

지하도로 계획 및 기하구조 설계에 관한 연구 A Study on Planning and Geometric Design of Underground Roads

김 낙 석[†] · 배 성 식^{*}
Kim, Nakseok · Bae, Seongsik

Abstract Plans of underground roads have been established, and the possibilities of underground road constructions have been growing in Korea. However, the study on characteristics of underground roads, the enactment of law, and the establishment of design criteria haven't been conducted so far, if any. Based on these backgrounds, the paper presents the basic direction on the construction method of underground roads. It also investigates the needs and characteristics of underground roads and reviews domestic and foreign examples. Major results by implementing the research are as follows: 1) when selecting the route of underground roads, the use of underground space, technical aspects, and traffic systems should be comprehensively considered; 2) the design speed of underground roads will be 10km/h above the speed limit to secure safety; 3) disaster prevention facilities should be planned to connect high traffic management system for coping with unexpected situations. Although this study has a limitation that hasn't reflected the driver's characteristics on new spaces such as underground roads, it has some significance that it suggests the major reviewing issues on the construction of underground roads, and presents the direction through the previous study.

Keywords Underground Road, Design Speed, Speed Limit, Disaster Prevention Facility

요 지 현재 국내의 지하 도로건설 가능성은 증가하고 있으며, 그동안 건설계획이 꾸준히 진행되어 왔다. 그러나 지금까지 지하도로의 특성, 관련 법규 및 설계 기준에 관한 연구는 활발히 진행되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 배경을 고려하여 지하도로 건설에 필요한 기초적인 방향제시에 관한 내용을 다루고자 한다. 또한, 지하도로에 관한 국내외 사례를 중심으로 분석하고자 한다. 본 연구를 통한 주요 연구결과는 다음과 같다. 1) 지하도로의 선형 선정 시 지하공간 활용, 기술적요인 및 교통체계가 종합적으로 고려되어야 한다. 2) 지하도로의 설계속도는 주행중 안전성을 확보하기 위하여 제한속도보다 10km/h정도 상회되도록 건설되어야 한다. 3) 비상상황에 대처하기 위하여 지하도로는 재난방지 시설 계획에 만전을 기하여야 한다. 본 연구의 제약 상 지하도로 운전자의 특성에 대한 내용은 충분히 반영되고 있지 못하고 있으나 향후 지하도로 건설에 관한 개괄적인 방향제시에 관한 내용은 다루고 있다는 점에서 그 의의가 있을 것으로 판단된다.

핵 심 어 지하도로, 설계속도, 속도제한, 재난방지 시설

† 교신저자 : 정희원, 경기대학교 토목공학과 교수

E-mail : nskim1@kyonggi.ac.kr

TEL : (031)249-9710 FAX : (031)244-6300

* 정희원, (주)청석엔지니어링 부사장

1. 서론

국토종합개발계획을 수립하여 지속적인 간선도로망 확충으로 지역 간 도로는 어느 정도 수준에 도달했으나 대도시 비용은 약 7조원, 우리나라 전체 교통혼잡비용은 2006년도 기준으로 24.6조원에 달하였다. 교통혼잡에도 불구하고 승용차 수요는 계속 증가하고 있으며, 수도권 승용차 밀도는 전국평균보다 4.1배나 높은 상황이다. 승용차 이용의 경제성 비교에서도 승용차 이용자가 느끼는 승용차 편익은 버스와 전철에 비해 2.9배와 2.6배로 각각 크고 대중교통으로의 전환이 쉽지 않다고 하였으며, 대중교통보다 비용이 많이 드는 승용차를 이용하는 이유는 시간과 장소에 구애받지 않고 목적지까지 편안하게 이동할 수 있기 때문으로 분석하였다. 여러 전문가들도 자동차의 증가는 지속될 것이라는 의견을 공통적으로 내놓고 있다.

자동차 수요의 증가와 더불어 국민 생활에서의 불편이 가중시키는 교통혼잡을 효과적으로 해결할 수 있는 방안 중 하나는 지하도로 건설이며, 지하도로 건설은 지상에서의 도로시설 공간의 부족, 토지가격의 상승, 공사환경에 대한 혐오 등의 건설 환경적인 측면에서의 효과적인 대응과 더불어 도시 환경 및 경관에 대한 시민의 요구수준 증대에도 대응할 수 있다.

이러한 지하도로에 대한 논의는 서울시의 지하도로 건설 추진 발표로 보다 활발하게 진행되고, 지하도로의 필요성에 대한 논의의 진행 중에 지하도로 건설 가능성은 높아지고 계획에 대한 검토도 이루어지고 있으나, 지하도로 특성에 대한 연구, 설계기준 정립은 계획을 뒤따라지 못한 실정에 있다. 따라서, 지하도로 공간의 폐쇄적 특성 때문에 안전 문제, 추후 변경 및 확장이 불가능하기 때문에 계획의 중요성, 확인불가한 지하공간이라는 제약에 따른 시공성 및 경제성 등에 대한 우려의 목소리도 크다. 이에 지하도로의 특징과 해외 사례를 살펴보고 노선 및 방재 계획과 지하구조 설계 분야에 대한 연구를 수행하여 지하도로의 안전성을 확보하는 데 본 연구의 목적이 있다.

2. 지하도로 현황

2.1 지하도로의 필요성과 특징

1) 지하도로와 터널의 기능 차이

터널은 산, 강 등 장애물을 통과하는 것을 주목적으로 이동성만을 필요로 하는 반면에, 지하도로는 지상도로를 대체하거나 보완하는 것이 주목적으로 접근성과 이동성을 동시에 필요로 한다. 터널의 특징은 종단선형에 직접적 관련이 있고 주로 산악지에 위치하며, 지하도로의 특징은 지상도로와의 연계 및 지상공간 활용에 직접적 관련이 있고 도심지 대심도에 위치한다. 또한 지하도로는 지속적인 구조물에 따른 건설비의 증가로 소형차전용도로 중심으로 검토된다.

2) 지하도로의 필요성

지하도로의 필요성은 도시화로 인해 발생하는 문제점을 파악하는 것과 동일한 것으로 간주될 수 있는데, 도시인구의 폭발적 증가, 도시 공간의 기능분화, 경제 발전에 대한 선호, 도시 환경 개선에 대한 요구, 지속가능한 세계의 발전을 위한 지구적 환경 보전에 대한 요구 등이 현대 도시의 문제점으로 정리 될 수 있다(서울특별시, 2006; 국토해양부, 2009). 이는 도시환경적인 요인이며, 건설환경적인 요인으로는 도로시설 공간의 부족, 토지 가격의 상승, 공사 환경에 대한 혐오, 지반 굴착 및 터널 기술의 발전 등을 들 수 있다.

3) 지하도로의 특징

지하도로는 해당 지역 주민들이 지상 건설을 원하지 않거나, 지상에 원하는 시설을 건설하는 것이 이미 점유된 다른 시설에 의해 어려울 경우에 지하공간을 이용할 수 있는 장점이 있다. 또한 도로 시설이 필요한 곳에 대한 근접성을 최대한 확보하여, 도로의 만족성과 효율성을 증대시킬 수 있는 장점이 있다. 그리고 기존의 표면 공간을 쾌적한 공간으로 활용할 수 있는 가능성을 제공한다.

대기의 환경 조건으로부터 자유로울 수 있는 점은 오래 전부터 인식되어 와서, 일부에서는 지하 주거 시설을 사용하여 왔다. 도로 교통 측면에서도 날씨 환경이나 지진 등과 같은 재해 환경에 자유로움으로서 도로의 기능을 이에 대한 별다른

제약 없이 사용할 수 있는 장점이 있다.

지하의 도로 건설로 일반적으로 도로가 미치는 시각적인 영향을 배제할 수 있어, 도시민들에게 보다 쾌적한 환경을 제공할 수 있으며, 소음이나 대기오염의 영향을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그리고 차량 통행으로 발생하는 도로에서의 소음과 공기 오염을 포집 및 제어하는데 유리한 점이 있어 적절한 방안이 강구된다면 매우 효율적인 환경관리가 이루어질 수 있다. 지상을 환경 친화적인 용도로 다양하게 활용할 수 있음은 더 이상 언급할 필요가 없는 장점이라고 할 수 있다.

2.2 국내외 지하도로 현황

1) 서울시 U-Smartway 지하도로 계획

가. 계획의 개요

- 서울 전역 30분대 이동 가능한 도로망 구축
- Green Design으로 인간중심의 친환경 공간 조성
- 총연장 149km의 3X3 격자형 및 도심순환 지하도로망(Fig. 1에 나타난 동서3축, 남북3축의 총6개 노선)

나. 단면 계획

- 복층 소형차 전용도로로 일반구간 왕복4차로, 도심순환구간 왕복6차로로 계획
- 기존 동부간선도로 대체기능을 가지는 구간은 중대형차 혼합도로로 편도 2~3차로의 단층 병렬터널로 계획

2) 해외 지하도로 건설 사례

해외 지하도로 건설 사례를 Table 1에 요약하였다. 해외 사례에서 국내 지하도로 도입시 고려하여야 할 사항은 지하도로 내 적정 서비스수준을 유지하기 위한 유출입부의 철저한 교통관리 시스템, 철저한 방재 시스템, 공사비를 고려한 소형차전용 도로, 운전자의 주의 환기를 위한 다양한 조명 및 시선유도시설 등이다.

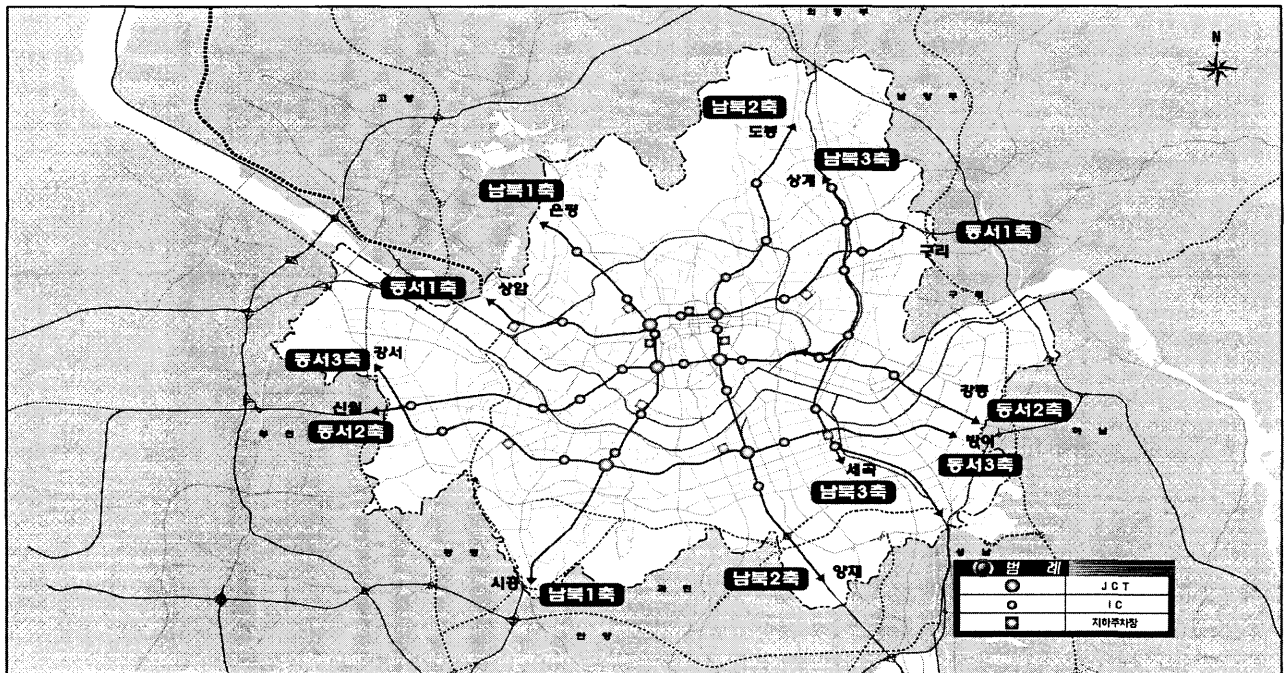


Fig. 1. 서울시 U-Smartway 지하도로 계획 노선도

Table 1. 해외 지하도로 건설 사례 요약

구분	계획 목표	연장	차로수	터널형식	공사기간
프랑스 A86 West Beltway	파리 2차 순환도로의 서부 missinglink 연결을 위해 계획되었으며, 파리 주변 그린벨트 보호와 문화재 보호, 온실가스 배출 감소 등을 위해 지하도로로 계획	17.5km (동:10km, 서: 7.5km)	동:3차로 서:2차로	동:소형차 전용 복층터널 서:단층터널	2007년 1단계 개통 2010년 2단계 개통예정
일본 동경 중앙 환상선	동경 내부의 환상 도로 정비를 위해 계획된 노선으로 가장 내부에 있는 환상선	신주쿠선 11km 시나가와선 9.7km	왕복 4차로	-	2009년 일부개통 2013년 개통예정
스페인 마드리드 M30	M30 도로로 인한 오염된 주변환경을 복원하고 교통량을 증대시키기 위해 계획	55.7km	편도 3차로 (2개 터널 왕복6차로)	복층 터널 (하부에 2차로 비상차선) 대형차 통행가능	2004년 9월 착공 2007년 5월 개통
말레이시아 SMART 터널	말레이시아 쿠알라룸푸르 Klang강의 범람에 의한 홍수피해를 방지하고 늘어난 교통량에 대응하기 위해 계획	3km	편도 2차로 (왕복4차로)	상부:차량 하부:홍수조절	2003년 착공 2007년 완공
미국 보스톤 BIG DIG	도시를 관통하는 고속도로를 지하화하여 녹지와 공원을 만드는 도시재개발 프로젝트로 I-93 고가도로 지하구간 및 I-90 도로구간을 지하화	12km	왕복 8~10차로	개착 박스터널	1991년 9월 착공 2006년 1월 완공
미국 시애틀 Alaskan Way	시애틀의 노후화 되고 지진으로 인해 손상된 Alaskan Way 고가도로를 철거하고 지하도로를 건설하는 프로젝트	2.7km	왕복 4차로	복층터널 대형차 통행가능	2011년 착공 2015년 개통예정
스웨덴 Sodra Larken	스톡홀름의 Ring Road 프로젝트 중 남부지역 연결 도로로 계획	5.5km	왕복 4차로	Twin Tube 터널 대형차 통행가능	1998년 착공 2003년 완공
싱가폴 KPE Road Tunnel	싱가폴 남쪽 동해안 공원도로에서부터 북동쪽 Tampine 고속도로를 연결하는 고속도로 중 일부 구간을 지하화한 프로젝트	9km	왕복 6차로	병렬 2면박스 전차종 통행가능	2001년 착공 2008년 완공

3. 지하도로 계획 및 기아구조 설계검토

3.1 지하도로 노선대 선정

도로 노선 선정 시에는 일반적으로 사회적, 기술적, 경제적, 환경적 측면 등을 검토하여 최적의 노선이 선정되도록 계획하고 있다. 일반 도로와 비교되는 지하도로의 특징은 보상비가 적고 지장물에 대해 보다 자유로우나, 대심도 굴착과 구조물 증가에 따른 시공성 확보와 건설비의 증가에 있으며, 환경 측면에서는 지상공간의 보존과 기존 교통시설을 지하화 하여 발생하는 지상공간의 녹지 확보이다. 해외의 사례에서도 노선을 지하화한 가장 큰 요인은 지상도로의 부족한 교통용량 확보와 주변 환경 보호 및 녹지공간 확보의 두 가지로 대별되는 것을 알 수 있다.

사회적 측면에 있어서 지하도로는 기존 생활권 분리 및 도시 미관저해의 우려는 적으므로 교통체계 측면에서 접근해야

하며, 기술 및 경제성 측면에 있어서도 도심도 굴착과 구조물의 증가에 따른 시공성과 경제성에 초점을 맞추어야 하며, 환경적 측면에 있어서는 소음 및 대기오염 보다는 진동에 의한 영향 검토가 필요하다. 따라서 지하도로의 노선선정은 일반 도로와 다르게 교통체계, 기술, 그리고 지하공간 이용 측면으로 대별할 수 있으며, 노선 선정 시 고려할 사항은 다음과 같다.

•교통체계 측면

- 정체 극심 구간 해소로 도심 진출입 편리성 도모
- 민원발생으로 인한 장기 미집행 구간의 실행
- 도심 통과교통의 원활한 처리로 지상교통량 도심 집중 억제
- 도심과 부도심간 주요간선도로 직접 연결로 접근기능과 통과기능 확보
- 관련계획과 부합되는 노선 선정

•기술적 측면

- 경제성과 시공성을 감안한 설계기준 작성
- 건설 후 교통운영 및 통제와 사고처리에 대한 대처방안 확립
- 지상교통의 원활한 소통을 유도할 수 있는 진출입시설 설치
- 기계굴착이 가능한 지질 및 지반조건과 지하매설물 등을 검토하여 시공이 용이한 노선대 선정
- 작업구 및 환기구 설치 고려

•지하공간 이용 측면

- 지하주차장, 지하시설물 등 타 지하공간을 감안한 노선 선정 및 심도 고려
- 지하공간 특성을 이용한 가급적 직선화한 노선으로 주행거리 및 통행시간 단축

3.2 지하도로 유출입시설 계획

지하도로의 유출입시설 계획은 지상도로와의 진출입계획과 지하도로내 유출입시설 설치가 주요 사항이다. 지상도로와의 진출입구 계획에서는 지상부에서 지하로 향하는 도입부로서 운전자에게 지하의 불안감 및 공포감 등을 유발할 수 있으며, 진출입부에서 지상교통의 혼잡을 야기할 우려가 있다. 지하도로내 유출입시설 설치의 분기점 설치와 주변 지하공간으로의 진출입이다. 분기점 설치의 지하공간내에서도 다층구조물이 불가피하여 경제성과 시공성이 주요 쟁점사항이다.

Table 2. 지하도로 진출입구 배치

구 분	도로 중앙에 배치	도로 좌우른쪽에 배치
개 요 도		
장 단 점	<ul style="list-style-type: none"> ◦시공성 불량 ◦좌회전차로 활용으로 효율적인 차로운영 	<ul style="list-style-type: none"> ◦시공성 양호 ◦추가 토지 필요 및 장래확장 곤란

1) 지하도로 진출입구 계획

지상도로의 교차로가 다른 도로로의 방향전환이 주요 특성이라면 지하도로의 진출입구는 같은 방향의 교통량 합류라는 특성을 지니므로 교통혼잡이 우려된다. 따라서 지하도로 건설의 목적을 달성하기 위해서는 진출입 주변의 교통처리계획이 중요하다. 이러한 교통처리계획은 다음 사항에 대한 계획과 방안이 수립되어야 한다.

- 지하와 지상의 도로 교통운영의 효율화 및 일원화를 도모하기 위한 지상 교통운영 방안 제시
- 지하도로와의 연결부는 충분한 시거와 차로폭의 연속성 확보
- 주변 교차로 및 지하철 역사와는 충분한 이격
- 주변지역 접근으로 인한 혼잡을 막기 위한 주차동선계획 및 측도 개념의 접속도로 설치 검토

노선상의 진출입부 위치가 결정된 후에도 횡단상의 배치를 검토하여야 한다. 배치방안은 도로의 중앙차선을 이용하여 설치하는 방안과 좌오른쪽의 차선을 이용하는 방안 및 두 가지 방안을 혼용하는 방안을 고려할 수 있다. Table 2에 이러한 진출입구 형태의 개요와 장단점을 나타내었다.

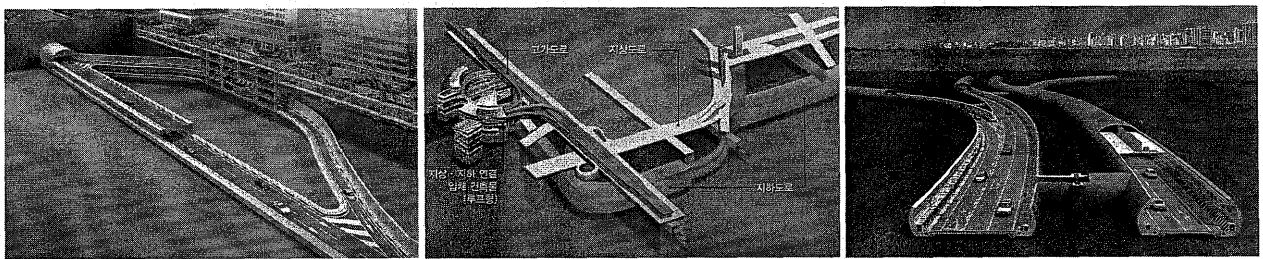
2) 지하도로내 유출입시설 계획

지하도로내 유출입시설은 특히 교통안전에 비중을 두고 교통운용 측면을 고려하여 형식을 결정하여야 하며, 지하주차장으로서의 진출입과 지하도로내 IC 및 JCT 설치로 크게 구분할 수 있다. 지하주차장으로서의 진출입은 지하도로를 이용하여 도심지 진입시 지하주차장 및 복합환승시설을 이용하여 대중교통으로 환승철도, 버스터미널, BRT, 신교통수단 및 상업, 업무지구와의 연계가 강화하도록 검토하여야 한다. 이러한 지하주차장 진출입은 Smart IC를 통하여 요금징수 및 통제를 함으로써 규모를 축소하여 경제성을 확보할 수 있다. Fig. 2는 유출입시설 예를 보여주고 있다.

지하도로 내 인터체인지 형식은 방향별 교통량, 주행특성, 시공성, 그리고 경제성을 고려하여 형식을 결정하며 트럼펫형과 직결형으로 나눌 수 있다. 트럼펫형은 루프 구간의 시거불량, 용량저하, 시공성 불량이 단점이고, 오른쪽방향 유출입 형식이 운전자에게 익숙하다는 장점이 있으며, 직결형은 시거 및 시공성에서 장점이거나 좌측방향 유출입 가능성이 단점이다.

지하도로 내 분기점 설치의 혼잡도, 접속방법, 공사비 등을 고려시 불합리한 것으로 보이나 교통체계 상 설치가 불가피하다. 복층 지하도로에서 검토 가능한 JCT 형식은 직결형, 터빈형, 클로버형으로 크게 세 가지이며 그 형태는 Fig. 3 와 같다(대한토목학회, 2009).

직결형은 시공성 및 주행안전성을 확보할 수 있으나 규모가 다소 크다. 터빈형은 연장을 최소화하면서 시공성을 확보할 수 있으나 다소 작은 곡선반경이 사용된다. 클로버형은 운전자의 유출입형태 인식은 용이하나 루프 곡선부 시공이 곤란하며 루프에 다소 작은 곡선반경이 사용된다.



(a) 지하주차장과의 유출입

(b) 복합환승시설과의 유출입

(c) 병렬 지하도로 IC 예

Fig. 2. 유출입시설 예

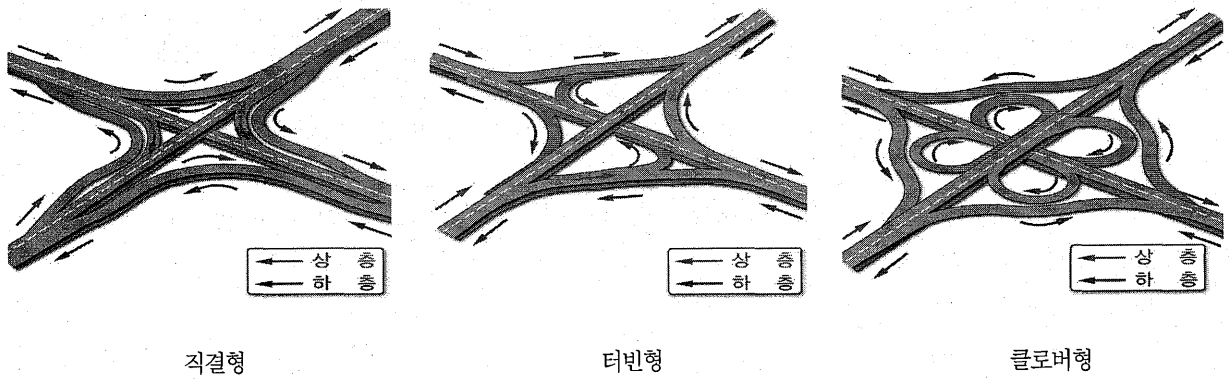


Fig. 3. 지하도로 JCT 예

3.3 지하도로 방재 계획

한국터널공학회(2004)에서 수행한 연구에서는 프랑스 몽브랑 터널 사고후 개선 사항으로 종방향의 기류를 형성하고 연기의 확산을 방지하기 위한 젯트팬을 설치하였으며, 배연효율을 높이기 위한 대배기구방식을 채택한 점에 주목하여야 한다고 하였으며, 터널의 위험도에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 교통량, 경사도, 대형차의 혼입율, 위험물수송 조건, 통행방식으로 나타났으며, 터널의 위험도를 평가하기 위해서는 이와 같은 인자에 대한 종합적인 검토가 필요하다고 하였다.

위험인자를 토대로 국토해양부(2009)는 터널의 위험도 등급을 연장 기준 등급과 병행하여 분류하고 있다. 그러나, 상기 지침의 위험도와 연장에 따른 등급 분류로 지하도로에 방재시설을 적용하는 데는 문제점이 있다. 위험도 지수등급에 있어서도 지하도로 내에서 차로변경이 필요한 바, 이에 대한 고려와 설계속도 및 주행속도에 대한 고려가 되어 있지 않다. 따라서, 지하도로에 적합한 위험도 평가항목에 대한 설정과 각 항목에 대한 기중치에 대한 적용도 다시 고려가 되어야 할 것이다. 또한 소형차전용도로에 대한 고려도 필요하다.

연장기준등급에 있어서는 도로터널도 장대화가 추세이고, 지하도로의 연장도 3km를 훨씬 넘을 것으로 예상되는 바, 3km 이상을 동일한 연장기준등급으로 구분하는 것은 문제가 있다. 전체 연장과 출입시설간의 연장 구분이 필요하며, 3km 이상을 세분화할 필요가 있다. 현 시점에서는 설계기준을 토대로 계획한 후, 시뮬레이터를 이용한 실험을 통하여 동일한 피 실험자들에게 동일한 중평면 선형을 갖는 지하도로와 일반도로의 비교실험을 한다면 지하도로 특성을 이해하고 위험요소를 도출해 내는 좋은 방법이 될 것이다.



Fig. 4. 화재발생에 대한 시나리오 구성 예

방재계획에 있어서 중요한 문제점 중의 하나는 터널의 화재사고가 차량에 의한 것임에도 불구하고 기존 터널에서는 방재 및 환기시스템은 중요시하고 교통관리시스템에 대한 고려가 부족하였다는 것이다. 발생 원인을 최소화하는 것이 방재의 중요한 사항임을 고려하여, 대응시설의 설치와 함께 효율적인 교통관리시스템의 구성도 함께 고려하여야 한다. 따라서, 다양한 재난상황에 대비한 시나리오 설정 및 시뮬레이션 분석을 통해 돌발상황 발생시 대처할 수 있는 단계별 대처방안, 피난대피시설계획 수립, 소화 및 구조 활동 계획 수립에 관한 시나리오 및 안전관리 기준을 첨단교통관리체계와 연계하여 수립하고, 종합 방재 매뉴얼의 작성과 전반적인 훈련이 필요하다. Fig. 4는 지하차도의 화재발생에 대한 시나리오 구성 예를 나타내고 있다.

3.4 설계기준 자동차와 시설한계

설계기준자동차는 도로 구조설계의 기준이 되는 자동차로서 기하구조를 결정하는 중요한 요소이며, 설계기준자동차의 치수, 성능 등은 도로의 폭, 곡선부의 확폭, 교차로의 설계, 종단경사, 시거 등에 영향을 미친다. 시설한계는 일정한 폭, 일정한 높이 범위 내에 시설물을 설치하지 못하게 하여 도로 이용자의 안전을 도모하는 중요한 요소이며, 높이가 지속적으로 제한된 지하도로에서는 단면결정에 지대한 영향을 주어 경제성과 밀접한 관계를 갖는다.

설계기준자동차를 결정하기 위해서는 우선 계획노선의 기능을 파악하고 해당 도로 기능 이상의 기능을 갖춘 우회도로가 있는지 살펴야 한다. 우회도로가 없으면 도로기능을 확보하기 위하여 설계기준자동차는 세미트레일러이며, 우회도로가 있으면 안전성과 경제성을 고려하여 소형자동차를 적용하는 것이 타당하다. 해외 지하도로 사례에서도 전차종 통행가능 도로보다 소형차전용도로가 많으며, 이는 경제성과 안전성 때문으로 분석된다.

소형차 전용도로가 경제성이 있다는 것은 단면의 효율성에 있다. 터널의 단면이 원형에 가깝다는 것을 고려할 때, 승용차 전용도로는 복층 구조를 형성하여 효율적으로 단면을 이용할 수 있다. 소형차 전용도로가 안전성이 높다는 것은 터널내에서 대형차의 사고발생률이 높다는 데 있다. 국토해양부에서 주관한 「도로터널 방재시설 (비상시설) 설치기준 개정 작성을 위한 연구(한국터널공학회, 2004)」에서 제시한 프랑스터널 사고 통계에서도 전체 사고건수의 약 79%가 소형차에 의한 것이며, 대형차의 사고건수는 약 32%정도로 나타나고 있다. 전체터널의 평균 대형차 혼입율이 24.2%인 점을 고려한다면, 대형차에 의한 사고 발생률이 50%이상 높다는 것을 보여주는 결과이다. 또한, 이와 같은 사고통계는 전차종 통행가능한 지하도로를 설계 시에도 지정차로제 실시 여부와 건설장비 등과 같은 저속차량의 제한을 검토하여야 한다는 점을 시사한다.

시설한계 높이의 적용에 있어서는 제한된 공간이 운전자에게 주는 부담감을 고려한다면 높으면 높을수록 좋으나, 굴착단면이 커져 공사비가 증가되므로 경제성을 고려하여 적용하여야 한다. 시설한계의 높이는 설계속도, 연장과 함께 고려하여 운전자의 부담감과의 관계에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 지하도로의 기능상 보조간선도로 기능이상이어야 타당하며 우회도로가 없는 경우는 보조간선도로 이상으로 세미트레일러를 적용하여야 하고 우회도로가 있는 경우는 소형차 전용도로로 경제성과 안전성을 확보하여야 하므로, 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설」에 준한 설계기준자동차와 시설한계 높이를 Table 3과 같이 하나로 정리할 수 있다.

Table 3. 지하도로에서의 설계기준자동차와 시설한계 높이의 적용 방안

구 분	설계기준자동차	시설한계 높이
우회도로가 있는 경우	소형자동차	3.0
우회도로가 없는 경우	세미트레일러	4.5

※단, 여기에서 우회도로는 같은 도로기능 이상의 우회도로를 말한다.

3.5 설계속도

지하도로의 특성상 보조간선도로 이상의 기능을 수행하는 것이 타당하다고 사려 되는 바, 국내 기준에서 지하도로를 따로 규정하지는 않았지만, 현 기준을 준용 시 지하도로의 설계속도 최소값은 60km/h이다.

해의 사례를 살펴보면 제한속도를 60~80km/h로 제한하여 운영하고 있다. 이는 지하도로의 빠른 교통처리 보다 안전한 교통처리에 무게를 둔 것으로 판단된다. 주행속도가 높을수록 사고의 위험도가 크다는 것은 일반적인 사실이다. 이러한 사실은 지상도로에 비해 대피공간이 부족한 지하도로에서 주행속도를 떨어뜨려 사고 위험도를 줄여야 한다는 것을 의미한다. 그러나 이것은 설계속도의 단순한 하향만을 의미하지는 않는다.

다음은 속도와 사고의 관계에 대한 연구 결과들이다.

•Lamm et al.(2000)

- 80km/h까지는 설계속도가 증가할수록 사고율은 감소하는 반면에 사고 비용율은 설계속도가 증가할수록 증가한다.

•김준기(2009)

- 다음 내용은 Safety Impacts and Other Implications of Raised Speed Limits on High-Speed Roads」의 결과 요약 을 재인용하였다.
- 제한속도의 증가는 주행속도의 증가를 가져오나 증가폭은 적다.
- 제한속도가 89km/h(55mi/h)에서 105km/h(65mi/h)로 증가하였을 경우 사고율은 3% 증가하고 사망사고는 24% 증가하였다.

이상 연구결과를 종합하면, 지하도로의 제한속도는 사고위험도를 줄이기 위해 최고속도는 80km/h, 기능 확보를 위하여 60km/h를 적용하는 것이 바람직하며, 지하도로의 특성이 주는 운전자 부담감에 대한 안전을 확보하기 위해 설계속도를 제한 속도보다 상향하여 설계하는 것이 바람직하다. 단, 설계속도와 제한속도 차이에 의한 속도 분산으로 사고율 증가가 우려되므로, 그 차이는 15km/h 이하로 두어야 하며, 노선 전구간에 걸친 과속 단속으로 속도 분산을 줄여야 한다. 현 시점에서 지하도로의 바람직한 설계속도는 Table 4와 같이 정리할 수 있다.

Table 4. 지하도로에서의 설계속도 적용 방안

구 분	고속도로	주간선도로	보조간선도로
설계속도	100	100	70
제한속도	80	80	60

3.6 횡단구성

차도와 길어깨 폭은 이용자의 안전성과 쾌적성에 밀접한 관계가 있다. 차도와 길어깨 폭이 넓을수록 교통사고율은 감소한다는 것이 일반적인 연구결과이다. 「도로의 구조시설 기준에 관한 규칙 해설」에서는 소형자동차의 설계 기준 폭은 2.00로 대형자동차 및 세미 트레일러 설계 기준폭인 2.50m 보다 0.50m가 적으므로 소형차도로의 폭을 결정시 일반차로의 폭에서 0.50m까지 축소하여 적용한다고 하였다. 이는 차로폭의 증가가 교통사고율과 밀접한 관계가 있다는 점을 고려할 때, 일반도로에 비해 상대적으로 안전성과 쾌적성이 떨어지는 지하도로의 안전성을 확보하기에는 바람직하지 못하다.

길어깨 폭에 있어서도 규칙 해설에서는 소형차도로에 있어서 작은 값을 적용하고 있으나 이 또한 바람직하지 못하다. 일반도로의 오른쪽 길어깨 끝에는 가드레일을 적용하여 차로를 이탈한 차량의 사고 시 충격을 흡수하도록 하고 있다. 그러나 지하도로는 구조물로 강성 방호벽일 수밖에 없다. 이러한 점은 같은 비율의 차로 이탈 사고 시 지하도로내의 차로 이탈 사고가 더 위험하다는 것을 알 수 있다. 따라서 대피공간의 부족으로 보다 안전한 기준을 적용해야할 지하도로내의 길어깨를 일반도로보다 축소하는 것은 바람직하지 못하다.

지하도로의 폐쇄된 공간에서 발생한 사고는 자칫 대형사고로 확산될 위험성이 크므로 길어깨의 주요 기능인 고장차 대피

공간의 기능도 확보하여야 하므로, 규칙 해설에서 제시한 전폭 길어깨 폭(2.50~3.25m)을 적용하는 것이 바람직하다. 소형차 도로의 차로 및 길어깨 폭을 축소할 것은 횡단면이 커져 사업비가 높아지는 것을 우려한 것으로 사료되나 사업비가 높아지더라도 안전성을 확보하는 것이 바람직할 것이다. Fig. 5 는 길어깨 차로 운영구간의 LCS(Lane Control Systems)을 나타내고 있다.

안전성을 확보하기 위한 충분한 길어깨의 확보는 사업비의 증가를 가져오고, 협소한 길어깨는 지하도로의 안전성을 확보하기에는 부족하다. 이러한 점에서 한국도로공사의 길어깨 차로 운영을 사례로 삼아 가장오른쪽 차로에 LCS를 설치하는 것은 일정정도의 경제성과 안전성을 확보하는 좋은 방안이 될 것이다. 단, 2차로에서는 가장오른쪽 차로 통행 제한시 심각한 혼잡 및 지하도로 내 정체가 예상되므로 비상차로를 확보하는 것이 바람직하다. 교통량과 차로수에 따른 최우측 차로 제한에 대한 분석 후에 적용하는 것이 바람직하다. 이상에서 차로 및 길어깨 폭에 대하여 살펴본 바, 현 시점에서 바람직한 길어깨 폭은 Table 5와 같이 정리될 수 있다.

4. 결론

지하도로 계획에 대한 기본방향과 안전성을 확보하고자 지하도로의 필요성 및 특징 그리고 국내외 사례를 살펴보고, 노선 및 방재 계획과 기하구조 설계 분야에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구는 지하도로라는 새로운 공간에서의 운전자 특성을 반영하지 못한 한계를 가지고 있으나, 지하도로 건설시 고려되어야 할 주요 검토사항을 제시하고, 그에 대한 사전연구를 진행하여 방향성을 제시하였다는 데 본 연구의 의의가 있다. 본 연구 수행으로 얻어진 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

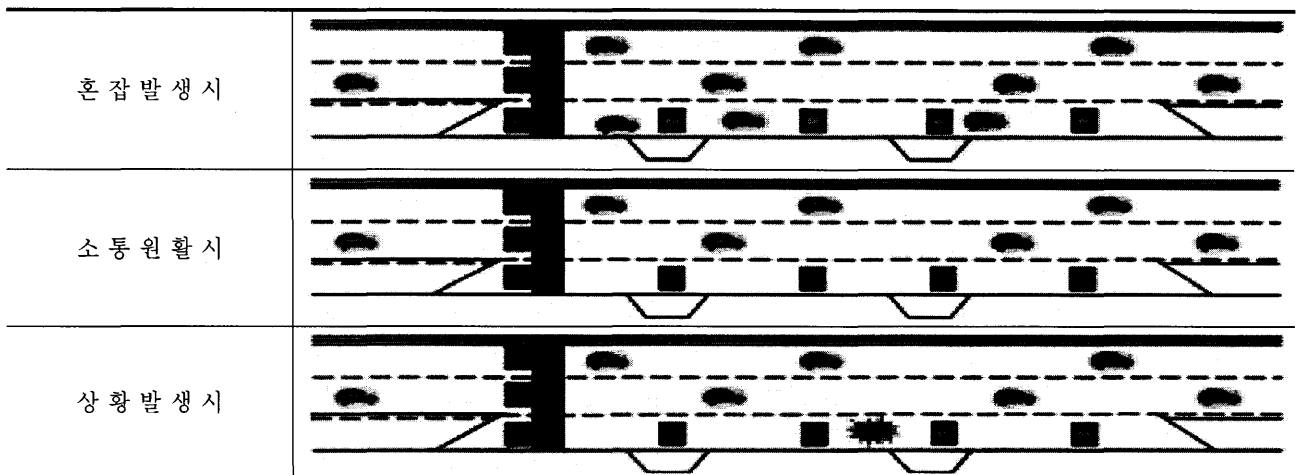


Fig. 5. 길어깨 차로 운영구간의 LCS(Lane Control Systems)

Table 5. 지하도로에서의 길어깨 폭 적용 방안

구 분	설계속도	오른쪽차로 LCS	
		미설치시	설치시
오른쪽 길어깨 폭	100	3.00	1.00
	80	2.50	0.75
	60	2.50	0.50
	비상주차대	-	750m 간격으로 설치

- (1) 지하도로 노선선정 시에는 지하공간이용 측면, 기술적 측면, 교통체계 측면을 종합적으로 고려하여야 한다. 또한, 방재시설은 첨단교통 관리체계와 연계하여 돌발 상황에 효과적으로 대처할 수 있도록 계획되어야 한다.
- (2) 지하도로는 같은 도로기능 이상의 우회도로가 있는 경우 안전성 및 경제성을 고려하여 소형차 전용도로로 계획하는 것이 바람직하며 지하도로의 설계속도는 운영중 제한속도와 관련하여, 설계속도보다 제한속도를 10km/h 하향 운영하여 안전성을 확보하여야 한다.
- (3) 지하도로의 길어깨 폭은 전폭 길어깨(2.5-3.0m)를 적용하여 비상차로를 확보하고, 경제성을 고려하여 길어깨 축소 시에는 최우측 차로에 LCS를 설치하여 비상시 비상차로의 안전성과 비상차로 주행공간을 확보하여야 한다.

참고문헌

- [1] Lamm, R. (2000). Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, McGraw-Hill.
- [2] 국토해양부 (2009). 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침.
- [3] 김준기 (2009). "고속도로 제한속도 상향이 사고에 미치는 영향.", 도로정책 BRIEF, 국토연구원, 제23호.
- [4] 대한토목학회 (2009). 도로의 구조시설 기준에 관한 규칙 해설.
- [5] 서울특별시 (2006). 지하공간 종합기본계획 수립.
- [6] 한국터널공학회 (2004). 도로터널 방재시설 (비상시설) 설치기준 개정 작성을 위한 연구. 건설교통부

- ▶ 논문접수일 : 2011년 02월 13일
- ▶ 심사의뢰일 : 2011년 02월 19일
- ▶ 심사완료일 : 2011년 03월 08일