 전파되기도 하고 또한, 이로 인한 지정체가 지하도로 전체에서의 소통상태를 급속히 악화시킬 수 있으므로 신속한 대응을 통해 돌발상황을 해소하고 이로 인해 야기될 수 있는 2차 피해 및 소통상태를 개선시키는 노력이 필요함을 강조하였다. 돌발상황을 처리하는 방법으로는 사고의 감지부터 대응까지 효율적인 흐름에서 이루어지도록 하는 것이 중요하며, 무엇보다도 사고 감지의 자동화와 이를 교통관리자가 육안을 통해 확인할 수 있는 전 구간 CCTV시스템 구축이 필요하다고 제시하였다.

일본의 경우, 이륜차를 이용하여 돌발상황처리 및 교통관리를 보조하는데 우리나라의 경우도 이러한 체계를 도입 검토하는 방안도 바람직한 것으로 판단된다.

현재의 교통관리기법에 창의적인 기법을 접목하여 대응능력 또는 대응시간 감소를 도모할 필요성도 제기되고 있으며 또한 신뢰성 있는 돌발상황 감지 알고리즘의 개발도 필요한 실정이다.

지하도로에서 운전중인 운전자의 불안감은 크게

교통 지정체에 대한 불안감이 있을 수 있고 재난상황에 대한 공포심이 있을 수 있다. 이러한 교통 지정체나 재난상황에서 운전자의 반응에 대한 무지는 자칫 대규모의 혼란으로 이어질 수 있으므로 이에 대한 대비가 사전에 필요하다. 운전자에 대하여 상황 정보를 제공할 수 있는 VMS(가변정보표지판)나 HRS(도로라디오시스템)가 사각지대 없이 구축되도록 하여야 하며, 또한 이와 더불어 대규모 재난상황에 대비한 도로구조의 설계, 예를 들어 출구부 램프의 갓길 확폭과 유사시 여러 램프로 분기가 가능한 구조의 설계 등에 대한 검토도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

배기가스에 대한 대응은 운전자의 불안감, 혼잡, 돌발상황과 모두 연관이 될 수 있다. 평상시를 감안한 배기가스 대응에서 더 나아가 지정체시의 배기가스 대응에 대하여도 신뢰도가 증가할 수 있는 대응 시스템을 가져야한다. 이러한 대응시스템은 화재시 방재시스템과 적절히 연계되도록 하여야 한다.

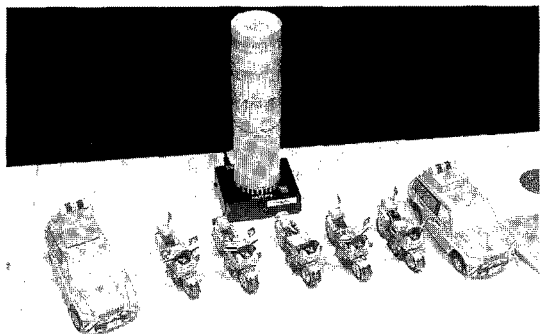
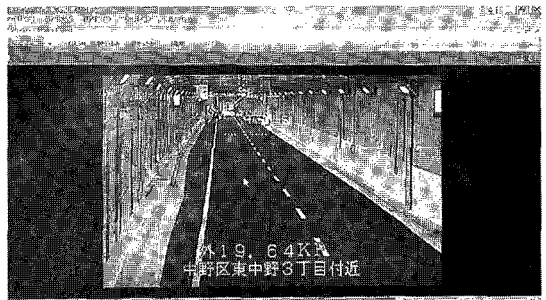


그림 2. 일본 도쿄외곽순환고속도로 돌발상황감지 화면과 이륜차 출동시스템

#### 4. 지하도로의 선형설계

도로의 선형은 운전자의 주행, 안전, 쾌적성에서 차지하는 비중이 절대적이라 할 수 있다. 특히 도시의 지하부에서는 제한된 물리적 경제적 조건에서 최적의 설계를 해야 하는 만큼 선형설계능력이 최대한 발휘된 결과가 필요하다. 선형설계의 전통적인 흐름은 도로의 기능분류에서부터 시작한다. 향후 건설이 예상되는 지하도로는 연속류 도로로서 자동차전용 도로에 해당될 것이고 높은 설계속도 및 이에 따른 본선의 횡단, 종단, 평면 및 입출구 선형검토가 필요하다.

실제 해당 지하도로 구간의 설계속도를 결정함에 있어서는 보다 신중한 접근이 필요하다. 지하도로의 특성상 부지에 구애받지 않아 자유로운 평면 및 종단 선형조건이 가능할 수도 있고, 고급설계(80~100km)로 추진하는 경우와 중급 혹은 저급설계(80km 이하)로 추진하는 경우의 공사비 차이가 크지 않을 수도 있다. 그러나 설계속도에 따라 진출입부 조건, 진출입부 간격 등 각종 설계조건이 변경이 유발되므로 단순한 본선 위주의 경제성 측면 검토보다 더 신중한 결정이 필요하다. 일본의 도쿄의 광순환고속도로 지하도로의 설계속도는 60km/h이다. 또한 프랑스의 A86 도로의 경우 설계속도가 터널별로 각각 60km/h, 70km/h를 적용하였다. 또한, 동경만의 해저도로인 아쿠아라인은 설계속도가 50km/h이고 말레이시아의 스마트터널은 60km/h이다. 이러한 설계속도들은 우리가 일반적으로 생각하고 있는 연속류 도로의 설계속도 보다 낮은게 사실이며 이러한 해외 지하도로의 설계속도 적용사례는 교통안전을 고려하면서 비용 효율성을 증가시키기 위한 대책으로 보인다.

횡단면의 경우 길어깨의 폭은 시거검토에 중요한 요소이다. 우리나라의 '도로의 구조시설기준에 관한 규칙'에서는 도시지역 보조간선도로(설계속도 60km/h)에서 우측 길어깨를 1.0m로 규정하고 있고, 설계속도 50km/h에서는 50cm를 사용하도록

규정하고 있다. 반면, 해외 지하도로 사례에서는 다양한 적용이 이루어지고 있다. 도쿄의 광순환고속도로의 경우 길어깨를 50cm로, 그리고 말레이시아의 스마트터널은 편도 2차로에서 각각 2.0m 그리고 15cm의 좌측 및 우측 길어깨를 확보하고 있다.

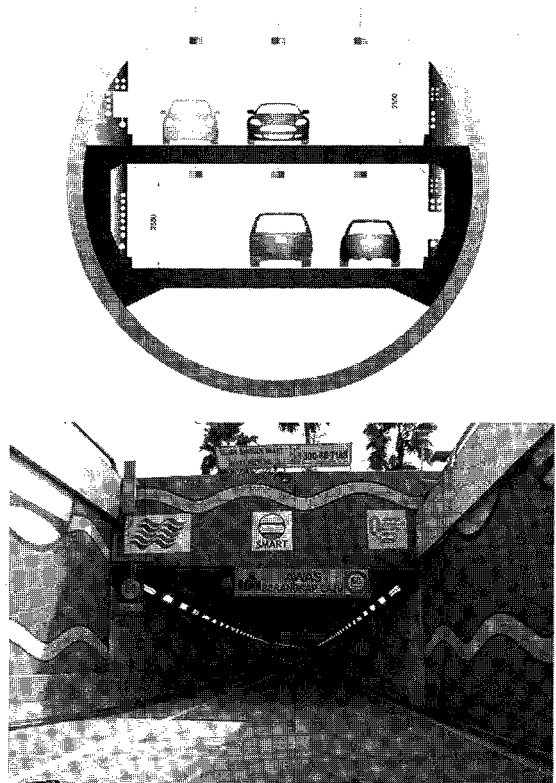


그림 3. 말레이시아 스마트터널의 횡단면(중심부 및 입출구)

종단선형의 경우 역시 시거와 연관성이 많다. 우리나라의 도로의 구조시설기준에 관한 규칙에서는 설계속도 60km/h일 때 종단경사가 5~8%까지 가능하도록 하고 있다. 그러나 종단선형은 그 변화량 뿐만 아니라 종단선형의 존재 자체가 연속류 도로에서 차량간의 속도차이를 유발하고 교통사고의 원인이 되는 것으로 알려져 있으므로 도쿄의 광순환고속도로의 경우는 지하도로에서 가급적 평평한 선형을 유지하려 노력하고 있다. 램프의 경우에는 종단경사 적용 사례가 본선과는 다소 상이한데 일본의

해저 지하도로인 아쿠아라인에서는 길이 9.6km 입구와 출구부에서 1km 이상의 구간에서 일정경사인 4%를 주고 나머지부분에서 0.2%의 종단경사를 주었다. 입구에서 일정경사를 길게 주는 것은 단순한 선형을 통해 운전자가 도로선형 판단을 빠르게 할 수 있는 결과를 가져오고 운전자의 정보처리량을 단순화시켜 교통안전성을 향상시킨 것으로 생각된다.

평면선형은 운전자의 속도 선택에 지대한 영향을 준다. 해외 지하도로의 최소곡선반경 사례를 보면,

도쿄의곽순환고속도로에서는 109m, 말레이시아의 스마트터널은 250m로 알려져 있다. 이와는 별도로 장대해저터널인 아쿠아라인의 경우 곡선 적용없이 직선을 사용하고 있다.

지하도로 설계에서 중요한 부분중 하나는 입출구부설계이다. 입출구부 설계는 지하도로의 혼잡, 돌발상황, 운전자 불안감, 배기가스의 관리에도 중요한 역할을 한다. 즉, 설계가 양호한 지하도로의 입출구부는 혼잡을 완화, 운전자 불안감 해소, 배기가스 감소에도 중요한 역할을 한다.

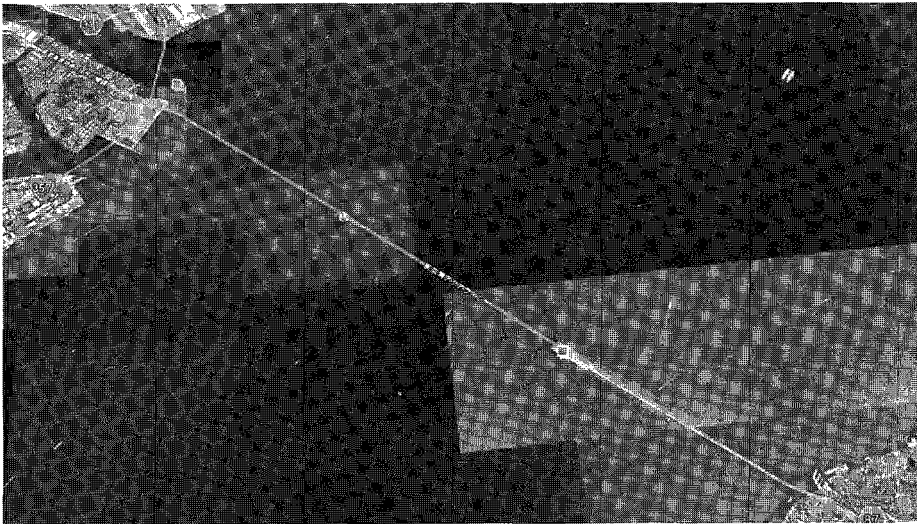


그림 4. 도쿄 아쿠아라인 해저도로 평면도



그림 5. 분당 - 수서간 고속도로의 진출입부 처리

특히, 입출구부 설계에서 중요한 점은 입출구부에서의 지정체 발생 방지에 유의해야 한다는 점이다. 현재 국내 도시고속도로의 많은 부분에서 입출구부으로 인한 지정체가 발생하고 있다. 이러한 입출구부에서의 지정체는 현재의 교통운영 잘못이라기보다는 애초에 설계 잘못으로 봐야 한다. 즉, 처음부터 도심부 교통특성을 잘못 예측하고 설계를 한 결과인 것이다. 미국의 경우는 1940년대에 처음 도시고속도로를 설계할 때 고속도로와 병행도로를 설치하였고 이를 통하여 진출입이 이루어지도록 설계하였다. 우리나라의 분당-수서 고속도로의 진출입부 처리는 효율적인 진출입부 처리의 사례를 보여준다. 시카고의 Dan-ryan 고속도로 역시 진출입 교통처리의 모범을 보여주는 사례이다.

## 5. 결론

본 글에서 도심부 지하공간의 활용을 위한 지하도로의 토목시설, 교통 및 선형설계에 대하여 개괄적인 유의점을 살펴보고 관련 사례를 수록하였다. 많은 해외 사례에서 볼 수 있듯이, 지하도로는 대규모 토목사업일뿐만 아니라 친환경적이고, 지상의 보행환경을 개선하며 운전자에게 이동의 정시성을 보장해 줄 수 있는 등의 장점을 갖고 있는 도로시설이다.

이러한 지하도로를 설계하는 데는 기존의 설계관행이나 기술수준으로는 부족한 부분이 있을 수도 있고, 관련 공무원이나 기술자들의 기존 개념으로 해결이 안 되는 부분 또한 존재하게 된다. 일례로 환기

시설, 비상시설, 재난시설, 교통시설, 선형설계 등은 지하도로를 이용하게 되는 운전자와 주변 시민들의 불안감까지 해소를 해야 한다는 숙제를 안고 있다.

이를 위해서는 각 부분에서 시스템적인 대응이 필요한데, 현재 예측되고 있는 각 세부적인 문제를 보다 다양한 상황을 고려하여 해결하려는 노력이 필요하고, 해외사례에 대한 심도 있는 고찰은 물론, 예측되는 제반 문제점 및 결과를 좀 더 신뢰성이 높은 통계적 결과를 가지고 해석해야할 필요성이 있다. 이렇게 할 때 우리가 일반도로의 반복적인 설계에서 가지는 매너리즘에서 벗어나 좀 더 쾌적하고 안전한 도로를 설계를 할 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고 문헌

- 한승환, 연구자료 "지하도로의 필요성과 장점", 2009
- 한상주, 연구자료 "지하도로의 건설 타당성 분석", 2009
- 김홍배, 차지석, 신영환, 연구자료 "도심지 지하고속도로 터널설계시 고려요소-토목분야를 중심으로", 2009
- 장석부, 문상조, 정병천, 연구자료 "도심지터널 시공 특성 및 사례", 2009
- 이창우, 연구자료 "지하고속도로 환기 및 방재 시스템에 관하여", 2009
- 김남구, 연구자료 "터널 기계설비 시설물 유지관리 기술", 2009
- 이청원, 조한선, 연구자료 "지하도로에 대한 교통관리시스템의 도입", 2009
- 김석출, 임준수, 최혜준, 연구자료 "도심지 도로터널 지하 입출구부 및 분기점 설치 사례 분석", 2009