

지하도로의 포장형식 선정에 관한 고찰



정 경 영 | 정회원 · 서영엔지니어링 도로팀 부장
 권 순 일 | 정회원 · 서영엔지니어링 도로팀 상무
 장 원 호 | 정회원 · 서영엔지니어링 도로팀 전무
 백 승 걸 | 도로교통연구원 교통연구실 수석연구원

1. 서론

수도권의 지속적인 교통수요 증가에 대응하기 위한 교통시설의 공급요구는 대도시권을 중심으로 확대되고 있으나 도로시설 공간부족, 공사환경에 대한 협오 및 토지가격의 상승 등으로 지상공간 활용이 어려워 지하공간을 활용한 지하도로 건설의 필요성이 증대되고 있다.

이런 관심속에 실제로 지하도로가 계획되고 설계중에 있지만 설계에 대한 명확한 가이드라인 등이 미비하여 설계과정에서 일부 혼란이 발생하기도 한다.

본고에서는 다양한 설계 요소 중 지하도로의 포장형식 선정에 대해서 국내외 사례를 살펴보고 이에 대한 검토내용을 기술하고자 한다.

2. 지하도로의 특성 분석

지하도로는 말 그대로 지하공간에 건설되는 도로이다. 형태적으로 터널 구조물과 비슷하지만 목적과 그 기능을 고려해 볼 때 터널과는 다른 특성을 가지고 있다.

터널은 지상도로의 부속 구조물로 전차종이 운행 가능하지만 지하도로는 경제성 및 건설여건에 따라 소형차전용도로로 건설이 가능하며 이 경우 지하도로 단면은 일반 터널의 병렬구조와 달리 복층구조로 건설이 가능해 터널과 또 다른 형태의 특성을 가진다.

지하도로는 연장측면에서도 수십km에 달하는 경우가 많아 터널보다 폐쇄공간에 대한 영향분석(운전자 행태변화, 방재·환기 시스템, 교통안전성, 소음, 조명 등)이 필요하며 도로 기능상 지상도로와 접촉해야 하며 접촉시 단일 구조물인 터널과 달리 U-type 구간, 개착박스 구간, 지하도로(본선)구간으로 구분되어 진다.

3. 국내 지하도로 포장형식 선정기준 검토

국내 포장형식은 아스팔트 콘크리트 포장(이하 아스팔트포장)과 시멘트 콘크리트 포장(이하 콘크리트 포장)으로 대별되며 일반적으로 포장형식은 주어진 환경·교통·토질조건 등에 따라 가장 적합한 형식을 적용한다.

현재까지 국내에는 지하도로를 위한 별도의 설계 기준 마련이 미비한 상태로 기존 기준을 최대한 활용한 적용이 필요하며 본고에서 터널내 포장설계 지침(국토해양부, 2005)과 도로설계편람 터널편의 소형차전용 지하도로(국토해양부, 2009)부분의 내용을 참고로 적용성을 살펴보았다.

3.1 터널내 포장설계 지침

본 지침은 터널내 포장설계를 위해 고려해야 할 다양한 설계요소에 대해 설명하고 이를 고려하여 적절한 포장형식을 적용하도록 하고 있다.

포장형식 선정을 위한 주요 고려사항을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 터널 전후 토공부 포장과의 연속성
- ② 토공부와 다른 지지력 조건
- ③ 기후 환경적 특이성 조건
- ④ 지하수로 인한 필터층의 적용(15~25cm)
- ⑤ 시공성 및 유지관리
- ⑥ 포장의 내구성
- ⑦ 소음 및 조명 특성

3.2 도로설계편람 터널편 : 소형차전용 지하도로

본 편람은 터널편에 지하도로에 대한 이해를 돕고자 관련 내용을 개론적으로 서술한 것으로 설계 기준이라고 하기엔 어렵지만 국내 몇 안되는 지하도로 관련 내용으로 설계의 방향을 제시하고 있으며 특히 소형차전용 지하도로를 중심으로 기술하

고 있다.

- ① 경량의 소형차만 운행하는 소형차 전용의 특수성을 고려한 설계교통하중 적용
- ② 복층구조 적용시 기존 터널내 포장과는 다른 포장의 기능적 차이 고려(차도 슬래브 마모방지, 포장 평탄성 확보 등)

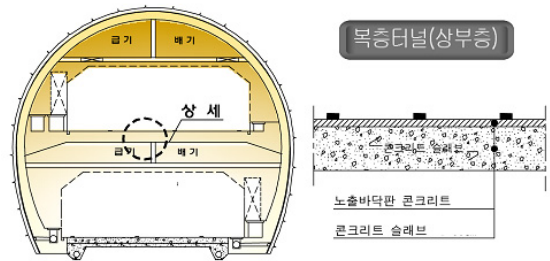


그림 1. 복층터널 상부차도의 포장형식 예

4. 국내외 지하도로(터널) 포장 적용사례

4.1 국내 사례

국내 지하도로는 실제 건설사례가 없어 장대터널을 중심으로 조사하였고 설계단계에 있는 일부 지하도로의 설계자료를 참고하였다.

국내 고속도로의 경우 터널은 대부분 콘크리트포장을 적용하고 있으며 도시부 도로 및 국도의 경우 2005년을 기점으로 그 이전에는 유지관리(절삭 덧씌우기, 소파보수 등)가 용이하고 교통개방이 빠른 아스팔트포장을 적용하였으나 2005년 지침 이후 건설된 연장 500m 이상 터널의 경우 대부분 콘크리트 포장 형식을 적용하고 있다.

그리고 국내 도시부에 설치된 대부분의 지하차도는 기존 상부 연결도로와의 연계성을 고려해 보통 아스팔트포장 형식을 적용하고 있다.

표 1. 국내 장대터널의 포장 형식

터널명	도로구분	연장(km)	포장형식
인제터널 (춘천 - 양양)	고속도로	10.96	무근 콘크리트
양남터널 (울산 - 포항)	고속도로	7.50	무근 콘크리트
배후령터널 (신북 - 북산)	국도46호선	5.06	무근 콘크리트
가지산터널 (산외 - 산북)	국도24호선	4.58	무근 콘크리트
사패산터널 (외곽순환)	고속도로	3.99	무근 콘크리트

최근에 수행되었던 서부간선 지하도로(연장 10.91km, 복층구조)의 포장형식 적용사례를 살펴보면 접속구간의 도로 포장과의 연계성을 고려하여 구간별로 표 2와 같이 각각 적합한 포장형식을 선정하였다.

표 2. 구간별 최적 포장형식

구 분	형 식
지상구간 (기존도로 접속부, U-Type구간)	<ul style="list-style-type: none"> • 아스팔트포장 U-Type구간: 배수성 포장 기존도로 접속부: 배수성 포장
지하구간 (개착Box구간, 복층터널구간)	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트포장 Box구간: LMC 포장 상층부: LMC+노출바닥판포장 하부층: 시멘트 콘크리트포장

4.2 해외 지하도로 포장 적용사례

프랑스 A86 지하도로의 경우 노면포장재는 소음

을 최소화하는 재질로 선정하였으며, 은은하고 연속적인 조명과 밝은 색의 노면포장 등을 통해 운전자의 폐쇄감이 최소화 하도록 명색화 된 아스팔트 포장을 적용하였고 말레이시아 SMART 터널은 도로터널의 포장특성(마찰저항, 저소음, 내화성) 이외에 수로터널로도 이용되는 점을 고려하여 개선된 마이크로실리카 콘크리트포장을 적용하였다. 싱가포르 KPE 도로터널의 경우 소음발생을 최소화하기 위해 아스팔트 콘크리트포장을 설계에 적용하였다.

표 3. 해외 지하도로의 포장형식

구 분	형식	연장(km)	포장형식
프랑스 A86(서터널)	복층	10.0	아스팔트
말레이시아 SMART	복층	9.7	콘크리트 (마이크로실리카)
스페인 마드리드 M30	복층	4.2	아스팔트
일본 동경 중앙환상선	복층	11.0	아스팔트
싱가포르 KPE	BOX	12.0	아스팔트

4.3 사례분석 결과

현재 국내 지하도로(장대터널)의 포장은 대부분 콘크리트포장을 적용하고 있으며 일부 도시부의 지하차도는 기존 도로와의 포장 연계성을 고려하여 아스팔트포장을 사용하고 있다.

해외 지하도로의 경우 국내와 달리 아스팔트포장의 비중이 높는데 이는 국내보다 아스팔트 재료의 수

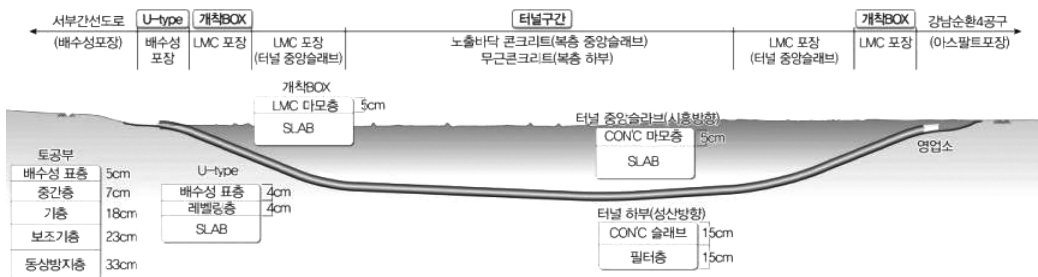


그림 2. 구간별 포장형식 구성도

급 및 가격이 시멘트 보다 유리하고 소음저감 차원에서 아스팔트포장을 더 선호하는 경향이 있는 것으로 판단된다.

해외 지하도로는 대부분 TBM(Tunnel Boring Machine)을 이용한 기계화 시공법으로 건설되는 추세이며 심도가 낮은 경우 개착터널공법을 이용하고 있다. 기계화 시공의 경우 원형단면으로 복층구조를 가지고 있으며 포장이 필요한 각 층의 Deck는 콘크리트 슬래브 구조물로 이루어져 원지반위에 설치되는 터널내 포장과는 다르다.

5. 지하도로 특성을 반영한 포장형식의 선정

5.1 일반적인 포장형식 선정 조건

포장형식은 상대적인 특성을 갖고 있어 모든 요소를 비교·평가하여 정량화시키는 작업이 매우 어려우므로 일반적으로는 교통특성(중차량비율), 경제성, 시공성 등 기술적인 사항과 정책적인 사항을 동시에 고려해야 한다.

최근에 발간된 한국형 포장설계법(국토해양부, 2011.11)에 따르면 포장형식 선정에 영향을 미치는 요인을 선정하고, 그 영향정도에 따라 정해진 포장형식 지수를 비교하여 포장형식을 선정하도록 하고 있다. 포장형식 선정을 위한 정량화된 평가항목으로는 경제적 선정요인과 기능적 선정요인으로 구분하고, 설계자의 의사결정을 위해 각 요인간 가중치는 설계자가 결정할 수 있게 하였다.

표 4. 정량적인 선정요인 및 선정 항목

구 분	경제적인 선정요인 (40~60%)	기능적인 선정요인 (40~60%)
항 목	초기 공사비	주행 쾌적성 (IRI 개선비용 고려)
	중차량 대수 (중차량에 따른 유지보수 비용 포함)	소음도 (소음저감에 따른 비용 포함)

포장형식 선정요인 결정 항목으로는 표 4와 같이 정량적인 분석이 가능한 요인을 고려하였고 정성적인 요인은 배제하였다. 각 세부 요인별 점수를 합산(100점 만점)하여 최종 결정하도록 하였다.

5.2 지하도로 포장형식 선정시 주요 고려사항

지하도로의 포장형식 선정에 있어 일반도로 및 터널과 다른 특성을 인지하고 이를 충분히 고려해야 한다. 앞서 서술한 바와 같이 지하공간에서 수십km의 연장으로 인한 폐쇄성으로 운전자 행태변화, 화재 시 방재·환기, 교통안전성, 소음, 조명 등에 대한 추가적인 고려가 필요하다.

5.2.1 미끄럼 저항성

미끄럼 저항성은 습윤상태의 포장면 마찰계수를 측정하여 노면의 미끄럼 정도를 판단하는데 사용하는 요소로서 운전자의 안전성 측면에서 상당히 중요한 요소이다.

한국도로공사의 시험도로 및 고속도로 일부구간에서 실시한 미끄럼 저항성 조사를 살펴보면 다음의 표 5와 같다. 일반적으로 콘크리트포장이 아스팔트포장보다 미끄럼 저항성이 크지만 아스팔트포장의 경우 PMA나 SMA와 같은 개질아스팔트나 특수포장의 경우 콘크리트포장보다 미끄럼 저항성이 크게 조사되었다.

표 5. 포장별 평균 SN비교 (홍승호 등, 2003)

구 분	아스팔트 포장			콘크리트 포장
	일반HMA	PMA	SMA	
SN값 평균	58	63	67	61

포장의 미끄럼 저항성은 노면재료의 성상(surface texture), 주행속도, 공용년수, 교통량, 타이어 마모, 계절과 온도 등에 영향을 받는다(한국도로공사 도로연구소, 1992).

이는 같은 형식의 포장이라 하더라도 다양한 여건

에 따라 미끄럼 저항성을 다르게 나타낼 수 있으므로 포장형식에 따른 절대적인 미끄럼저항의 차이라고 단정하기 어렵다.

따라서, 미끄럼 저항성이 포장의 특성을 나타내는 항목이기는 하나 포장형식을 결정하는 주요 요소로 사용하기에는 모호한 점이 있다.

5.2.2 주행소음

주행소음은 운전자의 주행 쾌적성을 나타낼 수 있는 요소 중에 하나로 음향파위레벨(dBA) 측정값을 비교하며 소음측정은 측정장비와 측정위치에 따라 측정값이 다양하게 나타나므로 동일한 장비와 위치에서 측정된 값에 대한 상대적인 비교가 필요하다.

아스팔트포장과 콘크리트포장에 대한 소음 조사결과 다음 표 6과 같이 아스팔트포장이 4dBA 정도의 소음감소 효과가 있는 것으로 나타났으며 일반적으로 이격거리가 2배일 때 소음감소 효과는 3dBA로 보고 있다(김인태 등, 2006).

표 6. 주행소음 비교

구 분	아스팔트포장	콘크리트포장	비 고
음향파위레벨(dBA)	77.6	81.5	CPB(승용차단독차량) 주행속도 : 80km/h

현재 국내에서는 콘크리트포장의 소음저감을 위해 타이닝, 그루빙, 마이크로그라잉팅, 골재노출공법 등 다양한 공법들이 연구 중에 있다.

참고로 영국의 사례를 살펴보면 골재노출공법을 적용한 포장면의 소음은 다음 표 7과 같이 빗질이나 타이닝 공법을 적용한 표면 보다 낮은 값을 나타냈으

표 7. 주 공법별 소음측정값(이승우 등, 2006)

표면 마무리	평균 최대소음수준(dBA) [7.5m에서 90km/h로 정규화]	
	경차량	중차량
아스팔트포장	81.8	88.0
골재노출공법	79.6(-2.2)	86.9(-1.1)
타이닝 공법	80.5(-1.3)	88.0(0.0)
빗질	82.5(+0.7)	89.7(+1.7)

며 이런 소음저감 공법들의 적용으로 아스팔트포장과 비슷한 소음저감 효과가 있는 것을 알 수 있다.

5.2.3 화재안전성

지하도로 내 차량 화재사고의 발생빈도는 적으나, 특성상 밀폐공간으로 인해 일단 발생하면 대형사고 발생가능성이 높다. 또한 지하도로의 화재는 터널시 설물을 손상시키고 발화과정에서 아스팔트는 인체에 치명적인 유독가스와 시인성을 저하시키는 스모그를 발생시켜 2차적인 인명피해를 가져올 수 있으므로 지하도로 구조물(특히 포장) 재료선택이 중요하다.

또한 화재시 차량에서 유출된 유류가 아스팔트 포장층으로 침투하여 아스팔트가 연소되면서 유독가스를 발생시킨다. 터널 화재사례를 보면 터널 내 화재시 내부온도가 1,000℃ 이상 높게 측정되고 화재 지속시간도 최대 53시간 지속되었다.

표 8. 해외 도로 터널 화재 사례 및 규모

터널명	개 요	사고 연도	지속시간 및 온도	피해 차량 및 사망자
Frejus	연장:12.9km 프랑스-이태리	2005	6시간, 1,200℃	차량: 9대 사망: 2명
St Gotthard	연장:16.3km 스위스	2001	24시간, 1,200℃	차량: 33대 사망: 11명
Tauern	연장:6.4km 오스트리아	1999	14시간, 1,200℃	차량: 40대 사망: 12명
Mont-Blanc	11.6km 프랑스-이태리	1999	53시간, 1,000℃	차량: 33대 사망: 39명



그림 3. 몽블랑터널 화재

30% 정도 절감할 수 있어 아스팔트포장에 비해 유리하다.

표 10. 평균 휘도 환산계수 비교

구 분	아스팔트	콘크리트
휘도 환산계수	18 lx/cd/m ²	13 lx/cd/m ²

5.2.5 기타 사항

지하도로는 지상도로와의 접속을 위해 유출입시설 설치가 필요하고 이로 인해 지하공간에서 분합류가 발생한다. 지상도로의 경우 표지판을 통해 운전자에게 유출입 정보를 제공하고 있지만 지하도로의 경우 내공 단면의 공간적 한계로 표지판의 설치가 제한적일 수밖에 없다. 또한, 소형차전용인 경우는 내부공간이 더욱 협소하여 표지판 설치가 곤란할 것으로 예상된다.

따라서 지하도로에서는 표지판의 기능을 보완하기 위해 포장 노면표시의 기능을 확대하여 적용할 필요가 있다.

일반적으로 운전자 입장에서 노면표시의 시인성은



그림 5. 다양한 색을 사용한 노면표시 예

아스팔트포장이 더 뛰어나다. 하지만 최근 콘크리트 포장에도 시인성을 높일 수 있는 재료들이 개발되고 있고 시선유도 LED나 표지병 등의 시설물 보완으로 노면표시의 시인성을 높일 수 있다.

일본의 동경환상선의 경우 그림 5와 같이 운전자에게 명확한 정보를 제공하기 위하여 빨간색과 파란색을 적용하여 노면표시를 하고 있다.

국내에서도 지하도로 도입시 표지판의 기능을 보완하기 위해 노면표시의 다양성(색상 및 표현 등)에

표 11. 포장형식 선정 조건 항목

구 분	노 선 특 성	적용 가능성	
		아스팔트	콘크리트
도로조건	<ul style="list-style-type: none"> •대심도 지하도로 •지하도로 형식에 따라 터널포장 또는 구조물 포장 구분 		⊙
교통조건	<ul style="list-style-type: none"> •소형차 전용도로는 아스팔트 포장 다소 유리 	⊙	
	<ul style="list-style-type: none"> •자동차전용도로는 중차량비율에 따라 콘크리트포장 유리 		⊙
시설구성	<ul style="list-style-type: none"> •전체 연장대비 터널 및 구조물구간의 비율이 높음 		⊙
안 전 성	<ul style="list-style-type: none"> •콘크리트 포장은 노면이 백색으로 지하공간내 주행 유리 •화재시 아스팔트 포장은 유독가스 발생으로 피해 확산 		⊙
내 구 성	<ul style="list-style-type: none"> •아스팔트 포장은 5~10년마다 덧씌우기 필요하며 •콘크리트 포장의 일반적인 포장수명은 20년임 		⊙
공 용 성	<ul style="list-style-type: none"> •소음 및 진동이 적은 아스팔트 포장이 다소 유리 	⊙	
경제성	<ul style="list-style-type: none"> •초기공사비 측면에서는 아스팔트포장이 저렴 	⊙	
	<ul style="list-style-type: none"> •목표연도까지의 장기적인 유지보수, 관리비 등을 고려한 LCC측면에서는 콘크리트포장이 다소 유리 		⊙
유지관리	<ul style="list-style-type: none"> •아스팔트 콘크리트 포장은 부분보수가 용이하나, 잦은 보수로 교통소통에 지장을 초래하므로, 전체 공용기간을 고려할 때 유지관리 빈도가 낮은 콘크리트 포장이 유리 		⊙

대한 고려가 필요하다.

6. 결론

지하도로 포장형식을 터널내 포장과 같은 방식으로 선정하기에는 다소 무리가 따른다. 앞에서 살펴본 앓듯 지하도로는 여러 측면에서 터널과 다른 특성을 가지고 있으며 이를 충분히 고려하여 포장형식을 선정해야 한다. 즉, 복층구조인 경우 터널내 포장의 특징뿐만 아니라 교면포장과 유사한 특성도 가지고 있으며 수십km의 연장으로 인해 다양한 사고에 대비한 방재시스템 및 운전자의 쾌적하고 안락한 주행을 위한 조건(소음, 조명 등)이 충분히 고려되어야 한다.

이런 다양한 측면에서 지하도로의 포장형식에 대해 검토한 결과, 대체적으로 콘크리트포장을 적용하는 것이 경제성, 유지관리성, 포장 내구성, 화재안전성 등에서 유리한 것으로 나타났다. 다만, 소음측면에서 아스팔트포장에 비해 장시간 운전하는 운전자에게 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 또한, 소형차전용도로에서도 대형차 혼입교통일 경우와 비교하여 소음발생량은 적으나, 지하도로 단면도 작아져 소음영향이 예상되므로 콘크리트포장 적용시 반드시 소음저감공법 적용이 필요하다.

이상의 지하도로 포장으로서, 아스팔트포장보다

콘크리트포장이 더 적합하다는 것은 일반적 조건에 대한 결과이며 절대적 기준이 되는 것은 아니다. 모든 재료가 그렇듯이 장점이 있으면 단점이 있기 마련이므로 기술자는 이런 장단점을 감안하여 현장여건을 고려한 가장 적합한 포장형식을 선정해야 한다.

참고 문헌

1. 국토해양부(2005). 터널내 포장설계지침.
2. 국토해양부(2009). 도로설계편람 터널편.
3. 김인태 등(2006). "도로소음특성평가를 위한 HEART CPX Trailer 개발 및 현장 적용성 검증연구", 한국도로학회 논문집, 제8권, 제3호, pp 89-103
4. 도로교통연구원(2010). 지하고속도로 계획 및 운영 방안 수립을 위한 조사분석연구 보고서.
5. 국토해양부(2011). 도로포장 구조해설서.
6. 이승우 등(2006). "소음저감을 위한 골재노출 포장공법의 적용" 한국도로학회지, 제8권, 제4호, pp 16-29.
7. 한국도로공사 기술연구소(1992). "포장의 미끄럼저항 특성연구(III)." 1992년도 연구보고서.
8. 홍승호 등(2003). "포장 기능성 평가기준 및 미끄럼관리기준 설정 연구." 도로교통PA-03-09, 도로교통연구원.
9. Albert Noumowe(2003), "Characterization of asphalt exposed to high temperature : Application to fire case asphalt pavement", Cergy Pontoise University.

학회지 광고접수 안내

본 학회지에 게재할 광고를 모집합니다. 우리 학회지는 계간으로 매회 2,100부를 발간하여 회원과 건설관련 기관에 배포하고 있습니다. 회사 영업신장과 이미지 제고를 원하시는 업체는 우리 학회지를 이용하시기 바랍니다.

광고료 : 표2 · 표3 · 표4(300만원) · 간 지(200만원)

※ 상기금액은 연간(4회)광고료임.

사단법인 **한국도로학회**

전화 (02) 3272-1992 전송 (02) 3272-1994