

터널 건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구



박광준
(주)대정컨설턴트
대표이사



김진하
(주)에스코컨설턴트
기술연구소 상무



백승규
(주)단우기술단
기술연구소 부장

1. 개요

(1) 연구개발 배경 및 필요성

국내 터널관련 설계기준, 시방서 등에 대한 상호분석 혹은 국내외 관련기준간 상호분석에 대한 종합적이고 체계적인 표준화 연구가 전무한 실정이며, 국내 터널관련 설계기준, 시방서 등은 발주기관 및 유지관리기관(국토해양부, 한국도로공사, 한국철도시설공단 등)에 따라 기준이 상이하여 혼란을 초래하는 경우가 빈번하다. 선진의 국에 비해 지나치게 세밀하여 기술자의 창조적인 설계 기회를 제공하지 않아 기술발전을 저해하고 과다설계의 원인이 되는 등 부작용을 초래하며 주요 설계·시공 항목에 대해서는 설계기준이나 시방이 제시되지 않아 오히려 질적 저하를 초래하는 경우가 발생할 수 있다.

한편, 최근 국내 건설시장의 포화 및 해외 건설시장으로의 적극적인 진출이 요구되는 상황에서 한-미 FTA, 한-EU FTA 등이 체결되면서 국제적 수준에 부합하는 관련기준의 재정비가 시급한 상황이다.

이에 국내 터널관련 설계기준, 시방서간 상호 불일치 내용을 도출하고 표준화(최소기준 제시)를 통한 관련업계의 혼란을 방지할 필요가 있으며, 국내 관련기준의 재정비로 관계기관간 혼란 방지 및 과도한 기준적용에 따른 예산낭비를 지양하고자 한다.

2. 국내외 터널관련 건설공사 기준

(1) 국내기준

국내 건설공사기준은 중앙건설기술 심의대상인 시방서(표준시방서, 전문시방서, 공사시방서)와 설계기준이 있고, 학협회 및 발주기관 자율정비에 의해 작성되는 하위기술기준(지침, 편람, 요령, 기술지도서, 표준도 등)이 있다. 국토해양부에서 규정하고 있는 “터설계기준”이 실질적인 상위법에 해당한다고 할 수 있으며, 설계기준에 언급되지 않은 것에 대해서는 하위기술기준을 적용하고 있다.(그림 1, 표 1 참조)

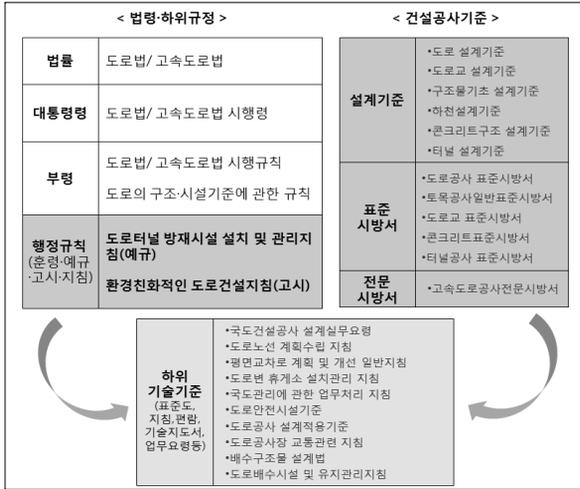


그림 1. 국내설계기준 체계도

(2) 국외기준

1) 일본 터널표준시방서

일본의 경우 별도의 설계기준 없이 표준시방서 내에 설계편과 시공편으로 분리되어 있으며 해설편에 상세한 기술적 내용이 설명되어 있다. 일본토목학회는 1964년 3월 산악터널을 중심으로 하는 표준시방서를 제정한 이후, 1965년 9월 실드공법 소위원회를 발족하여 실드터널에 대한 조사연구를 시작해 1970년에 “실드공법 지침”을 제정하고 7년후인 1977년에는 “터널표준시방서(실드편)·동해설”을 제정하였다. 최근 2006년에 터널 표준시방서를 3차 개정하였으며 “터널표준시방서(산악공법편)·동해설”,

표 1. 국내 터널 설계기준 및 시방서 종류

분류	개정연도	발행기관
I. 기준		
터널설계기준	2007	건설교통부
도로설계기준	2004	건설교통부
철도설계기준	2011	한국철도시설공단
고속철도설계기준	2005	한국철도시설공단
도로터널 방재설치 기준	2009	국토해양부
II. 시방서		
터널표준시방서	2009	국토해양부
도로공사표준시방서	2003	건설교통부
고속도로공사 전문시방서	2009	한국도로공사
고속철도공사 전문시방서	2006	한국철도시설공단
콘크리트표준시방서	2009	국토해양부
III. 지침		
도로터널 방재시설 설치지침	2009	국토해양부
환경친화적 도로유지관리 지침	2007	건설교통부
터널공사표준안전작업지침 - NATM공법	2001	노동부
VI. 편 램		
도로설계편람 - 터널편	2010	국토해양부
도로설계실무편람	1997	한국도로공사
철도설계편람	2004	한국철도시설공단
V. 요 령		
도로설계요령 - 제4권 터널	2009	한국도로공사
VI. 기 타		
터널공사 설계 및 시공관리 개선방안	2005	건설교통부 감찰팀
터널설계기준해설서	2009	한국터널공학회
콘크리트표준시방서 해설	2009	한국콘크리트학회

표 2. 일본 터널표준시방서의 제·개정 연혁

구분	년도		도서명
산악공법편	昭和39年	1964년	터널표준시방서해설
	昭和44年	1969년	터널표준시방서·동해설
	昭和52年	1977년	터널표준시방서(산악편)·동해설
	昭和61年	1986년	
	平成8年	1996년	터널표준시방서(산악공법편)·동해설
	平成18年	2006년	터널표준시방서(산악공법)·동해설
실드공법편	昭和44年	1969년	실드공법지침
	昭和52年	1977년	터널표준시방서(실드편)·동해설
	昭和61年	1986년	
	平成8年	1996년	터널표준시방서(실드공법편)·동해설
	平成18年	2006년	터널표준시방서(실드공법)·동해설
개착공법편	昭和52年	1977년	개착터널지침
	昭和61年	1986년	터널표준시방서(개착편)·동해설
	平成8年	1996년	터널표준시방서(개착공법편)·동해설
	平成18年	2006년	터널표준시방서(개착공법)·동해설

표 3. 미국 연방도로청(FHWA) 관련 설계기준

분류	기준, 지침, 편람	연도
Tunnelling	FHWA Road Tunnel Design Guidelines	2005
Tunnelling	FHWA Road Tunnel Design Manual	2008
Tunnelling	Highway & Rail Transit Tunnel Maintenance & Rehabilitation Manual	2005
Tunnelling	Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual	2005
Tunnelling	Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual and the Maintenance and Rehabilitation Manual	2002
Tunnelling	Underground Transportation Systems in Europe: Safety, Operations, and Emergency Response – June 2006	2006
Tunnelling	Aerial Remote Sensing Techniques for Defining Critical Geologic Features Pertinent to Tunnel Location & Design	1976
Tunnelling	Cut-and-cover Tunneling, Volume 1	1976
Tunnelling	Drilling and Preparation of Reusable, Long Range, Horizontal Bore Holes in Rock and in Gouge	1975
Tunnelling	Earthquake Engineering of Large Underground Structures	1980

“터널표준시방서(실드편)·동해설” 및 “터널표준시방서(개착공법편)·동해설”의 3편으로 구성되었다. 1996년 개정 이후 10년간 개발된 신기술을 반영함과 동시에 유지관리 중요성의 고조 등 사회정세의 변화도 반영하였고, 특히, 한신(Kobe) 대지진의 교훈도 활용하여 내진설계법에 대한 내용을 반영하였으며, 설계의 합리화 수법 및 유지관리에 관계되는 사항 등을 보완하였다.

2) 미국

미국에서는 연방도로청, 각 주별 교통성 등의 관련 부서에서 각종 다양한 기준을 체계화하여 작성·관리하고 있다. 대표적으로 연방 교통청(U.S. Department of Transportation)에서는 “Design Recommendation for Concrete Linings”을 제시하고 있고, 보다 구체적으로는 연방도로청(Federal Highway Administration, FHWA)에서 표 3 과 같은 기준, 지침 등을 제시하고 있다.

2005년도에 제정된 FHWA Road Tunnel Design Guidelines(Publication No. FHWA-IF-05-023)에서는 터널의 계획, 조사, 설계(연약지반 터널, 암반터널, 복합지반 터널, 수직구, 침매터널 등), 복개터널, 내진설계, 안전, 화재대책, 조명, 환기, 시공, TBM(Tunnel Boring Machine) 등의 내용에 대해 폭넓게 다루고 있다.

3) 영국

영국 BTS(The British Tunnelling Society)와 ICE(The Institution of Civil Engineers)는 공동으로 우리나라의 설계기준에 해당되는 “Specification for tunnelling”을 2000년에 제정하였다. “Specification for tunnelling”은 일본과 마찬가지로 기존의 기준에 대한 의견, 비판, 제안 등을 반영하여 주요 내용들을 개정하였고, 2004년에는 역시 BTS와 ICE가 공동적으로 “Tunnel Lining Design

Guide”를 최초로 제정하기에 이르렀다.

이 가이드에서는 NATM터널의 현장타설 콘크리트 라이닝과 슛크리트 라이닝뿐만 아니라 쉘드터널의 세그먼트 라이닝 등 다양한 라이닝의 해석방법, 설계수명, 내구성, 품질관리 등을 상세히 다루고 있으며 영국에서의 주요 적용사례들을 함께 수록하였고, 이외에도 지표 침하, 계측 및 유지관리에 대해서도 관련 가이드를 제시하고 있다.

4) 유럽

EC(European Community)의 5차 framework 프로그램의 일환인 FIT(Fire In Tunnels) 프로젝트는 독일 STUVA의 Prof. Haack의 주도로 수행되었으며, 몽블랑 터널 화재, 고타드터널 화재 등 그간 빈번하게 발생한 터널화재에 대한 안전성을 확보하는데 목적을 두었다. 연구 프로젝트 결과물로 설계자료와 설계지침 등을 표 5와 같

표 4. Specification for tunnelling의 주요 내용

장	주요 내용
General requirements	<ul style="list-style-type: none"> • References to Standards • European standards and Eurocodes
Materials	<ul style="list-style-type: none"> • Standards • Concrete, reinforcement, precast concrete lining, Spheroidal graphite cast iron lining, steel tunnel lining • Jacking pipes, support arches(lattice arches), spiles, dowels, rockbolts, sprayed concrete constituent materials, waterproof membrane, • Gaskets, Cement grout for cavity grouting, packings, grommets and bolts
Methods	<ul style="list-style-type: none"> • Excavation for tunnels • Drilling, Explosives • Timbering • Spiling, dowelling and rockbolting • Sprayed concrete • Forepoling • Groundwater • Probing ahead • Break-outs from Shafts and tunnels • Tunnel boring machines(TBM) and shields • Pipe jacking, grouting • In-situ concrete linings other than sprayed concrete
Ground stabilization processes	<ul style="list-style-type: none"> • Compressed air, ground freezing, dewatering, compensation grouting

표 5. FIT 프로젝트에서 제시한 설계자료 및 지침

보고서	내용
Technical Report – Part I	Design Fire Scenarios
Technacal Report – Part II	Fire Safe Design – Road Tunnels Fire Safe Design – Rail Tunnels Fire Safe Design – Metro Tunnels
Technacal Report – Part III	Fire Safe Design

표 6. EFNARC에서 제시하고 있는 기준, 지침 및 시방

연도	자료명
1996	European Specification for Sprayed Concrete
1999	Guidelines to the Sprayed Concrete Specification
1999	Execution of Spraying (revision of Section 8 of the European Specification for Sprayed Concrete)
2002	European Specification for Sprayed Concrete: Checklist for Specifiers and Contractors
2005	Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM)
2006	Guidelines for testing fire protection systems for tunnels (draft)

이 제시하였다.

그 외의 슛크리트 등 터널 시공재료와 관련된 기준들은 주로 유럽의 EFNARC(European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems)에서 제시하고 있는 기준, 가이드라인, 시방 등을 따르고 있다. 현재 EFNARC는 세계 굴지의 토목·건축용 재료회사들이 주도하고 있으며, 특히 슛크리트 부분에 있어서는 세계 표준과 같이 고려되고 있는 실정이다.

3. 결론

본 연구에서는 국내의 터널설계기준에 대하여 비교하여 소개하였고 본 연구의 진행방향을 요약하면 하면 다음과 같다.

앞으로의 터널 기술은 대내적으로는 녹색성장의 기반하에 친환경적인 건설기술이 되도록 유도하는 것이 주요한 과제로 인식되고 대외적으로는 어느때보다도 해외 건설시장으로의 적극적인 진출이 요구되는 상황이다. 특히 최근 한-미 FTA, 한-EU FTA 등이 체결되면서 국제적

수준에서 상호 연동 될 수 있는 관련기준의 재정비가 필요하다. 따라서 해외터널건설 시장의 선점을 위해 국내 터널관련 설계기준, 시방서등에 대한 상호분석 혹은 국외 관련기준간 상호분석에 대한 종합적이고 체계적인 연구가 필수적이다. 2007년 국토해양부에서 제정한 「터널설계기준」은 NATM공법이라 불리는 천공 및 발파공법(Drill & Blasting Method)을 기준으로 작성되었고, NATM공법은 1980년대 초에 국내에 도입되어 현재까지 국내 터널공사의 대부분에 적용되고 있기 때문에 당장 현재에는 적합한 기준으로 보이나 향후 수년 내에 국내뿐만 아니라 해외의 터널시장은 TBM으로 전환될 것이 예상되기 때문에 이에 대한 대비한 설계기준의 재정비가 시급한 실정이다. 또한, 국내의 IT 선도기술을 터널설계와 시공에 접목할 수 있는 설계기법을 적용할 수 있는 근거를 제시하여 국내 터널 기술력 제고를 통한 국제적인 경쟁력 향상에 기여할 수 있도록 하여야 한다. 나아가 국내 기준에서 취약하거나 정립되지 않은 항목에 대해 국내 적용성을 검토하여 국내 여건에 맞는 기준이 확립된다면 선진화된 터널 건설기술 확보가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 터널설계기준, 2007, 건설교통부
2. 도로설계기준, 2004, 건설교통부
3. 철도설계기준, 2011, 한국철도시설공단
4. 고속철도 설계기준, 2005, 한국철도시설공단
5. 터널표준시방서, 2009, 국토해양부
6. 도로공사 표준시방서, 2003, 건설교통부
7. 철도공사 전문시방서, 2004, 국토해양부
8. 고속철도공사 전문시방서, 2006, 한국철도시설공단
9. 고속도로공사 전문시방서, 2004, 한국도로공사
10. 콘크리트 표준시방서, 2009, 국토해양부
11. 도로설계편람, 2010, 국토해양부
12. 철도설계편람, 2004, 한국철도시설공단
13. 도로설계요령, 2009, 한국도로공사
14. 환경친화적 도로유지관리지침, 2007, 건설교통부
15. 터널공사 표준안전 작업지침-NATM공법, 2001, 노동부
16. 터널공사 설계 및 시공관리 개선방안, 2005, 국토해양부 감찰팀
17. 터널설계기준 해설서, 2009, 한국터널공학회
18. 수해예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼, 2007, 국토해양부
19. 일본 터널표준시방서(산악공법편)·동해설, 2006
20. 일본 터널표준시방서(철도편)·동해설, 2006
21. 일본 터널표준시방서(개착공법편)·동해설, 2006
22. Specification for Tunnelling, 2000, BTS & ICE
23. Tunnel Lining Design Guide, 2004, BTS & ICE
24. Design Recommendation for concrete linings, 1983, U.S. Department of Transportation
25. Engineering and Design – Tunnels and Shafts in Rock, 1997, U.S.C.E
26. FHWA Road Tunnel Design Guidelines, 2005, FHWA
27. Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels –Civil Elements, 2009, FHWA· Highway & Rail Transit Tunnel Maintenance & Rehabilitation Manual, 2005, FHWA
28. Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual, 2005, FHWA