11기술표준화
08-01

터널 건설기준 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석 연구

2014·11·14

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

건설교통기술촉진연구사업

11기술표준화 08-01

터널 건설기준 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석 연구

2014 . 11 . 14

주관연구기관 / (주)대정컨설턴트
협동연구기관 / (주)에스코컨설턴트
(주)단우기술단

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "터널 건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석 연구" 의 보고서로 제출합니다.

2014 . 11 . 14

주관연구기관명 : (주)대정컨설턴트
주관연구책임자 : 박광준
연구원: 양문상
연구원: 윤경렬
연구원: 정용수
협동연구기관명 : (주)에스코컨설턴트
(주)단우기술단
협동연구책임자 : 정명근, 백승규

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11기술표준
화08-01</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2011.09.30
~
2013.07.29</td><td>단 계 구 분</td><td>2차년도/
총2년</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">건설교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">터널 건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석 연구</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>박광준</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 24명
내부 : 8명
외부 : 16명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
600,000천원
계 :
600,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">(주)대정컨설턴트
기술연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)대정컨설턴트
(주)에스코컨설턴트
(주)단우기술단</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="3">연구기관명 :</td><td colspan="2">연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요 약</td><td>보고서면수</td><td>650</td></tr>
</table>

・1차년도 연구개발 결과 국내 설계기준 및 시방서의 주된 문제점은 아래와 같다.

- 개별 기준 및 시방서간 중복·상충 및 사용자 불편 초래
- 글로벌 스탠더드와의 연계성 및 녹색성장관련 기준 미흡
- 설계기준 관리・운영체계의 비효율성

・2차년도 연구결과 향후 국내 터널 건설기준의 선진화 방안을 제시 하였다.

- 일정한 시기를 두고 터널관련 전문가 및 기관의 의견 수렴을 통한 개정작업
- 지침, 편람, 추천서의 활용증대 및 내용기술의 상세화
- 터널공사 입찰방법과 입찰서등의 표준화
- 터널 건설기준의 표준화, 코드화, 성능중심화를 통한 글로벌 스탠더드화를 위한 기준 정비
- IT 및 BIM 기반의 미래기술 접목을 통한 건설ENG 경쟁력 강화

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	터널, 설계기준, 시방서, 지침, 추천서
	영 어	Tunnel, Design Criteria, Specification, Design Guide, Recommendation

요약문

Ⅰ. 제목

터널 건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석 연구

Ⅱ. 연구개발의 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(국토교통부, 한국도로공사, 한국철도시설공단 등)에 따라 기준이 상이하여 혼란을 초래하는 경우가 빈번하다. 선진외국에 비해 지나치게 세밀하여 기술자의 창조적인 설계기회를 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.

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.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

연구개발은 크게 6가지 범주로 진행하였다.

(1) 국내외 터널설계기준 및 시방서의 활용현황 분석

- 국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 및 활용현황 분석

(2) 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석

- 국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
- 관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

(3) 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

- 설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
- 국외 설계기준 및 시방서의 국내 적용성 분석
- 설문조사 및 공청회를 통한 터널건설 현장의 전문가 요구사항 및 문제점 도출

(4) 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

- 국내 설계기준 및 시방서간 상호 불일치, 누락항목에 대한 표준화 방안 제안
- 설계의 CODE화 방안

(5) 설계 표준화를 위한 작성지침 제시

- 표준화(통일)가 필요한 항목 제시
- 추가 기술이 필요한 항목 제시
- 설문조사를 통한 수요자 만족도 평가

(6) 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시

- IT 및 BIM 기반, 미래기술의 접목방안
- 선진 설계기준의 적용방향 제시

Ⅳ. 연구개발결과

본 연구를 통하여 국내 설계기준 및 시방서들의 주요 문제점을 아래와 같이 도출하였다.

(1) 개별 기준 및 시방서간 중복·상충 및 사용자 불편 초래

- 설계기준 및 시방서가 복잡, 다양해지고 단편적, 산발적으로 개정되면서 기준간 불필요한 중복 및 상이한 내용이 병존
- 사용자가 설계서 작성시 여러 곳에 산재된 기준을 일일이 확인하여 작성해야 하는 번거로움 발생

(2) 글로벌 스탠더드와의 연계성 및 녹색성장관련 기준 미흡

- ISO 기준의 적용성이 확대되고 있으나 국제기준과 연계 부족
  (ISO에는 신뢰도기반 한계상태설계법을 적용토록 규정, 우리는 최근 반영 추진 중)
- 단순 사양중심으로 기준이 설정되어 엔지니어의 창의적 설계·시공 활동(VE)에 한계
- 내구성, 안전율 등 공학적 기준 外 녹색성장에 부합하는 기준 미흡

(3) 설계기준 관리・운영체계의 비효율성

- 기준 적용상 문제점·개선안에 대한 사용자 의견보다는 발주자 위주로 제·개정되고, 기존 기준정비협의회의 기능 불명확
- 설계기준 제·개정이력 등을 체계적으로 관리하는 DB시스템 부재로 심의위원 지적사항 및 이해관계자들의 민원 반복

이러한 국내 설계기준 및 시방서의 문제점을 보완하고, 추후 개정 시 선진화 방안을 아래와 같이 제안하였다.

(1) 터널공사 설계기준 및 시방서 관리체계의 선진화로 건설ENG 경쟁력 강화의 발판 구축

- USER 중심의 표준화 : 개별 기준간 내용 중복, 상이로 인한 사용상 불편 및 운영상 비효율성 해소 필요
- 해외진출 기반 : 건설ENG의 해외진출 활성화에 도움이 되도록 ISO 등 국제표준을 적극 도입, 분야별 적용 확대 및 연계 필요
- 녹색성장 : 건설분야는 대표적인 온실가스 배출산업으로 설계단계부터 친환경적 개념 도입 필요

(2) 터널공사 설계기준 및 시방서의 글로벌 스탠더드화를 위한 기준 정비가 필요함

- 표준 코드화 : EU, 영국, 미국 등 선진국은 시방기준 등을 표준화된 분류코드를 활용하여 관리
- 성능중심 기준: 국제표준화 기구(ISO)는 기술무역장벽을 낮추기 위해 모든 국제표준을 성능중심 형으로 제정할 것을 권장(각국은 글로벌 스탠더드에 부합하는 새로운 기준을 개발하여 국제기준을 선점하려는 노력 경주)

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

국내기준에서 취약하거나 정립되지 않은 항목에 대해 국외 기준의 적용성을 검토하여 국내여건에 맞는 기준이 확립된다면 선진화된 터널건설기술 확보가 가능할 것으로 판단된다.

연구개발 결과는 국내의 발주기관에서 작성된 각종 설계기준의 개정작업에 제공되어 설계업무를 수행하고 있는 기업에 대하여 기술자 교육, 기술 상담, 기술 지도, 기술 이전, 학술지 발표 등을 적극적으로 실시하여 새로운 일자리를 창출하고 업무의 생산성을 향상시켜 기업의 부가 가치를 높이는데 적극 활용 할 수 있도록 할 계획임.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Study of Design Criteria and Specification for the Advancement of Tunnel Construction Technology

Ⅱ. Background and necessities

There are not any comprehensive and systematic studies for cross-analysis about tunnel design criteria & specifications between national and foreign countries. and korean tunnel design criteria & specifications were used to cause confusion because they are not consistent in accordance with different ordering organizations and maintain agencies

Korean tunnel design criteria & specifications are excessively detail compared to developed countries therefore they do not provide creative design opportunities. that is why they sometimes disturb technological development and give rise to adverse effects on tunnel construction

As the case stands this study tried to draw a inconsistency among tunnel design criteria & specifications, and suggest standardization methods. so that user can follow design criteria & specifications without any confusions and prevent waste of budget caused by excessive standard applications

Ⅲ. Overview and scope

(1) Utilization analysis of national-foreign tunnel design criteria & specifications

- Analysis of Enactment & Revision & Utilization of national-foreign tunnel design criteria & specifications

(2) Comparative analysis on contents of national-foreign tunnel design criteria & specifications

- Comparative analysis on inconsistency among national-foreign tunnel design criteria & specifications
- Comparative analysis on Omitted items among national-foreign tunnel design criteria & specifications

(3) Drawing problems of national tunnel design criteria & specifications
- Problem analysis on utilization of design criteria & specifications in the construction stage and designing
- Applicability Analysis of foreign tunnel design criteria & specifications
- Drawing problems and requirements of tunnel experts by surveys and public hearings

(4) Suggestion of standardization methods for design criteria & specifications
- Standardization methods about inconsistency and Omitted Items among tunnel design criteria & specifications
- Encoding method of design criteria & specifications

(5) Suggestion of drawing guidelines for design standardization
- Items for standardization(unity)
- Items for additional description
- Satisfaction evaluation for user by survey

(6) Suggestion of additional research and direction for advancement of tunnel construction technology
- Application method of BIM & IT based technology
- Application method of advance design criteria

Ⅳ. Results

This study drew a few of major problems as follows

(1) Overlap among the individual criteria & specifications and cause confusion

(2) Insufficiency of criteria about a green growth and connection with global standard

(3) Inefficiency of Operating Systems and design criteria Management

In order to solve these problems of design criteria & specifications, this study suggest development plans for future revisions

(1) Strengthening competitiveness by the advancement of management of tunnel design criteria & specifications

- Standardization for user
- Applications of advance international criteria

(2) Revision of tunnel design criteria & specifications for coincidence with global standards

- Encoding of design criteria
- A changeover from a prescribed design to a performance based design

Ⅴ. Application plan

If design criteria can customize by considering applicability of international criteria about disorganized items of korean criteria, advancement of tunnel construction technology will be possible and visible in near future.

Result of this study will be provided to revisions of design criteria & specifications. also, there will be expert training, technical consulting, academic publications to apply for value added improvement of company based on job creation & improvement of productivity.

CONTENTS

Chapter 1. Overview of project

1. Overview of study ·····27

2. Background and necessities of study ·····28

2.1 Background of study ·····28

2.2 Necessities of study ·····28

2.3 Research range ·····29

3. Objectives ·····29

3.1 Final purpose of study ·····29

3.2 Purpose by study year ·····29

4. Strategies and methods ·····31

4.1 Strategies of study ·····31

4.1.1 Propulsion system ·····31

4.1.2 Methodology ·····31

5. Expected outcomes and utilization plans ·····34

5.1 Expected outcome of study ·····34

5.2 Ripple effect of study ·····34

5.2.1 Conversion to mechanized construction ·····34

5.2.2 Methodology ·····36

5.3 Utilization plan of study ·····38

Chapter 2. Contents of study and results

1. Utilization analysis of national-foreign tunnel design criteria & specifications ·····39

1.1 National criteria & specifications ·····39
1.1.1 Overview ·····39
1.1.2 Types of construction criteria ·····39
1.1.3 Details of Enactment & Revision of tunnel specification ·····41
1.1.4 Details of Enactment & Revision of tunnel design criteria ·····42
1.1.5 Details of Enactment & Revision of subordinate criteria ·····42
1.2 Foreign criteria ·····45
1.2.1 Japan ·····45
1.2.2 USA ·····48
1.2.3 UK ·····49
1.2.4 Europe ·····51
1.2.5 Other developed country ·····52
2. Analysis of tunnel design criteria ·····53
2.1 Characteristic of national tunnel design criteria ·····53
2.1.1 Necessities of national tunnel design criteria analysis ·····53
2.1.2 Analysis of status of national design criteria ·····53
2.1.3 Technical trend & analysis of detail contents ·····61
2.1.4 Result of review ·····102
2.2 Characteristic of foreign tunnel specifications ·····103
2.2.1 Necessities of national tunnel specifications analysis ·····103
2.2.2 Analysis of status of national specifications ·····103
2.2.3 Technical trend & analysis of detail contents ·····107
2.2.4 Result of review ·····162
2.3 Analysis of foreign criteria ·····164
2.3.1 Overview ·····164
2.3.2 Japan ·····165
2.3.3 USA ·····185
2.3.4 UK ·····187
2.3.5 Germany ·····217
2.3.6 France ·····247

2.3.7 Austria ····254
2.3.8 Norway ····276
2.3.9 EFNARC ····286
2.4 Guidelines of tunnel prevention ····291
2.4.1 General conditions ····291
2.4.2 Contents of guidelines ····294
2.4.3 Analysis of detail contents ····310
2.4.4 Conclusion ····317
3. Advancement method of tunnel construction technology ····318
3.1 Concept establishment of advanced construction technology ····318
3.1.1 Basic concept ····318
3.1.2 Basic requirementt ····318
3.2 Strategy for advancement of tunnel construction technology ····319
3.2.1 Standardization and encoding ····320
3.2.2 Performance based design ····320
3.2.3 Globalization and opening ····321
3.3 Standardization and encoding of tunnel construction technology ····321
3.3.1 Introduction background ····321
3.3.2 Methodology of study ····321
3.3.3 Strategy of study ····322
3.3.4 Current state of standardization of foreign tunnel construction technology ····322
3.3.5 Standardization of writing and system of organization of tunnel construction technology ····324
3.4 Performance based tunnel design criteria ····326

3.4.1 Overview ·····326
3.4.2 Current state of national tunnel design criteria ·····330
3.4.3 Improvement direction of national tunnel design criteria ·····332
3.4.4 Current state of foreign performance based criteria ·····333
3.4.5 Guideline for performance based standardization of tunnel lining 343
3.4.6 Subdivision method of performance for performance based design of tunnel structure ·····358
3.4.7 Standardization method by analysis of foreign performance based design ·····362
3.4.8 Result ·····467
3.5 Grafting method of IT & BIM based future technology ·468
3.5.1 Overview ·····468
3.5.2 Current state of IT & BIM technology ·····470
3.5.3 Technology development effectiveness and utilization plan ·····472
3.5.4 Result ·····476
4. Survey ·····478
4.1 Overview ·····478
4.2 Result of 1st survey ·····478
4.2.1 Designing part ·····480
4.2.2 Construction and construction inspection part ·····491
4.3 Result of 2nd survey ·····499
4.3.1 Detail survey ·····501
4.4 Result ·····514
5. Result of study ·····516
5.1 Summary of analysis of national-foreign tunnel design criteria & specifications ·····516
5.1.1 Analysis and standardization method of national tunnel criteria ·516
5.1.2 Analysis and standardization method of national tunnel specification ·····516

5.1.3 Analysis of foreign criteria ·····517
5.1.4 Analysis and standardization method of guidelines of tunnel prevention ·····518
5.2 Summary of advancement method of tunnel construction technology ·····519
5.2.1 Standardization and encoding ·····519
5.2.2 Performance based design ·····519
5.2.3 Grafting method of IT & BIM based future technology ·····520
5.3 Summary of survey results ·····520
5.4 Last comment ·····521

Chapter 3. Achievement and utilization plan

1. Achievement rate ·····524
1.1 Progress records ·····524
1.1.1 1st year ·····524
1.1.2 2nd year ·····525
1.2 Achievement records ·····526
1.2.1 1st year ·····526
1.2.2 2nd year ·····526
2. Utilization plan ·····527

Appendix A. 1st surevy ·····528
Appendix B. 2nd survey ·····534
Appendix C. An official document of 2014' tunnel specification revision ·····539

Appendix D. An official document of consultant's meeting of korean tunneling and underground space association ·····540
Appendix E. review report(expert's survey) ·····544
Appendix F. foreign technical materials ·····585

Chapter 4. References

목 차

제1장 연구개발 과제의 개요

1. 연구개요 ·····27
2. 연구의 배경 및 필요성 ·····28
2.1 연구 배경 ·····28
2.2 연구의 필요성 ·····28
2.3 연구 범위 ·····29
3. 연구의 목표 ·····29
3.1 연구개발 최종 목표 ·····29
3.2 연차별 연구 목표 ·····29
4. 연구개발 추진전략 및 방법 ·····31
4.1 연구개발 추진전략 ·····31
4.1.1 연구개발 추진체계 ·····31
4.1.2 연구추진 방법 ·····31
5. 연구결과의 기대성과 및 활용방안 ·····34
5.1 연구결과의 기대성과 ·····34
5.2 연구결과의 파급효과 ·····34
5.2.1 터널 기계화시공 위주로의 전환 ·····34
5.2.2 터널설계와 IT의 융합에 대한 대비 ·····36
5.3 연구결과의 활용방안 ·····38

제2장 연구개발수행 내용 및 결과

1. 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석 ·····39

1.1 국내 기준 및 시방서 ·····39

1.1.1 개요 ·····39

1.1.2 건설공사기준의 종류 ·····39

1.1.3 터널표준시방서 제·개정 경위 ·····41

1.1.4 터널설계기준 제·개정 경위 ·····42

1.1.5 하위기술기준 제·개정 경위 ·····42

1.2 국외 기준 ·····45

1.2.1 일본 ·····45

1.2.2 미국 ·····48

1.2.3 영국 ·····49

1.2.4 유럽 ·····51

1.2.5 기타 주요 선진국 ·····52

2. 국내외 터널 건설기준의 특성 분석 ·····53

2.1 국내 터널 설계기준의 특성 ·····53

2.1.1 국내 설계기준 분석연구의 필요성 ·····53

2.1.2 국내 설계기준 위상도(tree) 분석 ·····53

2.1.3 국내 설계기준의 항목별 기술동향 및 세부내용 분석 ·····61

2.1.4 검토의견 ·····102

2.2 국내 터널시방서의 특성 ·····103

2.2.1 국내 시방기준 분석연구의 필요성 ·····103

2.2.2 국내 시방기준 위상도(tree) 분석 ·····103

2.2.3 국내 시방기준 내용 비교분석 ·····107

2.2.4 검토의견 ·····162
2.3 국외 각국의 터널시공 기준 특성 분석 ·····164
2.3.1 개 요 ·····164
2.3.2 일 본 ·····165
2.3.3 미 국 ·····185
2.3.4 영 국 ·····187
2.3.5 독 일 ·····217
2.3.6 프랑스 ·····247
2.3.7 오스트리아 ·····254
2.3.8 노르웨이 ·····276
2.3.9 EFNARC ·····286
2.4 국내외 터널 방재관련 가이드라인 표준화 방안 ·····291
2.4.1 일반 현황 ·····291
2.4.2 목차 분석 ·····294
2.4.3 내용 분석 ·····310
2.4.4 결 론 ·····317
3. 터널 건설기술의 선진화 방안 ·····318
3.1 선진화된 건설기준의 개념 정립 ·····318
3.1.1 기본 개념 ·····318
3.1.2 기본 요건 ·····318
3.2 터널 건설기준 선진화를 위한 추진 전략 ·····319
3.2.1 표준화 및 코드화 ·····319
3.2.2 성능 기반 설계 (Performance Based Design) ·····320
3.2.3 세계화 및 개방화 ·····320

3.3 터널 건설기준의 표준화 및 코드화 ·····321
3.3.1 도입 배경 ·····321
3.3.2 연구 추진 방법 ·····321
3.3.3 연구 추진 전략 ·····322
3.3.4 해외 터널 건설기준 표준화 현황 ·····322
3.3.5 터널 건설기준 구성체계 및 작성방법의 표준화 ·····324
3.4 성능기반 터널 건설기준 ·····326
3.4.1 개요 ·····326
3.4.2 국내 터널 건설기준의 현황 ·····330
3.4.3 국내 터널건설기준의 개선 방향 ·····332
3.4.4 해외 터널공사의 성능기준 현황 ·····333
3.4.5 터널 내부 라이닝의 성능기반 표준화 작성지침(예) ·····343
3.4.6 터널 구조물의 성능기반 설계에 요구되는 성능의 세분화 방안 (도로터널 예) ·····358
3.4.7 해외 성능중심 기술표준 분석을 통한 설계항목별 표준화(선진화) 방안 ·····362
3.4.8 결론 ·····467
3.5 IT 및 BIM 기반 미래기술 접목 방안 ·····468
3.5.1 개요 ·····468
3.5.2 IT 및 BIM 관련기술 현황 ·····470
3.5.3 기술 개발 효과 및 활용방안 ·····472
3.5.4 결론 ·····476
4. 설문조사 ·····478
4.1 개 요 ·····478

4.2 1차 설문조사 결과 ·····478
4.2.1 설계분야 ·····480
4.2.2 시공 및 감리분야 ·····491
4.3 2차 설문조사 결과 ·····499
4.3.1 세부설문 ·····501
4.4 결 론 ·····514
5. 연구수행 결과 ·····516
5.1 국내외 터널 설계 및 시방기준 분석결과 요약 ·····516
5.1.1 국내 터널설계기준의 특성분석 및 표준화 방안 ·····516
5.1.2 국내 터널시방서의 특성분석 및 표준화 방안 ·····516
5.1.3 국외 각국의 터널시공 기준 특성분석 ·····517
5.1.4 터널 방재관련 가이드라인 특성분석 및 표준화 방안 ·····518
5.2 터널 건설기준 선진화 방안 연구 결과 요약 ·····519
5.2.1 표준화 및 코드화 ·····519
5.2.2 성능중심 설계 표준화 ·····519
5.2.3 IT 및 BIM 기반 미래기술 접목 ·····520
5.3 설문조사 결과 요약 ·····520
5.4 결언 ·····521

제3장 연구 목표 달성도 분석 및 연구결과 활용계획

1. 연구목표의 달성도 ·····524
1.1 연구개발 수행 진도율 ·····524
1.1.1 1차년도 ·····524
1.1.2 2차년도 ·····525

1.2 연구개발 목표의 달성도 ·····526
1.2.1 1차년도 ·····526
1.2.2 2차년도 ·····526
2. 연구성과의 활용계획 ·····527

부록 A. 1차년도 설문조사 ·····528
부록 B. 2차년도 설문조사 ·····534
부록 C. “2014년 터널표준시방서 개정 의견 조회 및 제출 협조” 공문 ·····539
부록 D. 한국터널지하공간학회 내부자문회의 관련 공문 ·····540
부록 E. 연구보고서 검토의견서(전문가 설문조사) ··544
부록 F. 연구에 활용된 해외기술자료 ·····585
1. 일본 ·····585
2. 미국 ·····588
3. EFNARC ·····590
4. 영국 ·····591
5. 독일 ·····593
6. 프랑스 ·····609
7. 오스트리아 ·····623
8. 노르웨이 ·····626
9. 방재관련 가이드 라인 ·····631

10. 스위스 ·····639
11. 호주 ·····641

제4장 참고문헌

1. 국내자료 ·····643
2. 국외자료 ·····644

표목차

【표 1.1】 연차별 연구목표 및 내용 ·····30
【표 1.2】 도심지 교통터널에서의 TBM 적용비율(건설경제 2009. 10. 13) ·····35
【표 1.3】 세계 주요 TBM 제작사 현황 ·····36
【표 2.1】 국내 터널 설계기준 및 시방서 종류 ·····44
【표 2.2】 일본터널표준시방서 개정을 위한 조사 회답수(2000년) ·····45
【표 2.3】 설문조사 주요의견 ·····46
【표 2.4】 미국 연방도로청(FHWA)의 터널관련 도서 ·····48
【표 2.5】 Specification for tunnelling의 주요 내용 ·····50
【표 2.6】 FIT 프로젝트에서 제시한 설계자료 및 지침 ·····51
【표 2.7】 EFNARC에서 제시하고 있는 기준, 지침 및 시방 ·····51
【표 2.19】 국외 기준 및 시방서 검토 대상(15건) ·····164
【표 2.20】 일본터널표준시방서 활용현황(2010년 설문조사 결과) ·····165
【표 2.21】 일본 터널표준시방서의 제 · 개정 연혁 ·····166
【표 2.22】 터널표준시방서 산악공법편의 2006년 주요 개정내용 ·····167
【표 2.23】 터널표준시방서 쉴드공법편의 2006년 주요 개정내용 ·····168
【표 2.24】 터널표준시방서 개착공법편의 2006년 주요 개정내용 ·····169
【표 2.25】 터널표준시방서 · 동해설(산악공법) 목차구성 ·····170
【표 2.26】 터널표준시방서 · 동해설(쉴드공법) 목차구성 ·····171
【표 2.27】 터널표준시방서 · 동해설(개착공법) 목차구성 ·····172
【표 2.28】 일본 터널표준시방서(산악공법)와 국내 도서 비교 ·····173
【표 2.28】 일본 터널표준시방서(산악공법)와 국내 도서 비교(계속) ·····174
【표 2.29】 일본 터널표준시방서(쉴드공법)와 국내 도서 비교 ·····175
【표 2.29】 일본 터널표준시방서(쉴드공법)와 국내 도서 비교(계속) ·····176
【표 2.30】 일본 터널표준시방서의 목차 구성 ·····177
【표 2.31】 일본 산악공법편 내용 기술의 상세수준 및 국내도서 비교 ·····178
【표 2.31】 일본 산악공법편 내용 기술의 상세수준 및 국내도서 비교(계속) ····179
【표 2.31】 일본 산악공법편 내용 기술의 상세수준 및 국내도서 비교(계속) ····180
【표 2.32】 일본 쉴드공법편 내용 기술의 상세수준 ·····181
【표 2.32】 일본 쉴드공법편 내용 기술의 상세수준(계속) ·····182
【표 2.33】 일본 개착공법편 내용 기술의 상세수준 ·····183
【표 2.34】 Specification for Tunnelling 목차 분석 ·····193

【표 2.35】 영국 Specification for Tunnelling의 기술 상세 수준 ·····209
【표 2.36】 SGI 세그먼트 허용오차 ·····212
【표 2.37】 첨가물의 최대 허용 수준 (결합재의 중량에 따른) ·····213
【표 2.38】 권장 골재 변화 영역 ·····214
【표 2.39】 숏크리트 초기 강도 발생 ·····214
【표 2.40】 시트 방수 맴브레인의 성능 요구 사항 ·····215
【표 2.41】 DAUB 의 16가지 권고사항 ·····218
【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항 ·····248
【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항(계속) ·····249
【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항(계속) ·····250
【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항(계속) ·····251
【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항(계속) ·····252
【표 2.43】 오스트리아 터널관련 기준서 ·····254
【표 2.43】 오스트리아 터널관련 기준서(계속) ·····255
【표 2.44】 노르웨이 NPRA 도로터널 핸드북(2010)과 도로터널 표준(2004)의 비교 분석 ·····277
【표 2.45】 노르웨이 NPRA ‘터널의 유출수와 동상방지 핸드북(2006)’ ·····283
【표 2.46】 노르웨이 NPRA ‘도로터널의 안전관리(2007)’ ·····285
【표 2.47】 원형 연약지반 터널의 한계변형비 추천치 ·····328
【표 2.48】 성능기반 터널설계 기준 ·····329
【표 2.49】 기존 터널설계기준 현황 ·····331
【표 2.50】 평가지표 ·····338
【표 2.51】 터널 라이닝의 성능 설계조건 ·····344
【표 2.52】 터널 라이닝의 내구성에 영향을 미치는 주요 인자 ·····348
【표 2.53】 도로터널의 성능 세분화 ·····360
【표 2.54】 터널의 방수 등급별 허용누수량 ·····367
【표 2.55】 그라우팅 기준 비교 ·····375
【표 2.56】 발파 기준 비교 ·····379
【표 2.57】 유럽 주요국가의 터널내 비상주차대 설치 기준 ·····385
【표 2.58】 갱문 기준 비교 ·····388
【표 2.59】 지보재 관련 설계기준 목차 ·····391
【표 2.60】 영국, 미국, 일본의 지보재 기준 ·····394
【표 2.61】 영국과 국내 지보재 기준 비교 ·····395

【표 2.62】 일본 기준과의 비교 ·····405
【표 2.63】 노르웨이 기준과의 비교 ·····409
【표 2.64】 라이닝 하중에 관한 기준별 항목 ·····417
【표 2.65】 기준별 라이닝 설계하중 ·····417
【표 2.66】 해외 기준과의 비교 ·····421
【표 2.67】 생활·진동 규제기준(소음・진동 규제법 (제20조 3항 관련) ·····425
【표 2.68】 건설・생활 소음 규제기준 ·····426
【표 2.69】 터널설계기준(2007), 철도기준(2011), 터널표준시방서(2009, 국토교통부) ·····428
【표 2.70】 한국도로공사 시방서(2009) ·····428
【표 2.71】 국내 공공기관의 발파진동 규제기준 ·····429
【표 2.72】 진동피해 인과관계 검토 기준(안) (그룹 II의 경우) ·····430
【표 2.73】 진동원, 진동경로 및 건축물의 상태에 따른 구분 ·····430
【표 2.74】 DIN 4150 (1970년) ·····431
【표 2.75】 1986년 개정본 DIN 4150 - part3(short-term structual vibration) ·····431
【표 2.76】 특정 건설작업의 진동권고기준(일본) ·····432
【표 2.77】 USBM 발파 피해수준에 대한 기준 ·····433
【표 2.78】 국외 소음기준 ·····434
【표 2.79】 간헐성소음의 시간발생률에 의한 보정 ·····435
【표 2.80】 국내와 국외 조명기준 비교 ·····437
【표 2.81】 FIT과 국내기준의 목차분석(환기) ·····443
【표 2.82】 FIT과 국내기준의 목차분석(방재) ·····445
【표 2.83】 해외 기준과의 비교 ·····451
【표 2.84】 노르웨이 포장기준과의 비교 ·····453
【표 2.85】 경사갱에 대한 해외기준과의 비교 ·····459
【표 2.86】 해외 관련기술 현황 ·····471
【표 2.87】 설문조사의 주요 내용 ·····478
【표 2.88】 설문조사 회답수 ·····479
【표 2.89】 공통분야 설문조사 결과 ·····479
【표 2.90】 설계분야 답변 1 ·····481
【표 2.91】 설계분야 답변 2 ·····482
【표 2.92】 설계분야 답변 3 ·····482

【표 2.93】 설계분야 답변 4 ·····483
【표 2.94】 설계분야 답변 5 ·····483
【표 2.95】 설계분야 답변 6 ·····484
【표 2.96】 시공·감리분야 답변 1 ·····492
【표 2.97】 시공·감리분야 답변 2 ·····492
【표 2.98】 시공·감리분야 답변 3 ·····493
【표 2.99】 시공·감리분야 답변 4 ·····494
【표 2.100】 시공·감리분야 답변 5 ·····494
【표 2.101】 시공·감리분야 답변 6 ·····495
【표 2.102】 설문조사의 주요 내용 ·····499
【표 2.103】 설문조사 회답수 ·····500
【표 2.104】 공통분야 설문조사 결과 ·····500
【표 2.105】 객관식 답변 1 ·····502
【표 2.106】 객관식 답변 2 ·····503
【표 2.107】 객관식 답변 3 ·····504
【표 2.108】 객관식 답변 4 ·····505
【표 2.109】 객관식 답변 5 ·····506
【표 2.110】 객관식 답변 6 ·····507
【표 2.111】 객관식 답변 7 ·····507
【표 2.112】 객관식 답변 8 ·····508
【표 2.113】 객관식 답변 9 ·····509
【표 2.114】 객관식 답변 10 ·····509
【표 2.115】 객관식 답변 11 ·····510
【표 2.116】 객관식 답변 12 ·····511
【표 2.117】 객관식 답변 13 ·····511

그림목차

【그림 1.1】 터널관련 기준 및 시방서 문제점 ·····28
【그림 1.2】 터널 기준 및 시방서 세목별 표준화 발전 방향 ·····32
【그림 1.3】 터널 기준 및 시방서 표준화 연구개발 내용 ·····32
【그림 1.4】 연구개발 로드맵 ·····33
【그림 2.1】 건설기술관리법 시행규칙 제14조(설계도서의 작성, 1997) ·····39
【그림 2.2】 터널표준시방서 관리 체계 ·····165
【그림 2.3】 리스크 관리 ·····336

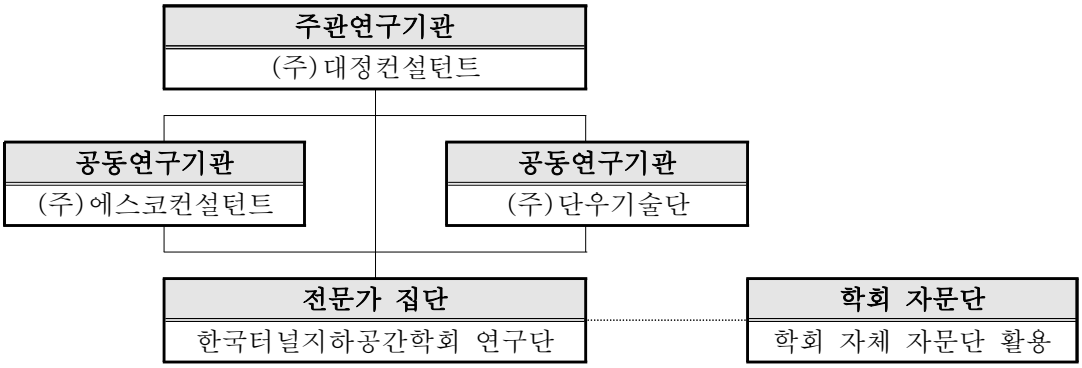
제1장 연구개발 과제의 개요

1. 연구개요

(1) 연구과제명 : 터널 건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석 연구

(2) 연구기간 : 2011. 9. 30 ~ 2013. 7. 29 (1년 10개월)

(3) 연구조직



(4) 연구 추진 일정

연차	연구목표	연구내용	추진일정(월) 9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
1차년도	국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황분석	자료조사	■	■	■								
		분류				■	■	■					
		비교분석							■	■	■	■	■
	국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석	자료조사	■	■	■								
		분류				■	■	■					
		비교분석							■	■	■	■	■
	국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출	자료조사	■	■	■								
		분류				■	■	■					
		비교분석							■	■	■	■	■
2차년도	국내 설계기준 및 시방서의 표준화 방안 제안	코드설계방안	■	■	■	■	■						
		공법별 세분화 방안						■	■	■	■	■	■
	설계 표준화를 위한 작성지침 제시	표준화 항목 제시	■	■	■	■							
		추가 필요항목 제시					■	■					
		항목의 작성지침 제시							■	■	■	■	■
	건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시	미래기술 접목방안	■	■	■								
		설계기준 발전방향				■	■	■	■	■			
		시방서 발전방향									■	■	■

2. 연구의 배경 및 필요성

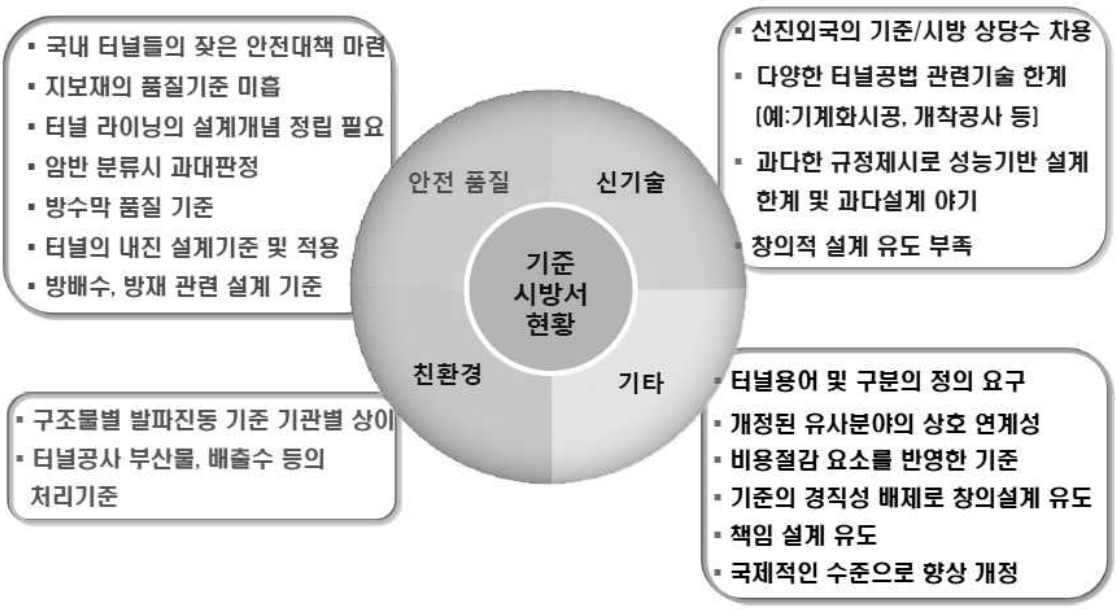
2.1 연구 배경

국내 터널관련 설계기준, 시방서 등에 대한 상호분석 혹은 국내외 관련 기준 간 상호분석에 대한 종합적이고 체계적인 표준화 연구가 전무한 실정이며, 국내 터널관련 설계기준, 시방서 등은 발주기관 및 유지관리기관(국토교통부, 한국도로공사, 한국철도시설공단 등)에 따라 기준이 상이하여 혼란을 초래하는 경우가 빈번하다. 선진외국에 비해 지나치게 세밀하여 기술자의 창조적인 설계기회를 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.

2.2 연구의 필요성

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 관계기관 간 혼란 방지 및 과도한 기준적용에 따른 예산낭비를 지양하고자 한다.



【그림 1.1】 터널관련 기준 및 시방서 문제점

2.3 연구 범위

터널 건설기술의 선진화를 위해서는 발주기관인 정부나 지자체의 발주방식, 공사관리, 유지관리 등도 개선해야 할 분야들도 많이 있느나, 본 연구에서는 터널의 설계와 시방에 관한 기준에 국한하여 선진화 방안을 찾고자 한다. 따라서 연구범위는 국토교통부에서 제정한 터널설계기준과 터널 표준시방서를 주 대상으로 할 것이며, 국내 터널 유관기관인 한국도로공사와 한국철도시설공단의 터널설계기준과 터널전문시방서도 참고적으로 검토할 것이다,

3. 연구의 목표

3.1 연구개발 최종 목표

본 연구는 국내 터널 건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구의 일환으로 국내외 터널관련 설계기준, 시방서, 지침 등의 비교분석을 통해 국내 터널관련 기준의 선진화를 위한 향후 단계별 표준화 개정방향 제시로 국내 터널관련 설계기준, 시방서, 지침의 선진화된 체계를 마련하고자 한다. 이에 발주기관 및 유지관리기관별로 분산되어 있는 기준 및 시방서의 상호 불일치 내용을 분석하고 터널기술 발전과제를 도출하여 기술개발의 방향을 설정하고자 한다.

3.2 연차별 연구목표

【표 1.1】 연차별 연구목표 및 내용

연차	연구목표	주요 연구내용
1차 년도	■ 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석	■ 국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석 ■ 국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석
	■ 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석	■ 국내외 설계기준, 시방서, 지침 간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증 ■ 관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석
	■ 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출	■ 설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석 ■ 국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석
2차 년도	■ 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안	■ 설계의 CODE화 방안 ■ 공법별 세분화 방안
	■ 설계 표준화를 위한 작성지침 제시	■ 표준화(통일)가 필요한 항목 제시 ■ 추가 기술이 필요한 항목 제시
	■ 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시	■ IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안 ■ 선진 설계기준 적용방향 제시

4. 연구개발 추진전략 및 방법

4.1 연구개발 추진전략

4.1.1 연구개발 추진체계

구 분	주관연구기관	공동연구기관	전문가집단
	(주)대정컨설턴트	(주)에스코컨설턴트 (주)단우기술단	한국터널지하공간학회 전문가
1차년도 (11~12)	■국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출	■국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석	■국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석
2차년도 (12~13)	■향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시	■국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안	■설계표준화를 위한 작성지침 제시

4.1.2 연구추진 방법

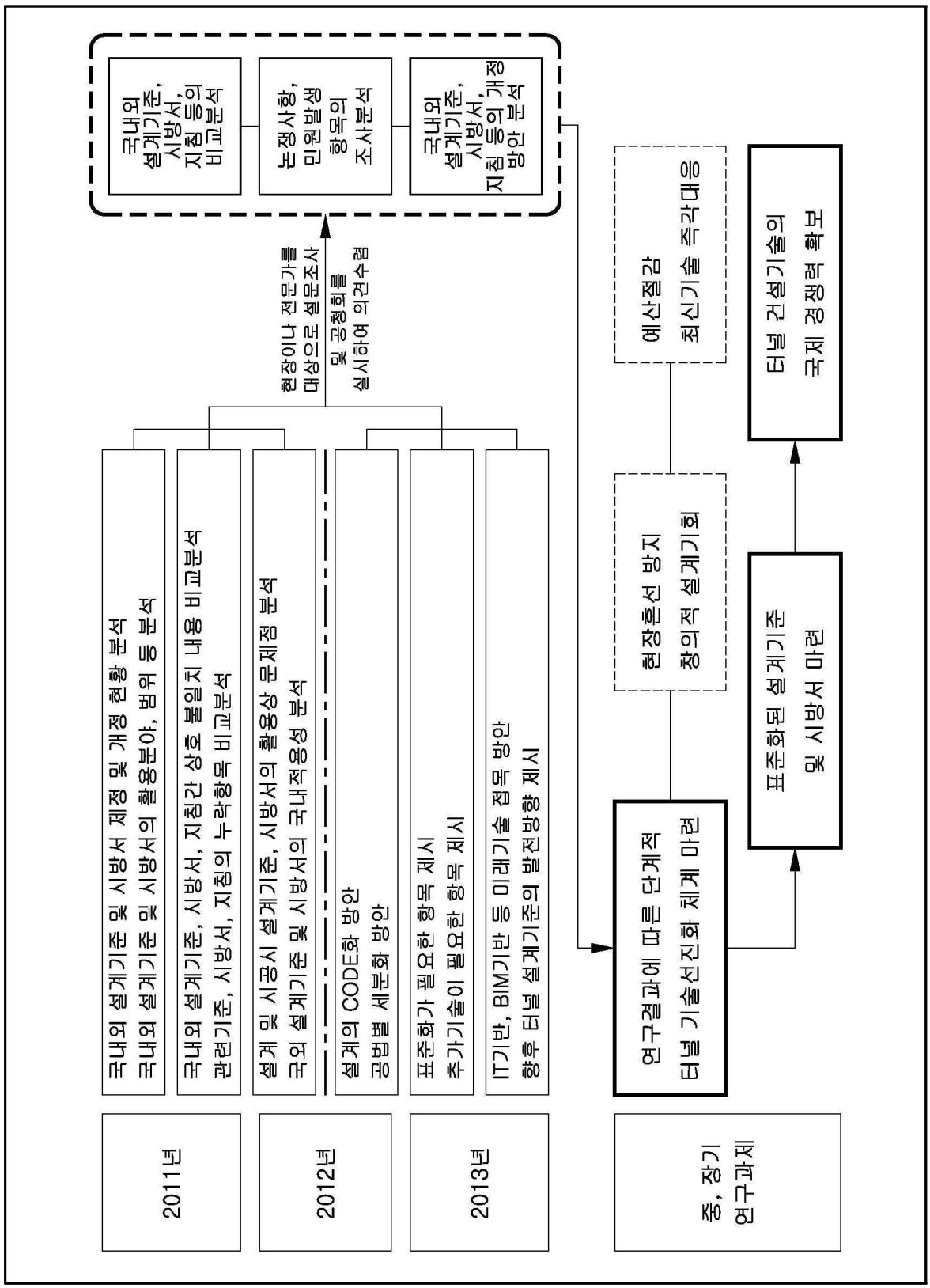
연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간
1차년도	■국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석	■국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석 ■국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석	44주
	■국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석	■국내외 설계기준, 시방서, 지침 간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증 ■관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석 ■전문가 설문조사를 통한 의견 수렴	44주
	■국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출	■설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석 ■국외 설계기준 및 시방서의 국내 적용성 분석 ■설문조사 및 공청회를 통한 터널건설 현장의 전문가 요구사항 및 문제점 도출	44주
2차년도	■국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안	■설계의 CODE화 방안 ■공법별 세분화 방안	52주
	■설계 표준화를 위한 작성지침 제시	■표준화(통일)가 필요한 항목 제시 ■추가 기술이 필요한 항목 제시 ■설문조사를 통한 수요자 만족도 평가	52주
	■향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시	■IT 및 BIM 기반, 미래기술의 접목방안 ■선진 설계기준의 적용방향 제시 ■전문가 설문조사를 통한 기술수준 향상 정도 평가	52주



【그림 1.2】 터널 기준 및 시방서 세목별 표준화 발전 방향

상호 불일치 및 누락항목 분석	● 국내설계기준, 시방서, 지침 비교분석 ● 상호 불일치 항목 도출 ● 누락항목 도출
기준 및 시방서 표준화 제안	● 수정 및 보완이 필요한 항목에 대한 향후 개정방향 제시 – 표준화 및 추가 필요 항목 ● 터널 공법별 세분화 및 설계의 Code화 방안 제시
선진화 및 국제화 추진방안 제안	● 국외기준과의 비교분석을 통한 도입필요항목 도출 ● 국제화를 위한 개정방안 제시 ● 선진화를 위한 R&D 과제 제시

【그림 1.3】 터널 기준 및 시방서 표준화 연구개발 내용



【그림 1.4】 연구개발 로드맵

5. 연구결과의 기대성과 및 활용방안

5.1 연구결과의 기대성과

본 연구는 기존의 국내 설계기준과 시방서의 내용을 단순히 비교 분석하는 것이 아니라 앞으로 우리나라 터널 기술이 나아가야 할 방향을 제시하는 방향타의 역할을 할 수 있을 것으로 예상된다.

앞으로의 터널 기술은 녹색성장의 기반 하에 친환경적인 건설기술이 되도록 유도하는 것이 주요한 과제로 인식되어 탄소배출량이 많은 재래식 발파공법 위주의 설계기준을 기계화 시공 위주의 설계기준으로 전환하는 것이 필요하고, 국내의 IT 선도 기술을 터널설계와 시공에 접목할 수 있는 BIM 기반 3D 설계기법을 적용할 수 있는 근거를 제시하여 국내 터널 기술력 제고를 통한 국제적인 경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

이를 위해서는 향후에도 대구경 터널 굴착을 위한 TBM 기술과 IT융합기술의 개발 연구에 대한 지속적인 투자와 지원이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

나아가 국내 기준에서 취약하거나 정립되지 않은 항목에 대해 국내 적용성을 검토하여 국내 여건에 맞는 기준이 확립된다면 선진화된 터널건설기술 확보가 가능할 것으로 판단된다.

5.2 연구결과의 파급효과

5.2.1 터널 기계화시공 위주로의 전환

2007년 국토교통부에서 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 대비가 시급한 실정이다.

터널건설에 있어서 주요 선진국은 이미 NATM에서 TBM으로 전환 된지 오래 되었고 NATM의 적용비율은 50%를 넘지 않고 있으며 이웃나라인 중국의 경우에도 TBM공법으로의 전환이 급속하게 이루어지고 있다. 반면 국내 터널의 기계화 시공 적용비율은 2% 미만으로 OECD 회원국 중 최저 비율을 차지하고 있으며, 지난 20년간 직경 7m이상의 대구경 교통터널에의 적용비율은 0.7%에 불과한 실정이다.

【표 1.2】 도심지 교통터널에서의 TBM 적용비율(건설경제 2009. 10. 13)

국가	유럽	일본	미국	중국	대만	한국
TBM적용비율(%)	80	60	50	40	30	<1

현재 터널설계기준은 총 14장으로 구성되어 있는데 총칙과 조사편을 제외한 대부분이 NATM에 관한 사항이고 제13장 한 장만이 TBM에 대하여 기술하고 있으나 여기에 기술된 TBM역시 국내 기계화시공 초기에 도입된 저가의 중고 TBM에 기초하여 작성된 것이기 때문에 최근의 선진화된 고성능 TBM의 설계에는 도움이 되지 못하고 있다. 따라서 현재 NATM 위주로 작성된 터널설계기준은 TBM으로의 전환이 시급히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

1) 기술적 파급효과

터널의 공법선정, 커터선정, 커터헤드의 면판설계, 굴진율 예측모델을 통한 적정공기 예측에 의한 공사비 산정 등 합리적인 터널 기계화 설계가 가능해 지면 보다 경제적이고 안전하며 환경 친화적인 TBM 굴착공법의 확산이 이루어질 것으로 판단된다.

산악지형이 발달하여 대심도 장대터널의 수요가 많은 국내 실정을 감안해 볼 때 앞으로 3km 이상의 교통터널은 TBM으로 시공하는 것이 경제적일 것으로 분석되어 TBM 설계 및 시공의 수요가 증가할 것으로 판단된다.

2) 사회경제적 파급효과

우리나라는 조선, 기계, 건설장비 등 중공업 분야에 있어서 기술적으로 선진국에 해당하며 수요만 충분하다면 언제나 TBM 장비 제작이 이루어질 수 있을 것으로 보이나 현재는 수요가 불충분하여 제작에 참여하고 있지 않은 실정이다.

세계적으로 대구경 교통터널의 증가로 30년 전 3~4개 회사에 불과하던 TBM 제작사는 2010년 기준으로 14개 업체로 증가하였으며, 이웃한 중국의 경우 향후 20년 이내에 2만여 개의 장대터널을 TBM으로 굴착할 계획을 수립하고 있으며 2개의 TBM 제작사를 보유하고 있다.

【표 1.3】 세계 주요 TBM 제작사 현황

국가	업체 명	설립연도, 현황
독일	HERRENKNECHT	1975, 세계 50% 점유
	WIRTH	1895, 1967년부터 제작
미국	ROBBINS	1952, 경암용 최초 제작
	AKKERMAN	1973, 소형 장비 전문사
캐나다	LOVAT	1972, 대구경 장비 제작
이탈리아	SELI	1950, 1992년부터 제작
호주	TERRATEC	1990, RBM 전문 제작사
중국	NFM(NHI)	1988, Mitsubishi 기술지원
	SHANGHAI TEC	1990, 상하이 지하철 적용
일본	KAWASAKI	1878, 영불해저터널 적용
	MITSUBISHI	1934, 1700여대 제작
	HITACHI	1881, 1967년부터 제작
	KOMATSU	1921, 1963년부터 제작
	OKUMURA	1907, 중저가 제작 및 시공
7개국	14개사	

3) 전략적 파급효과

향후 발주되는 터널이 TBM으로 계획된다면 국내에도 TBM 제작사가 생겨나 보다 경제적이고 효율적인 장비 공급이 이루어져 설계 및 시공에 있어 경쟁력 확보가 가능할 것이고, 해외시장에 계획된 수천 개의 대구경 교통터널 시장에도 적극 참여할 수 있는 길이 열리게 될 것으로 판단된다.

5.1.2 터널설계와 IT의 융합에 대한 대비

기존의 터널 설계는 2차원적인 도면작성에 기초하였으나, 이미 현재의 컴퓨팅 환경은 3D의 강력한 기능 중에 하나인 그래픽컬한 영상과 모델링 및 랜더링의 기술이 갖추어져

있기 때문에 향후 터널설계는 IT기술과의 접목이 불가피할 것으로 판단된다. 국내의 건설분야 IT접목 실적은 아직 미비한 실정이지만 이미 건축설계에서는 BIM기반의 설계를 요구하고 있기 때문에 토목의 터널분야에서도 향후 수년이내에 BIM기반의 터널설계가 필요할 것으로 예상된다.

싱가포르 지하철 공사의 입찰 견적 시에도 이미 BIM 기반의 설계를 요구하고 있는데 이는 이미 세계적인 추세로 국내의 터널 설계도 하루 빨리 IT가 융합된 설계로 나아가지 못하면 국제 경쟁력에서 뒤떨어질 수밖에 없을 것으로 판단된다. 앞으로의 터널 공사는 이제까지의 방법대로 2차원적인 평면도나 측면도를 들고 다니면서 시공하는 시대가 아니라 3차원의 리얼리티한 가상공간을 현장에서 휴대하는 스마트 단말기를 통해서 직접 보면서 시공할 수 있고 사무실에서 감독할 수 있는 시스템이 적용되는 시대가 도래 할 것이다. 이러한 IT기반의 터널 설계를 하기 위해서는 기존의 2D에 기초한 제한적인 설계기준들이 3D로의 전환에 발목을 잡지 않도록 기준 및 시방에 대한 사전 준비가 필요할 것으로 판단된다.

1) 기술적 파급효과

기존의 터널설계기준은 목적 구조물을 어떻게 형상화 시킬 것인가에 초점이 맞추어져 있었지만 향후의 터널 설계기준은 BIM을 통한 3D객체모델을 활용하여 안전한 시공관리와 경제적인 공정관리, 그리고 향후 유지관리까지 연계할 수 있는 터널 설계가 이루어지도록 하여야 할 것이다.

터널 설계의 IT기술과의 융합으로 인해 첫째, 터널구조물을 3D로 모델링하면 구조물간 간섭과 공정 불일치를 사전에 파악할 수 있으므로 설계오류를 조기에 찾아내서 공사의 재시공방지에 기여할 것이다. 둘째, 현장의 많은 정보들을 효율적으로 관리하고 통합할 수 있는 데이터베이스의 구축 및 이를 기반으로 하는 프로젝트 의사 결정 시스템 구축을 위한 데이터 마이닝 기술을 적용함으로써 건설관련 데이터베이스 기술 확보가 가능할 것이다.

2) 사회경제적 파급효과

터널설계와 시공의 프로세스 융합 프로그램의 적용으로 현장 기술자의 작업준비 소홀로 인한 선행 작업의 지연, 품질검사 지연 등의 문제를 해결하여 근로시간 손실을 방지함으로써 공기단축 및 비용절감 효과를 기대할 수 있다.

3) 전략적 파급효과

선진국 수준에 와 있는 국내 IT 정보화 분야를 터널현장에 접목시킬 수 있는 기술을 적용함으로써 노동 집약적인 터널시공을 기술 집약적인 기술로 전환하여 국내 자원의 적극적 활용과 국제 경쟁력 향상을 도모할 수 있다.

5.3 연구결과의 활용 방안

본 연구는 국내의 모든 건설관련 설계기준과 시방기준이 제정이래 한번도 실행해 보지 못하고 현재까지 미루어 왔던 표준화, 코드화, 성능중심 기준의 틀을 도입하여 선진국의 건설기준과 동일한 수준의 틀을 갖추기 위한 제반 문제점과 개선방향을 제시하였기 때문에 향후 터널분야의 설계기준과 시방기준의 선진화를 위한 기초자료로 활용될 뿐만 아니라 여타 국내의 건설관련 기준을 개정하는데 초석으로 활용될 것으로 기대한다.

제2장 연구개발수행 내용 및 결과

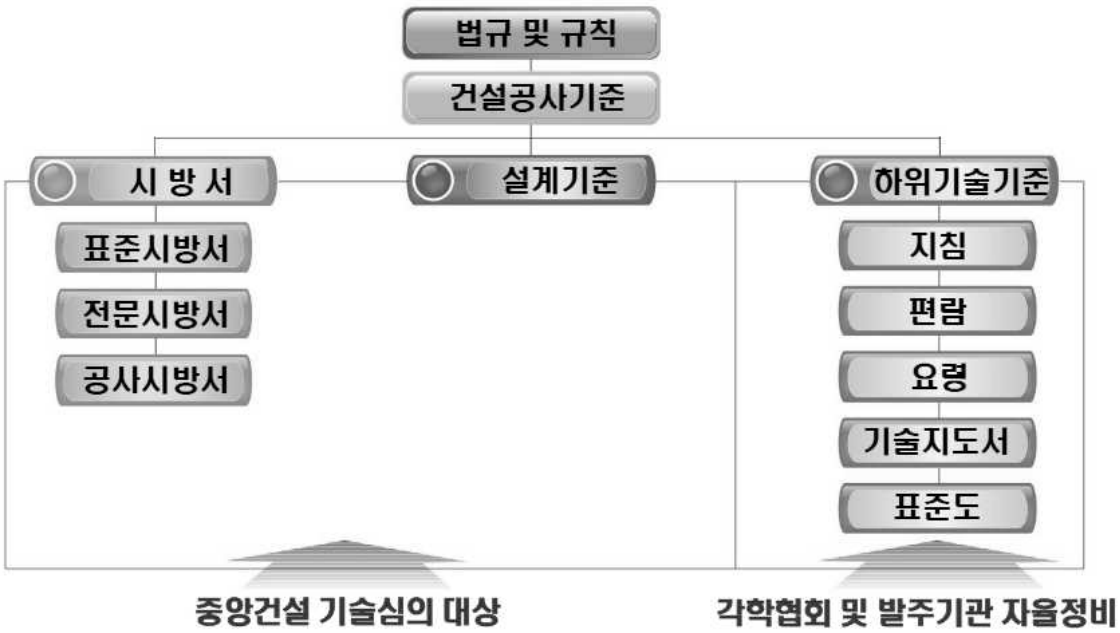
1. 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석

국내 설계기준, 국내 시방서, 그리고 국외의 설계기준 및 시방서의 3가지 범주로 활용현황을 분석하였다.

1.1 국내 기준 및 시방서

1.1.1 개요

건설공사기준은 중앙건설기술 심의대상인 시방서(표준시방서, 전문시방서, 공사시방서)와 설계기준이 있고, 학 협회 및 발주기관 자율정비에 의해 작성되는 하위기술기준(지침, 편람, 요령, 기술지도서, 표준도 등)이 있다. 이 중국토교통부에서 규정하고 있는 「터널설계기준」이 실질적인 상위법에 해당한다고 할 수 있으며, 설계기준에 언급하지 않은 내용에 대해서는 하위기술기준을 적용하고 있다.



【그림 2.1】 건설기술관리법 시행규칙 제14조(설계도서의 작성, 1997)

1.1.2 건설공사기준의 종류

1) 시방서

시방서는 발주자가 계약에 의해서 납품업자로부터 물품을 납품받거나, 설계용역업자, 시공업자 또는 전문가로부터 용역을 제공받을 때 그 범위와 내용, 방법, 이행사항 등을

서면으로 기술하여 계약내용에 대한 기술적 요건을 규정한 계약문서를 의미한다.

- 표준시방서 : 시설물의 안전 및 공사시행의 적정성과 품질확보 등을 위하여 시설별로 정한 표준적인 시공기준으로서 발주청 또는 설계 등 용역업자가 공사시방서를 작성하는 경우에 활용하기 위한 시공기준
- 전문시방서 : 시설물별 표준시방서를 기본으로 모든 공종을 대상으로 하여 특정한 공사의 시공 또는 공사시방서의 작성에 활용하기 위한 종합적인 시공기준
- 공사시방서 : 공사별로 건설공사 수행을 위한 기준으로서 계약문서의 일부가 되며, 설계도면에 표시하기 곤란하거나 불편한 내용과 당해 공사의 수행을 위한 재료, 공법, 품질시험 및 검사 등 품질관리, 안전관리계획 등에 관한 사항을 기술하고, 당해 공사의 특수성, 지역여건, 공사방법 등을 고려하여 공사별, 공종별로 정하여 시행하는 시공기준

2) 설계기준

시설물별로 설계자가 설계업무를 수행하는데 있어 시설물이나 작업에 대해 품질, 강도, 안전, 성능 등을 유지하기 위한 설계조건의 최저 한계를 규정한 기준으로 건설 관련 법, 령 또는 규칙에 근거한 기준과 이에 준하는 기준을 의미함

3) 지 침

편람과 설계기준의 중간적 성격을 띠고 있으며, 시방서 상에서 기술하기 곤란한 사항에 대해 특별히 분야별로 시공 방법 및 유지관리에 관한 상세한 기술적 기준을 요소별로 정의하여 방침을 정하는 것을 의미함

4) 편 람

계획, 조사, 설계, 시공, 유지관리 단계에서 나열할 사항이 많으며 특별한 작업과 관련되지 않아 시방서 및 설계기준에 기술하기 곤란한 사항, 기술자가 효율적인 업무 수행을 위하여 필요한 사항들을 관련 기술자들이 실무에 쉽게 적용하도록 만든 것을 말하는 것으로 편람 자체적으로는 법률상이나 계약상의 강제는 없으나, 공사 시방서 상에서 공종별로 적용 기준으로 인용되는 경우, 계약상 강제력이 발생함

5) 기술지도서

기술 및 창의력의 향상을 위하여 새로운 설계기법 및 시험방법, 신개발 자재 등을 현장 실무자에게 활용할 수 있도록 제기된 것을 의미함.

6) 요 령

설계 및 시공의 재료 시험 방법 등에 대하여 현장 기술자가 능률적으로 업무를 수행할 수 있도록 시방서나 규격의 범위를 쉽게 풀이한 것을 의미함

그 밖에 국내 건설관련 법규와 관련하여 터널건설만을 전제하는 법규는 별도로 존재하지 않고, 도로 및 철도 기능을 충족시켜야 하는 선행조건이 수반되어야 한다. 도로와 관련된 법규인 도로법 제37조(도로의 구조·시설 등)에서는 “도로의 구조 및 시설, 도로의 유지·안전점검 및 보수는 국토교통부령으로 정하는 기준에 따른다”로 규정하고 있으며, 도로의 구분에 따라 고속국도법 제4조(도로구조의 기준)와 유료도로법 제2장(유료도로의 신설 또는 개축) 등을 따라 터널건설이 이루어지고 있다.

1.1.3 터널표준시방서 제·개정 경위

터널공사 표준시방서는 1975년 일본 시방서의 내용을 준용하여 처음으로 제정되었다. 제정 후 10년이 지난 1985년에 1차 개정작업이 이루어 졌는데, 개정이유는 건설기술의 선진화가 요구되고 터널공사에 대한 신공법의 개발, 신장비의 도입 등 터널기술의 발전 및 성장을 들 수 있다.

1차 개정된 시방서는 다시 10여 년 동안 사용되어 오다가 1996년 2차 개정이 단행되고, 명칭을 터널공사 표준시방서에서 「터널표준시방서」로 변경하였으며, 부록에 수록되었던 NATM의 설계·시공지침을 시방서의 본문으로 편입하였다. 이후 3차 개정은 1999년 이루어졌으며 주 개정내용은 터널표준시방서로부터 설계기준에 대한 내용을 분리하여 터널설계기준을 별도 제정하고 터널표준시방서에는 터널공사에 관련된 사항만 취급하도록 하였다.

3차 개정이후 제·개정된 각종 관련법, 기준, 지침과의 연계성을 확보하고, 다양한 설계 및 시공법, 신 재료, 관련 장비의 개발로 국내 터널기술 수준에 맞는 터널표준시방서 개선이 시급하여 2009년 제4차 개정이 이루어졌다. 주요 개정내용으로는 터널구조물 안전성 제고를 위한 보완, 터널신공법 및 신자재의 국내 적용을 위한 시방조항 신설 및 보완, 터널구조물의 품질향상을 위한 규격검사기준 보완, 기계화시공법의 국제 분류 추이 및 기계의 고성능화에 따른 기준 보완 등이 있었으며, 유지관리 및 보수와 보강 관련 내용은 삭제하였다.

1.1.4 터널설계기준 제·개정 경위

1975년 제정된 터널공사 표준시방서는 운영체계의 혼란을 피하고 효율적인 기술기준의 관리를 위하여 1999년에 건설기술관리법 시행규칙 제14조(설계도서의 작성)에 의해서 시방서의 종류별 정의와 위계질서를 정립하고 「터널설계기준」과 「터널표준시방서」를 분리·개편하게 되었다. 따라서 국내의 터널설계기준은 1999년 터널표준시방서에서 설계 편을 분리하여 제정하였다.

「터널설계기준」은 2004년 12월 도로터널의 안전사고를 대비한 방재시설 등 일부 내용이 개정되었고, 최근 들어 2007년 12월에 부분적으로 개정되어 터널설계와 관련된 최상위 전문 설계기준으로써 모든 기술내용을 포함할 수 있는 표준적인 골격으로 규정되어 있고, 지반을 개착하지 않고 시공하는 터널공사(mined tunnel)의 계획, 조사, 설계에 대한 제반 기준을 제시하고 있다. 특히 내진설계, 방재설계, 환경훼손 및 민원예방을 위한 보완으로 지진, 화재 등의 재난으로부터 피해를 최소화하기 위해 노력하였다. 「터널설계기준」에서 규정하지 않은 사항은 다른 관련 설계기준에서 정하는 바에 따르는 것으로 되어 있으며, 국토교통부에서 제정한 「도로설계기준」에서 터널설계와 관련된 내용을 규정하고 있다.

그 외의 터널관련 설계기준으로는 철도터널을 대상으로 하는 한국철도시설공단의 「고속철도설계기준, 2005」, 「철도설계기준, 2004」 등이 별도로 규정되어 왔으나, 2011년 이들을 통합하여 「철도설계기준, 2011」이 개정되었다. 또한, 철도시설공단의 경우 KR Code 2012를 적용하여 기준 변경사항을 설계용역이나 건설공사에 적용할 수 있도록 진행되고 있다.

1.1.5 하위기술기준 제·개정 경위

터널설계와 관련된 하위기술기준으로는 국토교통부의 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침」, 「도로설계편람(터널편)」, 한국도로공사의 「도로설계실무편람」, 「도로설계요령」, 한국철도시설공단의 「철도설계편람」 등이 있으며, 이 중 편람은 중앙건설기술 심의대상은 아니지만 터널 실무자들에게 참고자료 이상의 의미를 가져, 「터널설계기준」에 준하여 실무에 반영하고 있다.

1) 지 침

건설교통부에서 발간된 「환경 친화적 도로유지관리 지침」에서는 도로포장, 교량과 터널, 배수시설 등 도로시설물에 대한 점검방법 과 유지관리 기법인 환경 친화적인 가이

드라인을 제시하고 있으며, 노동부의 「터널공사표준안전작업지침-NATM공법」에서는 산업안전보건법 제27조의 규정에 의하여 NATM 터널 공사 중 재해방지를 위한 작업상의 안전에 관하여 사업주에게 지도·권고할 기술상의 지침을 규정하고 있다. 그러나 이상의 지침은 시방이나 유지관리에 대한 내용으로써, 설계와 관련된 지침으로는 국토교통부의 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침」을 들 수 있다. 이 지침에서는 도로터널 방재시설의 설계, 설치, 관리 시 적용해야 할 최소한의 일반적·기술적 지침을 규정하고 있다. 이상과 같이 터널의 설계 및 시공관련 지침은 주로 유지관리나 방재 등 특정 내용만을 다루고 있어 다양한 터널관련 분야에 대한 상세한 기술은 되어있지 않고 있다.

2) 편 람

국토교통부의 「도로설계편람」은 「터널설계기준」 및 「터널표준시방서」의 규정 내용을 관련 기술자들이 도로터널 설계시 쉽고 올바르게 적용할 수 있도록 규정에 대한 배경, 근거 및 제반 참고자료 등을 제공하고 있고, 도로터널의 실시설계 또는 설계관리에 직접 활용할 수 있는 실무편람을 제공하는데 그 목적이 있어, 「터널설계기준」의 내용을 준용하여 작성되었다. 편람의 구성 또한 설계기준의 목차체계를 중심으로 작성되었으며, 분야별 목차체계는 터널 본체에 해당하는 토목분야, 환기와 방재 설비에 해당하는 설비분야, 조명 및 내장분야 등으로 구분된다.

3) 요 령

한국도로공사가 발간한 「도로설계요령, 제4권 터널」은 자동차 전용 도로터널 건설에 관한 일반적인 기준 및 설계 방법을 제시하고 있고, 여기에 규정되지 않은 사항은 유사 규정 및 관련 설계기준, 시방서 등을 준용하도록 명시하고 있다. 이와 관련해서는 한국도로공사의 「고속도로공사 전문시방서」를 대표적인 예로 들 수 있다.

【표 2.1】 국내 터널 설계기준 및 시방서 종류

분류	개정연도	발행기관
I. 기 준		
터널설계기준	2007	건설교통부
도로설계기준	2004	건설교통부
철도설계기준	2011	한국철도시설공단
고속철도설계기준	2005	한국철도시설공단
도로터널 방재설치 기준	2009	국토교통부
도로터널의 화재안전 기준	2009	소방방재청
고속도로터널 방재시설 설치기준	2009	한국도로공사
고속도로터널 환기시설 설계기준	2002	한국도로공사
II. 시방서		
터널표준시방서	2009	국토교통부
도로공사표준시방서	2003	건설교통부
철도공사 전문시방서	2004	건설교통부
고속도로공사 전문시방서	2009	한국도로공사
고속철도공사 전문시방서	2006	한국철도시설공단
콘크리트 표준시방서	2009	국토교통부
III. 지 침		
도로터널 방재시설 설치 및 관리지침	2009	국토교통부
환경 친화적 도로유지관리 지침	2007	건설교통부
터널공사 표준안전 작업지침 - NATM공법	2001	노동부
VI. 편 람		
도로설계편람 - 터널편	2010	국토교통부
도로설계실무편람	1997	한국도로공사
철도설계편람(노반편) - 터널	2011	한국철도시설공단
V. 요 령		
도로설계요령 - 제4권 터널	2009	한국도로공사
VI. 기 타		
터널공사 설계 및 시공관리 개선방안	2005	건설교통부 감찰팀
터널설계기준 해설서	2009	한국터널공학회
콘크리트표준시방서 해설	2009	한국콘크리트학회
수해예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼	2007	건설교통부

1.2 국외 기준

1.2.1 일본

일본은 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 쉴드공법 소위원회를 발족하여 쉴드터널에 대한 조사연구를 시작해 1970년에 「쉴드공법 지침」을 제정하고 7년 후인 1977년에 「터널표준시방서(쉴드편)·동해설」을 제정하였다.

최근 2006년에 터널표준시방서를 3차로 개정하였으며 「터널표준시방서·동해설(산악공법)」, 「터널표준시방서·동해설(쉴드공법)」, 「터널표준시방서·동해설(개착공법)」 등 총3편으로 구성하였다. 1996년 개정 이후 10년간 개발된 신기술을 반영함과 동시에 유지관리 중요성의 고조 등 사회정세의 변화도 반영하였고, 특히 한신(kobe) 대지진의 사례를 통해 내진설계법에 대한 내용을 반영하였으며, 설계의 합리화 수법 및 유지관리에 관계되는 사항 등을 보완하여 개정하였다.

한편 2006년 개정판에서 주목할 점은 실무자에 대한 설문조사를 실시하여 시방서의 사용 현황 및 내용에 대한 문제점이나 수정, 개선 및 보완되어야 할 의견, 개정판에 채택해야 하는 내용에 대해 실무자나 현장의 의견을 폭넓게 파악하여 그 내용을 반영했다는 것이다. 특히, 쉴드공법편에서는 대심도 지하이용시 쉴드공법을 채택해야 하는 의견, 산악공법편에서는 설계·시공 관련 내용 보완 의견, 그리고 개착공법편에서는 한계상태설계법의 개선에 대한 의견이 많이 개진되어 시방서에 반영이 되었으며, 기타 기준과의 부합이나 구체적인 사례의 게재를 원하는 의견도 있었다.

【표 2.2】 일본터널표준시방서 개정을 위한 조사 회답수(2000년)

구 분	발주자 회답수	수주자 회답수	합 계
쉴드공법	77	143	220
개착공법	77	91	168
산악공법	112	172	284

※송부 처는 발주자 104, 수주자 112 ➜ 복수 회답으로 회답수가 송부수보다 많음

【표 2.3】 설문조사 주요의견

구 분	분 류	주요의견
실 드 공 법	한계상태설계법을 도입하는 경우 유의점과 요구사항	“적용에 있어 해결해야할 내용이 많음”, “허용응력도법의 정확성을 가질 필요가 있음”, “시대흐름상 필요” 등의 의견이 많음
	유지관리와 보수·보강을 시방서로 채택할 것인가	“대표적인 판단방법, 유지, 보수, 보강공법”, “실제 변상과 원인, 대책예”, “보수·보강의 기준”에 대한 요구사항이 많음
	시방서로 채택해야 하는 신기술과 신공법	“세그먼트”, “특수단면”, “라이닝생략”, “발진·도달직접절삭”, “고속시공”의 순으로 의견 많음
	대심도지하이용에 있어 시방서에 채택해야 할 항목	“세그먼트설계법”, “설계하중”, “지반개량기술”, “자재운송”, “안전설비”의 순으로 의견 많음
개 착 공 법	한계상태설계법을 이용할 경우 예상되는 문제점	문제점으로써 “명확화, 정확성”, “각종계수의 설정”, “가설시 대응” 등을 지적한 의견이 많음
	유지관리와 보수·보강에 대한 시방서를 채택할 것인가	2대1의 비율로 “채택해야 한다”라는 의견이 많음. 유지·보수만으로 별책 원하는 의견도 있음
	방수공의 종류(공법), 선정이유, 시공 상의 주의점	방수공은 방수성, 시공성, 경제성으로부터 각종공법이 선정되고 있다. 시공상의 주의 점은 기초처리, 양생에 유의해야 한다는 의견이 많음
	발생토사를 재이용하는 경우 이용방법	발생토사는 뒤채움, 성토, 매립, 토지구성 등의 순으로 사용되며, 대부분이 안정화처리를 하여 이용되고 있음
산 악 공 법	내용을 더 충실하게 할 항목	“설계”, “시공”, “시공관리”에 대해서 기재내용의 충실을 희망하는 의견이 많음
	삭제, 간략 화할 항목	“재래식공법(矢板工法)”을 간략화하자는 의견이 많음
	새롭게 추가해야 할 항목	“유지·보수”, “TBM", “대단면”이라는 새로운 편(編)의 추가와 충실을 원하는 의견 많음
	「터널의 유지관리」에 이용하고 있는 매뉴얼 현황	철도총합기술연구소, 舊일본도로공단, 일본도로협회가 발간하고 있는 매뉴얼의 사용이 70%를 차지하고 있다.

표준시방서의 개정 시 설문조사는 중앙관청, 지자체, 종합건설공사, 컨설턴트사 등 216개 기관을 대상으로 2000년에 실시하였고, 다양한 문제점과 개선점에 대해서 의견을 수렴하여 개정판에 반영하였다.

한편, 터널표준시방서가 2006년 개정된 이후 터널공학위원회 시방서개정소위원회에서는 사용 현황 및 개정 방향과 관련하여 2010년에 설문조사를 실시하였고, 다양한 의견을 수렴하여 개정의 기본방침을 책정하여, 사용자의 요구를 2016년 개정판에 반영할 계획을 갖고 있다.

2010년 실시한 설문조사의 주요 내용은 다음과 같다.

1) 시방서의 사용현황 등 (각 공법편 공통)

(1) 시방서 사용 현황

(2) 사용방법

(3) 참고도서로서의 사용 방법

(4) 조사, 설계, 공사의 발주시, 본 편을 계약상에 따르는 시방서 또는 참고도서로 사용

(5) 미사용 사유

2) 현시방서 각 공법편의 각각의 문장과 관련하여, 문제점, 수정, 삭제, 간략화 등의 구체적 의견

3) 차기시방서에 기재하고자 하는 사항 등 (각 공법편 개별 질문)

4) 유지관리의 취급과 관련한 질문 (각 공법편 공통)

5) 자유의견 (각 공법편 공통)

이처럼 일본에서는 터널관련 발주처와 수요처에 대한 설문조사를 실시하여 각종 현안과 여론을 수렴하여 개정 시 반영하기 때문에 시의 적절한 현재의 기술이 반영될 수 있을 뿐 아니라, 실무자의 민원을 해결해 주기 때문에 활용성이 높고, 영문판으로도 출간이 되어 국제경쟁력 확보에 주력하고 있다.

1.2.2 미국

미국에서는 연방도로청, 각 주별 교통성 등의 관련 부서에서 각종 다양한 기준을 체계화하여 작성·관리하고 있으며, 성능중심의 터널설계기준을 제정하여 반영하고 있는 추세이다.

대표적으로 연방 교통청(U.S. Department of Transportation)에서는 “Design Recommendation for Concrete Linings"를 제시하고 있고, 보다 구체적으로는 연방도로청(Federal Highway Administration, FHWA)에서 기준 및 지침 등을 제시하고 있다.

【표 2.4】 미국 연방도로청(FHWA)의 터널관련 도서

분 류	기준, 지침, 편람 등	발행 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

2005년에 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 내용을 폭 넓게 다루고 있다.

그 외에 미국공병단(U.S. Army Corps of Engineering)에서 1997년 5월에 「Engineering and Design – Tunnels and Shafts in Rock」을 제정하였으며 암반터널의 설계·시공에 대한 내용이 비교적 상세하게 기술되어 있다.

미국의 NFPA(National Fire Protection Association)에서는 「도로터널, 교량 및 기타 접근이 제한된 구조의 고속도로 방재표준(NFPA 502 : Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited-Access Highways)」을 제정하여 방재시설 설치기준으로 활용하고 있다.

본 기준은 최근 2011년 개정되었으며 고속도로, 도로터널, 교량, 고가도로, 공중 권을 가진 구조물에 대한 방재시설 기준을 확립하였다. 개정된 기준에서는 터널에 있어서 성능기반의 설계(PBD, Performance-based design)를 더욱 확장하였고, 터널의 연장에 상관없이 모든 터널의 화재와 안전 시스템에 있어서 공학적 분석을 더욱 요구하도록 규정하였다. 또한 새로운 장(Chapter)에서는 미분무수 소화시스템(Fixed Fire-Fighting Systems, FFFS)에 대한 기술이 추가되었고, 시스템의 위탁 가이드라인과 주기적인 테스트에 대한 요구항목이 추가되었다.

1.2.3 영국

영국 BTS(The British Tunnelling Society)와 ICE(The Institution of Civil Engineerings)가 공동으로 「Specification for tunnelling」을 2000년도에 제정하였고, 2010년 3rd Edition이 개정·출간 되었으며, 이는 우리나라의 설계기준 및 표준시방서에 준하는 위상을 가진다.

「Specification for tunnelling」은 일본의 터널표준시방서와 마찬가지로 기존의 기준에 대한 의견, 비판, 제안 등을 반영하여 주요 내용들을 개정하였고, 2004년에 추가로 BTS와 ICE가 공동으로 「Tunnel Lining Design Guide」를 제정하였다. 이 가이드는 NATM터널의 현장타설 콘크리트 라이닝과 숏크리트 라이닝 뿐만 아니라 쉴드터널의 세그먼트 라이닝 등 다양한 라이닝의 해석방법, 설계수명, 내구성, 품질관리 등을 상세히 다루고 있으며 영국에서의 주요 적용사례들을 함께 수록하였고, 이외에도 지표침하, 계측

및 유지관리에 대해서도 관련 가이드를 제시하고 있다.

【표 2.5】 Specification for tunnelling의 주요 내용

장	주요 내용
General requirements	• References to Standards • European standards and Eurocodes
Materials	• 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	• Excavation for tunnels • Timbering • Sprayed concrete • Groundwater • Drilling, Explosives • Spiling, dowelling / rockbolting • Forepoling • 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	• Compressed air, ground freezing, dewatering, compensation grouting
Working environment	• Electrical installations • Lighting • Disposal of spoil and water • Ventilation during construction • Noise and vibration • Leakage and infiltration
Renovation and repair	• Repair of brickwork tunnels

1.2.4 유럽

EC(European Community)의 5차 framework 프로그램의 일환인 FIT(Fire In Tunnels) 프로젝트는 독일 STUVA의 Prof. Haack의 주도로 수행되었으며, 몽블랑터널 화재, 고타드터널 화재 등 그간 빈번하게 발생한 터널화재에 대한 안전성을 확보하는데 목적을 두었다. 연구 프로젝트 결과물로 설계 자료와 설계지침 등을 아래와 같이 제시하였다.

【표 2.6】 FIT 프로젝트에서 제시한 설계자료 및 지침

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

그 외의 숏크리트 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 재료회사 들이 주도하고 있으며, 특히 숏크리트 부분에 있어서는 세계 표준과 같이 고려되고 있는 실정이다.

【표 2.7】 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 Mechanized Tunnelling (TBM)
2006	Guidelines for testing fire protection systems for tunnels (draft)

1.2.5 기타 주요 선진국

CEN(유럽표준기구), BSI(영국표준기구), CSI(미국시방서협회) 등에서는 표준화된 코드체계를 활용하여 기준을 관리하고 있으며, 특히 미국의 경우 CSI의 Masterformat이라는 표준화된 번호 및 분류체계를 사용하여 시방서 정보를 관리하고, 설계도면 노트 및 cost 데이터와의 연계 등 공사 관리를 위한 기반을 제공하고 있다.

기타 제 · 개정 작업의 추진에 있어서는 ISO, Eurocode, BS Code 등의 기준정비기구에서 매뉴얼에 따라 정비토록 규정하고 있다. 일본, 미국, 영국, EU 등 선진국의 기술기준 제 · 개정과 관련하여 관리주체 및 협력체계 현황을 살펴보면, 학 · 협회 등 민간부문에서 기술기준과 관련하여 다양한 학술적 성과물을 발간하고, 정부에서 기술기준을 포괄적으로 통합하여 원칙적으로 갖춰야할 성능을 규정하며, 발주청에서 해당 사업의 현장여건에 적합한 실시기준을 작성하여 사업을 실시하여 정부 및 발주청, 학 · 협회가 상호 협력하여 상 · 하위 기술기준을 체계적이고 종합적으로 정비할 수 있도록 하고 있다.

2. 국내외 터널 건설기준의 특성 분석

2.1 국내 터널 설계기준의 특성

2.1.1 국내 설계기준 분석연구의 필요성

현재 국내에서 사용하고 있는 설계기준은 분야별로 세분화되어 개별 기준간 내용 중복 및 상이로 사용자의 불편을 초래한다.

1) 법적근거

건설기술관리법령(법 제34조, 영 제119조),「건설기술개발 및 관리 등에 관한 운영규정」 제40조에서 설계·시공기준 규정

2) 상위기준

설계기준(20종), 표준시방서(20종), 전문시방서(9종) 등 총 49종으로 구성

* 국토부 소관 : 40종 (설계기준 17, 표준시방서 17, 전문시방서 6)
* 타부처 소관 : 9종 (환경부 4, 농림수산식품부 3, 서울시 1, 행복청 1)

3) 하위기준

설계기준 및 표준시방서를 구체화한 표준도, 지침, 편람, 기술지도서, 업무요령 등 360여종으로 구성

☞ 건설 산업이 **국제 경쟁력을 확보**하고 **미래 성장산업**으로 도약하기 위해서는 이러한 **국내설계기준**의 **문제점을 개선하여 국제 표준 수준으로의 선진화가 요망됨**

2.1.2 국내설계기준 위상도(tree) 분석

1) 국내설계기준의 체계

(1) 건설공사기준 선진화 로드맵(안) (한국건설기술연구원, 2011. 12)

국가에서 제·개정 및 관리하는 상위 기술기준(고시, 설계기준·표준시방서)과, 관계기관에서 제·개정하고 주요 내용에 대해 정부에 보고 또는 승인을 받는 하위 기술기준(전문시방서, 편람·요령·표준도 등) 체계로 정립되었다.

(가) 상위 기술기준 : 최소한의 품질·안전·성능 등을 확보하기 위한 기술규제로서, 의무 적용(mandatory) ⇒ 기준 제·개정의 책임·권한은 정부에 있음

(나) 하위 기술기준 : 기술지도서 또는 참고자료로서, 자율적 적용(non-mandatory) ⇒발주청·학/협회에서 제·개정, 관리

현행

< 법령·하위규정 >

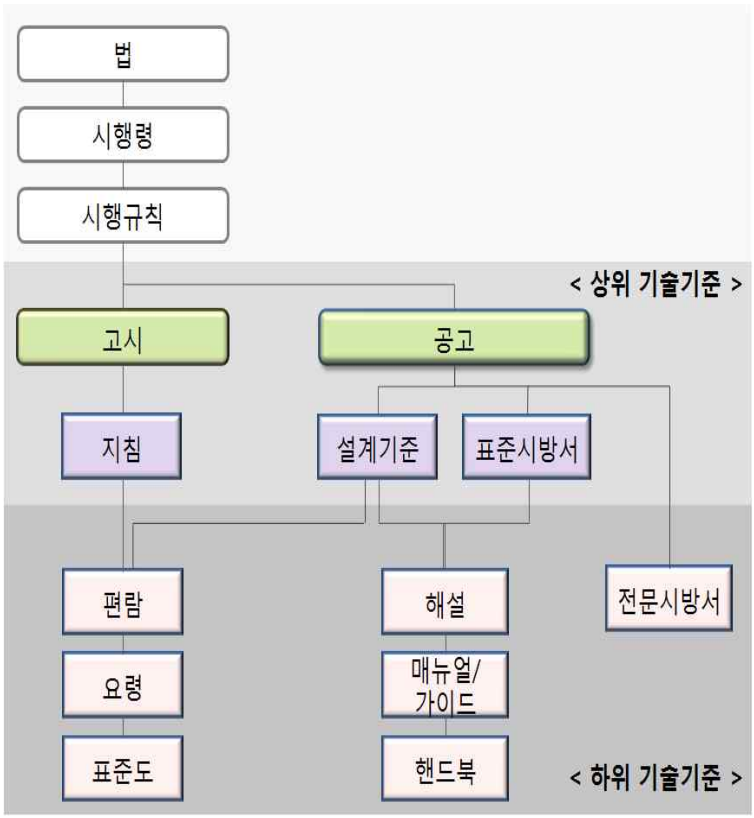
법률	도로법/ 고속도로법
대통령령	도로법/ 고속도로법 시행령
부령	도로법/ 고속도로법 시행규칙 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙
행정규칙 (훈령·예규·고시·지침)	**도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(예규)** **환경친화적인 도로건설지침(고시)**

< 건설공사기준 >

설계기준	•도로 설계기준 •도로교 설계기준 •구조물기초 설계기준 •하천설계기준 •콘크리트구조 설계기준 •터널 설계기준
표준시방서	•도로공사 표준시방서 •토목공사일반표준시방서 •도로교 표준시방서 •콘크리트표준시방서 •터널공사 표준시방서
전문시방서	•고속도로공사전문시방서

하위 기술기준 (표준도, 지침,편람, 기술지도서, 업무요령등)	•국도건설공사 설계실무요령 •도로노선 계획수립 지침 •평면교차로 계획 및 개선 일반지침 •도로변 휴게소 설치관리 지침 •국도관리에 관한 업무처리 지침 •도로안전시설기준 •도로공사 설계적용기준 •도로공사장 교통관련 지침 •배수구조물 설계법 •도로배수시설 및 유지관리지침

개선방안(안)



관련법령의 상세 기술기준을 훈령·예규·지침·고시 등으로 제각기 규정했던 것을 '○○지침(고시)'로 통일하였다.

(가) 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(예규) → 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(고시)

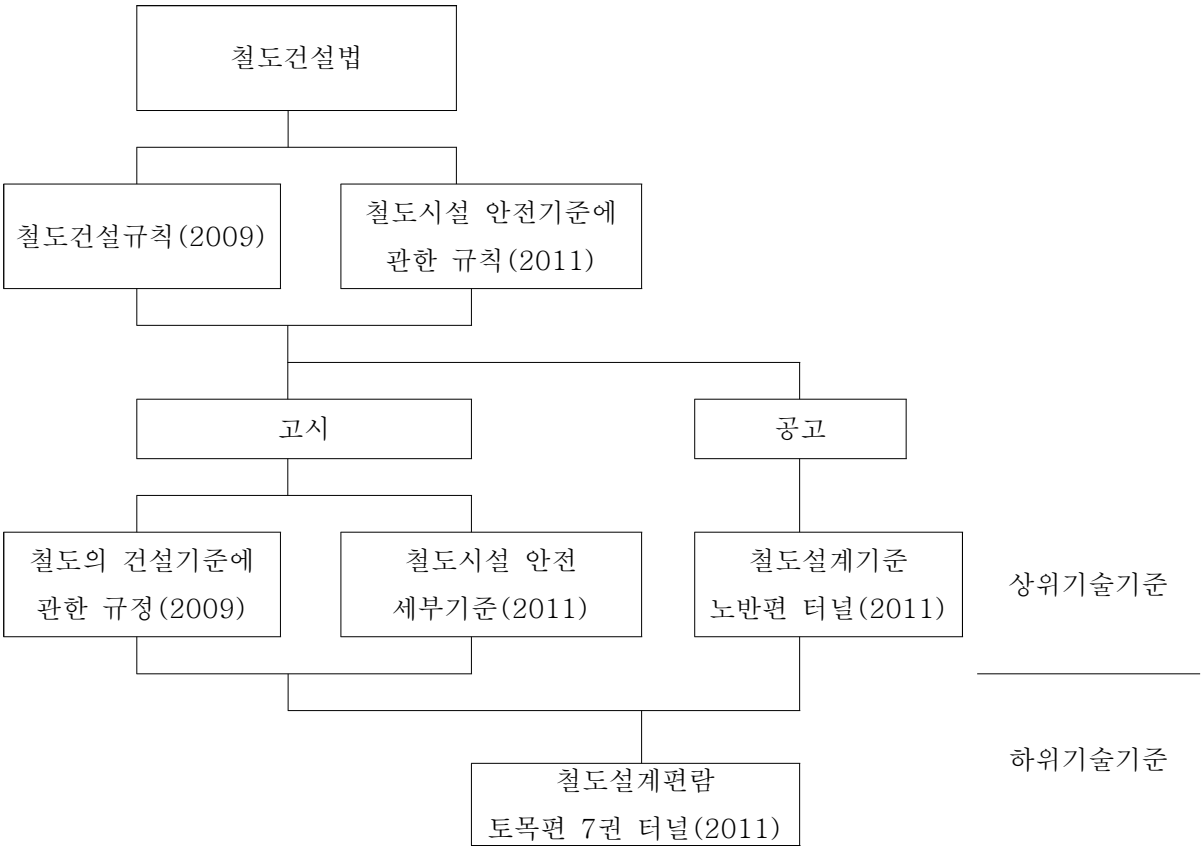
(나) 건축물의 에너지절약설계기준(고시) → 건축물의 에너지절약설계지침(고시)

설계기준 및 표준시방서의 제·개정시 '공고'하는 것으로 통일하였다.

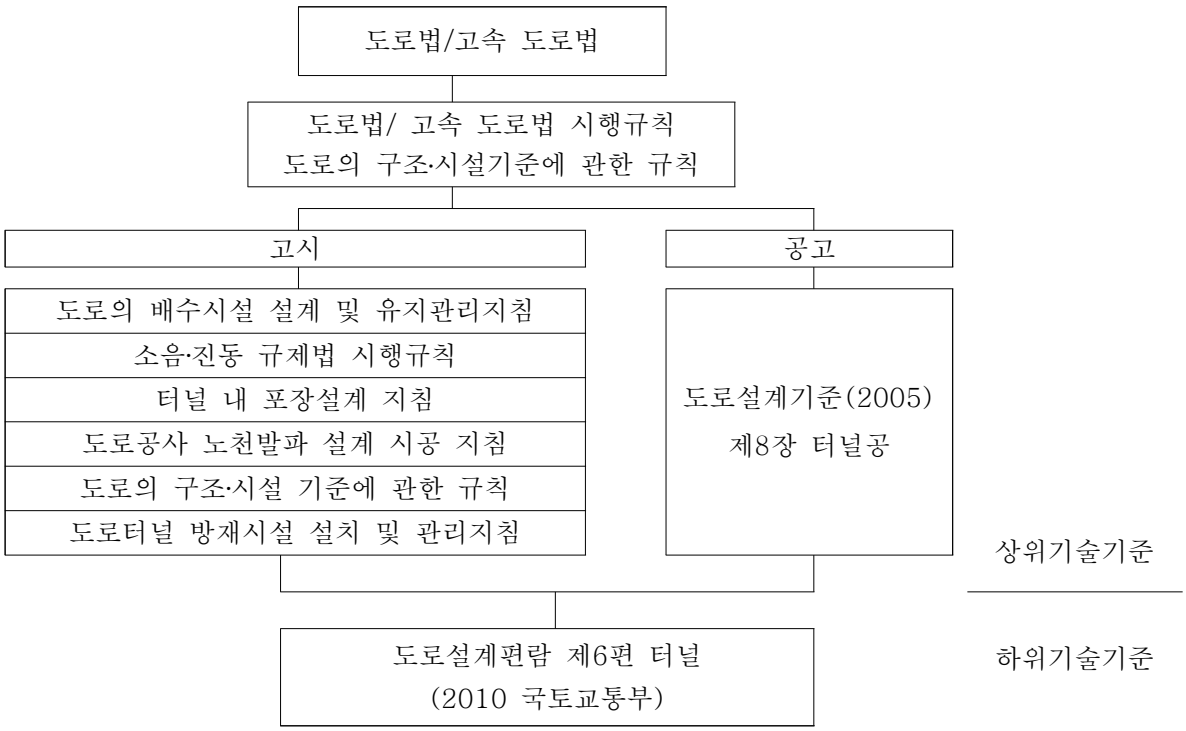
(가) '건축구조 설계기준(국토부 고시, 2009.12.29)' 등 일부의 경우 고시됨

(2) 시설물별 국내설계기준의 체계

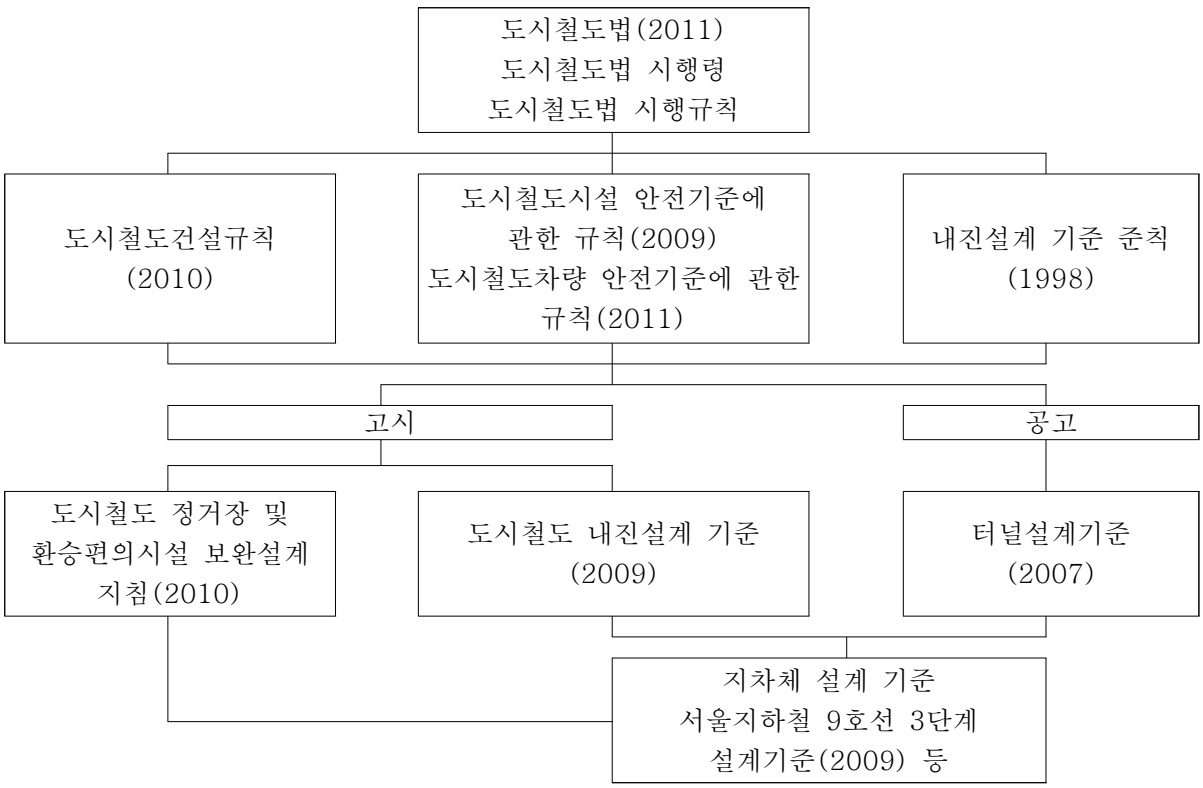
(가) 철도분야



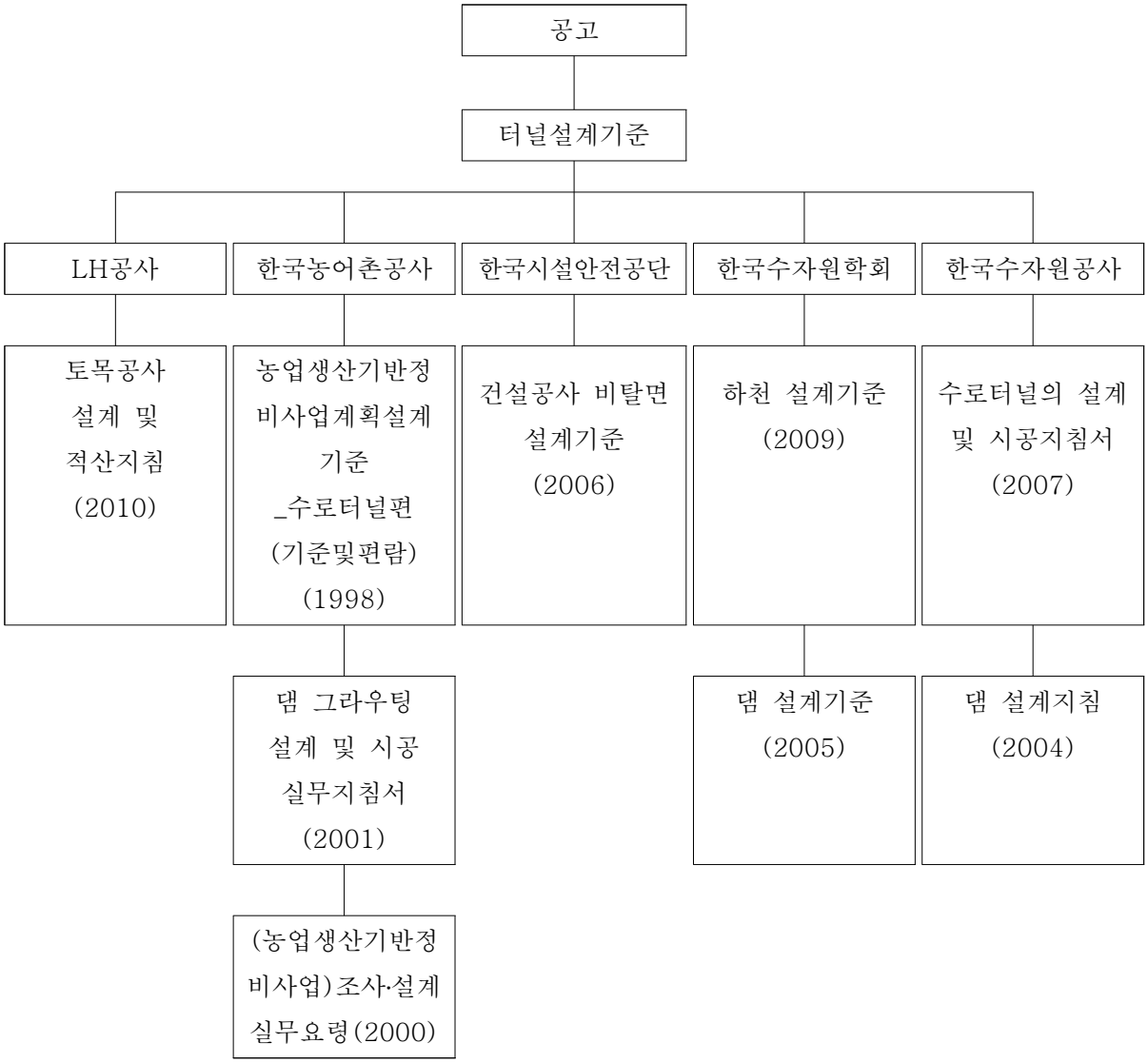
(나) 도로분야



(다) 지하철분야



(라) 기타분야



(마) 국내설계기준의 체계 정리

① 상위 기술기준은 최소한의 품질 · 안전 · 성능 등을 확보하기 위해 국가에서 제 · 개정 및 관리하는 기술규제로서 의무 적용

② 설계기준은 상위 기술기준에서 공고에 해당되므로, 국내설계기준도 설계기준 범주 내에서 분석되어야 함

2) 국내설계기준의 시설물 체계

(1) (건설공사기준 선진화 로드맵(안) 참조, 기술안전정책관 기술기준과, 2012. 3)

기준의 중복·상충내용 최소화 및 용이한 이력관리를 위해 설계기준과 표준시방서를 표준화된 코드체계로 관리한다.

(가) 코드의 구조는 재료별 구조분야*(설계)와 공통공사 분야**(시공)를 각각 상위 기준화하고, 각 시설별 기준에서 인용하도록 체계화

① 콘크리트 구조, 강구조, 구조물기초 등

[참고 : Eurocodes] 1. 적용방법 2. 콘크리트 3. 강구조 4. 합성구조 5. 목구조 6. 조적조 7. 지반 8. 내진구조 9. 알루미늄 구조

② 토목공사일반, 가설, 콘크리트, 비탈면 등

CODE체계 도입방향(설계기준)

<현행 (17종)>

No.	설계기준
1	콘크리트구조 설계기준
2	강구조 설계기준
3	내진 설계기준
4	구조물기초 설계기준
5	건설공사 비탈면 설계기준
6	건축구조 설계기준
7	건축전기설비 설계기준
8	건축기계설비 설계기준
9	터널 설계기준
10	도로교 설계기준
11	도로 설계기준
12	공동구 설계기준
13	철도 설계기준
14	하천 설계기준
15	댐 설계기준
16	항만 및 어항 설계기준
17	조경 설계기준

<개정안 (10개 모듈)>

Category	Division	Title
a. 공통	00	설계기준 총칙
	01	구조설계의 원칙 및 적용방법
	02	콘크리트구조
	03	강구조
	04	합성구조
	08	지반 및 기초
	09	비탈면
b. 건축	01~	건축구조
c. 터널	01~	터널
d. 교량	01~	교량
e. 도로	01~	도로
f. 철도	01~	철도
g. 수자원	01~	하천 및 댐
h. 항만	01~	항만 및 어항
I. 설비	01	기계설비
	02	전기설비
j. 조경	01~	조경

* 시설별 기준은 도로, 철도, 수자원, 항만, 건축 등으로 Grouping, 시설별 특기사항 위주 제시

* 내진기준은 각 시설별로 규정(지진재해대책법상 시설별 규정)

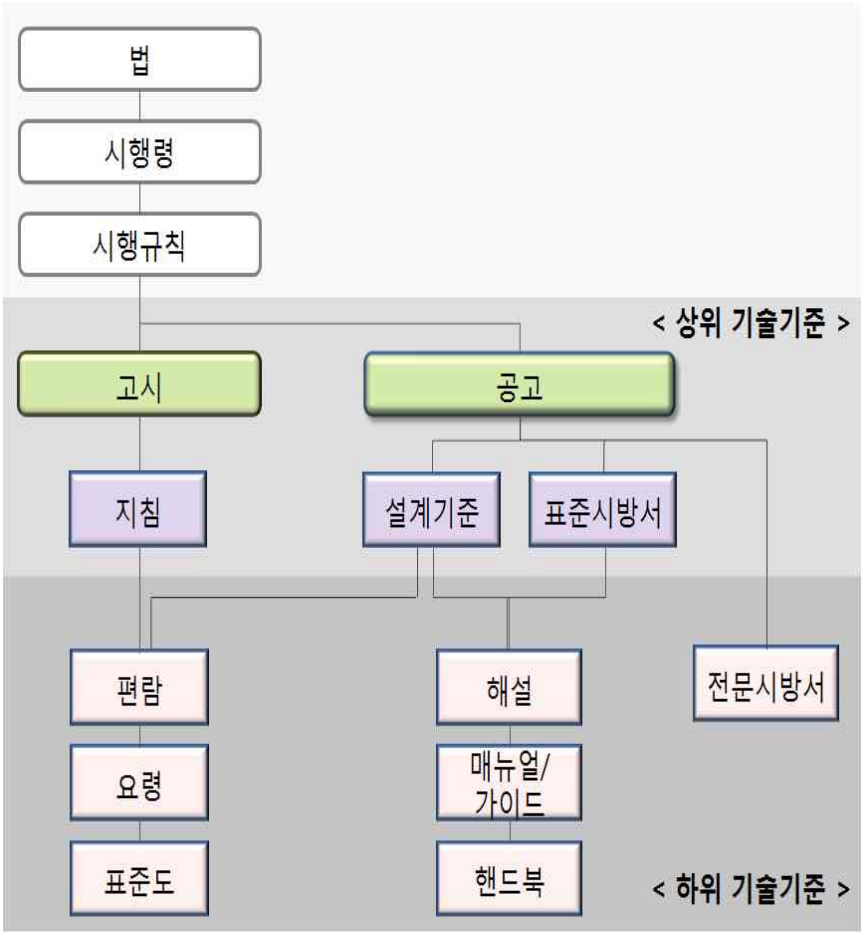
발주기관 등 사용자가 기준 제·개정사유 및 하위기술수준 등을 쉽게 파악·활용하도록 現 CALS와 연계된 DB를 구축한다.

(가) CALS시스템內 중심위 운영대장에서 심의결과 및 심의위원등 관리 운영중

3) 국내설계기준 위상도(tree) 분석 범위 선정

(1) 국내설계기준의 체계

설계기준은 상위 기술기준에서 공고에 해당되고, 편람은 하위 기술기준이나 상위 기술기준의 공고와 고시 내용을 모두 포함하고 있다. 따라서 국내설계기준은 상위 기술기준의 설계기준과 하위 기술기준의 편람을 중심으로 분석하고자 한다.



(2) 국내설계기준의 시설물 체계

국내설계기준의 분석대상은 건설공사기준 선진화 로드맵(안, 기술안전정책관 기술기준과, 2012.3)을 참조하여 시설물은 '터널' '도로' 와 '철도' 로 선정하였다.

현행(17종)

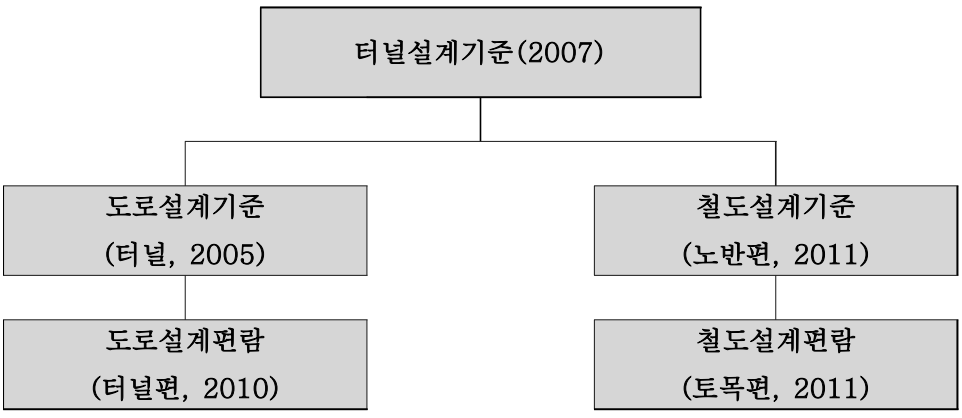
No.	설계기준
1	콘크리트구조 설계기준
2	강구조 설계기준
3	내진 설계기준
4	구조물기초 설계기준
5	건설공사 비탈면 설계기준
6	건축구조 설계기준
7	건축전기설비 설계기준
8	건축기계설비 설계기준
9	터널 설계기준
10	도로교 설계기준
11	도로 설계기준
12	공동구 설계기준
13	철도 설계기준
14	하천 설계기준
15	댐 설계기준
16	항만 및 어항 설계기준
17	조경 설계기준

개정안(10개 모듈)

Category	Division	Title	선정
a. 공통	00	설계기준 총칙	
	01	구조설계의 원칙 및 적용방법	
	02	콘크리트구조	
	03	강구조	
	04	합성구조	
	08	지반 및 기초	
	09	비탈면	
b. 건축	01~	건축구조	
c. 터널	01~	터널	◎
d. 교량	01~	교량	
e. 도로	01~	도로	◎
f. 철도	01~	철도	◎
g. 수자원	01~	하천 및 댐	
h. 항만	01~	항만 및 어항	
I. 설비	01	기계설비	
	02	전기설비	
j. 조경	01~	조경	

(3) 국내설계기준 분석범위 선정

국내설계기준은 기준의 체계에서 설계기준과 편람 선정하고, 시설물에서 터널, 도로 및 철도를 중심으로 분석하고자 한다. 따라서 국내설계기준 분석대상은「터널설계기준」,「도로설계기준(터널)」,「도로설계편람(터널)」,「철도설계기준(터널)」 및 「철도설계편람(터널)」로 선정하였다.



2.1.3 국내설계기준의 항목별 기술동향 및 세부내용 분석

분석대상인 국내설계기준들의 공통된 16가지 항목에 대한 분석을 통해 국내 터널건설기술의 동향을 파악 할 수 있으며, 78가지 세부내용의 비교분석을 통하여 그 차이점(문제점)을 도출하고 개선(표준화)방안을 제시하였다.

1) 터널계획 및 조사

(1) 총 칙

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 총칙 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제1장 총칙	제8장 터널공	601 총론	제1장 총칙	10.1 일반사항
1.1 적용범위	8.1 일반사항	601.1 적용범위	1.2 관계법령 및 기준	10.1.1 적용범위
1.2 참조 법규 및 관련 기준	8.1.1 적용범위	601.4 참조법규	제12장 터널 12.1 총칙 12.1.1 적용범위	
1.3 용어의 정의		601.3 용어의 정의	12.1.2 용어의 정의	10.1.2 용어의 정의

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	- 「터널설계기준」에 제시된 '참조법규 및 관련 기준' 항목 없음 - '용어의 정의' 내용을 부록 편에 별도 수록	→「터널설계기준」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
· 철도설계편람	- 「터널설계기준」에 제시된 '참조법규 및 관련 기준' 항목 없음	

(나) 내용분석

○ 강섬유보강숏크리트 : 강섬유보강숏크리트 vs 강섬유 숏크리트 vs 섬유보강 숏크리트

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 강섬유보강숏크리트 : 숏크리트의 강도 특성을 보완하기 위하여 강섬유를 혼합하여 타설하는 숏크리트를 말한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어명과 내용으로 통일
· 도로설계편람	- 강섬유 숏크리트 : 숏크리트의 인장강도 및 휨강도를 증가시키기 위하여 steel fiber를 섞은 숏크리트	
· 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 섬유보강 숏크리트(Fiber Reinforced Shotcrete) : 숏크리트의 역학적인 특성을 보완하기 위하여 강(steel) 또는 기타 재질의 섬유를 혼합하여 타설하는 숏크리트를 말한다.	

○ 경사 : 경사(Dip) vs 경사(Slope)

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 경사 : 층리면(지층면), 단층면, 절리면 등의 지질 불연속면이 수평면에 대하여 최대로 기울어진 각도를 말하며, 경사방향은 주향과 항상 직교하게 나타나며, 진북을 기준으로 측정한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 도로설계편람	- 경사 : 층리면, 단층면, 절리면과 같은 지질 구조면의 기울기 각으로서 주향과 직각으로 만나는 연직면내에서 수평면과 지질구조면이 이루는 사이각	→「도로설계기준」에 '경사(Dip)' 개념 용어 추가
· 도로설계기준	- 경사(Slope) : 지형의 높낮이를 일컫는 말(%)	

○ 굴진면 : 굴진면(또는 막장면) vs 막장(막장부)

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준	- 굴진면(또는 막장면) : 터널굴진방향에 대한 굴착면을 말하며 거의 연직에 가까운 것이 대부분이다. 또한 굴진면 후방의 20~30m 구간의 굴착작업이 주체적으로 실시되는 영역을 굴착부(막장부)라고 한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 명과 내용으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람	- 막장(Tunnel Face) : 터널 내에서 굴착작업이 수행되는 최전방 지역을 말한다.	
· 철도설계편람	- 막장부 : 터널 내에서 굴착작업이 수행되는 최전방 지역을 말한다.	

○ 굴착공법 : 굴착공법 vs 굴착방법

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 굴착공법 : 굴진면 또는 터널굴착방향의 굴착계획을 총칭하는 것으로서 전단면굴착공법, 분할굴착공법, 선진도갱굴착공법 등이 있다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 도로설계기준	- 굴착공법 : 막장면 또는 터널 길이방향의 굴착계획을 총칭하는 것으로써 전단면굴착방법, 분할굴착공법, 선진도갱굴착방법 등이 있다.	

○ 기계굴착

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 기계굴착 : 브레이커(핸드, 소형, 대형), 굴착기, 전단면 터널굴착기계(TBM) 등을 이용하여 터널을 굴착하는 방식이며...	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 철도설계기준 · 철도설계편람	- 기계굴착 : 브레이커(핸드, 소형, 대형), 굴착기 전단면 터널굴착기계(TBM) 등을 이용하여 터널을 굴착하는 방식을 말하며...	
· 도로설계편람	- 기계굴착 : 중장비에 부착된 브레이커, 파워쇼벨, 커터붐 등을 이용하여 굴착하는 방법을 말함. TBM, 쉴드 등에 의한 굴착도 기계굴착에 속함	

○ 단층

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 단층 : 지각의 응력에 의하여 생긴 일정 규모 이상의 전단파괴면에서 양측에 상대적으로 어긋남을 가지는 선상 또는 대상의 부분을 말한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 도로설계편람	- 단층 : 외력에 의하여 지반이 상대적으로 이동된 단열구조로서 이동면을 따라 심한 파쇄암이나 점토 등 충진물이 협재하며, 발생유형에 따라 정단층, 역단층, 충상단층(thrust fault) 등으로 구분됨	

○ 대피로 : 사갱 및 수직갱 vs 경사갱 및 연직갱

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 대피로 : 터널 내의 화재 시 안전지역으로 대피자를 탈출시키기 위한 공간으로 터널과 평행한 서비스터널이나 사갱 및 수직갱 등을 말한다.	→ 용어 내용 통일
· 철도설계기준	- 대피로 : 터널 내의 화재 발생시 안전지역으로 대피자를 탈출시키기 위한 공간으로 본선터널과 평행한 별도의 터널이나 경사갱 및 연직갱 등을 말한다.	

○ 밀폐형 쉴드 TBM : 토사 vs 버력

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 밀폐형 쉴드 TBM : 격벽을 갖고 있으며 굴진면과 격벽 사이의 쳄버(chamber) 내를 토사 또는 이수로 채우고, 토사 또는 이수에 충분한 압력을 유지시켜 굴진면의 안정을 도모하는 구조의 쉴드 TBM을 말한다.	→ 용어 내용 통일
· 철도설계기준	- 밀폐형 쉴드 TBM : 격벽을 갖고 있으며 굴진면과 격벽 사이의 쳄버(chamber) 내를 버력 또는 이수로 채우고, 버력 또는 이수에 필요로 하는 압력을 유지시켜 굴진면의 안정을 도모하는 구조의 쉴드TBM을 말한다.	

○ 버력 : 버력 vs 버럭

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 버력 : 터널굴착과정에서 발생하는 암석덩어리, 암석조각, 토사 등의 총칭	→「터널설계기준」에서 제시된 용어명으로 통일
· 도로설계기준	- 버럭 : 터널굴착과정에서 발생하는 암석덩어리, 암석조각, 토사 등의 총칭	

○ 벤치길이

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 벤치길이 : 분할굴착 시 상부 굴진면과 하부 굴진면 간의 터널 축방향 이격거리를 말한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어내용으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람	- 벤치길이 : 분할굴착시 분할면의 터널 축방향 길이를 말한다.	

○ 보조지보재

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 보조지보재 : 굴착 시 지반의 지지능력을 보완해 주는 지보재로서 주지보재를 제외한 지보재의 총칭이다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어내용으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람	- 보조 지보재 : 막장전방에 설치하여 굴착시 지반자체의 지보능력을 발휘하도록 도와주는 지보재로서 주지보재를 제외한 지보재의 총칭이다.	

○ 비상전원

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준	- 비상전원 : 상시전원이 사고나 고장에 의하여 공급되지 못할 경우에 사용하기 위한 전력공급원을 말한다.	→ 용어 내용 통일
· 도로설계편람	- 비상전원 : 사고나 고장에 의해 상용전원이 공급되지 못할 경우에 대비한 무정전전원설비나 비상발전설비에 의한 전력 공급원을 말한다.	

○ 쉴드 TBM : 보호강관 vs 보호강판

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 쉴드 TBM(shield TBM) : 주변 지반을 지지할 수 있는 보호강관(shield)이 부착되어 있는 TBM을 말한다.	→ 용어 내용 통일
· 철도설계기준	- 쉴드 TBM(shield TBM) : 주변 지반을 지지할 수 있는 보호강판(shield)이 부착되어 있는 TBM을 말한다.	

○ 스킵(skip) : 수직갱 vs 연직갱

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람	- 스킵(skip) : 수직갱을 통하여 버력 등을 운반하는 데 사용되는 운반용구를 말한다.	→ 용어 내용 통일
· 철도설계기준 · 철도설계편람	- 스킵(skip) : 연직갱을 통하여 버력 등을 운반하는 데 사용되는 운반용구를 말한다.	

○ 어깨 : 천장 vs 천단

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준	- 어깨 : 터널의 천장과 스프링 라인의 중간점을 말한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준	- 어깨 : 터널의 천단과 스프링라인의 중간점을 말한다.	

○ 인버트

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람 · 도로설계편람	- 인버트 : 터널단면의 바닥부분을 통칭하며 원형터널의 경우 바닥부 90° 구간의 원호 부분, 마제형 및 난형 터널의 경우...	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 도로설계기준	- 인버트 : 터널단면의 바닥부분에 설치되어 터널단면을 폐합시키기 위하여 숏크리트 또는 콘크리트 등으로 설치한 지보재를 말한다.	

○ 지구물리검층 : 지구물리검층 vs 지구물리탐사

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	– 지구물리검층 : 지질단면 또는 시추공에 대하여 조사를 할 때 암석의 지질학적 내용과 물리적 성질을 기록하는 일을 말한다.	→ 용어명 및 내용 통일
· 철도설계기준 · 철도설계편람	– 지구물리탐사(Geophysical Exploration) : 지구물리학적 방법에 의해 파쇄대의 존재, 지하수분포의 상태, 지질특성 및 지질구조 등을 조사하는 방법으로서, 중력탐사, 자력탐사, 전기탐사, 전자탐사, 탄성파탐사, 방사능탐사 등이 있다	
· 도로설계편람	– 지구물리탐사 : 지구물리학적 방법에 의해 광화대의 존재, 지하수분포의 상태, 지질특성 및 지질구조를 조사하는 방법으로서 중력탐사, 자력탐사, 전기탐사, 전자탐사, 탄성파탐사, 방사능탐사 등이 있음	

○ 지반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	– 지반 : 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분이다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람	– 지반 : 건설행위의 대상이 되는 지표구성물질로서 토사 및 암반층을 총칭한다.	

○ 지보패턴

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	– 지보패턴 : 터널굴진면의 지반 상태와 터널 천단부 및 그 상부의 지반 상태, 시공성 등을 고려하여 터널의 안정성이 확보되도록 미리 설정해 놓은 지보 형태를 말하며...	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람	– 지보패턴 : 각 지보재들의 규격, 시공위치, 수량 등을 일정한 형식(pattern)으로 정한 것을 말한다.	

○ 천장부 : 천장부 vs 천정부

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	– 천장부(crown) : 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간을 말한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어명으로 통일 필요
· 도로설계기준 · 도로설계편람	– 천정부(crown) : 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간을 말한다.	

○ 층리

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	– 층리 : 퇴적암이 생성될 때 퇴적 조건의 변화에 따라 퇴적물 속에 생기는 층을 이루는 구조를 말한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 도로설계편람	– 층리 : 퇴적암이나 충적토 등이 층상으로 쌓이며 생성되는 불연속면	

○ 케이지(cage) : 수직갱 vs 연직갱, 작업원 vs 종업원

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람	- 케이지(cage) : 수직갱을 통하여 버력이나 작업원 등을 운반 시 사용하는 바구니 형상의 운반용구를 말한다.	→ 용어 내용 통일
· 철도설계기준	- 케이지(cage) : 연직갱을 통하여 버력이나 작업원 등을 운반 시 사용하는 바구니 형상의 운반용구를 말한다.	
· 철도설계편람	- 케이지(cage) : 연직갱을 통하여 버력이나 종업원 등을 운반 시 사용하는 바구니 형상의 운반용구를 말한다.	

○ 팽창성 지반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계편람 · 철도설계기준	- 팽창성 지반 : 터널굴착에서 팽창으로 인하여 문제를 일으키기 쉬운 지반으로써, 제3기층의 열수 변질을 받은 화산분출물, 팽창성 이암 및 온천 여토 등을 말한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 내용으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람	- 팽창성 지반 : 팽창성 광물을 다량 함유한 토사 혹은 암반 및 잔류지중응력이 높은 지반을 말한다.	

(2) 계 획

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 계획 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
		601.2 계획 및 설계 일반사항		
제2장 계획	8.2 계획	602 계획일반	12.2 계획	10.2 계획
2.1 계획일반	8.2.1 터널계획 일반	602.1 계획의 기본	12.2.1 계획일반	10.2.1 계획일반
2.2 터널의 계획	8.2.2 터널의 기본계획	602.2 기본계획	12.2.2 터널의 기본계획	10.2.2 터널의 기본계획
				10.2.3 조사 및 시험

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계편람	- 「터널설계기준」 등에서 제시된 목차 제목과 다소 상이함 - 「터널설계기준」 등에서 제시된 '계획일반' 내용에 해당되는 '계획 및 설계 일반사항' 내용이 "총칙" 편에 분리 기재	→「터널설계기준」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
· 철도설계편람	- 목차의 「10.2.3 조사 및 시험」 항목은 「10.4 조사」 항목과 동일	

(나) 내용분석

○ 계획일반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	-「터널설계기준」의 '2.1 계획일반' 내용에 해당되는 항목에 사전조사, 경제성, 유지관리 및 환경성 등 터널설계 전반에 관한 내용 언급	→「터널설계기준」에서 제시된 내용과 유사한 구성으로 통일
· 도로설계기준	- '8.2.1 터널계획 일반' 의 기술내용이 타 설계기준대비 상대적으로 부족	

○ 터널의 계획

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	-「터널설계기준」의 '2.2 터널의 계획' 내용으로 선형계획, 내공단면계획, 부속설비계획, (조사계획,) 계측계획, 터널 갱구부와 작업구의 계획, 방수형식계획, 환기계획 및 방재설비계획 제시	→「터널설계기준」에서 제시된 내용과 유사한 구성으로 통일
· 도로설계편람	- '602.2 기본계획' 내용으로 선형계획, 내공단면계획, 방수계획, 부속설비계획 및 계측계획을 제시	

○ 단면계획 : 소·중단면 병렬터널 vs 소단면 병설터널

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	-「터널설계기준」의 '2.2.4 내공단면계획' 내용 중 "지반조건이 열악하고 주변 여건상 터널시공이 장래 문제를 유발할 가능성이 있는 지역인 경우나 터널길이가 내공단면의 크기를 결정하는 데 주요인자로 적용되는 경우에는 가급적 소·중단면 병렬터널로 계획하여야 한다." 고 제시	→「터널설계기준」에서 제시된 내용으로 통일
· 도로설계기준	- '8.2.2 터널의 기본계획' 내용 중 단면계획의 "지반조건이 열악하고 문제를 유발시킬 가능성이 있는 지역 및 터널연장이 긴 장대터널에서는 유지관리 및 방재 등을 고려하여 가급적 소단면 병설터널을 계획하도록 한다." 고 제시	

○ 단면계획 : 소·중단면 vs 소단면

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준	-「터널설계기준」의 '2.2.4 내공단면계획' 내용 중 "터널의 내공단면계획 시에는 지형, 지반 조건 및 토피 정도에 따라 2개 이상의 소·중단면 병렬터널이나 1개의 대단면 터널 또는 특수단면터널의 채택 여부를 검토하여..." 라고 제시	→「터널설계기준」에서 제시된 내용으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람	- '8.2.2 터널의 기본계획' 내용 중 단면계획의 "터널의 내공단면 계획 시에는 지형 및 지반조건에 따라 2개 이상의 소단면 병설터널이나 1개의 대단면 터널을 검토하여..." 라고 제시	

(3) 조 사

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 계획 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제3장 조사	8.3 조사	603 조사 및 시험	12.4 조사	10.4 조사
3.1 조사일반		603.1 조사일반 603.2 조사흐름 및 조사계획	12.4.1 일반사항	
3.2 입지환경조사	8.3.1 입지환경조사	603.3 입지환경조사	12.4.2 환경조사 12.4.3 지장물조사 12.4.4 보상대상조사 12.4.5 공사용 설비 및 사토장 조사 12.4.6 수리·수문조사 12.4.7 관계법규조사	
3.3 지반조사	8.3.2 지반조사	603.4 지반조사	12.4.8 지반조사	
3.4 시 험		603.6 시험	12.4.9 시험	10.4.1 조사 및 시험
3.5 시공중 보완조사		603.5 시공중 보완조사	12.4.10 시공중 보완조사	
3.6 지반조사 성과의 정리	8.3.3 조사결과	603.7 지반조사 성과의 정리 및 활용	12.4.11 지반조사 성과의 정리	

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	- 「터널설계기준」에서 제시된 '3.1 조사일반', '3.4 시험' 및 '3.5 시공중 보완조사' 내용에 해당되는 목차항목 없음	→ 「터널설계기준」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
· 도로설계편람	- 「터널설계기준」에서 제시된 '조사일반' 내용을 '603.1 조사일반' 과 '603.2 조사흐름 및 조사계획' 의 2개 항목으로 분류하여 목차 구성	
· 철도설계기준	- 「터널설계기준」에서 제시된 '3.2 입지환경조사' 내용을 7개의 세부항목으로 분류하여 목차 구성	
· 철도설계편람	- 「터널설계기준」에서 제시된 '조사' 편의 6개 항목을 1개 항목으로 통합하여 목차구성	

(나) 내용분석

○ 입지환경조사

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준	– '입지환경조사' 내용으로 지형, 환경, 지장물, 사토장, 수리/수문특성, 공사용 설비, 보상 및 관련 법규조사 등 제시	→「터널설계기준」에서 제시된 내용과 유사한 구성으로 통일
· 도로설계기준	– '입지환경조사' 내용으로 지형, 환경, 지장물, 사토장, 수리/수문특성, 보상 및 관련 법규조사 등 「터널설계기준」에서 제시된 내용 중 '공사중설비'를 제외한 내용 제시	

○ 지반조사

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계편람	– '지반조사' 내용으로 기존자료조사, 현장답사, 지표지질조사, 시추조사, 시험터널조사, 지구물리탐사, 지구물리검층 및 하/해저터널의 지반조사 등 제시	→「터널설계기준」에서 제시된 내용과 유사한 구성으로 통일
· 도로설계기준	– '지반조사' 내용으로 기존자료조사, 현지답사, 지표지질조사, 시추조사, 물리탐사 등 「터널설계기준」에서 제시된 내용중 '시험터널조사' 및 '하/해저터널의 지반조사'를 제외한 내용 제시	
· 철도설계기준	– '지반조사' 내용으로 기존자료조사, 현장답사, 지표지질조사, 시추조사, 시험터널조사 및 하/해저터널의 지반조사 등「터널설계기준」에서 제시된 내용중 '지구물리탐사' 및 '지구물리검층'을 제외한 내용 제시	

○ 시험 및 시공 중 보완조사

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	– '시험' 및 '시공 중 보완조사' 내용 제시	→「터널설계기준」에서 제시된 내용과 유사한 구성으로 통일
· 도로설계기준	– '시험' 및 '시공 중 보완조사' 내용 없음	

○ 시추조사시 설계지침 수록 : '지반조사(시추조사)' vs '입지환경조사'

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계편람	– '지반조사'의 '시추조사' 항목에서 "시추조사 위치는 관련 기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고..." 라는 구체적인 시추조사방법 제시	→'시추조사' 설계지침이 제시되는 위치(항목) 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준	– '입지환경조사' 항목에서 "시추조사시는 관련기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고..." 라는 구체적인 시추조사방법 제시	

○ 시추간격

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 도심지 터널에서 시추공은 노선방향으로 50~200m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하며, 산악터널에서는 토피, 지형 조건 또는 장비의 접근성 등을 고려하여 증감시킬 수 있다.	→「터널설계기준」에서 제시된 내용으로 통일
· 도로설계기준	- 시추공의 간격은 지형이 험준하고 시추심도가 상당히 깊어지는 경우 양쪽 터널입출구 쪽에서 시추를 실시하고 시공 중에 수평시추를 실시하여 지반상태를 확인하도록 하여야 한다. 험준한 산악지형으로 인하여 충분한 시추조사가 불가능한 경우에는 전기비저항탐사, 탄성파탐사 등과 같은 물리탐사방법으로 대처하도록 한다.	

(4) 설계일반

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 설계일반 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제4장 설계일반	8.4 터널설계	604 설계일반	12.3 설계일반	10.3 설계일반
4.1 설계의 기본 방향	8.4.1 터널설계의 특징	604.2 터널설계의 기본방향	12.3.1 설계의 기본방향	10.3.1 설계의 기본개념
4.2 설계방법의 선정	8.4.2 터널설계 일반	604.3 터널공법의 선정	12.3.2 설계방법의 선정	10.3.2 설계방법의 선정 및 수행방향
4.3 설계내용의 변경		604.4 설계의 기본요건	12.3.3 설계의 기본요건	10.3.3 설계의 기본요건
4.4 터널 내진설계				
4.5 품질보증에 대한 기본사항				
	8.4.11 터널의 내진설계	622 내진설계	12.16 내진설계	10.16 내진설계

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	-「터널설계기준」에서 제시된 '4.3 설계내용의 변경'에 해당되는 목차항목 없음	→「터널설계기준」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준	-「터널설계기준」에서 제시된 '4.4 터널 내진설계' 항목을 별도 수록	→「터널설계기준」에서 제시된 '터널 내진설계' 항목 별도 수록
· 철도설계편람	-「터널설계기준」에서 제시된 '4.4 터널 내진설계' 목차항목 없음	→ '터널 내진설계' 항목 별도 수록

(나) 내용분석

○ 설계방법의 선정

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- '설계일반' 편에 '설계방법의 선정'에 대한 내용 언급	→「터널설계기준」에서 제시된 내용과 유사한 구성으로 통일
· 도로설계기준	-「터널설계기준」내용 대비 '설계방법의 선정' 내용 없음	

○ 품질보증에 대한 기본사항

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- '설계일반' 편에 '품질보증에 대한 기본사항'에 대한 내용 언급	→「터널설계기준」에서 제시된 내용과 유사한 구성으로 통일
· 도로설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	-「터널설계기준」내용 대비 '품질보증에 대한 기본사항' 내용 없음	

○ 터널 내진설계

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- '설계일반' 편에 '터널 내진설계'에 대한 내용 언급	→「터널설계기준」의 '설계일반' 편에 기술된 '터널 내진설계' 항목을 별도 항목으로 구성
· 도로설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- '설계일반' 편이 아닌 별도 항목에 '터널 내진설계'에 대한 내용 언급	

2) 터널지보재 및 콘크리트라이닝

(1) 터널지보재

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 터널지보재 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제5장 터널지보재	8.4.4 지보재 설계	606 터널 지보재	12. 5 터널지보재	10.5 터널지보재
5.1 설계일반		606.1 터널 지보재의 설계일반	12.5.1 터널지보재의 설계일반	10.5.1 터널지보재의 설계일반
5.2 강지보재		606.2 강지보재	12.5.2 강지보재	510..2 강지보재
5.3 숏크리트		606.3 숏크리트	12.5.3 숏크리트	10.5.3 숏크리트
5.4 록볼트		606.4 록볼트	12.5.4 록볼트	10.5.4 록볼트

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	- 「터널설계기준」에 제시된 '설계일반', '강지보재', '숏크리트', '록볼트' 항목 없음	→「터널설계기준」에서 제시된 목차 항목과 유사한 구성으로 보완 필요

(나) 내용분석

○ 강지보재 재질

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계편람	- H형강, U형강의 재질은 KS D3503에 규정된 SS 400, 격자지보의 재질은 KS D3504에 규정된 SD500W를 표준으로 함을 원칙으로 하며, 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 하여야 한다.	→「터널설계기준」에 제시된 내용으로 H형강, U형강의 재질 및 격자지보의 재질로 통일 필요
· 도로설계기준	- 강지보재의 재질은 KS D3503에 규정된 SS 400을 표준으로 하며 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 하여야 한다.	
· 철도설계기준	- H형강, U형강의 재질은 KS D3503에 규정된 SS 300B 또는 KS D3515에 규정된 SM 400, 격자지보의 재질은 KS D3504에 규정된 SD500W 를 표준으로 하며, 필요시 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용강재로 하여야 한다.	

○ 강지보재 간격재 설치간격

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계편람	- 설치간격은 1.5~2.0m를 표준으로 함을 원칙으로 한다.	→「터널설계기준」에 제시된 내용으로 통일 필요
· 철도설계기준	- 설치간격은 2.0m 이내를 표준으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.	

○ 숏크리트 굵은골재

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계편람	- 굵은 골재의 최대 치수는 10mm 이하가 되어야 한다.	→「도로설계기준」에 내용 추가 언급필요

○ 강섬유보강 숏크리트 휨강도

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 재령 28일의 강섬유 보강 숏크리트의 휨강도는 4.5MPa 이상, 그리고 휨인성을 나타내는 등가휨강도는 3.0MPa 이상이어야 한다.	→「터널설계기준」에 제시된 내용으로 통일 필요
· 도로설계기준	- 숏크리트에 섬유를 혼합한 경우의 휨강도는 재령 28일 휨강도가 4.4 MPa 이상 되어야 한다.	→「도로설계편람」에 내용 추가 언급 필요

○ 숏크리트 설계강도

구 분	차 이 점(문 제 점)	개 선 방 향
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 재령 1일 압축강도가 10MPa 이상, 재령 28일 강도가 21MPa 이상 되도록 배합하여야 한다.	→「도로설계기준」, 「도로설계편람」에 내용 추가 언급 필요

○ 숏크리트 최소두께

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	- 50mm 이상으로 하는 것을 원칙으로 함.	→「터널설계기준」에 제시된 내용으로 통일 필요
· 도로설계기준	- 30mm 이상으로 하는 것을 원칙으로 함.	

○ 케이블볼트 재질

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계편람	– 일반적으로 재질은 공칭지름 12.7mm 이상의 7연선으로 인장강도 및 연신율이 큰 것이어야 하고, 1본의 케이블볼트가 지탱하는 소요강도에 따라 다양한 형상의 케이블볼트를 사용할 수 있다.	→「터널설계기준」에 제시된 내용으로 기타 기준서에 추가 언급 필요

○ 록볼트 봉강의 기계적 성질

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>· 터널설계기준
· 도로설계기준
· 도로설계편람
· 철도설계편람</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">종류</th><th rowspan="2">재질
기호</th><th colspan="3">기계적 성질</th></tr>
<tr><th>항복점
(MPa)</th><th>인장강도
(MPa)</th><th>연실율(%)
(시험편2호 기준)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">이형
봉강</td><td>SD 350</td><td>350 이상</td><td>490 이상</td><td>18 이상</td></tr>
<tr><td>SD 400</td><td>400 이상</td><td>560 이상</td><td>16 이상</td></tr>
</table>
</td><td rowspan="2">→「터널설계기준」에 제시된 내용으로 통일 필요</td></tr>
<tr><td>· 철도설계기준</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">종류</th><th rowspan="2">직경
(mm)</th><th rowspan="2">재질기호</th><th colspan="3">기계적 성질</th></tr>
<tr><th>항복점
(MPa)</th><th>인장강도
(MPa)</th><th>연실율(%)
(시험편2호 기준)</th></tr>
<tr><td rowspan="4">이형
봉강</td><td rowspan="2">22이상</td><td>SD 600</td><td>600 이상</td><td>710 이상</td><td>10 이상</td></tr>
<tr><td>SD 700</td><td>700 이상</td><td>800 이상</td><td>10 이상</td></tr>
<tr><td rowspan="2">25이상</td><td>SD 350</td><td>350 이상</td><td>490 이상</td><td>18 이상</td></tr>
<tr><td>SD 400</td><td>400 이상</td><td>560 이상</td><td>16 이상</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

(2) 콘크리트라이닝

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 콘크리트라이닝 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제6장 콘크리트라이닝	8.4.5 콘크리트 라이닝 설계	607 콘크리트 라이닝	12.6 콘크리트라이닝	10.6 콘크리트 라이닝
6.1 계획일반	(1) 콘크리트 라이닝의 목적과 기능	607.1 터널설계의 기본개념	12.6.1 콘크리트라이닝의 역할	10.6.1 콘크리트 라이닝의 설계일반
6.2 재료 및 강도	(2) 콘크리트 라이닝의 재료 및 강도		12.6.2 콘크리트라이닝의 재료 및 강도	10.6.2 콘크리트 라이닝의 재료 및 강도
6.3 형상 및 두께	(3) 콘크리트 라이닝의 형상 및 두께		12.6.3 콘크리트라이닝의 형상 및 두께	10.6.3 콘크리트 라이닝의 형상 및 두께
6.4 설계하중				
6.5 구조설계		607.2 콘크리트 라이닝 해석		
6.6 인버트 형상 및 콘크리트라이닝의 설치			12.6.4 인버트 형상 및 콘크리트라이닝의 설치	10.6.5 인버트 형상과 처리
6.7 균열방지대책	(4) 균열방지대책	607.3 콘크리트 라이닝의 시공 및 유지관리	12.6.5 균열방지대책	10.6.4 콘크리트 라이닝의 균열방지대책
6.8 천장부 채움			12.6.7 터널천장부 콘크리트라이닝 뒤채움	10.6.6 콘크리트 라이닝의 뒤채움 주입
		607.4 공사기간 단축방안 607.5 프리캐스트 콘크리트 라이닝(PCL) 설계 및 시공	12.6.6 터널바닥처리	10.6.7 콘크리트 라이닝의 설계 예

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	- 「터널설계기준」에 제시된 '설계하중', '구조설계', '인버트 형상 및 콘크리트라이닝의 설치', '균열방지대책', '천장부 채움' 항목 없음	→ 「도로설계기준」의 경우 「터널설계기준」에서 제시된 목차 항목과 유사한 구성으로 보완 필요 → 「터널설계기준」내 「도로설계편람」의 PCL 내용 및 「철도설계기준」, 「철도설계편람」의 바닥처리 내용에 대한 보완여부 검토 필요
· 도로설계편람	- 「터널설계기준」과는 다르게 각 절로 내용을 통합하여 수록 607.1 터널설계의 기본개념 1.1 콘크리트 라이닝의 역할 1.2 콘크리트 라이닝의 재료 및 강도 1.3 콘크리트 라이닝의 형상 1.4 콘크리트 라이닝의 두께 1.5 인버트 형상 및 설치 - 「터널설계기준」에는 없는 공사기간 단축방안(607.4) 및 프리 캐스트 콘크리트 라이닝의 설계 및 시공(607.5) 포함	
· 철도설계기준	- 「터널설계기준」에는 없는 터널바닥처리(12.6.6) 포함	
· 철도설계편람	- 「터널설계기준」에는 없는 인버트 처리(10.6.5) 포함	

(나) 내용분석

○ 피복두께

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준	- 철근으로 보강하여 콘크리트라이닝을 타설할 경우 철근 처짐 방지대책을 수립하여 소요 피복두께와 시설한계를 확보하여야 한다.	→「터널설계기준」에 라이닝의 종류(현장타설 콘크리트라이닝, PCL라이닝, 세그먼트라이닝)별 소요 피복두께에 대한 구체적 언급 필요
· 도로설계기준	- 콘크리트 라이닝의 피복두께는 최소 40mm가 되도록 하는 것이 타당하며 100mm 이상으로 하는 것은 바람직하지 못하다.	
· 철도설계편람	- 일반적으로 적용되는 철근의 경우, 조립시에 철근의 처짐이 발생하고 콘크리트의 피복두께를 유지하기 곤란하므로 철근 지지를 위한 격자형 지보재 등 철근처짐 방지대책을 수립하여 소요 피복두께와 건축한계를 확보해야 한다.	

○ PCL 라이닝 소요강도

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	- 34.3MPa이상의 고강도 콘크리트를 사용한다.	→「도로설계편람」에서 제시된 용어 내용으로 통일 필요
· 도로설계편람	- 일반적으로 25~45 MPa 범위의 강도로 15 cm 두께로 설계 및 시공되며, 경량골재를 사용할 경우는 15 MPa 정도의 강도로 25 cm 두께로 시공하는 경우도 있다.	→「터널설계기준」에 'PCL 라이닝 소요강도' 내용 추가여부 검토필요

○ 구조설계

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 콘크리트라이닝의 설계는 강도설계법, 허용응력설계법, 하중저항계수(LRFD) 설계법 등 가운데 적합한 방법을 선정하여 적용하여야 한다.	→「콘크리트 구조설계기준」에서는 2003년 개정시 허용응력설계법을 별도설계법으로 표현, 2007년 개정시에는 별도설계법을 삭제하고, 제한적으로 적용하고 있음. →「터널설계기준」에 허용응력설계법에 대한 용어 표현 수정 필요
· 도로설계편람	- 거푸집을 떼어내는 시기는 터널 단면의 크기, 형상, 시공성 등을 고려하여 결정해야 하는데, 천정부 콘크리트가 자중을 견딜 수 있는 강도를 발휘하기 전까지 거푸집을 제거해서는 안 되며, 콘크리트의 압축강도가 3.0 MPa 이상 발현된 이후에 거푸집을 제거해야 한다.	
· 철도설계편람	- 강도설계법, 대체설계법을 적용, 경우에 따라 하중저항계수설계법(LRFD)도 고려할 수 있다.	

○ 기타의견

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 제6장 콘크리트라이닝 6.5.3 콘크리트라이닝의 설계는 강도설계법, 허용응력설계법, 하중저항계수(LRFD:load and resistance factor design)설계법 등 가운데 적합한 방법을 선정하여 적용하여야 한다. - 제13장 TBM 터널 13.8.1 (4) 세그먼트라이닝은 허용응력설계법으로 설계하는 것을 원칙으로 하며, 필요 시 검증된 유사 설계법도 적용할 수 있다.	→「터널설계기준」에 각 터널공법별로 대표되는 라이닝(현장타설 콘크리트라이닝, PCL라이닝, 세그먼트라이닝)에 대하여 '터널라이닝'이라는 제목으로 통합 기술 필요

3) 터널해석, 배수 및 방수, 내진설계

(1) 터널안정성해석

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 터널안정성해석편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제 7장 터널안정성 해석	-	605 터널해석	12. 7 터널안정성해석	10.7 터널안정성 해석
7.1 해석일반 7.2 해석 입력자료 7.3 하 중 7.4 해석방법 7.5 해석결과의 평가	-	605.1 해석일반 605.5 해석모델 및 지반정수 산정 605.6 하중의 결정 605.3 해석모델의 이론적 경험 605.9 터널 해석결과의 평가	12.7.1 일반사항 12.7.2 해석입력특성 12.7.3 하중결정 12.7.4 해석방법 12.7.5 해석결과의 평가	10.7.1 터널해석의 일반사항 10.7.2 해석입력특성치 및 하중결정 10.7.3 해석방법 10.7.4 해석결과의 평가와 적용

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	- 도로설계기준에서는 터널해석에 대한내용을 언급하고 있지 않음	→ 터널설계기준에서 제시된 터널해석에 대한 내용으로 보완 필요
· 철도설계기준	- 터널설계기준과 일부번호체계만 상이하고 내용은 같음	

(나) 내용분석

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 터널 해석 시 일반사항과 입력 자료에 대한 설명 - 해석 시 사용되는 하중에 대한 고려사항 - 터널 해석 방법의 종류 - 해석결과의 평가방법 소개	→ 도로설계기준은 터널설계기준에서 제시된 터널해석에 대한 내용으로 보완 필요
· 도로설계기준	- 내용 없음	
· 철도설계기준	- 터널설계기준(2007)과 일부 번호체계만 상이하고 내용은 같음	
· 도로설계편람	- 대표적인 수치해석법에 대한 소개 - 이론적 해석법에 대한 소개 - 해석모델에 대한 이론적 배경 - 지반정수 산정법 및 적용사례 - 특수구간해석에 대한 사례분석 등을 실무에 참고 할 수 있도록 기술하고 있음.	→ 편람은 기술자가 효율적인 업무수행을 위하여 필요한 사항 등을 관련 기술자들이 실무에 쉽게 적용하도록 만든 것이므로 내용을 비교하여 일치할 필요 없음
· 철도설계편람	- 해석방법에 대한 수치해석적 방법, 경험적 방법에 대한 부연설명 - 해석입력치 및 하중에 대한 적용사례예시 - 해석모델에 대한 부연설명 - 터널수치해석에 대한 예시 등을 실무에 참고 할 수 있도록 기술하고 있음.	

(2) 배수 및 방수설계

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 터널안정성해석편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제 8장 배수 및 방수	8.4.6 방수 및 배수설계	608 배수 및 방수	12. 8 배수 및 방수	10.8 배수 및 방수
8.1 설계일반 8.2 배수형식의 선정 8.3 배수방법의 세부사항 8.4 방수방법의 세부사항 8.5 허용 누수량 8.6 하저 및 해저 터널의 방수형식	-	608.1 터널굴착과 지하수의 관계 608.2 터널의 지하수 처리형식 608.3 배수형 방수형식 터널의 적용 608.4 비배수형 방수형식 터널의 적용 608.5 개착식 터널의 방수와 배수 608.6 허용누수량 608.7 하저 및 해저터널의 방수와 배수	12.8.1 설계일반 12.8.2 배수형식의 선정 12.8.3 배수방법의 세부사항 12.8.4 방수방법의 세부사항 12.8.5 허용누수량 12.8.6 하저 및 해저 터널의 방수형식	10.8.1 배수 및 방수 설계일반 10.8.2 배수형식의 선정 10.8.3 개착식터널의 방수 10.8.4 허용누수량

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	- 터널설계기준의 내용을 따르도록 기술	→ 터널설계기준의 내용을 동일하게 적용하는 경우 기술방향을 결정할 필요가 있음
· 철도설계기준	- 터널설계기준과 목차의 내용은 같으며 12.8.6 하저 및 해저터널의 방수형식은 터널설계기준을 따르도록 기술	

(나) 내용분석

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 배수형식의 구분 등 설계일반 - 배수형 방수형식과 비배수형 방수형식 선정 시 고려사항 - 배수형 방수형식과 비배수형 방수형식의 세부사항 - 허용누수량 / - 하저 및 해저터널의 방수형식	→ 터널설계기준의 내용을 동일하게 적용하는 경우 기술방향을 결정할 필요가 있음
· 도로설계기준	- 방수 및 배수설계는 터널설계기준을 따르는 것으로 기술	
· 철도설계기준	- 터널설계기준(2007)과 일부 번호체계만 상이하고 내용은 같음	
· 도로설계편람	- 터널굴착과 지하수의 관계 - 터널의 지하수 처리형식 - 지하수 처리형식별 적용사례 - 하저 및 해저터널의 설계법과 적용사례 등 실무에 참고 할 수 있도록 기술하고 있음.	→ 편람은 기술자가 효율적인 업무수행을 위하여 필요한 사항 등을 관련 기술자들이 실무에 쉽게 적용하도록 만든것 이므로 내용을 비교하여 일치할 필요없음
· 철도설계편람	- 터널굴착과 지하수의 관계 - 터널의 지하수 처리형식 - 지하수 처리형식별 적용사례 - 개착식터널의 방수개념, 허용누수량 등을 실무에 참고 할 수 있도록 기술하고 있음	

(3) 내진설계

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 터널안정성해석편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제 4장 설계일반	8.4 터널설계	622 내진설계	12. 3 설계일반	제15장 내진설계
4.4 터널 내진설계	8.4.11 터널의 내진설계	622.1 기본개념 622.2 내진성능 수준 및 등급 622.3 내진설계 방법 및 사례 622.4 액상화 622.5 내진설계 품질관리	12.16 내진설계	15.1 내진설계 일반 15.2 내진설계 방법 15.3 내진설계의 품질관리

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	터널의 내진설계의 하부목차가 터널설계기준과 상이	→ 도로설계기준의 내진설계편 개정필요
· 철도설계기준	철도설계기준 2.4.4 내진설계의 내용과 연계하여 기술	
· 도로설계편람	→ 편람의 목차는 분야별 설계사례의 내용에 따라 기술되므로 목차분석 불필요	
· 철도설계편람		

(나) 내용분석

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	– 내진설계의 기본개념 및 터널의 내진등급 – 내진설계방법 및 지진구역계수 – 터널 내진설계시 액상화 평가 방법	→ 도로설계기준의 내진설계편은 터널설계기준이 변경되었으므로 개정필요
· 도로설계기준	– 내진설계는 터널설계기준 16장 내진설계 시 고려사항(터널설계기준, 1999)을 따르도록 되어있으나 터널설계기준 개정 (터널설계기준 2007)	
· 철도설계기준	– 내진설계의 일반 및 성능수준에 기초한 내진설계 – 내진설계방법 및 지진구역계수 – 내진설계 시 주의사항 및 액상화 평가 방법	
· 도로설계편람	– 내진설계의 대상구조물 및 지역 – 내진성능 수준 및 등급 – 내진설계 방법 및 사례분석 등을 실무에 참고 할 수 있도록 기술하고 있음.	→ 편람은 기술자가 효율적인 업무수행을 위하여 필요한 사항 등을 관련 기술자들이 실무에 쉽게 적용하도록 만든 것이므로 내용을 비교하여 일치할 필요 없음
· 철도설계편람	– 내진설계의 일반 및 설계 방법 – 내진 설계를 위한 조사 및 시험방법 과 성능평가 설계상세 등을 실무에 참고 할 수 있도록 기술하고 있음.	

4) 터널굴착 및 계측

(1) 터널굴착방법

(가) 목차분석

○국내 터널관련 설계기준의 터널굴착 방법의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	철도설계기준 노반편 (2011)	도로설계편람 제6편 터널편(2010)	철도설계편람 노반편 7권(터널, 2011)
제9장 굴착 및 계측		12.9 굴착 및 계측	615 굴착	10.9 굴착 및 계측
9.1 굴착방법	8.4.3 굴착설계	12.9.1 굴착방법	615.1 굴착방법	10.9.1 굴착방법
9.2 굴착공법		12.9.2 굴착공법	615.2 굴착공법	10.9.2 굴착공법
			615.3 발파공법	10.9.2 (2) 발파공법
			615.4 여 굴	10.9.2 (3) 여굴
			615.5 버 력	10.9.2 (4) 버력
				10.9.3 굴착보조공법

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·도로설계기준	- 터널분야와 관련된 내용은 터널설계의 전문성을 고려하여 터널설계기준에 위임	→ 기준간 충돌을 최소화하며 해당기준 개정시 전문기준의 최신기준 적용이 가능하므로 현재의 기술체계 유지 필요
·철도설계기준	- 쉴드TBM과 관련한 기술내용이 대부분 차지 - 각 분야별로 간략한 선언적인 기술 형태 유지	→ TBM 내용 간략화 필요 → 철도의 특성과 관련하여 터널설계시 반영되어야 할 사항 위주로 기술 필요 → 도로설계기준 체계 준용이 바람직 함
·도로설계편람 ·철도설계편람	- 굴착 및 보조공법의 적용사례를 구체적으로 기술 - 발파공업, 여굴, 버력처리를 위한 실무적인 내용을 중심으로 기술하고 있음	→ 편람의 성격상 설계 사례 등 현행 기술체계와 내용을 유지하도록 함 → 기준에서는 여굴 및 버력과 관련한 개괄적인 내용 추가 필요
·도로설계편람	- 615 굴착, 610 계측편으로 분리 기술	→ 도로설계 편람의 기술체계도 타기준 및 편람의 목차 체계를 준용하여 굴착 및 계측편으로 통합하고 별도의 절로 편성한는 것이 바람직함
·철도설계편람	- 10.9.3 굴착보조공법 분리 기술	→ 편람상에서는 다루어지는 보조공법의 종류 및 적용사례는 내용의 방대함에 따른 별도의 절로 편성하는 것도 무관함

(나) 내용분석

○ 굴착방법

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	– 인력굴착, 기계굴착, 발파굴착, 파쇄굴착으로 분류 – 굴착방법별 설계시 고려사항 기술	→ 터널공법과 관련한 일반적인 사항이므로 터널설계 기준의 내용으로 일원화 필요
· 도로설계기준	– 발파굴착, 기계굴착으로 분류(내용은 인력굴착 및 파쇄굴착을 포함하고 있음)	
· 철도설계기준	– 인력굴착, 기계굴착, 발파굴착, 파쇄굴착으로 분류 – 굴착방법별 설계시 고려사항 기술	
· 도로설계편람 · 철도설계편람	– 인력굴착, 기계굴착, 발파굴착, 파쇄굴착으로 분류 – 기계굴착(쇼벨/브레이커/로드헤더) 방법, 굴착방법별 설계시 고려사항 기술	

○ 발파굴착

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	– 구조물의 손상기준 발파진동 허용치 제시(허용입자속도 기준)	→ 터널설계기준 현행 기술체계 유지 → 발파와 관련한 일반적인 사항이므로 터널설계 기준의 내용으로 일원화 필요함 → 구조물 손상기준 허용치 기술에 있어 용어 통일 필요 (최대입자속도 vs 허용입자속도)
· 도로설계기준	– 터널설계기준 발파굴착 기준에 따른다.	
· 철도설계기준	– 구조물의 손상기준 발파진동 허용치 제시(최대입자속도 기준)	
· 도로설계편람	– 심발, 제어발파, 공법 비교, 발파공해 대책, 천공장비/천공속도 기준 제시 – 구조물의 손상기준 발파진동 허용치 제시(최대입자속도 기준)	→ 6.15.3 발파공법을 별도의 장으로 편성→내용의 방대함을 고려하여 별도의 장 편성은 바람직함 → 발파소음과 관련한 허용기준 등의 기술 필요
· 철도설계편람	– 심발, 제어발파 ,공법 비교, 발파공해 대책, 천공장비/천공속도, 기준 제시 – 구조물의 손상기준 발파진동 허용치 제시(허용입자속도 기준), 허용소음 기준 제시	→ 10.9.2 (2) 발파공법을 별도의 장으로 편성→내용의 방대함을 고려하여 별도의 장 편성은 바람직함

○ 굴착공법

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	– 굴진면의 자립성, 원지반의 지보능력, 지표면 침하의 허용값 등을 조사한 후에 시공성과 경제성을 고려하여 다음 사항을 근간으로 선정 – 전단면, 수평분할굴착, 연직분할굴착, 선진도갱굴착, 가인버트공법 분류	→ 터널설계기준 현행 기술체계 유지 → 굴착공법과 관련한 일반적인 사항이므로 터널설계 기준의 내용으로 일원화 필요하며 원론적인 수준에서의 기술만 필요함
· 도로설계기준	– 터널설계기준 굴착공법에 따른다.	
· 철도설계기준	– 굴진면의 자립성, 원지반의 지보능력, 지표면 침하의 허용값 등을 조사한 후에 시공성과 경제성을 고려하여 다음 사항을 근간으로 선정 – 전단면, 수평분할굴착, 연직분할굴착, 선진도갱굴착, 가인버트공법 분류	
· 도로설계편람 · 철도설계편람	– 터널단면의 크기, 굴진면의 자립성, 원지반의 지보능력 및 지표 침하의 허용값 등 제반여건을 충분히 고려하여 결정 – 전단면, 수평분할굴착, 연직분할굴착, 선진도갱굴착, 가인버트공법 분류	

○ 버력처리

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	– 기술내용 없음	→ 기준상에 버력처리 및 활용관련 내용 추가 필요
· 도로설계기준	– 기술내용 없음	
· 철도설계기준	– 버력의 재활용 여부를 설계시 반영이 필요하다는 내용만 기술	
· 도로설계편람 · 철도설계편람	– 버력크기 결정요소, 크기 예측, 버력반출과 관련한 내용 기술	

○ 여굴

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준	– 별도 기술내용 없음	→ 여굴 허용기준 설정에 따른 원칙적인 기술은 필요함 → 암반등급별, 굴착위치별, 굴착공법별 여굴 산정의 기준에 대한 내용 추가 필요 → 여굴 기준은 발주기관별로 상이하게 적용하는 것은 불합리하므로 통일 필요 → 철도의 경우 수시로 KR CODE를 제시하는바 타기관과 연계하여 통일 필요
· 도로설계편람	– 위치별, 보강공법 유무에 따른 여굴 기준 구 분 / 아치: 일반, 천정부 보강지반, 측벽, 바닥 및 인버트 여굴두께(cm): 15~20, H+15~20, 10~15, 10~15 비 고: H는 H형강 또는 격자지보의 높이임	
· 철도설계편람	– 굴착위치별 여굴 기준 제시 구 분 / 아치부 / 측벽부 / 바닥 및 인버트 여굴두께(mm): 15~20, 10~15, 10~15	

○ 보조공법

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널설계기준	- 굴착면의 자립시간이 짧은 지반에 대한 보조공법 적용 기술 - 터널표준 시방서를 참조하여 시공방법 선정	→ 터널설계기준 현행 기술체계 유지 → 보조공법과 관련한 일반적인 사항이므로 터널설계 기준의 내용으로 일원화 필요하며 → 각 기준에서는 원론적인 수준에서의 기술만 필요함 → 공법소개 위주의 서술로 공법전시장으로 전개될 우려가 있으므로 보강방법의 분류체계에 의한 기술이 필요 → 특정 공법 소개 등의 내용은 생략하는 것이 바람직함
·도로설계기준	- 지반조건, 지하수 유입정도, 굴착단면의 크기와 형태, 터널연장, 근접구조물 유무와 주변 환경영향 및 보조공법의 적용성을 고려	
·철도설계기준	- 지반조건, 지하수 유입정도, 굴착단면의 크기 등을 고려하여 보조공법을 선정 - 보조공법의 종류 기술(강봉/강관보강, 굴진면 보강용 숏크리트/록볼트)	
·도로설계편람	- 609 굴착보조공법 별도의 장으로 편성 - 굴착보조공법의 선정/종류(천장부 보강공법, 굴진면 자립공법) - 그라우팅 공법, 유도배수공법, 진행성 여굴대책 기술	
·철도설계편람	- 109.3 굴착보조공법 별도의 장으로 편성 - 굴착보조공법의 선정/종류 - 지반강화 및 구조적 보강(천단안정, 막장면/바닥면 보강, 지수 및 배수를 위한 공법)	

(2) TBM터널

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 TBM터널의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준(2007)	철도설계기준 노반편 (2011)	도로설계편람 제6편 터널편(2010)	철도설계편람 노반편 7권(터널, 2011)
제13장 TBM 터널	12.13 TBM 터널	616 TBM터널	10.13 TBM 터널
13.1 TBM 적용일반	12.13.1 TBM 터널 일반	616.1 TBM 일반사항	10.13.1 TBM 터널 일반
		616.2 TBM의 특징	10.13.2 TBM의 특징
13.2 계획	12.13.2 계획	616.3 TBM 터널 계획	10.13.3 TBM 터널 계획
13.3 조사	12.13.3 조사	616.4 조사 및 시험	10.13.4 조사 및 시험
13.4 설계일반	12.13.4 TBM 터널의 설계	616.5 TBM 터널의 설계	10.13.5 TBM 터널의 설계
13.5 TBM의 선정	12.13.5 TBM 선정 및 제작	616.6 TBM의 선정	10.13.6 TBM의 선정
13.6 TBM의 제작		616.7 TBM의 제작 설계	10.13.7 TBM의 제작 설계
13.7 터널지보재 및 보조공법	12.13.6 지보재 및 보조공법	616.8 지보재 및 보조공법	10.13..8 지보재 및 보조공법
13.8 세그먼트라이닝	12.13.7 세그먼트 설계	616.9 세그먼트의 설계	10.13.9 세그먼트의 설계
13.9 작업장 및 작업구	12.13.8 작업장 및 발진구	616.10 작업장 및 작업구	616.10 작업장 및 작업구
13.10 발진기지		616.11 발진기지	
13.11 터널 내 운반 시스템의 설계		616.12 터널내 운반시스템	10.13.11 터널내 운반시스템
13.12 기타설비	12.13.9 기타설비	616.13 기타의 설비 설계	10.13.12 기타의 설비 설계
13.13 뒤채움 주입재의 설계	12.13.10 뒤채움 주입재의 설계	616.14 뒤채움 주입재의 설계	10.13.13 뒤채움 주입재의 설계
13.14 방수설계	12.13.11 방수설계	616.15 방수설계	10.13.14 방수설계
13.15 콘크리트라이닝	12.13.12 콘크리트라이닝의 설계	616.16 콘크리트라이닝의 설계	10.13.15 콘크리트라이닝의 설계
		616.16 쉴드TBM 터널 구조물에 대한 내진 검토	10.13.16 쉴드TBM 터널 구조물에 대한 내진 검토

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널설계기준	- TBM 내진설계 없음	→ 도로설계 기준 별도의 절편성 필요 → 운반시스템의 내용은 철도설계기준에 기술 필요 → TBM의 내진설계 내용은 기준에서도 기술이 되어야 할 사항으로 내진 설계편에 기술 필요
·도로설계기준	- TBM관련 내용 별도 편성 없음	
·철도설계기준	- 터널내 운반시스템, TBM의 내진설계 없음	
·도로설계편람	- TBM의 내진설계 내용 기술 포함	
·철도설계편람	- TBM의 내진설계 내용 기술 포함	

(나) 내용분석

○ 내공단면(사행오차)

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 선형오차, 시공오차고려	→ 철도분야 기준과 편람의 상이한 부분 수정 필요
· 철도설계기준	- 허용시공오차 : 100~200mm 기준	
· 도로설계편람	- 허용시공오차 : 50~150mm 기준(일본철도터널)	
· 철도설계편람	- 허용시공오차 : 50~150mm 기준(일본토목학회)	

○ 굴진율

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 굴진 관련 시험 결과, 예측모델, 유사 시공사례 분석결과 활용	→ 철도설계 기준에 있어 굴진율 내용 추가 필요
· 철도설계기준	-	
· 도로설계편람	- 굴진 관련 시험 결과, 예측모델, 유사 시공사례 분석결과 활용	
· 철도설계편람	- 굴진 관련 시험 결과, 예측모델, 유사 시공사례 분석결과 활용	

○ 세그먼트라이닝

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	- 허용응력 설계법 으로 설계	→ 설계법에 대해 기준 간 상이함, 통일 필요 → 편람에서도 설계법에 대한 내용 기술 필요
· 철도설계기준	- 강도 설계법 으로 설계	
· 도로설계편람	-	
· 철도설계편람	-	

○ 작업장 규모 산정

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	-	→ 터널설계 기준의 내용에 필요한 최소 부지의 크기는 제시 필요
· 철도설계기준	- 조립장 폭 및 길이, 버력처리장 최소 기준 제시	
· 도로설계편람	- 조립장 폭 및 길이, 버력처리장 최소 기준 제시	
· 철도설계편람	- 조립장 폭 및 길이, 버력처리장 최소 기준 제시	

○ 내진검토

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	-	→ 기준의 내용에 내진설계가 필요한 이유와 검토대상에 대한 기술 필요
· 철도설계기준	-	
· 도로설계편람	- 검토대상의 터널 ·지중접합부, 분기구, 수직구와 같이 복공구조가 급변하는 경우 ·연약지반의 경우 ·토질, 토피, 기반암의 심도 등의 지반조건이 급변하는 경우 ·급곡선부가 있는 경우 ·느슨하고 포화된 모래지반으로 액상화 가능성이 있는 경우	
· 철도설계편람	- 검토대상의 터널 ·지중접합부, 분기구, 수직구와 같이 복공구조가 급변하는 경우 ·연약지반의 경우 ·토질, 토피, 기반암의 심도 등의 지반조건이 급변하는 경우 ·급 곡선부가 있는 경우 ·느슨하고 포화된 모래지반으로 액상화 가능성이 있는 경우	

(3) 계측설계

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 터널굴착 방법의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제9장 굴착 및 계측	8.4 터널설계	12. 9 굴착 및 계측	610 계측	10.9.4 계측
9.3 계측	8.4.10 계측설계	12.9.3 계측		

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준	- 굴착 및 터널설계의 기술부문에 포함에서 기술 - 일상계측, 정밀계측의 설치기준에 대한 원론적인 내용 기술 - 유지관리 계측 및 계측관리 부분에 대한 내용의 기술은 부족함	→ 계측관리 기준 등에 대한 추가적인 기술이 필요함
· 도로설계편람 · 철도설계편람	- 굴착편과 계측편을 분리하여 기술 - 계측장비의 원리 등이 간략하게 기술되어 있음 - 계측관리 기준에 대한 내용이 기술되어 있음 - 유지관리 계측의 구체적인 내용 기술	→ 계측 내용의 방대함에 따른 별도의 편을 구성하여 이에 대한 내용 기술이 바람직함

(나) 내용분석

○ 계측 설계시 고려사항

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준	– 계측항목, 계측위치, 배치간격, 계측기기의 선정, 설치시기 – 측정기간 및 빈도, 결과정리 및 분석방법에 대한 검토 필요 기술	→ 터널설계기준 현행 기술체계 유지 → 계측과 관련한 일반적인 사항이므로 터널설계 기준의 내용으로 일원화 필요하며 원론적인 수준에서의 기술만 필요함
· 도로설계기준	– 터널설계기준 계측에 따른다.	
· 철도설계기준	– 계측항목, 계측위치, 배치간격, 계측기기의 선정, 설치시기 – 측정기간 및 빈도, 결과정리 및 분석방법에 대한 검토 필요 기술	
· 도로설계편람	– 계측의 정의/목적, 계측 원리 및 계측 시스템, 계측설계, 계측시행 – 계측결과의 활용(계측관리기준 제시)	→ 도로/철도의 공통된 사항으로 내용의 유사함 → 계측관리 기준이 제시되어 있으며 계측 결과의 분석과 활용에 대한 내용 기술 → 진동/소음과 관련된 내용은 발파굴착과 관련된 내용으로 기술체계의 정리가 필요함
· 철도설계편람	– 계측일반, 계측계획(계측관리기준 제시), 계측시행 – 진동/소음기준 제시, 계측결과의 분석 및 활용계획	

○ 일상계측

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준	– 시행항목 : 터널내 관찰조사, 내공변위 측정, 천단침하 측정, 지표침하 측정 – 항목별 계측관리 최소기준 정의	→ 터널설계기준 현행 기술체계 유지 → 일상계측과 관련한 일반적인 사항이므로 터널설계 기준의 내용으로 일원화 필요
· 도로설계기준	– 터널설계기준 계측에 따른다.	
· 도로설계편람 · 철도설계편람	– 계측의 내용을 계측 대상물의 목적에 따라 일상계측과 정밀계측의 측면에서 분류 시행	
	– 계측의 내용을 일상계측과 정밀계측의 측면에서 단순 분류 시행	

○ 정밀계측

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준	– 지반 조건 또는 주변 여건에 따라 지반 및 구조물의 거동 관찰 목적 – 정밀계측 실시간격, 시행 위치, 3차원 계측의 고려사항 기술	→ 터널설계기준 현행 기술체계 유지 → 정밀계측과 관련한 일반적인 사항이므로 터널설계 기준의 내용으로 일원화 필요 → 교과서적인 내용 기술지양, 장비의 측정원리 등의 내용은 과도한 내용으로 판단됨
· 도로설계기준	– 터널설계기준 계측에 따른다.	
· 도로설계편람	– 계측의 내용을 일상계측과 정밀계측으로 단순 분류하였으며 계측기기의 측정원리에 대한 간략한 기술	
· 철도설계편람	– 계측의 내용을 일상계측과 정밀계측의 측면에서 단순 분류 시행	

○ 유지관리계측

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준	– 준공 후 유지관리 시의 안정성 확보를 위한 유지관리 계측 기술	→ 터널설계기준 현행 기술체계 유지 → 유지관리계측과 관련한 일반적인 사항이므로 터널설계 기준의 내용으로 일원화 필요 → 계기의 유지관리, 장기계측 계획 등 기술내용의 간략화 필요
· 도로설계기준	– 터널설계기준 계측에 따른다.	
· 도로설계편람	– 유지관리 계측 계획의 수립, 유지관리 계측 항목 기술	
· 철도설계편람	– 계기의 유지관리, 장기계측 계획의 수립	

5) 갱구부, 확폭 및 접속부

(1) 갱구부

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 갱구부 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제10장 갱구부	제8장 터널공	612 갱구부	12.10 갱구부	10.10 갱구부
10.1 설계일반	8.4 터널설계	612.1 일반사항	12.10.1 갱구부 설계일반	10.10.1 갱구부 설계일반
10.2 갱구부의 설계	8.4.7 갱구부 설계	612.2 갱구부 설계	12.10.2 갱구부 설계	10.10.2 갱구부 설계
10.3 갱문의 설계		612.3 갱문 설계	12.10.3 갱문 설계	10.10.3 갱문 설계
		612.4 부대시설		

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	– ‘8.4.7 갱구부 설계’ 내에 ‘(1) 갱구부설계’, ‘(2) 갱문설계’ 항목 함께 수록됨	→ 「터널설계기준」에서 제시된 목차 항목과 유사한 구성으로 보완 필요
· 도로설계편람	– ‘부대시설’ 내용 수록됨	
· 철도설계기준	– 철도설계기준의 목차는 터널설계기준과 유사하게 구성됨	
· 철도설계편람	– 철도설계편람의 목차는 터널설계기준과 유사하게 구성됨	

(나) 내용분석

○ 갱구부 계획

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준	– 터널 중심축선과 지형경사면이 평행한 경우는 가급적 피해야 하며, 골짜기 쪽의 토피가 극단적으로 얇아질 경우가 있으므로 전 구간에 걸쳐 편압에 대한 검토와 이에 대한 대책을 수립하여야 한다.	→ 「철도설계기준」내에 「터널설계기준」에서 제시된 내용으로 추가 보완 필요
· 철도설계기준	내용 없음	
· 도로설계편람 · 철도설계편람	– 갱구위치 선정의 ‘비탈면 평행형’ 에 유사한 내용 수록됨	→ 편람에 유사한 내용이 수록되어 있으며, 편람의 성격상 내용을 비교하여 일치할 필요 없음

○ 갱구부 보강

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준	- 갱구부는 일반적으로 지반의 강도와 고결도가 낮은 경우가 많고 암반층에서도 균열 발달이 심한 경우가 많으므로 지반의 자체 지보력 확보를 위하여 보다 적극적인 보강공법을 적용하여야 하며, 동일 지반 조건에서의 일반구간보다 안전한 굴착공법과 지보패턴의 작용을 검토하여야 한다.	→「철도설계기준」내에「터널설계기준」에서 제시된 내용으로 추가 보완 필요
· 철도설계기준	내용 없음	
· 도로설계편람	- '갱구 비탈면 보강 및 보호공법', '굴착공법과 시공순서' 내에 상세내용 수록됨	→ 편람에 유사한 내용이 수록되어 있으며, 편람의 성격상 내용을 비교하여 일치할 필요 없음
· 철도설계편람	- '갱구 비탈면 보강 및 보호공법', '갱구부 굴착공법' 내에 상세내용 수록됨	

○ 갱구부 위치 선정

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준	내용 없음	→「터널설계기준」,「도로설계기준」,「철도설계기준」내에「도로설계편람」,「철도설계편람」에서 제시된 내용에 대한 추가 보완 여부 검토 필요
· 도로설계편람	- 갱구위치 선정시 지형과 터널중심 축선과의 관계를 고려하여 다음과 같이 분류함 ① 비탈면 직교형, ② 비탈면 경사교차형 ③ 비탈면 평행형, ④ 능선평행형, ⑤ 골짜기 진입형	→「도로설계편람」과「철도설계편람」의 용어 명과 내용 통일 필요
· 철도설계편람	- 갱구위치 선정시 지형과 터널중심 축선과의 관계를 고려하여 다음과 같이 분류함 ① 비탈면 직교형, ② 비탈면 경사교차형 ③ 비탈면 평행형, ④ 밑뿌리 진입형, ⑤ 골짜기 진입형	

○ 갱구부 지보 및 굴착

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준 · 도로설계편람	내용 없음	→「터널설계기준」,「도로설계기준」,「철도설계기준」,「도로설계편람」내에「철도설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완 여부 검토 필요
· 철도설계편람	- 갱구부의 표준지보패턴 및 굴착보조공법의 적용성에 대한 상세내용 수록됨	

○ 갱구비탈면 설계

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준	내용 없음	→ 「철도설계기준」에서 제시된 내용으로 추가 보완 필요
· 철도설계기준	– 터널 갱구부 주위에 태풍 등의 영향으로 쓰러지거나 가지가 끊어져 열차운행에 지장을 줄 수 있는 수종은 식재하지 않도록 하여야 한다. – 집중호우시 터널 갱구부 비탈면으로 대량의 지표수가 직접 유입되지 않도록 비탈면 어깨부에 산마루 측구를 설치하고, 비탈면에는 식생공 등의 비탈면 보호공을 시공해야 한다. 비탈면의 지질이 불량한 경우에는 옹벽 또는 비탈면보호블럭 등 영구시설물 설치를 고려해야 한다.	
· 도로설계편람	– '갱구 비탈면 보강 및 보호공법' 내에 갱구 비탈면 보강공법 및 갱구 암반비탈면 녹화공법의 종류와 적용성에 대한 내용 수록됨	→ 편람에 유사한 내용이 수록되어 있으며, 편람의 성격상 내용을 비교하여 일치할 필요 없음
· 철도설계편람	– '갱구 비탈면 보강 및 보호공법' 내에 갱구 비탈면 보강공법의 종류와 적용성, 갱구 암반비탈면 녹화공법의 종류와 적용성에 대한 내용 수록됨	

○ 갱문 계획

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준	내용 없음	→ 「터널설계기준」, 「도로설계기준」내에 「철도설계기준」에서 제시된 내용으로 추가 보완 필요
· 철도설계기준	– 갱문 상부에는 낙석방지, 통행자의 안전을 위한 안전난간 등의 보호시설을 설치하여야 한다.	
· 도로설계편람 · 철도설계편람	– 갱문 배면에는 개통 후 낙석, 눈사태 등의 재해를 미연에 방지할 수 있는 대책을 필요에 따라 고려해야 한다.	

○ 갱문 형식

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준	– 갱문의 종류 면벽형 – 중력식, 날개식 돌출형 – 파라펫트식, 원통깎기식, 벨마우스식	→ 갱문의 종류 분류가 각 기준마다 상이하므로 용어 명과 내용 통일 필요
· 철도설계기준	– 갱문의 종류 면벽형 – 중력식, 날개식 돌출형 – 파라펫트식, 원통절개식, 벨마우스식	
· 도로설계편람 · 철도설계편람	– 갱문의 종류 중력형 – 중력 · 반중력식 면벽형 – 날개식, 아치날개식 돌출형 – 파라펫트식, 돌출식, 원통절개식, 벨마우스식	

○ 갱문 부대시설

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	내용 없음	→ 「터널설계기준」, 「도로설계기준」, 「철도설계기준」, 「철도설계편람」내에 「도로설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완여부 검토 필요
· 도로설계편람	– '직광 및 조도 순응시설', '부대시설' 에 대한 상세내용 수록됨	

(2) 단면확폭부 및 접속부

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 단면확폭부 및 접속부 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권(터널, 2011)
제11장 단면확폭부 및 접속부	제8장 터널공	613 단면확폭부 및 접속부	12.11 단면확폭부 및 접속부	10.11 단면확폭부 및 접속부
11.1 설계일반	8.4 터널설계	613.1 개요	12.11.1 설계일반	
11.2 단면확폭부의 설계	8.4.8 단면확폭부 및 분기부 설계	613.2 단면확폭부의 설계	12.11.2 단면확폭부의 설계	10.11.1 터널단면 확대설계
11.3 접속부의 설계		613.3 접속부의 설계	12.11.3 접속부의 설계	10.11.2 접속부의 구간 설계

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	- '8.4.8 단면확폭부 및 분기부 설계' 내에 '(3) 단면확폭부 설계', '(4) 분기부 설계' 항목 함께 수록됨	→「터널설계기준」에서 제시된 목차 항목과 유사한 구성으로 보완 필요
· 도로설계편람 · 철도설계기준 · 철도설계편람	-「터널설계기준」과 유사하게 구성됨	

(나) 내용분석

○ 단면 확폭부 및 접속부 계획

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>· 터널설계기준</td><td>【표 2.8】 단면확폭부와 접속부의 구분
<table>
<tr><th>구분</th><th>단면확폭부</th><th>접속부</th></tr>
<tr><td>도로터널</td><td>·비상주차대 구간
·오르막 차로 설치구간
·갱구부 확폭구간
·2아치/3아치 터널구간</td><td>·피난연결통로 설치구간
·환기용 터널 설치구간
·수직구 설치구간
·사갱 설치구간</td></tr>
<tr><td>철도터널</td><td>·분기기 설치구간
·구난정거장 구간
·단복선 변화구간
·정거장 구간
·신호장 구간</td><td>·변압기 설치구간
·대형대피소 설치구간
·환기용 및 대피용 터널 설치구간
·수직구 설치구간
·단복선 연결구간
·사갱 설치구간</td></tr>
<tr><td>도시철도터널</td><td>·정거장 구간
·유치선 구간
·신호소 설치구간
·단복선 변화구간</td><td>·단복선 연결구간
·변전실 설치구간
·대피용 터널 설치구간</td></tr>
<tr><td>기타</td><td colspan="2">·일반부보다 확폭된 단면이나, 터널 간 접속되는 구간</td></tr>
</table></td><td rowspan="3">→「터널설계기준」에서 제시된 내용으로 통일 필요
→ 철도설계기준에는 접속부에 대한 언급이 없음. 구조적으로 취약구간인바 이에 대한 언급 필요</td></tr>
<tr><td>· 도로설계기준</td><td>내용 없음</td></tr>
<tr><td>· 철도설계기준</td><td>- 터널 단면을 확폭해야 하는 경우는 다음과 같다.
① 단선터널 내 교행역이나 대피역 등의 시설로 확대확폭하는 구간
② 터널 내 분기기 설치로 확폭하는 구간
③ 터널이 평면선형상 곡선부에 위치하여 건축한계(시설한계) 폭을 확폭하는 경우
④ 터널 내 환기설비 설치로 확폭하는 구간
⑤ 터널 내 본선이 단선병렬에서 복선으로 또는 복선에서 단선병렬로 선로간격이 변화되는 구간
⑥ 대피소, 신호기, 전철기, 변압기 등 시설의 설치로 단면확폭이 필요한 구간</td></tr>
</table>

○ 단면 확폭부 및 접속부 구간

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>· 도로설계편람</td><td>– 단면확폭부 및 접속부의 분류
(1) 단면확폭부의 대표적인 예
① 비상주차대 구간
② 오르막 차로 설치구간
③ 갱구부 확폭구간
④ 2–Arch, 3–Arch 터널구간
⑤ 환기소 통과구간
(2) 접속부의 대표적인 예
① 도로터널의 집진기기실과 환기갱 설치부
② 도로터널의 분기 및 합류점(2–Arch, 3–Arch 형태)
③ 수직구와 환기갱 접속부
④ 피난연락갱과 방향전환소
⑤ 기타 터널간 연결터널</td><td>→「터널설계기준」에서 제시된 내용으로 통일 필요</td></tr>
<tr><td>· 철도설계편람</td><td>【표 2.9】 단면확폭부와 접속부의 구분
<table>
<tr><th>구분</th><th>단면확폭부</th><th>접속부</th></tr>
<tr><td>철도터널</td><td>·분기기 설치구간
·구난정거장 구간
·단복선 변화구간
·정거장 구간
·신호장 구간</td><td>·변압기 설치구간
·대형대피소 설치구간
·환기용 및 대피용 터널 설치구간
·연직갱 설치구간
·단복선 연결구간
·경사갱 설치구간</td></tr>
<tr><td>도시철도터널</td><td>·정거장 구간
·유치선 구간
·신호소 설치구간
·단복선 변화구간</td><td>·단복선 연결구간
·변전실 설치구간
·대피용 터널 설치구간</td></tr>
<tr><td>기타</td><td colspan="2">·일반부보다 확폭된 단면이나, 터널 간 접속되는 구간</td></tr>
</table></td><td>→「터널설계기준」에서 제시된 용어 명과 내용으로 통일 필요</td></tr>
</table>

○ 지반조건을 고려한 단면 확폭부 및 접속부 위치

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>· 터널설계기준</td><td>– 단면확폭부와 접속부는 지반조건이 양호한 구간에 설치하여야 하며, 지반 조건이 불량한 구간에 위치하는 경우에는 설치 목적에 위배되지 않는 범위 내에서 위치 변경이 가능하도록 계획하여야 한다.</td><td rowspan="3">→「터널설계기준」에서 제시된 내용으로 통일 필요</td></tr>
<tr><td>· 도로설계기준</td><td>– 단면확폭부와 분기부는 지반의 조건이 양호하다고 예측되는 위치에 설치하는 것을 원칙으로 한다.</td></tr>
<tr><td>· 철도설계기준</td><td>– 기본단면을 확폭하는 터널은 지반의 조건이 양호한 위치에 설치하는 것을 기본으로 한다.</td></tr>
<tr><td>· 도로설계편람</td><td>– ‘단면확폭부와 접속부는 지반조건이 양호한 구간에 설치하여야 하며, 지반조건이 불량한 구간에 위치하는 경우에는 도로의 제반계획과 기준 등 설치 목적에 위배되지 않는 범위 내에서 위치 조정이 가능하도록 계획하고……’</td><td rowspan="2">→ 편람에 유사한 내용이 수록되어 있으며, 편람의 성격상 내용을 비교하여 일치할 필요 없음</td></tr>
<tr><td>· 철도설계편람</td><td>– 지반조건이 열악하고 주변여건상 터널시공이 장래 문제를 유발할 가능성이 있는 지역에서는 위치를 변경하여 계획하는 것이 바람직하다.</td></tr>
</table>

○ 단면 확폭부 및 접속부 지보

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준	내용 없음	→「터널설계기준」,「도로설계기준」,「철도설계기준」 내에「도로설계편람」 및「철도설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완여부 검토 필요
· 도로설계편람	- 단면확폭부의 굴착방법, 단면확폭부 지보 및 보강, 단면확폭부의 설계사례에 대한 상세내용 수록됨	→ 편람에 수록된 내용이 서로 유사하며, 편람의 성격상 내용을 비교하여 일치할 필요 없음
· 철도설계편람	- 단면 확대구간 지보형식, 단면 확대구간 시공순서에 대한 상세내용 수록됨	

○ 접속부 : 접속부 vs 분기부

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계편람	- 접속부	→「터널설계기준」에서 제시된 용어 명과 내용으로 통일 필요
· 도로설계기준	- 분기부	

○ 접속부 보강범위

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계편람	- 접속부의 보강범위는 접속각도 90° 인 경우 접속터널은 접속터널 최대폭(d)의 1d, 본선터널은 본선터널 최대폭(D)의 1D를 표준으로 하는 것을 원칙으로 하되, 상세검토를 통하여 보강범위를 별도로 선정할 수 있으며, 기타 접속각도의 경우 접속각도에 따른 응력 집중 및 증가를 검토하여 보강범위를 선정하여야 한다.	→「터널설계기준」에서 제시된 내용으로 추가 보완 필요
· 철도설계기준	내용 없음	

○ 접속부 안정성 검토

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	내용 없음	→ 편람의 성격상 내용을 비교하여 일치할 필요 없음
· 도로설계편람	- 일본의 사례, 수치해석에 의한 설계 내용 수록됨	

(3) 연직갱 및 경사갱

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 연직갱 및 경사갱 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권(터널, 2011)
제12장 연직갱 및 경사갱	제8장 터널공	614 연직갱 및 경사갱	12.12 연직갱 및 경사갱	10.12 연직갱, 경사갱 및 횡갱
12.1 설계일반	8.4 터널설계	614.1 일반사항	12.12.1 설계일반	10.12.1 연직갱, 경사갱 및 횡갱 일반사항
12.2 연직갱의 설계	8.4.9 수직갱 및 사갱설계	614.2 연직갱 설계	12.12.2 연직갱 설계	10.12.2 연직갱 설계
12.3 경사갱의 설계		614.3 경사갱 설계	12.12.3 경사갱 설계	10.12.3 경사갱 설계
				10.12.4 횡갱 설계

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계기준	– '8.4.9 수직갱 및 사갱설계' 내에 '(1) 수직갱 설계', '(2) 사갱 설계' 항목 함께 수록됨	→ 「터널설계기준」에서 제시된 목차 항목과 유사한 구성으로 보완 필요
· 철도설계기준 · 도로설계편람	– 「터널설계기준」의 목차와 유사하게 구성됨	
· 철도설계편람	– '10.12.4 횡갱 설계' 항목이 수록됨	

(나) 내용분석

○ 설계일반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계편람	내용 없음	→ 「철도설계편람」 내에 「철도설계기준」에서 제시된 내용으로 추가 보완 필요
· 철도설계기준	– 차량의 터널 진입 시 발생하는 공기압 증가에 따른 이명감 및 공기 저항 증가 등을 해소하기 위하여 연직갱 또는 경사갱을 설계할 경우에는 사전에 필요로 하는 조사 및 검토를 실시하여야 한다.	

○ 연직갱 : 연직갱 vs 수직갱

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계편람	– 연직갱	→ 「터널설계기준」에서 제시된 용어 명과 내용으로 통일 필요
· 도로설계기준	– 수직갱	

○ 연직갱 라이닝 시공방안

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	내용 없음	→「도로설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완여부 검토 필요
· 도로설계편람	- 라이닝의 1회 타설높이는 시공방법에 따라 결정되는데 굴착 직후 콘크리트 벽체(라이닝)를 타설하는 경우에는 1.0m~1.5m로 타설하는 경우가 많다.	

○ 연직갱 라이닝 두께

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준	내용 없음	→「도로설계편람」 및 「철도설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완여부 검토 필요
· 도로설계편람	- 연직갱에서 콘크리트라이닝의 두께는 일반적으로 300~500mm로 설계되는 예가 많다.	→ 같은 내용으로 통일여부 검토 필요
· 철도설계편람	- 국내외 연직갱 시공 실적 및 이론에 의한 라이닝 설계두께는 … 중략 … 약 200~400mm로 설계하며, 단면의 증감에 따라 설계두께도 적절하게 증감시키도록 해야 한다.	

○ 연직갱 부대설비

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준	- 공사 중 배수설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다. - 공사 중 발전설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.	→「철도설계기준」에서 제시된 내용으로 통일 필요
· 철도설계기준	- 공사 중 배수설비는「12.14.5 공사 중 배수설비」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다. - 공사중 발전설비는「12.14 환기 및 조명 설비」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.	
· 도로설계편람	- '2.4 지하수 처리 및 배수 설계' 에 '2.5 터널바닥 및 터널외부설비 설계' 에 상세내용 수록됨	→ 편람의 성격상 내용을 비교하여 일치할 필요 없음
· 철도설계편람	- '(4) 지하수처리공법 계획', '(5) 바닥 및 외부설비 계획' 에 상세내용 수록됨	

○ 경사갱 : 경사갱 vs 사갱

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 철도설계기준 · 도로설계편람 · 철도설계편람	- 경사갱	→「터널설계기준」에서 제시된 용어명과 내용으로 통일 필요
· 도로설계기준	- 사갱	

○ 경사갱 라이닝 두께

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준	내용 없음	→「터널설계기준」,「도로설계기준」내에「철도설계기준」에서 제시된 내용으로 추가 보완 필요
· 철도설계기준	- (4) ④ 라이닝두께는 일반적으로 경사갱에서는 하중의 크기에 견딜 수 있는 두께로 설계한다.	
· 도로설계편람 · 철도설계편람	- 내압이 작용하는 경사갱에서는 하중의 크기에 적절한 두께를 정한다.	

○ 경사갱 단면계획

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준	내용 없음	→「도로설계편람」및「철도설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완 여부 검토 필요
· 도로설계편람	- '내공단면의 크기는 … 중략 … 작업통로(폭 0.75m × 높이 2m), 각종 배선 등의 배치에 따라 결정된다'	→ 작업통로 크기가 다르므로 같은 내용으로 통일여부 검토 필요
· 철도설계편람	- '내공단면의 크기는 … 중략 … 작업통로(폭 0.7m × 높이 2m), 각종 배선 등의 배치에 따라 결정된다'	

○ 경사갱 종단 기울기

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준	내용 없음	→「도로설계편람」및「철도설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완 여부 검토 필요
· 도로설계편람	- 덤프트럭방식에 의한 버력반출시는 일반덤프트럭이 버력적재 후 차량에 무리 없이 운행 가능하도록 일반적으로 7° (약 12.5%)로 계획한다. - 벨트컨베이어 방식이나 궤도방식의 경우는 일반적으로 14° (약 25%)로 계획한다. 운반장비의 성능 향상으로 이 보다 급한 기울기로 작업이 가능할 경우에는 운반장비의 성능에 맞게 계획한다.	→「도로설계편람」과「철도설계편람」에서 버력의 반출방법에 따른 기울기 계획 내용이 다르므로 같은 내용으로 통일여부 검토 필요
· 철도설계편람	- 덤프트럭 이용방법에서는 덤프트럭의 주행성능과 경사갱 연장을 고려하여 1/8(약 7°)~1/25(약 4.5°)정도를 표준으로 하고 있다. - 벨트 컨베이어 방법에서는 버력의 미끌림에 따라 최대 18° 까지는 가능하지만, 일반적으로 1/4(약 14°)를 표준으로 하고 있다. - 궤도방법에서는 권양기의 출력과 안전성, 효율성을 고려하여 1/4(약 14°)를 표준으로 하지만 약간 큰 16° 정도까지 허용할 수 있다.	

○ 경사갱 방향전환소 설치계획

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준 · 철도설계편람	내용 없음	→ 「도로설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완여부 검토 필요
· 도로설계편람	- 덤프트럭의 방향전환을 용이하게 하기 위하여 100~200m 간격으로 방향전환소를 설치하고 … 중략 …. 연장이 긴 경사갱을 덤프트럭 방식으로 경사갱에서 발생되는 버력을 처리할 경우 일정한 간격으로 방향전환소를 설치하는 것이 작업능률 향상에 유리하다.	

○ 경사갱 지보

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준 · 도로설계편람	내용 없음	→ 「철도설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완여부 검토 필요
· 철도설계편람	- 작업용 경사갱 굴착시 H형 강지보재 규격은 H-100×100×6×8의 것을 사용하며, 원지반의 상태에 따라 0.9~1.5m 간격으로 설치해야 한다.	

○ 경사갱과 본선부 접속 계획

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준 · 철도설계기준	내용 없음	→ 「도로설계편람」 및 「철도설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완여부 검토 필요
· 도로설계편람 · 철도설계편람	- 경사갱 수평부와 본선터널 및 운반갱도와의 교차각도는 직각이 바람직하지만 운반궤도나 기계의 운행을 고려하여 30° ~60° 정도가 일반적으로 적용되고 있다.	

○ 경사갱 부대설비

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준	- 공사 중 배수설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.(터널설계기준에서 내용중복) - 공사 중 발전설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.	→ 「철도설계기준」에서 제시된 내용으로 통일 필요
· 철도설계기준	- 공사 중 배수설비는 「12.14.5 공사 중 배수설비」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다. - 경사갱의 터널외부설비로서 공사 중 발전설비 설계 시에는 「12.14 환기 및 조명설비」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.	→ 「터널설계기준」에서 중복된 내용은 하나를 삭제 필요
· 도로설계편람	- '3.4 지하수 처리 및 배수 설계' 에 '3.5 터널바닥 및 터널외부설비 설계' 에 상세내용 수록됨	→ 편람의 성격상 내용을 비교하여 일치할 필요 없음
· 철도설계편람	- '(5) 터널바닥 및 외부설비 계획' 에 상세내용 수록됨	

(4) 개착터널

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 설계기준의 개착터널 편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (2011)	철도설계편람 노반편 7권(터널, 2011)
		611 개착터널부	12.17 개착터널	10.17 개착터널
		611.1 개착터널의 정의	12.17.1 설계일반	10.17.1 개착터널
		611.2 개착터널의 종류	12.17.2 단면설계	10.17.2 단면설계
		611.3 개착터널의 적용하중	12.17.3 적용하중	10.17.3 설계하중
		611.4 개착터널의 설계	12.17.4 구조해석	
		611.5 설계시 중점고려사항	12.17.5 접합부 및 되메움 세부사항	10.17.4 접속부
				10.17.5 되메움
		611.6 내진설계		
		611.7 개착터널의 수치해석 사례		
		611.8 개착터널 기초지지력		

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널설계기준 · 도로설계기준	– 개착터널에 대한 내용이 없음	→ 개착터널에 대한 내용 추가 필요
· 도로설계편람	– 설계시 중점고려사항에 '접합부' 및 '되메움'에 대한 내용 수록됨 – '내진설계', '개착터널의 수치해석 사례', '개착터널 기초지지력'에 대한 내용 수록됨	→「철도설계기준」내에「도로설계편람」및「철도설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완여부 검토 필요
· 철도설계기준	– '12.7.4 구조해석'에 내진설계에 대한 내용 수록됨 – '개착터널의 수치해석 사례', '개착터널 기초지지력'에 대한 내용없음	
· 철도설계편람	– '개착터널의 설계', '내진설계', '개착터널의 수치해석 사례', '개착터널 기초지지력'에 대한 내용없음	

(나) 내용분석

○ 개착터널의 종류

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·도로설계편람	(1) 설치위치에 따른 분류 ① 돌출형 갱문에서의 개착터널 ② 면벽형 갱문에서의 개착터널 ③ 계곡부 통과시 개착터널 (2) 사용용도에 따른 분류 ① 피암용 개착터널 ② 환경생태용 개착터널 (3) 구조물 형태에 따른 분류 ① 마제형 개착터널 ② 박스형 개착터널 (4) 시공방법에 따른 분류 ① 현장타설 개착터널 ② 프리케스트 개착터널	→ 개착터널의 종류에 따른 분류가 다르므로 통일 필요
·철도설계기준	① 돌출형 갱문에서의 개착터널 ② 면벽형 갱문에서의 개착터널 ③ 계곡부 통과시 개착터널	
·철도설계편람	(1) 설치위치에 따른 분류 ① 돌출형 갱문에서의 개착터널 ② 면벽형 갱문에서의 개착터널 ③ 계곡부 통과시 개착터널 (2) 사용용도에 따른 분류 ① 피암용 개착터널 ② 환경생태용 개착터널 (3) 구조물 형태에 따른 분류 ① 마제형 개착터널 ② 박스 컬버트형 개착터널	

○ 개착터널의 적용하중

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계편람	– 상재하중, 토피하중, 토압, 수압, 자중, 터널 내부의 하중, 온도변화 및 건조수축, 지진하중, 되메우기시 하중, 피암터널의 충격력	→ 적용하중에 대한 내용이 다르므로 통일 필요
· 철도설계기준	– 고정하중, 활하중, 충격하중, 토압, 수압, 부력, 온도변화, 콘크리트의 건조수축, 기타자중	
· 철도설계편람	– 상재하중, 토피하중, 토압, 수압, 자중, 터널 내부의 하중, 온도변화 및 건조수축, 지진하중, 시공시 하중	

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 도로설계편람	– 계절별 온도하중 ±15℃~±20℃ 적용한다. – 건조수축에 의한 변형률은 라멘인 경우 0.00015, 아치구조인 경우 철근량이 0.5%이상이면 0.00015, 철근량이 0.1%~0.5%이면 0.00020 을 적용한다.	→ 온도하중에 대한 내용이 다르므로 통일 필요
· 철도설계기준	– 상부슬래브 700mm 이상인 경우 t_0=±10℃ 상부슬래브 700mm 미만인 경우 t_0=±15℃ – 부정정구조물의 설계에 사용하는 건조수축 변형률은 일반적으로 0.00015로 한다.	
· 철도설계편람	– 온도차에 의한 단면력 산출시 적용하는 온도차는 5℃이며, 건조수축에 의한 변형율은 0.00020으로 온도로 환산하면 20℃이다.	

○ 접합부 및 되메움

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 철도설계기준	내용 없음	→「철도설계기준」내에 「도로설계편람」및 「철도설계편람」에서 제시한 내용에 대한 추가 보완여부 검토 필요
· 도로설계편람 · 철도설계편람	– 접합부에 '필요시 지수판과 수팽창성 지수제 등을 설치하여 누수에 대한 대책을 강구하여야 한다' 라고 명시됨	

2.1.4 검토의견

○ 상위기준인 터널설계기준은 2007년에 개정되었다. 철도설계기준(2011), 철도설계편람(2011), 도로설계편람(2010)은 터널설계기준(2007)을 고려하여 개정을 완료하였고, 도로설계기준(2005)은 터널설계기준을 반영하여 개정 중에 있다.

○ 국내 터널설계기준의 문제점을 분석하기위해 상위기술기준 3종(「터널설계기준」, 「도로 설계기준(터널)」, 「철도 설계기준(노반편)」) 과 하위 기술기준 2종(「도로설계편람(터널)」,「철도설계편람(노반편, 터널)」)을 중심으로 총 5종 기술기준의 목차와 내용을 비교하였다.

○ 국내 터널설계기준의 목차는 전체적으로 유사하게 구성되어 있으나, 일부 상세목차가 상이한 것으로 터널설계기준(2007)과 해외기준 등을 반영하여 수정 보완하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

○ 국내 터널설계기준의 내용은 78개 항목에 대한 문제점을 도출하였고, 그 개선(표준화)방안을 요약하면 다음과 같다.

- 각 기준에 제시된 용어가 상이한 경우에는 터널설계기준(2007)을 참고하여 수정 및 보완 요망
- 각 기준에 제시된 정량적인 기준(강지보재 설치간격, 격자지보재 재질, 숏크리트 굵은골재, 강섬유보강, 숏크리트 휨 강도, 숏크리트 설계강도, 숏크리트 최소두께, 콘크리트라이닝 피복두께 등)도 터널설계기준(2007)을 참고하여 수정요망. 단, 숏크리트 굵은골재(10mm)등은 터널 시공현장에서 반영하기 어려우므로, 현장적용 유예기간을 제시할 필요성이 있음
- 콘크리트 라이닝은 설계법, 재료적 특징 등에 대한 정립이 필요함

2.2 국내 터널시방서의 특성

2.2.1 국내시방기준 분석연구의 필요성

현재 국내에서 사용하고 있는 시방기준은 총 28종(표준시방서19종, 전문시방서 9종)으로 분야별로 세분화되고 중복되어 건설기술 발전의 저해요인으로 작용한다.

1) 각 설계기준 및 표준시방서 간 내용의 중복 및 기준의 불일치로 사용상 불편, 기준 운영의 비효율성, 건설분쟁 가능성 등을 초래

최근 세계 각국에서 추진하고 있는 저탄소, 녹색성장을 위한 국내설계기준 정비가 미흡한 실정이다.

2.2.2 국내시방기준 위상도(tree) 분석

1) 국내시방기준의 구성 체계 정립

(1) (건설공사기준 선진화 로드맵(안) 참조, 한국건설기술연구원, 2011. 12)

(가) 복잡한 기준을 통합하여 재료별 · 시설별 계층구조로 간결화

(나) (시설별 기준 통합관리) 도로/철도/수자원/항만/건축물 등 각 시설별로 통합하여 설계기준 및 표준시방서 마련

① 도로 · 도로교 · 터널을 ‘도로시설’로, 철도의 기능별 구분에 따른 일반철도 · 고속철도를 ‘철도시설’로, 하천 · 댐을 ‘수자원시설’로, 건축구조 · 기계설비 · 전기설비를 ‘통합건축’으로 통합

② 비탈면, 조경, 공동구 등 기준은 모든 시설물에 공통적으로 포함되는 사항만 발췌하여 공통 기준(공통 설계기준, 공통공사 표준시방서)으로 통합관리

(다) 시방기준 체계화 방안 (안)

현 행	통폐합(안)	비 고
·건설환경관리 표준시방서	·폐지(시설별 규정)	·사용성 없는 기준 폐지
·콘크리트 표준시방서	·공통공사 표준시방서	·공통기준의 통합 또는 하위기준으로 조정 검토
·토목공사일반 표준시방서		
·가설공사 표준시방서		
·건설공사 비탈면 표준시방서		
·조경공사 표준시방서		
·공동구 표준시방서		
·도로공사 표준시방서	·도로시설공사 표준시방서	·도로시설 관련기준 통합
·도로교 표준시방서		
·터널공사 표준시방서		
·도시철도(지하철)공사 표준시방서	·철도시설공사 표준시방서	·철도시설 관련기준 통합
※ 철도건설공사전문시방서 ※ 고속철도공사전문시방서		
·하천공사 표준시방서	·수자원시설공사 표준시방서	·수자원시설 관련기준 통합 ※ 댐 공사편 추가
·항만 및 어항공사 표준시방서	·항만시설공사 표준시방서	
·건축공사 표준시방서	·통합건축공사 표준시방서	·건축물 관련기준 통합 검토
·건축전기설비공사 표준시방서		
·건축기계설비공사 표준시방서		
·산업 · 환경설비공사 표준시방서	·산업 · 환경설비공사 표준시방서	
19종	7종	

2) 국내시방기준 위상도(tree) 분석 범위 선정

(1) 국내시방기준의 체계

국내시방기준은 상위 기술기준의 터널표준시방서와 하위 기술기준의 전문시방서를 중심으로 분석하고자 한다.

(가) 국내시방기준의 시설물

○ 국내시방기준의 분석대상 시설물은 '도로시설'과 '철도시설'로 선정

현 행	통폐합(안)	분석 대상 선정
·건설환경관리 표준시방서	·폐지(시설별 규정)	×
·콘크리트 표준시방서	·공통공사 표준시방서	×
·토목공사일반 표준시방서		
·가설공사 표준시방서		
·건설공사 비탈면 표준시방서		
·조경공사 표준시방서		
·공동구 표준시방서		
·도로공사 표준시방서	·도로시설공사 표준시방서	○
·도로교 표준시방서		
·터널공사 표준시방서		
·도시철도(지하철)공사 표준시방서	·철도시설공사 표준시방서	○
※ 철도공사전문시방서 ※ 고속철도공사전문시방서		
·하천공사 표준시방서	·수자원시설공사 표준시방서	×
·항만 및 어항공사 표준시방서	·항만시설공사 표준시방서	×
·건축공사 표준시방서	·통합건축공사 표준시방서	×
·건축전기설비공사 표준시방서		
·건축기계설비공사 표준시방서		
·산업 · 환경설비공사 표준시방서	·산업 · 환경설비공사 표준시방서	×
19종	7종	

(나) 국내시방기준 분석범위 선정

국내시방기준은 기준의 체계에서 표준시방서와 시설물에서 도로와 철도를 중심으로 분석하고자 한다. 따라서 국내시방기준 분석대상은「터널표준시방서」, 「철도건설공사전문시방서」, 「고속도로공사전문시방서」로 선정하였다.



2.2.3 국내시방기준 내용 비교분석

국내 터널관련 시방기준의 전체 목차는 다음과 같이 구성된다.

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제1장 총칙	**10-1 총칙**	**제7장 터널공사**
1-1 일반사항		**7-1 시공계획 및 준비공**
1-2 안전관리 및 환경관리		
제2장 시공계획	**10-2 시공계획**	
2-1 시공계획 수립		
제3장 조사 및 측량	**10-3 조사 및 측량**	**7-2 터널측량**
3-1 조사	10-3-1 조사계획 및 일반	
3-2 측량	10-3-2 입지환경조사	
	10-3-3 지반조사	
	10-3-4 시험	
	10-3-5 지반조사 성과의 정리 및 활용	
	10-3-6 측량일반	
	10-3-7 터널외부측량	
	10-3-8 터널내부측량	
제4장 터널의 굴착	**10-3 터널굴착**	**7-3 터널굴착**
4-1 터널굴착계획		
4-2 터널굴착방법 및 공법		
4-3 기계굴착		
4-4 발파굴착		
4-5 버력처리		**7-4 버력처리 및 운반**

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제5장 터널지보재	**10-5 터널지보재**	**7-5 지 보 공**
5-1 지보재 시공계획	10-5-1 지보재 시공계획	
5-2 강지보재	10-5-2 강지보재	
5-3 숏크리트	10-5-3 숏크리트	
5-4 록볼트	10-5-4 록볼트	
	10-5-5 철망	
제6장 콘크리트라이닝	**10-6 콘크리트라이닝**	**7-6 콘크리트 라이닝**
6-1 콘크리트라이닝		
6-2 철근조립		
6-3 거푸집		
제7장 배수 및 방수	**10-7 배수 및 방수**	**7-7 배수 및 방수**
7-1 배수 및 방수 일반	10-7-1 터널배수	
7-2 배수	10-7-2 터널방수	
7-3 방수		

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제8장 보조공법	**10-8 보조공법**	
8-1 보조공법 적용 시 고려사항		
8-2 휘폴링		
8-3 막장면 숏크리트		
8-4 막장면 록볼트		
8-5 가인버트		
8-6 주입공법		
8-7 지하수위 저하공법		
8-8 강관보강그라우팅 공법		
제9장 계측	**10-9 터널계측**	**7-10 터널계측**
9-1 계측일반		
9-2 지표 및 지중침하 측정		
9-3 내공변위 및 천단침하 측정		
9-4 지중변위 측정		
9-5 록볼트 축력측정		
9-6 숏크리트 응력측정		
제10장 연직갱 및 경사갱	**10-10 갱구부, 연직갱 및 경사갱**	
10-1 연직갱	10-10-1 갱구부	
10-2 경사갱	10-10-2 연직갱 및 경사갱	

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제11장 TBM	**10-11 TBM터널**	
11-1 시공계획 수립	10-11-1 시공계획 수립	
11-2 조사	10-11-2 조사	
11-3 터널측량	10-11-3 터널측량	
11-4 세그먼트	10-11-4 세그먼트	
11-5 작업구	10-11-5 작업구	
11-6 TBM 장비	10-11-6 TBM 장비	
11-7 발진과 도달	10-11-7 발진과 도달	
11-8 추진	10-11-8 추진	
11-9 터널 내 운반	10-11-9 터널 내 운반	
11-10 세그먼트라이닝 설치	10-11-10 세그먼트라이닝 설치	
11-11 뒤채움 주입	10-11-11 뒤채움 주입	
11-12 방수	10-11-12 방수	
11-13 내부 콘크리트라이닝	10-11-13 내부 콘크리트라이닝	
11-14 터널 지보재	10-11-14 터널 지보재	
11-15 급 곡선부	10-11-15 급 곡선부	
11-16 지반안정과 구조물 보호	10-11-16 지반안정과 구조물 보호	
11-17 TBM 시공설비	10-11-17 TBM 시공설비	
11-18 시공관리	10-11-18 시공관리	
	10-12 개착터널	**7-8 갱 구 부**
		7-9 타일붙임 및 내오염도장
		7-11 시공 중 부대시설
		7-12 공해방지 및 안전관리

1) 국내시방기준 항목별 기술동향 및 세부내용 분석

분석대상인 국내시방기준들의 공통된 11가지 항목에 대한 분석을 통해 국내 터널건설기술의 동향을 파악 할 수 있으며, 90가지 세부내용의 비교분석을 통하여 그 차이점(문제점)을 도출하고 개선(표준화) 방안을 제시하였음.

(1) 총 칙

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 총칙편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제1장 총칙	**10-1 총칙**	**제7장 터널공사**
1-1 일반사항		7-1 시공계획 및 준비공
1-2 안전관리 및 환경관리		

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
철도건설공사 전문시방서	「터널표준시방서」에 제시된 '일반사항' '안전관리 및 환경관리' 항목 없음.	→ 「터널표준시방서」에 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
고속도로공사 전문시방서	「터널표준시방서」에 제시된 '일반사항' '안전관리 및 환경관리' 항목 없음.	

(나) 내용분석

○ 일반사항

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	- 시방서의 적용범위를 지반을 개착하지 않고 굴착하여 시공하는 터널(bored tunnel)로 제시	→ 각 시방서별 적용범위의 명시 및 기준이 상이하므로 터널표준시방서 내용으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	- 철도터널을 시공하는데 필요한 사항을 규정	
·고속도로공사 전문시방서	- 터널공사를 시행하기 위해 필요한 시공계획서 작성 및 공사 준비에 적용	

○ 참조 관계법규

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	1.2 참조 관계법규 1.2.1 터널공사 시 제반 법규의 규제사항에 대하여 필요한 조치를 취해야 한다. 이 경우 각종 규제가 공사에 미치는 영향, 규제의 정도, 수속 및 절차 등을 조사하고 대책을 수립하여야 한다. 조사대상이 되는 주된 법규는 다음과 같다.	→ 「터널표준시방서」외의 시방서에는 참조 관계법규에 관한 기준이 없음
·철도건설공사 전문시방서 ·고속도로공사 전문시방서	- 기술내용 없음	→ 참조관계법규에 대한 기술 필요

○ 용어정리 : 휨폴링

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	- 불량한 지반조건에서 주로 국부적인 천장부 지반붕락을 방지하기 위하여 굴착하기 전에 터널진행방향으로 강관 또는 철근을 관입하는 보조공법을 말한다.	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어명과 내용으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	- 원지반의 이완 및 붕락을 방지하기 위하여 막장굴착 전 또는 굴착과 동시에 록볼트, 철근, 강파이프 등을 막장전방에 경사방향으로 타설하고 급결성 시멘트 밀크나 약액 등을 주입시켜 원지반을 개량하는 공법	
·고속도로공사전문시방서	- 기술내용 없음	

○ 용어정리 : TBM

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	- 소규모 굴착장비나 발파방법에 의하지 않고 굴착에서 버력처리까지 기계화·시스템화되어 있는 대규모 굴착기계를 말하며, 일반적으로 개방형TBM(open TBM)과 쉴드TBM으로 구분한다.	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어 명과 내용으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	- 화약발파 없이 커터(cutter)가 회전하면서 암석을 갈아내어 굴진하는 기계굴착공법	
·고속도로공사전문시방서	- 기술내용 없음	

*터널표준시방서 '1.3 용어의 정의'에서 정의된 용어들에 관한 내용이 각 시방서별로 상이하거나 누락된 사항이 다수 존재하므로 용어 정리의 통일 및 누락된 사항의 추가가 필요함

(2) 시공계획

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 시공 계획편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제2장 시공계획	**10-2 시공계획**	**7-1 시공계획 및 준비공**
2-1 시공계획 수립		

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
철도건설공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 '시공계획수립' 항목 없음	→「터널표준시방서」에 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
고속도로공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 '시공계획수립' 항목 없음	

(나) 내용분석

○ 일반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
터널표준시방서	- 친환경 터널계획, 시공계획 단계 고려사항, 갱구부 계획시, 하저 및 해저터널 시공계획시, 기존 시설물 인접 시공시 ... 등에 대한 시공계획 기술	→ 시공계획에 포함되는 항목들이 각 시방서별로 상이하므로 최근 현장 상황에 부합되는 최적의 시공계획의 기준이 필요함
철도건설공사 전문시방서	- 시공계획서에 포함되어야 할 주요 항목 위주 기술 : 터널의 단면크기 및 모양, 터널연장, 지형 및 지질, 굴착공법, 라이닝 공법, 갱내조명, 전력, 굴착 싸이클 타임, 보조갱 ... 등의 항목 기술	
고속도로공사 전문시방서	- 시공계획서에 포함되어야 할 주요 항목 위주 기술 : 공정계획, 시공방법, 굴착암 처리계획, 방수 및 배수계획, 계획관리 ... 등	

(3) 조사 및 측량

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 조가 및 측량편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제3장 조사 및 측량	**10-3 조사 및 측량**	**7-2 터널측량**
3-1 조사	10-3-1 조사계획 및 일반	
3-2 측량	10-3-2 입지환경조사	
	10-3-3 지반조사	
	10-3-4 시험	
	10-3-5 지반조사 성과의 정리 및 활용	
	10-3-6 측량일반	
	10-3-7 터널외부측량	
	10-3-8 터널내부측량	

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
철도건설공사 전문시방서	- 터널표준시방서의 내용을 동일하게 적용할 경우, 내용 정리 방향을 결정할 필요가 있음.	→「터널설계기준」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일 필요
고속도로공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 '조사', '측량' 항목 없음	

(나) 내용분석

○ 조사 및 측량 ; 조사

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	- 지반조사일반, 기존자료조사, 현장답사, 지표지질조사, 시추조사, 물리탐사, 막장면 관찰조사, 시험터널조사 등 항목별 상세 내용 기술	→ 시공중 지반조사 항목들이 각 시방서별로 상이하므로 최근 현장상황에 부합되는 최적의 시공계획 기준이 필요함
·철도건설공사 전문시방서	3.2 시공중 조사 (1)터널 굴착 작업과 병행하여 지질상태, 갱내변위, 용수, 지보재상태 ~	
·고속도로공사 전문시방서	3.3 시공중 조사 3.3.1 시공중에는 설계 당시 조사가 불충분했던 부분까지 상세히 조사를 실시하고, 이를 설계조건과 비교 분석하여 공사에 반영하여야 한다.	

○ 조사 및 측량 ; 측량

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	- 터널 외부측량시 상세지형측량 축적 1/100~1/1,200 - 터널 내부측량시 직선부 측점간격 100m, 곡선부 측점간격은 1측점 전후로 2점 이상 관측될 수 있는 간격 - 검측횟수는 1개월에 1회 이상 실시	→ 각 시방서별 지형측량축적, 측량간격, 검측횟수 등의 통일이 필요
·철도건설공사 전문시방서	- 직선구간 측량 중심 10m 간격 - 곡선구간 측량 중심 5m 간격	
·고속도로공사 전문시방서	- 터널 외부측량시 상세지형측량 축적 1/100~1/600 - 터널 내부측량시 직선부 측점간격 100m, 곡선부 측점간격은 1측점 전후로 2점 이상 관측될 수 있는 간격 - 검측횟수는 1개월에 1회 이상 실시 - 내공단면 측정간격 5m	

(4) 터널의 굴착

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 터널의 굴착편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제4장 터널의 굴착	**10-4 터널굴착**	**7-3 터널굴착**
4-1 터널굴착계획	1. 일반사항	1. 일반사항
4-2 터널굴착방법 및 공법	2. 재료	2. 재료
4-3 기계굴착	3. 시공	3. 시공
4-4 발파굴착		
4-5 버력처리		**7-4 버력처리 및 운반**

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
철도건설공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 버력처리 항목 없음	→「터널표준시방서」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
고속도로공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 터널 굴착 계획 항목 없음.	

(나) 내용분석

○ 일반사항

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	1. 일반사항 1.1 굴착관련 법규 확인 1.1.1 터널굴착 시 굴착과 관련된 제반 행정법규, 총포·도검·화약류 등 단속법, 진동 및 소음 관련 환경법규, 공사장 안전관리법규 등을 확인하여야 한다.	→ 각 시방서별 터널굴착 일반사항의 내용 및 항목이 매우 상이하여 「터널표준시방서」내용을 바탕으로 각 절마다 일반사항을 포함하는 것으로 통일할 필요성 있음.
·철도건설공사 전문시방서	1. 일반사항 1.1 굴착방법 (1) 굴착방법은 인력굴착 , 기계굴착 , 파쇄굴착 , 발파굴착으로 구분한다.	
· 고속도로공사 전문시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위 이 시방서는 터널 내부의 굴착공사에 적용한다.	

○ 굴착방법

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	4-2 터널굴착방법 및 공법 1. 일반사항 1.1 굴착방법의 적용 1.1.1 굴착방법에는 기계, 발파, 파쇄굴착 등이 있으며, 적용 시에는 지반, 지하수, 토피, 환경, 터널단면의 크기, 형상, 연장 등의 조건을 고려하여야 한다.	→ 각 시방서별로 터널굴착방법에 대한 분류가 약간 상이하므로 이를 「터널표준시방서」내용을 바탕으로 통일하고, 파쇄굴착/미진동굴착 (용어불일치) 내용을 추가해야함.
·철도건설공사 전문시방서	3.3 발파굴착 3.4 기계굴착 3.5 파쇄굴착	
· 고속도로공사 전문시방서	3.3 기계굴착 3.4 미진동 굴착 3.5 발파굴착	

○ 발파굴착 ; 화약재료

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서 · 고속도로공사 전문시방서	-	→ 철도건설공사 전문시방서에 기재된 화약류 재료 및 품질관리기준은 유사함. 단 다른 시방서의 경우 관련 내용이 누락됨.
· 철도건설공사 전문시방서	2. 재료 2.1 화약 취급 및 재질 (1) 터널 굴착단면 크기, 원지반의 지질, 발파공법 등에 따라 폭약 및 뇌관 등 화약을 선정하여 사용하여야 한다.	

○ 발파굴착 ; 폭약장전 및 뇌관연결

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	3.3 장약 및 뇌관 연결 3.3.1 높은 위치에서의 장약은 작업대에서 실시하여야 하며, 장약 전에는 천공상태와 천공 중에 발생한 뜬 돌의 유무를 점검하고 이를 제거한 후 장약을 실시하여야 한다.	→ 각 시방서별 폭약장전 및 뇌관연결과 관련된 주요 내용은 유사하나, 장약 및 뇌관 연결 방법 및 준수사항에 대한 세부 절차나 항목이 서로 상이하거나 누락되어 내용보완 및 통일이 필요함. 진동측정 방법, 대상, 비전기뇌관과 관련된 사항은 고속도로공사 전문시방서외의 다른 시방서에서는 누락되어있음.
· 철도건설공사 전문시방서	3.3 폭약장전 (1) 발파계획에 따라 심빼기 , 측벽부 , 천정부 , 바닥부 , 중간부별로 천공한 1 구멍당 폭약 장전량을 산정하여 장전하여야 한다.	
· 고속도로전문시방서	3.5.4 장약 및 뇌관 연결 (1) 계약상대자는 발파 패턴도에 정해진 순서에 따라 장약을 안전하게 시행하여야 한다.	

○ 발파굴착 ; 발파

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	3.4 발파 시 경보 및 대피 3.4.1 발파작업은 화약류관리보안 책임자의 통제 하에 실시하여야 한다.	→ 화약류관리보안 책임자 혹은 발파지휘자의(용어 불일치) 발파 전 수행사항은 모든 시방서가 유사 또는 일치하나, 발파시 경보 및 대피관련 내용 및 발파 후 막장 관리 및 안전 관리와 관련해서는 시방서간 이하거나 누락된 부분이 많음.
·철도건설전문시방서	3.4 발파 및 점화 (1) 발파는 반드시 화약류취급 책임자가 수행하여야 하며 작업원 대피를 확인한 후 점화하여야 한다.	
·고속도로전문시방서	3.5.5 발파 (1) 발파는 발파책임자의 지휘 하에 시행하여야 한다. 발파책임자는 다음 사항을 수행하여야 한다.	

○ 발파굴착 ; 발파진동 및 발파영향 규제

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>·터널표준시방서</td><td>1.2 발파로 인한 지반진동
1.2.1 발파진동 측정에 대해서는 다음의 세부사항을 준수하여야 한다.
【표 2.10】 구조물의 손상기준 발파진동 허용치
<table>
<tr><th>구분</th><th>문화재 및 진동예민 구조물</th><th>조적식(벽돌,석재 등)벽체와 목재로 된 천장을 가진 구조물</th><th>지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물</th><th>철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물</th><th>철근콘크리트 또는 철골골조 및 슬래브를 갖는 대형건물</th></tr>
<tr><td>최대입자속도 (cm/sec)</td><td>0.2~0.3</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>3.0</td><td>5.0</td></tr>
</table></td><td rowspan="3">→ 각 시방서별 발파진동 및 영향규제와 관련된 항목이나 내용이 서로 상이하거나 누락되어 내용보완 및 통일이 필요함. 진동측정 방법, 대상, 빈도 및 발파진동 허용치는 각 시방서별 상이하거나 누락되어있음.

→발파진동 기준치를 구조물 손상을 판단하는 cm/sec와 인체감을 고려한 dB(V)의 상관관계를 고려하여 적용토록 시방서에 표기할 필요 있음</td></tr>
<tr><td>·철도건설전문시방서</td><td>3.6 발파영향규제
(1) 터널발파는 반드시 기존 시설물에 영향이 미치지 않도록 발파작업을 하여야 한다.
【표 2.11】 구조물 손상기준 발파진동 허용치
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th>진동예민 구조물</th><th>조적식(벽돌,석재 등) 벽체와 목재로 된 천장을 가진 구조물</th><th>지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물</th><th>철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물</th><th>철근콘크리트 또는 철골골조 및 슬래브를 갖는 대형건물</th></tr>
<tr><th>문화재 등</th><th>재래가옥, 저층, 일반가옥 등</th><th>저층 양옥, 연립주택</th><th>중, 저층 아파트, 중소상가 및 공장</th><th>내진구조물 (고층아파트, 대형건물 등)</th></tr>
<tr><td>허용입자속도 (cm/sec)</td><td>0.3</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>3.0</td><td>5.0</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>·고속도로전문시방서</td><td>3.5.8 발파영향 규제
(1) 발파는 기존 구조물에 손상을 입히지 않도록 시행하여야 하며, 진동속도가 허용기준치를 초과하지 않도록 하여야 한다.</td></tr>
</table>

○ 발파 굴착 ; 발파 굴착 품질관리

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서 · 고속도로전문시방서	-	→ 철도건설공사 표준 시방서를 제외한 시방서에서는 발파 굴착 품질관리와 관련된 사항이 누락되었음.
· 철도건설전문시방서	3.8 발파 굴착 품질관리 3.8 1 터널 내 시공기준점 관리 (1) 수급자는 터널 내 시공기준점을 설치하고 반드시 감독자/감리원의 확인측량을 얻어야 한다.	

○ 버력처리 ; 버력장비, 적재 및 운반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	4-5 버력처리 1. 일반사항 1.1 버력처리 일반 1.1.1 버력처리계획은 지반조건, 주위환경, 터널단면의 크기, 연장, 구배, 굴착공법, 굴착방법, 버력의 크기 및 사용 장비의 조건 등을 고려해서 수립하여야 한다.	→ 각 시방서간 버력적재, 운반, 장비 등에 관한 일반적인 사항들에 대해서는 내용이 유사하나, 세부 항목 및 전체적인 구성 등에 있어서 각 시방서간 상이하거나, 누락된 항목 등이 있으므로 이에 대한 내용 보완 및 통일이 필요함. 전문시방서와 도시철도공사 전문 시방서의 경우 터널 내 버력처리에 대해서 NATM공법과 TBM공법에 대해서 나뉘어 있으며, 이 외의 시방서의 경우 공법의 구분 없이 일반적인 버력처리에 대해 기술되어있음.
· 철도건설전문시방서	8-7 터널 벼력 처리 1. 일반사항 1.1 버력처리방법 (1) 버력 적재방법에 따라 쇼벨로우더 , 백호 , 인력적재 방법으로 구분한다.	
· 고속도로전문시방서	7-5. 버력처리 및 운반 1. 일반사항 1.1 적용범위 이 시방서는 터널굴착에 따라 버력을 지정 장소로 운반하거나 운반로의 유지관리 또는 지정장소의 고르기, 정리, 준비배수를 하는 공사에 적용한다.	

(5) 터널 지보재

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 터널의 지보재편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제5장 터널지보재	**10-5 터널지보재**	**7-5 지 보 공**
5-1 지보재 시공계획	10-5-1 지보재 시공계획	1. 일반사항
5-2 강지보재	10-5-2 강지보재	2. 재료
5-3 숏크리트	10-5-3 숏크리트	
5-4 록볼트	10-5-4 록볼트	
	10-5-5 철망	

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
터널표준시방서	- 철도건설공사 전문시방서에 제시된 철망 항목 숏크리트의 내용으로 포함되어 있음	→철망은 숏크리트의 일부로 포함할 수 있으므로「터널표준시방서」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일 및 터널지보재로 용어 통일
고속도로공사 전문시방서	- 터널표준시방서 및 철도건설공사 전문시방서에 제시된 항목 재료에 포함되어 있음	

(나) 내용분석

○ 지보재 적용 계획

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	**5-1 지보재 시공계획** **1. 일반사항** **1.1 지보재 시공시기** 1.1.1 지보재는 굴착 후 가능한 조기에 설치하여 지반이완이 최소가 되도록 하여야 하며, 굴착면 지반의 자립시간 이내에 설치를 완료하여야 한다.	→ 고속도로전문시방서의 경우 다른 시방서와는 다르게 일반사항/재료/시공의 각각의 항목 아래에 각각의 지보재가 배치되어 있어 찾아보기가 힘든 점이 있음. → 용어의 통일필요: 지보재와 지보공 중에 하나로 통일 → 터널표준시방서에는 시공계획 항목에, 그 외 시방서에는 시공일반 항목에 유사한 내용이 기재되어 있으며, 시공계획 보다는 시공일반으로 항목을 통일하는 것이 바람직할 것 같음. → 고속도로전문시방서의 경우 참조규격을 일반사항의 항목에 게재하였는데, 각각의 지보재 설명항목 아래에 기재하는 것이 바람직할 것 같음.
·철도건설전문시방서	**8-8 터널지보재** **1. 일반사항** **1.1 지보공법** (1) 터널의 지보재는 굴착 후 원지반이 이완 되기 전에 강지보재 설치, 숏크리트 타설, 록볼트 설치 등으로 터널굴착 소요 내공단면의 자립상태를 확보하여야 한다	
·고속도로전문시방서	**7-5 지 보 공** **1. 일반사항** **1.1 적용범위** 이 시방은 터널 지보재로 사용되는 강지보재 · 록볼트 · 숏크리트의 시공, 천장부 지반 또는 막장 안정을 위한 보조공법 등의 공사에 적용한다.	

○ 강지보재

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	5-2 강지보재 2. 재료 2.1 강지보재의 재질 2.1.2 H형강과 U형강의 재질은 KS D3503에 규정된 SS 300B 또는 KS D 3515에 규정된 SM400, 격자지보의 재질은 KS D3504에 규정된 SD500W를 표준으로 하며 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 한다.	→ 재료 기준 통일 필요: H형/U형/격자지보 재질의 통일성 필요 예)터널표준시방서 H형강과 U형강: KS D3503에 규정된 SS 300B 또는 KS D3515에 규정된 SM400 격자지보: KS D3504에 규정된 SD500W
·철도건설공사 전문시방서	8-8-2 강지보재(Steel Rib) 2. 재료 2.1 강지보재 재질 (1) 강지보재의 재질은 "터널표준시방서" 제5장 5-2, 21 강지보재의 재질 규정을 따른다. (2) H형강의 재질은 KS D3503에서 규정한 재료이어야 한다.	→ 품질관리에 KS 규정 적용 여부 통일 터널표준시방서(X) 철도건설전문시방서(O) → 현장 품질관리 항목은 터널표준시방서에만 나타남
·고속도로공사 전문시방서	2. 재 료 2.1 강지보재 2.1.1 강지보재에 사용되는 강재의 종류, 형상, 치수 등은 설계도서에 명시된 것으로 한다. H형강 및 U형강 재질은 KS D 3503에 규정된 SS400, 격자지보는 KS D 3504에 규정된 SD500W의 규격제품의 사용을 원칙으로 하며, 기타 재료의 강지보재를 사용할 경우 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 하여야 한다. 격자지보의 재질은 강봉의 경우 인장강도는 520MPa, 스파이더의 경우 인장강도는 500MPa를 기준으로 하며, 한국 산업 규격(KS) 용접기준을 만족하여야 한다.	→ 녹슨 강지보재 사용 금지는 고속도로공사 전문시방서에만 있으며, 전문시방서에는 손상되지 않은 강지보재를 사용하며 녹을 확인해야 한다고 나와 있음. 나머지 시방서에는 녹부식에 대한 내용이 부재. → 또한 강재에 발생한 녹에 대해 발생정도에 따라 사용여부를 체계적으로 연구할 필요있음

○ 숏크리트

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>・터널표준시방서</td><td>5-3 숏크리트
1. 일반사항
1.1 숏크리트 일반
1.1.3 숏크리트는 일반숏크리트와 고강도숏크리트로 구분하며 숏크리트의 설치목적에 맞게 성능과 품질을 확보하여야 한다. 숏크리트의 재령 28일 설계기준강도는 일반숏크리트의 경우 21MPa 이상, 고강도숏크리트의 경우 35MPa 이상이고 재령 1일 강도는 10MPa 이상이 되도록 하여야 한다.</td><td rowspan="3">→ 일반숏크리트와 고강도숏크리트의 설계기준강도 통일 필요(재령 1일/ 28일)
→ 휨인성/휨강도 기준 통일 필요
→ 철도건설공사 전문시방서의 경우 습식 숏크리트를 로봇으로 시공하는 공법을 선정
→ 재료 기준 통일 필요: 시멘트/급결제/강섬유 등
→ 혼화제, 첨가제에 대한 규정은 고속도로공사 시방서에만 있음.
→ 숏크리트 면 정리에 대한 항목(철도건설공사 전문시방서에는 자세히 설명되어 있으나 다른 시방서에는 그 내용이 부족함)
→ 철도건설공사 전문시방서에는 숏크리트용 골재 저장/숏크리트 시공 후 공극조사 처리 항목이 존재하고 자세한 설명이 기재되어 있으나 다른 시방서에서는 그렇지 않음.
→ 강섬유 혼입량 (타설전/타설후) 통일 필요
→ 강섬유 혼입량 시험법 통일 필요
→ 두께 기준 통일 필요 (1회 타설 두께 및 두께 확인)</td></tr>
<tr><td>・철도건설공사 전문시방서</td><td>2. 재료
2.1 숏크리트 재료의 재질
(1) 숏크리트의 재질은 “터널표준시방서” 제5장 5-3, 2.1 숏크리트 재질 규정을 따른다.</td></tr>
<tr><td>・고속도로공사 전문시방서</td><td>2.2 숏크리트
(2) 숏크리트
① 강 도
숏크리트 혼합물의 강도는 표 7-5-4에 따른다.
【표 2.12】 숏크리트 혼합물의 강도
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="2">강도(MPa)</th><th rowspan="2">비고</th></tr>
<tr><th>1일</th><th>28일</th></tr>
<tr><td>압축강도</td><td>10</td><td>21</td><td>일반숏크리트</td></tr>
<tr><td>휨강도</td><td>2.1</td><td>4.5</td><td>강섬유보강</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

○ 록볼트

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	**2.1 록볼트의 재료** 2.1.1 록볼트의 재질은 SD350 이상의 강재로서 연신율이 큰 재질이어야 하며, 이형봉강이나 강관, 팽창성 강관 등을 사용할 수 있다.	→ 록볼트 재질 기준 통일성 필요 → 케이블 볼트에 대한 내용 추가 여부
·철도건설공사 전문시방서	**2.1 록볼트의 재질 및 강도** (3) 록볼트의 재질은 KS E 3132(록볼트 및 그 구성부품)의 규정에 적합하여야한다	→ 추가 록볼트 시공 조건 통일 필요 예)터널벽면의 변형량 → 록볼트 조이기 중 프리스트레스 록볼트의 내용 통일 필요
·고속도로공사 전문시방서	**2.3.1 품질기준** (2) 일반적으로 SD350 이상의 강재로서 인장강도 및 연신율이 큰 것이어야 하며, KS E 3132 및 KS D 3504에 제정되어 있는 봉강의 품질기준은 표 7-5-2와 같다.	→ 용어 통일 필요: 시멘트 모르타르/ 시멘트 모르타, 수지/레진 등

○ 철망(Wire Mesh)

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	**5-3 숏크리트** **2.4 철망** **2.4.2 재료** (1) 철망은 KS D 7017에 규정된 용접철망을 사용하되 철망의 지름은 5mm 내외, 개구 크기는 100mm × 100mm 또는 150mm × 150mm를 표준으로 한다.	→ 터널표준시방서에는 철망이 숏크리트의 하부에 기재되어 있으며 다른 시방서의 경우 별도의 항목으로 분리되어 기재되어 있는 바, 철망도 다른 지보재처럼 별도의 장으로 독립하여 기재하는 것이 바람직하다고 판단됨.
·철도건설공사 전문시방서	**8-8-5 철망(Wire Mesh)** **1. 일반사항** **1.1 철망의 종류** (1) 철망의 종류는 철망 철선간격을 기준하여 일반적으로 100mm x 100mm, 150mm x 150mm 으로 구분한다. (2) 철망의 굵기 지름 크기에 따라 4mm, 5mm, 6mm를 표준으로 하며 특수한 경우는 별도로 정한다	→ 철망은 지반조건에 따라 현장에서 안전성과 시공성 향상을 도모할 수 있는 재료인바 이에 대한 상세 검토 필요
·고속도로공사 전문시방서	해당사항 없음	→ 재료 지름의 통일 필요 → 철망 재료 재질 통일성

(6) 콘크리트라이닝

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 콘크리트 라이닝편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제6장 콘크리트라이닝	**10-6 콘크리트라이닝**	**7-6 콘크리트 라이닝**
6-1 콘크리트라이닝		
6-2 철근조립		
6-3 거푸집		

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
철도건설공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 콘크리트 라이닝, 철근조립, 거푸집 항목 없음	→「터널표준시방서」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
고속도로공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 콘크리트 라이닝, 철근조립, 거푸집 항목 없음	

(나) 내용분석

○ 일반사항

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	1. 일반사항 1.1 콘크리트라이닝 일반	→ 적용범위의 명확화 및 강섬유 보강 콘크리트 라이닝 등 철근 콘크리트 라이닝 대신 적용 가능한 공법 및 방법을 적용할 수 있도록 시방서에 명기 필요
·철도건설공사 전문시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위	
·고속도로공사 전문시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위	

○ 라이닝 참조규격

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	–	→ 본문 내 품질관리에 명기되어 있는 참조규격을 전체참조규격에 명기 및 누락부분 반영
· 철도건설공사 전문시방서	1.2 참조규격	
· 고속도로공사 전문시방서	1.2 참조규격	

○ 라이닝 시공시 제출문

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	–	→ 「철도건설공사 전문시방서」에서 제시된 내용으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	1.3 제출물 다음 사항은	
· 고속도로공사 전문시방서	1.3 제출물 이 시방서 총칙편	

○ 라이닝 시공시 운송, 보관 및 취급

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서 · 고속도로공사 전문시방서	–	→ 「철도건설공사 전문시방서」에서 제시된 내용으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	1.4 운송, 보관 및 취급 (1) 콘크리트재료 및 콘크리트의 운송, 보관 및 취급은 「제6장 콘크리트 공사」 관련 시방조건을 따른다. (2) 강재는 녹이 슬거나 이물질이 부착되지 않도록 하고 변형되지 않도록 보관 관리해야 한다.	

○ 라이닝의 재료

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	2.재료 2.1 콘크리트 2.2 콘크리트 배합	→ 「터널표준시방서」에서 제시된 내용을 기본으로 철도건설공사 전문시방서에서 언급한 뒤채움 모르타르 설계기준 강도 및 관련시방조건 추가필요
· 철도건설공사 전문시방서	2.재료 2.1 콘크리트 재료	
· 고속도로공사 전문시방서	2.재료 2.1 콘크리트	

○ 라이닝의 거푸집

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	-	→ 터널표준시방서는 거푸집을 별도의 절로 구분하여 상세내용 수록하였으나 거푸집 재료에 대한 시방내용 누락. 따라서 터널표준시방서 내용을 기준으로 거푸집 재료에 대한 시방내용 추가
· 철도건설공사 전문시방서	2.2 콘크리트 라이닝 거푸집 (1) 거푸집 재료의 강재는 KS D 3503의 SS400 및	
· 고속도로공사 전문시방서	2.3 거푸집	

○ 시공 - 시공일반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서 · 철도건설공사 전문시방서	-	→ 섬유보강 콘크리트 라이닝 설치규정은 고속도로공사 전문시방서에만 제시됨 따라서 섬유보강 콘크리트 라이닝 설치규정 추가 필요
· 고속도로공사 전문시방서	3.시공	

○ 시공 -콘크리트의 운반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	3.1 콘크리트 운반	→ 터널표준시방서에만 운반규정 제시
· 철도건설공사 전문시방서 · 고속도로공사 전문시방서 · 전문시방서	-	

○ 시공 - 거푸집

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1. 일반사항	→ 각 시방서별 수록내용 등을 비교 검토하여 서로 상이하거나 누락되어 내용보완 및 통일이 필요함 → 굴착 및 라이닝 타설 병행시공 내용 추가
· 철도건설공사 전문시방서	3.2 작업준비 (1)거푸집 설치	
· 고속도로공사 전문시방서	3.2 거푸집	

○ 시공 – 철근 가공 및 조립

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	3.1 철근의 가공 및 관리	→ 각 시방서별 수록내용 등을 비교 검토하여 서로 상이하거나 누락되어 내용보완 및 통일이 필요함 → 배력근 종방향 배근기준 수록
· 철도건설공사 전문시방서	(2) 철근 조립	
· 고속도로공사 전문시방서	3.6 철근 가공 및 조립	

○ 시공 – 콘크리트 라이닝 시공순서

구 분	차 이 점	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서 · 고속도로공사 전문시방서	–	→ 철도공사전문시방서에만 제시
· 철도건설공사 전문시방서	3.3 콘크리트 라이닝 시공순서	

○ 시공 – 콘크리트 타설 및 양생

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	3.2 콘크리트의 타설 및 양생	→ 각 시방서별 수록내용 등을 비교 검토하여 서로 상이하거나 누락되어 내용보완 및 통일이 필요함 → 최신 연구사례 등을 종합 검토하여 시공기준 보완
· 철도건설공사 전문시방서	3.4 시공기준	
· 고속도로공사 전문시방서	3.3 콘크리트 라이닝 시공	

○ 시공 – 배면공동충전

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	3.3 배면공동의 충진	→ 배면 및 공동충진 시방이 상세하게 기술된 철도건설공사 전문시방서 내용 반영
· 철도건설공사 전문시방서	3.7 콘크리트라이닝 뒤채움 및 주입	
· 고속도로공사 전문시방서	3.3.2 공극충진	

○ 시공 – 인버트 설치

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	3.2.3 인버트 콘크리트는...	→ 각 시방서별 수록내용 동일하나 비교 검토하여 누락된 내용보완 및 통일이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	(4) 인버트 시공	
· 고속도로공사 전문시방서	3.3.3 인버트 콘크리트의 설치	

○ 시공 – 신축이음 및 시공이음

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	–	→ 각 시방서별 수록내용 등을 비교 검토하여 서로 상이하거나 누락되어 내용보완 및 통일이 필요함 → 신축이음 및 간격에 대한 설계기준, 편람 등과 비교 검토 필요
· 철도건설공사 전문시방서	(3) 신축이음 및 시공이음	
· 고속도로공사 전문시방서	3.4 신축이음	

(7) 배수 및 방수

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 배수 및 방수편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제7장 배수 및 방수	**10-7 배수 및 방수**	**7-7 배수 및 방수**
7-1 배수 및 방수 일반	10-7-1 터널배수	
7-2 배수	10-7-2 터널방수	
7-3 방수		

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
철도건설공사 전문시방서	– 터널표준시방서에 제시된 “배수 및 방수 일반” 항목 없음	→「터널설계기준」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
고속도로공사 전문시방서	– 터널표준시방서에 제시된 “배수 및 방수 일반, 배수, 방수” 항목 없음	

(나) 내용분석

○ 일반사항

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	7-1 배수 및 방수 일반	→ 터널의 배수 및 방수형식의 구분이 터널표준시방서 이외에 수록되어있지 않으므로 내용보완이 필요함
·철도건설공사 전문시방서 ·고속도로공사 전문시방서	-	

○ 재료

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	2. 재료 2.1 배수재 2.1.1 터널의 아치부와 측벽부에 설치하는 배수재는 유입 지하수를 원활히 배수할 수 있는 배수능력을 갖춘 것으로 한다. 배수재가 부직포인 경우에는 80mm 이상의 겹이음을 적용한다.	→ 터널표준시방서를 기준으로 부직포 재질 등 시방기준추가
·철도건설공사 전문시방서	2. 재료 2.1 사용재료 (1) 배수재 ① 터널의 아치부와 측벽부에 설치하는 배수재는 유입 지하수를 원활히 배수할 수 있는 배수능력을 갖춘 것으로 한다. 배수재가 부직포인 경우에는 80mm 이상의 겹이음을 적용한다.	
·고속도로공사 전문시방서	2. 재 료 2.1 부직포 2.1.1 재질은 단일겹의 장섬유 부직포이어야 한다. 2.1.2 두 께 : 2.0 mm 이상 2.1.3 중 량 : 400 g/㎡ 이상 2.1.4 인장강도 : 1.4 MPa 이상 2.1.5 신 장 률 : 50% 이상 2.1.6 투수계수 : 평균 2.6×10-1cm/s 이상 2.1.7 배수용 부직포의 재질은 유입 지하수를 원활히 배수할 수 있는 배수능력을 갖추어야 하며, 폐수 및 지중 화학성분에 대한 내구성이 있어야 한다.	

○ 시공조건 확인

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서, · 고속도로공사 전문시방서	-	→ 실측용출수량 내용 추가필요
· 철도건설공사 전문시방서	3. 시공 3.1 시공조건 확인 (1) 시공자는 배수재 설치부위의 숏크리트면이 본 시방서에 따라 적정하게 시공되었는지 확인해야 한다. (2) 실측용출수량 측정 시공중에 발생되는 실측용출수량은 1일1회 이상 측정하여 터널 유지보수관리 및 터널설계시 자료로 활용할 수 있도록 실측용출수량 기록일지를 비치하여 기록 관리해야 하며, 공사완료 후에는 감독자/관리원에게 제출해야 한다. (3) 설계서에서 예상한 용출수량과 터널의 실제 용출수량을 비교하여 계획된 배수시설이 적정한지 확인해야 한다. 만약 터널 내부로의 유입수가 과다할 경우에는 차수그라우팅 등을 실시하여 유입수를 최소화해야 한다.	

○ 영구배수시설

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	3.3 영구배수시설	→ 터널표준시방서 및 철도건설공사 전문시방서 내용 동일, 고속도로공사 전문시방서에서 내용 누락
· 철도건설공사 전문시방서	(2) 영구배수시설	
· 고속도로공사 전문시방서	-	

○ 배수시설

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>・터널표준시방서
・철도건설공사 전문시방서</td><td>-</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>・고속도로공사 전문시방서</td><td>3. 시 공
3.1 배수시설
3.1.1 유공관, 맹암거 및 콘크리트 측구의 설치는 설계도서에 따른다. 유공강관의 품질기준은 표 7-7-2와 같다.

【표 2.13】 터널 맹암거 유공관의 품질기준
<table><tr><th>구분</th><th>단위</th><th>품질기준</th><th>시험방법</th></tr><tr><td>재질</td><td>-</td><td>부식성이 없어야 한다</td><td></td></tr><tr><td>구멍지름</td><td>mm</td><td>φ4.8 ~ 9.5</td><td></td></tr><tr><td>개공율</td><td>%</td><td>2.3(230cm²/m²)이상</td><td>ASTM A 760</td></tr><tr><td>굽힘시험</td><td>-</td><td>이상이 없어야 한다</td><td></td></tr><tr><td>내경 5% 변형시 강성</td><td>kN/m²</td><td>2,465이상</td><td>ASTM D 2412</td></tr></table>
3.1.2 필터 콘크리트 배합비는 표 7-7-3을 표준으로 하며, 현장배합을 실시하여 감독원의 승인을 받아야 한다.

【표 2.14】 필터 콘크리트 배합표(1 ㎥당)
<table><tr><th>골재(8~20mm)</th><th>물</th><th>시멘트</th><th>비고</th></tr><tr><td>1.0m³</td><td>60L</td><td>103kg</td><td></td></tr></table>
3.1.3 필터 콘크리트의 시공순서는 다음과 같다.
(1) 현장배합용 철판을 깔고 그 위에 자갈을 올려 놓는다.
(2) 자갈에 필요한 소요량의 물을 골고루 뿌린 후 물이 빠질 때까지 기다린다.
(3) 물이 빠지고 나면 배합에 필요한 양의 시멘트를 가하여 혼합한 후 사용한다.</td></tr>
</table>

→ 대부분의 시방서에 누락되어 있으므로 내용보완이 필요함

○ 배수작업 시의 시공관리

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>·터널표준시방서</td><td>3.3 배수 작업 시의 시공관리</td><td rowspan="3">→ 터널표준시방서 및 철도건설공사 전문시방서 내용 동일 고속도로공사 전문시방서에서 내용 누락</td></tr>
<tr><td>·철도건설공사 전문시방서</td><td>3.3 시공관리
시공 중 또는 시공 후 <표 10-7-1>와 같은 사항을 관리해야 한다.
【표 2.15】 배수 작업 시의 시공관리 내용
<table>
<tr><th>관리항목</th><th>관리내용 및 시험</th><th>시험빈도</th></tr>
<tr><td>시공정확도</td><td>· 배수구조물의 위치, 구배, 크기 등 확인</td><td>시공 전 및 시공 직후</td></tr>
<tr><td>배수재</td><td>· 배수재 부착상태
· 측벽 유공관 주변의 배수재
· 인버트 배수재위의 비닐막 포설상태</td><td>시공 직후</td></tr>
<tr><td>관</td><td>· 집수관, 유공관, 연결관 등의 변형상태와 내부 이물질 유무 확인</td><td>시공 직후</td></tr>
<tr><td>구조물</td><td>· 배수구, 확인공, 맨홀 등의 시공상태와 균열발생 등 확인</td><td>시공 후 수시</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>· 고속도로공사 전문시방서</td><td>–</td></tr>
</table>

○ 방수막 재질

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>· 터널표준시방서</td><td>2. 재료
2.1 방수막의 재질
2.1.1 방수막은 상호 접착이 좋은 재질이어야 하며...
2.1.2 방수막은 내구성, 인성 및 유연성이 기준을 만족하고....</td><td rowspan="3">→ 철도건설공사 전문시방서를 기준으로 고속도로공사 전문시방서 내용 추가</td></tr>
<tr><td>· 철도건설공사 전문시방서</td><td>2.2 방수막
(1) 방수막은 상호 접착이 좋은 재질이어야 하며 한국산업규격(KS)을 만족하는...
(2) 방수막은 내구성 인성 및 유연성이 기준을 만족하고 콘크리트라이닝 시공에 의해 파손되지 않는 재질로 한다.
(3) 합성고분자계 방수막은 KS F 4911 또는 동등 이상의 제품으로 한다.
① 재질: 에틸렌 아세트산 비닐수지계 등
② 두께: 2.0mm 이상을 원칙으로 하되 동등 이상 재질인 경우 두께를 조절하여 사용할 수 있다.
③ 인장강도: 16MPa 이상
④ 신장율: 600% 이상
⑤ 산 알칼리에 대한 저항성 및 팽창에 대한 내구성이 양호해야 한다.</td></tr>
<tr><td>· 고속도로공사 전문시방서</td><td>2.2 방수막
2.2.1 방수막의 재질은 상호 접착이 좋은 재질이어야 하며...
2.2.2 방수막의 품질기준
방수막은 산, 알칼리에 대한 저항성 및 팽창에 대한 내구성이 양호하여야 하며...
【표 2.16】 방수막 품질기준
<table>
<tr><th colspan="2">항 목</th><th>단위</th><th>품질기준</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="3">인장 성능</td><td>인장강도</td><td>MPa</td><td>16.0 이상</td><td></td></tr>
<tr><td>신장률</td><td>%</td><td>600 이상</td><td></td></tr>
<tr><td>인장탄성률</td><td>MPa</td><td>100 이하</td><td>KS M ISO 527-1, 527-3</td></tr>
<tr><td colspan="2">인열저항</td><td>N/㎜</td><td>60 이상</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">가열 신축량</td><td>신장 시</td><td rowspan="2">mm</td><td>2.0 이하</td><td></td></tr>
<tr><td>수축 시</td><td>6.0 이하</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">기타사항</td><td colspan="3">폴리올레핀계 및 에틸렌비닐아세테이트계는 카본블랙을 함유하지 않아야 한다.</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

○ 개착터널 방수보호재

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서 · 고속도로공사 전문시방서	-	→ 시방서별 내용이 상이하거나 누락되어 있으므로 내용보완 및 통일이 필요함 → 한국철도시설공단의 개착터널 도막방수관련 설계기준 개정 및 방침사항 추가보완
· 철도건설공사 전문시방서	2.4 개착터널 방수 보호재 (1) 개착터널 방수 보호재는 폴리에틸렌계(격자형또는패널)에 배수재를 합성한 것이나 한국 산업규격(KS)을 만족하는 제품을 사용해야 하며 알칼리에 강한 재질로 한다. (2) 시멘트풀 등은 알칼리에 강한 재질로 한다. (3) 방수막 부위에 부착 후 KS M 3034, KS M 3734 및 Q마크에 따른 시험을 하여 기준치 이상이 되어야 하고, 이 때 방수막에도 손상이 없는 재질로 한다. (4) 접착은 접착제 또는 기타 자체 방법으로 막과 접착될 수 있게 해야 한다. (5) 방수막과 화학작용을 일으켜서는 안 된다. (6) 폐수 오수 및 지중 화학성분에 대한 내구성이 커야 한다. 2.5 보호벽돌 및 모르타르 (1) 개착터널의 방수막 보호를 위한 보호벽돌은 KS F 4004의 C종 벽돌 2급 또는 동등 이상의 제품으로 한다. (2) 보호 모르타르용 시멘트는 KS L 5201의 1종 보통 포틀랜드 시멘트 또는 동등 이상의 제품으로 한다.	

○ 방수재료 품질관리 내용

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>· 터널표준시방서,
· 고속도로공사 전문시방서</td><td>-</td><td rowspan="2">→ 시방서 내용이 누락되어 있으므로 내용 보완 필요함</td></tr>
<tr><td>· 철도건설공사 전문시방서</td><td>2.6 자재품질관리
(1) 부자재(벤토나이트계열)
① 벤토나이트 실런트는 천연 소디움 벤토나이트와 고무를 합성한 것으로...
② 벤토나이트 알갱이는 방수재에 사용된 고성능 소디움 벤토나이트 알갱이와 동일의 재질로 한다.
③ 벤토나이트막 방수재를 고정시키기 위한 못은 길이가 30mm 이상이며...
④ 마감 및 연결테이프는 폴리비닐계 재질의 테이프로..
(2) 보호벽돌 및 모르타르
① 모래는 흙 등의 이물질이 없어야 한다.
② 보호 모르타르의 배합은 모르타르 1m당 시멘트 510kg, 모래 1.1m^3 의 비율로 한다.
③ 혼화재료를 사용하는 경우의 혼합량 및 혼합방법은 제조업자의 사용설명서에 의거하고...
④ 모르타르는 혼합한 후 1.5시간 이내에 사용한다. 단, 주위의...
⑤ 보호 모르타르의 강도는 18MPa, 슬럼프는 120mm를 기준으로 한다.
(3) 터널 방수재료에 대한 품질관리 내용은 <표 10-7-2>를 참조한다.
【표 2.17】 터널 방수재료에 대한 품질관리 내용
<table>
<tr><th>종별</th><th>시험종목</th><th>시험방법</th><th>시험빈도</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>합성 고분자계 방수막</td><td>KS F 4911에 규정된 시험종목</td><td>KS F 4911</td><td rowspan="3">-재료원 마다
-감독자/감리원 요구시</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>개량 아스팔트 방수막</td><td>KS F 4917에 규정된 시험종목</td><td>KS F 4917</td></tr>
<tr><td>벤토 나이트 계열</td><td>KS F 4911에 규정된 시험종목</td><td>KS F 4911</td></tr>
<tr><td rowspan="2">방수 보호재</td><td>신도</td><td>KS M 3034</td><td rowspan="4">-감독자/감리원 요구시</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>인장강도</td><td>KS M 3734</td></tr>
<tr><td rowspan="2">모르타르</td><td>유동성</td><td>KS F 2432</td></tr>
<tr><td>압축강도</td><td>KS F 2426</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

○ 사전준비

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	3.1 사전준비	→ 터널표준시방서에 록볼트 두부 정리 등 내용에 대하여 고속도로 전문시방서를 토대로 상세시방기준 추가필요
· 철도건설공사 전문시방서	3.2 작업준비	
· 고속도로공사 전문시방서	3.2.2 사전준비	

○ 배수재 설치

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	-	→ 부직포 대신 배수재 설치로 포괄적인 용어 사용
· 철도건설공사 전문시방서	(1)배수재 설치	
· 고속도로공사 전문시방서	(1)부직포 설치	

○ 방수막 설치

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	3.2 방수막 부착	→ 시방서별 내용은 유사하므로 내용 비교 후 누락되어 있는 내용보완 및 통일이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	(2)방수막 설치	
· 고속도로공사 전문시방서	(2)방수막 설치	

○ 시공관리 요령

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	3.4 방수작업시 시공관리	→ 시방서별 내용이 누락되어 있으므로 상호 내용 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	③굴착터널의 방수작업...	
· 고속도로공사 전문시방서	-	

(8) 보조공법

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 보조공법편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제8장 보조공법	**10-8 보조공법**	
8-1 보조공법 적용 시 고려사항		
8-2 훠폴링		
8-3 막장면 숏크리트		
8-4 막장면 록볼트		
8-5 가인버트		
8-6 주입공법		
8-7 지하수위 저하공법		
8-8 강관보강그라우팅 공법		

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·철도건설공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 항목 없음	→「터널표준시방서」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
·고속도로공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 항목 없음	

(나) 내용분석

○ 일반사항

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	8-1 보조공법 적용 시 고려사항 1. 일반사항 1.1 보조공법의 적용조건 1.1.1 설계에 반영된 보조공법이 적합하지 않은 것으로 판명된 경우 또는 터널시공중에 보조공법이 필요하도 판단된 경우에는 효과, 경제성 및 시공법 등을 검토하여 적합한 공법을 적용하여야 한다.	→ 일반적인 목차에서의 각 시방서간 차이는 있으나 기술 내용은 유사하므로 시방서 구성에 따른 목차는 터널표준시방서 목차를 원칙으로 작성되어야 함 →「철도건설공사표준시방서」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일하고, 지하수위공법은 터널표준시방서의 1.1.6을 보완하여 추가 필요
·철도건설공사 전문시방서	1. 일반사항 1.1 보조공법의 적용조건 (1) 보조공법에는 휘폴링, 막장면 숏크리트, 막장면 록볼트, 가인버트, 주입공법, 지하수위 지하공법, 강관보강공법 등을 고려할 수 있으며 여건에 따라 이외의 보조공법을 적용할 수 있다.	
·고속도로공사 전문시방서	-	

○ 재료

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	2. 재료 해당사항 없음	→「철도시용설공사표준시방서」에서 제시된 용어 명 및 항목으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	2. 재료 2.1 휘폴링의 재질 (1) 휘폴링은 구조용 이형강봉(KS D 3504)이나 구조용 강관(KS D 3566)으로 한다.	
·고속도로공사 전문시방서	-	

○ 훠폴링

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	3. 시공 해당사항 없음 1. 일반사항 1.1 훠폴링 일반 1.1.1 훠폴링은 터널 천정부 지반의 자립이 어려운 경우 주지보재 설치 시까지의 진행성 지반변형을 억제하기 전에 설치한다.	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어명, 제목 및 항목으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	3. 시공 3.1 훠폴링 설치 (1) 훠폴링용 강재의 한쪽 끝은 강지보재에 의해 지지되도록 설치해야 한다.	
·고속도로공사 전문시방서	-	

○ 막장면 숏크리트

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 시공 중 막장면 숏크리트를 타설하는 경우는 다음과 같다 (1) 막장면 지반의 자립이 어려운 경우	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어명, 제목 및 항목으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	3.2 막장면 숏크리트 시공 (1) 막장면에 용출수가 발생하는 경우에는 물빼기공을 설치한 후 숏크리트를 타설해야 한다.	
·고속도로공사 전문시방서	-	

○ 막장면 록볼트

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 막장면 록볼트를 시공하는 경우는 다음과 같다. (1) 막장면의 안정을 저해하는 불연속면이 출현한 경우	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	3.3 막장면 록볼트의 시공 (1) 파쇄가 심하고 연약한 지반일 경우에는 막장면에 직각으로 시공해야 한다.	
· 고속도로공사 전문시방서	-	

○ 가인버트

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 가인버트를 시공하는 경우는 다음과 같다. (1) 막장의 안정을 저해하는 과대한 변위가 예상되거나 발생하는 경우	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	3.4 가인버트 (1) 가인버트는 소요의 목적을 달성할 수 있는 형상으로 시공해야 한다.	
· 고속도로공사 전문시방서	-	

○ 주입공법

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	1. 일반사항 1.1. 적용범위 1.1.1 주입공법은 굴착면 주변지반의 자립성을 증진시키거나 투수성을 감수시킬 목적으로 적용하며 주입재료, 주입범위 및 주입방법은 소요의 목적을 충족시킬 수 있도록 결정하여야 한다.	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어명, 제목 및 항목으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	3.5 주입 (1) 그라우팅은 소요의 목적을 달성할 수 있도록 주입재 주입범위와 주입방법을 결정해야 한다.	
·고속도로공사 전문시방서	-	

○ 지하수위 저하공법

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 지하수위 저하공법을 적요한 경우는 다음과 같다. (1) 굴착면 인근 침투수력을 감소시켜 막장면의 안정성 증진을 도모하는 경우	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	3.6 지하수위 저하공 시공 (1) 배수 시 토립자가 유출되지 않도록 조치해야 한다.	
·고속도로공사 전문시방서	-	

○ 강관보강그라우팅 공법

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	1. 일반사항 1.1. 적용범위 1.1.1 천장부의 암피복이 얇거나 지반이 연약하여 굴착 전에 천장부 지반을 광범위하게 보강하여야 할 경우에 적용한다.	→ 「터널표준시방서」에서 제시된 용어명, 제목 및 항목으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	3.7 강관보강 공법의 시공 (1) 강관의 한쪽 끝은 강지보재에 의해 지지되도록 설치해야 한다.	
·고속도로공사 전문시방서	-	

(9) 계측

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 계측편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제9장 계측	**10-9 터널계측**	**7-10 터널계측**
9-1 계측일반		
9-2 지표 및 지중침하 측정		
9-3 내공변위 및 천단침하 측정		
9-4 지중변위 측정		
9-5 록볼트 축력측정		
9-6 숏크리트 응력측정		

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 철도건설공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 계측일반 등 상세항목 구분없음	→ 「터널표준시방서」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
· 고속도로공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 상세 항목 구분 없음	

(나) 내용분석

○ 계측일반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1. 일반사항 1.1적용범위 1.1.1 계측은 터널시공 중의 안전관리를 위한 계측기기의 설치, 측정, 자료 관리를 포함한다.	→ 「고속도로공사표준시방서」에서 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위 (1) 계측은 터널시공 중의 안전관리를 위한 계측기기의 설치, 측정, 유지관리 및 자료 관리를 포함한다.	
· 고속도로공사 전문시방서	1.1 적용범위 이 시방은 터널 굴착시부터 콘크리트 라이닝 완료시까지 터널의 구조적 안정성 여부를 판단하기 위한 터널 내·외부의 계측 및 분석 작업에 적용한다.	

○ 계측계획

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1.2 계측계획의 수립 1.2.1 공사착수 전에 설계 시 작성된 계획을 검토하고 현장여건을 반영하여 상세한 계측수행 및 분서계획을 작성하여 감독원의 승인을 득하여야 한다.	→ 「터널표준시방서」에서 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일하고 보완 필요
· 철도건설공사 전문시방서	1.4 계측기기의 선정 (1) 계측기기는 설치, 측정 및 유지관리가 용이하고 측정기간 동안의 내구성이 유지되어야 한다.	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 계측기기 선정, 보정

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1.3 계측기기의 선정 1.3.1 계측기기는 설치, 측정 및 유지관리가 용이하고 측정기간 동안의 내구성이 유지되어야 한다.	→터널표준시방서에 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서 · 고속도로공사 전문시방서		

○ 계측기기 설치

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1.5 계측기기의 설치 1.5.1 계측기기는 지반 또는 지보재와 확실하게 부착되어 그 지점의 지반 또는 지보재의 거동을 정확히 측정할 수 있도록 설치하여야 한다.	→「터널표준시방서」에 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	1.5 계측기기의 설치 (1) 계측기기의 정상적인 기능발휘를 위해서는 정밀하게 계측기기를 설치해야 한다.	
· 고속도로공사 전문시방서	3.2 계측빈도 계측항목과 빈도는 표 7-10-1을 표준으로 하며, 현장여건 및 지반조건을 감안하여 감독자의 확인을 받은 후 조정하여 사용할 수 있다.	

○ 계측기기 관리

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1.6 계측기기의 관리 1.6.1 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.	→「터널표준시방서」에 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	1.10 계측기기의 관리 (1) 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리해야 한다.	
· 고속도로공사 전문시방서	-	

○ 계측방법

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서 · 고속도로공사 전문시방서		→「철도건설공사 전문시방서에 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	1.8 계측방법 (1) 갱내관찰조사는 굴착을 진행하는 동안 막장부의 지반상태와 기 시공구간에 대한 1차 지보재 상태를 조사, 기록하고 필요에 따라 적절한 조치를 강구해야 한다.	

○ 계측 결과의 정리 및 분석

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1.9 계측결과의 정리 및 분석 1.9.1 모든 계측결과 기록지에는 사업명, 위치, 터널명, 측점, 계측항목, 계측위치, 측정일시, 측정자 등을 기재하여야 한다.	→「터널표준시방서」에 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	1.11 계측결과의 정리 (1) 갱내관찰조사 결과는 측정공구, 막장부번호, 일시, 작성자를 기록하고 다음의 사항들을 포함시킨 일정한 자료양식지에 정리해야 한다. ① 지층, 암석분포와 열화상태, 지층의 주향 및 경사	
· 고속도로공사 전문시방서	3.4 계측관리 3.4.1 계측결과의 시공반영 터널 시공시에는 각종 계측을 조직적으로 행하면서 계측결과를 직접 설계 및 시공에 반영해야 하며, 공사의 안전성, 경제성 및 시공성을 만족할 수 있도록 그림 7-10-1과 같이 계측관리를 해야 한다.	

○ 지표 및 지중침하 측정

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>· 터널표준시방서</td><td>1. 일반사항
1.1 적용범위
1.1.1 토피가 터널직경의 3배 이내일 때에는 지표 및 지중침하를 측정하여 지반의 연직변위에 대한 지상 구조물 및 지반의 안정성을 확인하여야 한다.</td><td rowspan="3">→「터널표준시방서」에 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일</td></tr>
<tr><td>· 철도건설공사 전문시방서</td><td>–</td></tr>
<tr><td>· 고속도로공사 전문시방서</td><td>3.3.4 지표 및 지중침하 측정
터널천단과 지표 사이의 수직거리가 짧고 터널 상부에 중요한 구조물이 있는 경우에는 터널굴착이 구조물에 영향을 미치는지의 여부를 파악할 수 있도록 지표침하와 지중침하를 측정해야 한다.</td></tr>
</table>

○ 내공변위 및 천단 침하 측정

<table>
<tr><th>구 분</th><th>차 이 점(문 제 점)</th><th>개선(표준화) 방안</th></tr>
<tr><td>· 터널표준시방서</td><td>1. 일반사항
1.1 적용범위
1.1.1 굴착에 따른 터널 벽면의 변위를 측정하여 터널거동을 파악하고 안전시공을 도로하기 위하여 내공변위 및 천단침하량을 측정하여야 한다.

【표 2.18】 내공변위 및 천단침하 계측의 측정 빈도
<table>
<tr><th>측정 빈도</th><th>변위속도</th><th>막장이격거리</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>2회/일</td><td>10㎜/일 이상</td><td>0D ~ 1D</td><td rowspan="4">D는 터널 직경</td></tr>
<tr><td>1회/일</td><td>10~5㎜/일</td><td>1D ~ 2D</td></tr>
<tr><td>1회/2일</td><td>5~1㎜/일</td><td>2D ~ 5D</td></tr>
<tr><td>1회/주</td><td>10㎜/일 이하</td><td>5D 이상
수렴 후 30일까지</td></tr>
</table></td><td rowspan="3">→「터널표준시방서」에 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일</td></tr>
<tr><td>· 철도건설공사 전문시방서</td><td>–</td></tr>
<tr><td>· 고속도로공사 전문시방서</td><td>3.3 계측내용
3.3.1 터널 내 관찰조사
(1) 터널 내 관찰조사는 지질 상태를 파악하고 지보효과를 확인하기 위한 것으로서, 터널의 설계, 시공 및 계측의 기본이 되므로 정확한 관찰조사를 해야 한다. 관찰조사 항목으로는 막장, 록볼트, 숏크리트, 강지보재에 대한 조사관찰과 기타 확인사항 등이며, 주요 조사내용은 다음과 같다.</td></tr>
</table>

○ 지중변위 측정

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 지중변위계는 터널굴착면 주변지반의 심도별 반경영향 변위를 측정하기 위하여 설치하며, 계측결과로부터 지반이완 영역의 범위를 확인한다.	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	–	
· 고속도로공사 전문시방서	3.3.6 지중변위 측정 (1) 지중변위 측정은 굴착 후 터널주변의 이완영역을 파악하여 록볼트의 적정길이를 결정하기 위한 것으로서 터널 반경방향으로 지중에 수개의 심도가 다른 앵커를 설치하고 그 변위를 측정한다.	

○ 록볼트 축력 측정

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 록볼트 축력계는 터널반경방향의 변위에 수반하여 발생하는 록볼트의 축력을 측정하여 록볼트의 지보 효과를 확인하기 위하여 설치한다.	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
· 철도건설공사 전문시방서	–	
· 고속도로공사 전문시방서	3.3.7 록볼트축력 측정 록볼트축력 측정은 록볼트의 축력을 측정하고 그 응력도에 의해 록볼트의 효과 등을 검토하여 록볼트 간격 및 길이의 증감여부를 판단하기 위한 계측으로서, 내공변위 측정결과와 연계하여 계측결과를 해석해야 한다.	

○ 숏크리트 응력 측정

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 숏크리`트 응력계는 터널주변 변위에 수반하여 발생하는 숏크리트의 응력을 측정하여 허용응력과 비교함으로써 부재의 적정성을 확인하기 위하여 설치한다.	→「터널표준시방서」에서 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
·철도건설공사 전문시방서	-	
·고속도로공사 전문시방서	3.3.5 숏크리트 응력 측정 (1) 숏크리트 응력 측정은 숏크리트의 안정성 및 추가 지보재의 필요성을 검토하기 위해 실시하며, 숏크리트내에 응력제를 매설하여 터널단면의 접선방향과 터널반경방향의 응력을 측정한다.	

(10) 연직갱 및 경사갱

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 연직갱 및 경사갱편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제10장 연직갱 및 경사갱	**10-10 갱구부, 연직갱 및 경사갱**	
10-1 연직갱	10-10-1 갱구부	
10-2 경사갱	10-10-2 연직갱 및 경사갱	

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·철도건설공사 전문시방서	- 터널표준시방서는 연직갱과 경사갱을 분리하였으나 철도건설공사 전문시방서는 통합하여 수록하였음	→「터널표준시방서」에서 제시된 목차 제목 및 항목으로 통일
·고속도로공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 항목 없음	

(나) 내용분석

○ 연직갱

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	10-1 연직갱 1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 본선터널 이외의 터널로서 연직이거나 연직에 가까운 보조기능의 터널에 적용한다. 1.1.2 수평터널에 해당되는 일반적인 사항은 본장에서 제외한다.	→ 철도건설공사전문시방서는 연직갱과 경사갱을 통합하여 수록하여 터널표준시방서와 통일이 필요함 → 고속도로공사전문시방서는 연직갱 항목 추가가 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-10-2 연직갱 및 경사갱 1. 일반사항 1.1 적용범위 이 절은 연직이거나 연직에 가까운 터널 및 경사진 터널 공사에 적용한다.	
· 고속도로공사 전문시방서	-	

○ 경사갱

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	10-2 경사갱 1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 본선터널 이외의 터널로서 보조기능의 경사진 터널에 적용한다. 1.1.2 수평터널에 해당되는 일반적인 사항은 본장에서 제외한다.	→ 철도건설공사전문시방서는 연직갱과 경사갱을 통합하여 수록하여 터널표준시방서와 통일이 필요함 → 고속도로공사전문시방서는 연직갱 항목 추가가 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-10-2 연직갱 및 경사갱 1. 일반사항 1.1 적용범위 이 절은 연직이거나 연직에 가까운 터널 및 경사진 터널 공사에 적용한다.	
· 고속도로공사 전문시방서	-	

(11) TBM

(가) 목차분석

○ 국내 터널관련 시방기준의 TBM편의 목차는 다음과 같이 구성됨

터널표준시방서(2009)	철도건설공사 전문시방서(2011)	고속도로공사 전문시방서(2009)
제11장 TBM	**10-11 TBM터널**	
11-1 시공계획 수립	10-11-1 시공계획 수립	
11-2 조사	10-11-2 조사	
11-3 터널측량	10-11-3 터널측량	
11-4 세그먼트	10-11-4 세그먼트	
11-5 작업구	10-11-5 작업구	
11-6 TBM 장비	10-11-6 TBM 장비	
11-7 발진과 도달	10-11-7 발진과 도달	
11-8 추진	10-11-8 추진	
11-9 터널 내 운반	10-11-9 터널 내 운반	
11-10 세그먼트라이닝 설치	10-11-10 세그먼트라이닝 설치	
11-11 뒤채움 주입	10-11-11 뒤채움 주입	
11-12 방수	10-11-12 방수	
11-13 내부 콘크리트라이닝	10-11-13 내부 콘크리트라이닝	
11-14 터널 지보재	10-11-14 터널 지보재	
11-15 급 곡선부	10-11-15 급 곡선부	
11-16 지반안정과 구조물 보호	10-11-16 지반안정과 구조물 보호	
11-17 TBM 시공설비	10-11-17 TBM 시공설비	
11-18 시공관리	10-11-18 시공관리	

○ 분석결과

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 철도건설공사 전문시방서	- 터널표준시방서와 동일하게 구성되어 있으나, 제목이 터널표준시방서는 "TBM", 철도건설공사 전문시방서는 "TBM터널"로 상이함	→ 「터널표준시방서」에서 제시된 용어 명, 제목 및 항목으로 통일
· 고속도로공사 전문시방서	- 터널표준시방서에 제시된 항목 없음	

(나) 내용분석

○ 시공계획 수립

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-1 시공계획 수립 1. 일반사항 1.1 시공계획 시 고려사항 1.2 특수한 조건 하의 고려사항 1.3 TBM 장비의 적합성 1.4 공사구간 분할 1.5 공종별 시공계획 1.6 공정계획 1.7 작업장계획 1.8 공사용 설비계획 1.9 사토장계획 2. 재료 3. 시공	→ 고속도로공사전문시방서는 '시공계획 수립' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-1 시공계획 수립 1. 일반사항 1.1 시공계획 시 고려사항 1.2 특수한 조건 하의 고려사항 1.3 TBM 장비의 적합성 1.4 공사구간 분할 1.5 공종별 시공계획 1.6 공정계획 1.7 작업장계획 1.8 공사용 설비계획 1.9 사토장계획 2. 재료 3. 시공	
· 고속도로공사 전문시방서	-	

○ 조사

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-2 조사 1. 일반사항 1.1 시공 중의 조사 2. 재료 3. 시공	→ 고속도로공사전문시방서는 '조사' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-2 조사 1. 일반사항 1.1 시공 중의 조사 2. 재료 3. 시공	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 터널측량

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-3 터널측량 1. 일반사항 1.1 측량구분 1.2 측량방법 2. 재료 3. 시공	→ 고속도로공사전문시방서는 '터널측량' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-3 터널측량 1. 일반사항 1.1 측량구분 1.2 측량방법 2. 재료 3. 시공	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 세그먼트

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-4 세그먼트 1. 일반사항 1.1 제작 시 고려사항 1.2 저장 및 운반 2. 재료 2.1 치수정확도 2.2 검사 3. 시공	→ 고속도로공사전문시방서는 '세그먼트' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-4 세그먼트 1. 일반사항 1.1 제작 시 고려사항 1.2 저장 및 운반 2. 재료 2.1 치수 및 정확도 2.2 검사 3. 시공	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 작업구

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-5 작업구 1. 일반사항 1.1 작업구의 분류 및 기능 1.2 작업구의 크기와 형상 2. 재료 3. 시공 3.1 작업구 시공	→ 고속도로공사전문시방서는 '작업구' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-5 작업구 1. 일반사항 1.1 작업구의 분류 및 기능 1.2 작업구의 크기와 형상 2. 재료 3. 시공 3.1 작업구 시공	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ TBM 장비

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-6 TBM 장비 1. 일반사항 1.1 제작 1.2 조립 1.3 운반 2. 재료 3. 시공	→ 철도건설공사전문시방서의 목차 및 내용은 터널표준시방서와 대부분 동일하나 '1.1공법선정' 항목을 추가하여 TBM장비의 종류등에 대한 내용을 수록하고 있음. 터널표준시방서에는 위와 같은 내용이 없으므로 보완이 필요함 → 고속도로공사전문시방서는 'TBM 장비' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-6 TBM 장비 1. 일반사항 1.1 공법선정 1.2 제작 1.3 조립 1.4 운반 2. 재료 3. 시공	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 발진과 도달

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-7 발진과 도달 1. 일반사항 2. 재료 3. 시공 3.1 발진 3.2 도달 3.3 점검 및 커터교환	→ 고속도로공사전문시방서는 '발진과 도달' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-7 발진과 도달 1. 일반사항 2. 재료 3. 시공 3.1 발진 3.2 도달 3.3 점검 및 커터교환	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 추진

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-8 추진 1. 일반사항 2. 재료 3. 시공 3.1 TBM의 추진 공통사항 3.2 토압식 쉴드TBM의 추진 3.3 이수식 쉴드TBM의 추진	→ 터널표준시방서는 '이수식 쉴드 TBM', 철도건설 공사전문시방서는 '이수가압식 쉴드 TBM'으로 명기하고 있어 용어 통일이 필요함 → 고속도로공사전문시방서는 '추진' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-8 추진 1. 일반사항 2. 재료 3. 시공 3.1 TBM의 추진 공통사항 3.2 토압식 쉴드TBM의 추진 3.3 이수가압식 쉴드TBM의 추진	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 터널 내 운반

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-9 터널 내 운반 1. 일반사항 1.1 운반 일반 2. 재료 3. 시공 3.1 버력운반	→ 고속도로공사전문시방서는 '터널 내 운반' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-9 터널 내 운반 1. 일반사항 1.1 운반 일반 2. 재료 3. 시공 3.1 버력운반	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 세그먼트라이닝 설치

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-10 세그먼트라이닝 설치 1. 일반사항 1.1 세그먼트라이닝 설치 일반 2. 재료 3. 시공 3.1 세그먼트라이닝의 시공 3.2 테이퍼 세그먼트라이닝의 시공 3.3 정원의 유지	→ 고속도로공사전문시방서는 '세그먼트라이닝 설치' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-10 세그먼트라이닝 설치 1. 일반사항 1.1 세그먼트라이닝 설치 일반 2. 재료 3. 시공 3.1 세그먼트라이닝의 시공 3.2 테이퍼 세그먼트라이닝의 시공 3.3 정원의 유지	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 뒤채움 주입

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-11 뒤채움 주입 1. 일반사항 1.1 뒤채움 주입 2. 재료 2.1 주입재료의 특성 3. 시공 3.1 뒤채움 주입시공 3.2 뒤채움 주입관리	→ 고속도로공사전문시방서는 '뒤채움 주입' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-11 뒤채움 주입 1. 일반사항 1.1 뒤채움 주입 2. 재료 2.1 주입재료의 특성 3. 시공 3.1 뒤채움 주입시공 3.2 뒤채움 주입관리	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 방수

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-12 방수 1. 일반사항 1.1 방수 일반 2. 재료 2.1 방수 재료의 성질 3. 시공 3.1 실링 3.2 코킹 3.3 볼트구멍 및 뒤채움 주입구의 방수 3.4 특수 방수처리공	→ 고속도로공사전문시방서는 '방수' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-12 방수 1. 일반사항 1.1 방수 일반 2. 재료 2.1 방수 재료의 성질 3. 시공 3.1 실링 3.2 코킹 3.3 볼트구멍 및 뒤채움 주입구의 방수 3.4 특수 방수처리공	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 내부 콘크리트라이닝

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-13 내부 콘크리트라이닝 1. 일반사항 1.1 내부 콘크리트라이닝 일반 2. 재료 3. 시공	→ 고속도로공사전문시방서는 '내부 콘크리트라이닝' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-13 내부 콘크리트라이닝 1. 일반사항 1.1 내부 콘크리트라이닝 일반 2. 재료 3. 시공	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 터널지보재

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-14 터널지보재 1. 일반사항 1.1 지보재 일반 2. 재료 3. 시공	→ 고속도로공사전문시방서는 '터널지보재' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-14 터널지보재 1. 일반사항 1.1 지보재 일반 2. 재료 3. 시공	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ 급 곡선부

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-15 급 곡선부 1. 일반사항 2. 재료 3. 시공 3.1 급 곡선부의 시공방법	→ 고속도로공사전문시방서는 '급 곡선부' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-15 급 곡선부 1. 일반사항 2. 재료 3. 시공 3.1 급 곡선부의 시공방법	
· 고속도로공사 전문시방서		

○지반안정과 구조물 보호

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
· 터널표준시방서	11-16 지반안정과 구조물 보호 1. 일반사항 1.1 지반안정 1.2 구조물 보호 2. 재료 3. 시공	→ 고속도로공사전문시방서는 '지반안정과 구조물 보호' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
· 철도건설공사 전문시방서	10-11-16 지반안정과 구조물 보호 1. 일반사항 1.1 지반안정 1.2 구조물 2. 재료 3. 시공	
· 고속도로공사 전문시방서		

○ TBM 시공설비

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	11-17 TBM 시공설비 1. 일반사항 1.1 시공설비 일반 2. 재료 3. 시공 3.1 TBM의 발진, 도달, 회전설비 3.2 재료보관소 및 창고 3.3 반입 및 반출설비 3.4 전력공급설비 3.5 조명설비 3.6 연락설비 3.7 환기설비 3.8 급기설비 3.9 안전통로 및 승강설비 3.10 공기압축설비 3.11 소화 및 방화설비 3.12 터널운반설비 3.13 급수 및 배수설비 3.14 침전설비 3.15 세그먼트설비 3.16 뒤채움주입설비 3.17 이수처리설비 3.18 작업대차 3.19 운전제어설비 3.20 기타 특수설비	→ 고속도로공사전문시방서는 'TBM 시공설비' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
·철도건설공사 전문시방서	10-11-17 TBM 시공설비 1. 일반사항 1.1 시공설비 일반 2. 재료 3. 시공 3.1 TBM의 발진, 도달, 회전설비 3.2 재료보관소 및 창고 3.3 반입 및 반출설비 3.4 전력공급설비 3.5 조명설비 3.6 연락설비 3.7 환기설비 3.8 급기설비 3.9 안전통로 및 승강설비 3.10 공기압축설비 3.11 소화 및 방화설비 3.12 터널운반설비 3.13 급수 및 배수설비 3.14 침전설비 3.15 세그먼트 조립설비 3.16 뒤채움주입설비 3.17 이수처리설비 3.18 작업대차 3.19 운전제어설비 3.20 기타 특수설비	
·고속도로공사 전문시방서		

○ 시공관리

구 분	차 이 점(문 제 점)	개선(표준화) 방안
·터널표준시방서	11-18 시공관리 1. 일반사항 1.1 공정관리 1.2 작업관리 1.3 마감관리 2. 재료 3. 시공	→ 터널표준시방서와 철도건설공사전문시방서의 목차구성이 서로 상이하므로 통일이 필요함 → 철도건설공사전문시방서에는 '품질관리, 계측관리, 안전 및 기타관리' 항목을 추가로 언급하고 있어 터널표준시방서에 위의 내용 보완이 필요함 → 고속도로공사전문시방서는 '시공관리' 항목이 누락되어 있으므로 보완이 필요함
·철도건설공사 전문시방서	10-11-18 시공관리 1. 일반사항 1.1 공정관리 2. 재료 3. 시공 3.1 작업관리 3.2 마감관리 3.3 품질관리 3.4 계측관리 3.5 안전 및 기타관리	
·고속도로공사 전문시방서		

2.2.4 검토의견

○ 국내 시방기준의 문제점 분석 및 대책방안을 도출하기 위하여 터널표준시방서, 철조건설공사 전문시방서, 고속도로공사 전문시방서를 비교 검토하였으며, 검토결과 90개의 항목에 대한 문제점 및 개선(표준화) 방안을 도출하였다.

○ 상위 분류 기술 수준인 터널표준시방서에서는 포괄적인 시방기준에 대하여 정립하고, 시방기준에 대한 상세 내용은 발주처와 공사의 특성을 고려하여 하위분류 기준인 전문시방서에서 기술하는 것이 시방기준의 상이로 인한 혼돈을 방지하고, 체계적이며, 효율적일 것으로 사료됨

○ 국내에서 사용된 터널 시방서는 NATM 도입 당시 작성한 터널시방서와 설계와 시공법의 향상으로 추후에 기술된 터널시방서의 목차와 분류 방식 상이로 인한 설계, 시공 관련 기술자들의 혼란 발생

○ 작성된 분석보고서는 보고서에 기술된 내용의 대한 논의를 우선 시행하고 의견 수렴을 통하여 표준시방서의 수정 보완을 통한 구축이 필요할 것으로 사료되며, 개선된 내용에 대하여 시공현장에서의 즉시 반영이 곤란할 경우 단계적 반영 등의 방안을 두는 것이 시 합리적일 것으로 사료됨

○ 터널관련 국내 시방서의 목차를 분석한 결과 전체적인 목차는 유사하게 구성되어 있으나, 목차 구성과 그에 따른 내용이 발주처별로 다소 상이한 것으로 검토됨

○ 따라서 각 시방서 특성을 고려하여 터널표준시방서의 목차에 따라 목차 구성을 수정하거나 추가하는 방안에 대하여 의견 수렴을 통하여 수정 보완하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

○ 타 시방서에 언급되어 있으나 터널표준시방서에 언급되지 않은 아이템들에 대해서는 그 내용의 그 중요성을 고려하여, 관련 내용의 개정 또는 수정을 통하여 보완하는 것이 바람직 할 것으로 판단됨

○ 터널표준시방서에 계측의 빈도를 상세하게 기술하는 것이 필요한지 또는 설계 단계에서 지질 및 굴착조건에 따라 계측의 빈도를 상세하게 기술하는 것이 필요한지에 대한 논의가 필요할 것으로 사료됨

○ 국토교통부 산하 기관의 기준서 이외에 소방방재청, 환경부, 경찰청 등의 타 부처의 기준서와 상충된 부분이 있을 경우, 시공시 현장 기술자들의 혼란 방지를 위하여 추가 분석과 해결 방안이 필요할 것으로 사료됨

○ 터널 지보재 중 숏크리트는 국내 시방서 비교분석 대상이 아니어서 누락되었으나, “콘크리트 표준시방서(2009)”에 관련 내용이 상세히 기술되어 있어 시방서 개정 시 추가 검토가 필요할 것으로 사료됨

2.3 국외 각국의 터널시공 기준 특성 분석

2.3.1 개 요

국내 터널관련 설계기준, 시방서 등의 상호분석 혹은 국내·외 관련기준의 상호분석에 대한 종합적이고 체계적인 표준화 연구가 전무한 실정에서 국내 터널건설기술의 선진화를 위해 주요 국외 기준의 현황과 내용에 대한 분석을 실시하였으며, 국외 기준의 도입 가능한 항목들을 도출하여 국내 터널 건설기준의 표준화 방안을 검토하였다.

주요 국외 기준 및 시방서의 현황 및 검토 대상은 【표 2.19】과 같으며 검토대상을 통해 국외 건설기술 및 기준서의 표준화 동향을 파악할 수 있다.

【표 2.19】국외 기준 및 시방서 검토 대상(15건)

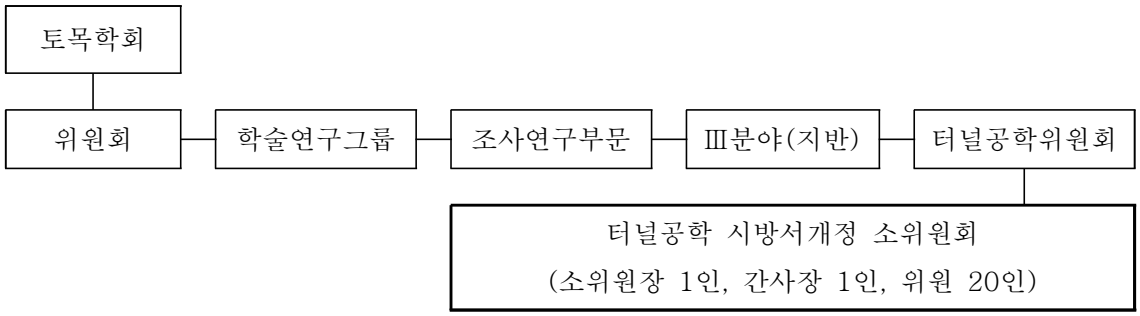
구 분	도 서 명	발 행 처	발행 연도
일본	トンネル標準示方書·同解説 「山岳工法」	土木学会	2006
	トンネル標準示方書·同解説 「シールド工法」		
	トンネル標準示方書·同解説 「開削工法」		
미국	Road Tunnel Design Guidelines	FHWA	2005
영국	Specification for Tunnelling	BTS, ICE	2010
독일	지하구조물 관련 권고사항(16건)	DAUB	2009
프랑스	AFTES에서 제시한 추천사항(7가지)	AFTES	-
오스트리아	터널관련기준서(6가지)	지반공학회	2010
노르웨이	Road tunnel – Standard	NPRA	2004
	Vegtunneler handbook	NPRA	2010
EFNARC	European Specification for Sprayed Concrete	EFNARC	-
방재관련 가이드라인	Technical Report Part 2 – Fire Safety Design	FIT	2005
	NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways	NFPA	2011
	NFPA 130 Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems	NFPA	2010
	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels	TRIS	2007

2.3.2 일 본

1) 터널표준시방서(トンネル標準示方書)

(1) 터널표준시방서 개요

터널표준시방서는 일본 내에서 터널건설에 있어 최초이자 가장 포괄적인 참고도서이며, 일본 현지에서 터널과 관련된 기술(설계, 시공, 시공관리 등)의 표준을 제시하고 있다. 터널표준시방서는 일본의 공익사단법인 토목학회에서 제정하였으며, 터널공학위원회에서 시방서와 관련된 질의사항에 대한 답변이나, 정오표 및 개정(터널공학 시방서개정 소위원회) 작업을 관장하고 있다.



【그림 2.2】터널표준시방서 관리 체계

터널공학 시방서개정 소위원회에서는 2016년 터널표준시방서의 개정을 계획하고 있고, 2009년부터 산악공법편, 쉴드공법편, 개착공법편에 대해 각각 개정준비회를 발족하여 개정작업에 착수하였다. 2010년에는 개정과 관련하여 발주자 및 수주자를 대상으로 설문조사를 실시하였고, 2011년에는 본 설문조사 결과를 참고하여, 차기개정판의 개정방침, 편(編) 구성 등의 기본적인 사항을 결정하였다. 이후 2012년에는 개정방침에 의거하여 구체적인 원고집필작업을 시작하려는 계획을 갖고 있다.

【표 2.20】일본터널표준시방서 활용현황(2010년 설문조사 결과)

구 분	활용현황(%)			기준도서로 활용비율(%)		
	발주자	수주자	합 계	발주자	수주자	합 계
산악공법	77	95	86	74	57	64
쉴드공법	54	99	81	66	65	65
개착공법	49	86	62	58	56	57

2010년 개정작업을 위한 설문조사결과 터널표준시방서는 주로 수주자의 입장에서 활용도가 높은 편이며, 약 60% 이상이 기준 도서로써 활용하여 설계 및 시공에 반영하고 있고, 나머지는 참고도서로 활용하고 있는 실정이다.

(2) 일본 터널표준시방서의 제·개정 연혁

일본의 터널기술은 교통, 전력, 관개(灌漑) 등의 각 분야에서 상당한 발전을 이루어 왔지만, 각 분야의 연구 및 경험을 종합한 터널기술을 보다 신속하게 발전시킬 수 있는 여건이 마련되지 않은 실정에서, 1961년(昭和36年) 12월 토목학회에서 각 분야의 터널 기술자를 망라하여 터널공학위원회를 설치하고, 터널기술의 조직적 연구에 착수하기 시작하였다. 그 결과 1964년 터널표준시방서를 제정하기에 이르렀고, 1969년 1차 개정 이후 1977년 산악편과 쉴드편으로 나뉘어 개정하였으며, 1986년 산악편, 쉴드편, 개착편 세 개의 공법으로 나뉘어 개정되어 현재의 체계를 유지하고 있다.

【표 2.21】 일본 터널표준시방서의 제·개정 연혁

구 분	년 도		도 서 명	비 고
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	
쉴드공법편	昭和44年	1969년	쉴드공법지침	
	昭和52年	1977년	터널표준시방서(쉴드편)·동해설	
	昭和61年	1986년		
	平成8年	1996년	터널표준시방서(쉴드공법편)·동해설	
	平成18年	2006년	터널표준시방서(쉴드공법)·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	

(3) 터널표준시방서 2006년 주요 개정내용

(가) 산악공법편

산악공법편에는 시공예가 증가하여 도심지 산악공법의 내용에 충실하였다. 1996년 개정당시에도 포함하고는 있었지만, 2006년 개정하면서 독립된 장으로(제6편 특수지반 및 도심지 산악공법의 터널, 제2장 도심지산악공법) 구성하였고, 설계부터 시공까지 흐름에 따라서 해설하였다.

한편, TBM공법편도 추가하여 계획부터 조사(調査), 시공까지 체계적으로 나타냈고,

반면에 재래식공법(矢板工法)은 소단면 터널에 한정하여 해설하는 등, 산악터널의 실태에 맞춘 내용이나 구성을 하고 있다.

더불어 기설터널의 유지관리 문제에 대한 개정이 이루어졌는데 전회의 개정으로부터 10년간 라이닝콘크리트의 박락, 니가타현 주에츠 지진으로 인한 터널 피해가 문제로 제기되어, 토목학회 터널공학위원회에서는 현지 조사단을 파견하였고, 이러한 피해 실태를 조사하여 그 성과를 개정에 반영하였다.

보조공법에 대해서도 신기술을 추가하고 환경보전이라고 하는 관점으로부터 보조공법을 기술하는데 주력하였다. 유지관리기술의 상세는 산악, 쉴드, 개착의 세 가지 공법과 관련된 것들을 터널라이브러리 제14호에 정리하였고, 터널표준시방서와의 제휴를 도모하였다.

【표 2.22】터널표준시방서 산악공법편의 2006년 주요 개정내용

구 분	내 용
제2편 계획 및 조사(調査)	“대심도법”, “환경영향평가법” 등 새로운 법률에 대한 기술
제5편 보조공법	“주변환경보전을 위한 보조공법”의 내용
제6편 특수지반 및 도심지 산악공법의 터널	도심지 산악공법을 새로운 장으로 구성하여 계획부터 시공까지 흐름에 따라 기술
제7편 시공관리	유지관리에 있어서 각종 관리기록의 작성 및 보존의 중요성을 보여주는 동시에 구체적인 관리방법 등의 내용 확충
제8편 TBM공법	TBM공법을 새로운 편으로 구성하여 계획부터 조사, 설계, 시공까지 일련의 흐름에 따라 기술

(나) 쉴드공법편

설계의 합리화가 강하게 요구되는 사회정세를 반영하여, “한계상태설계법편”을 새롭게 추가하였다. 한계상태설계법에서는 사용재료 및 구조물에 가해지는 하중, 적용한 구조설계법 등의 격차나 변동을 각기 개별의 안전계수로서 설정하는 것이 가능하고, 설계 작업을 합리화 할 수 있다. 2006년 개정작업시 터널라이브러리 제11호의 “터널의 한계상태설계법 적용”을 참고하였다.

공법에 대해서는 현재 주류를 이루고 있는 밀폐형쉴드를 대상으로 하였으며, 적용예가 감소하고 있는 개방형쉴드에 대한 내용은 생략하고, 압기공법(pneumatic method)의 기술도 축소하였다.

시공실적이 증가하고 있는 특수단면 쉴드나 분기쉴드 등의 신기술에 대해서도 새로운 장으로 구성하여 해설하였다. 설문조사를 통해 유지관리와 내구성과 관련된 페이지도 추가하였다.

【표 2.23】 터널표준시방서 쉴드공법편의 2006년 주요 개정내용

구 분	내 용
제1편 총 론	• “책임기술자” 라는 애매한 표현을 “적합한 판단이 가능한 능력을 갖춘 기술자” 로 수정 •한계상태설계법 제시 •유지관리계획의 항목 신설
제2편 라이닝	•세그먼트의 구조계산에 있어서 터널횡단방법과 터널종단방법으로 나누어 구체적인 구조모델에 대한 기술 •세그먼트의 내구성에 대한 장 신설
제3편 쉴 드	•적용 예가 많은 지중접합, 분기 등의 특수쉴드에 관한 조문 추가 •적용 예가 적은 개방형쉴드는 특수쉴드의 일종으로 함
제4편 시공 및 시공설비	•대토피, 장거리, 급곡선시공, 지중접합, 지중굴착 확폭, 지중장애물대책, 근접시공 등에 대한 장 신설 •고속시공, 지중분기, 단면변화에 관한 조문 추가
제5편 한계상태 설계법	•한계상태설계법에 의한 라이닝 설계 기준 제시 •안전성, 편의성, 내구성에 대한 확인을 기본으로 하고, 구체적인 조사(照査)방법은 콘크리트표준시방서를 준용함 •조사(照査)에 사용되는 안전계수의 구체적 예 제시 •내진설계는 토목학회에서 제안한 내용을 감안하여 레벨1지진동과 레벨2 지진동의 2단계의 지진동을 고려

(다) 개착공법편

2006년 개정의 주요 내용은 한계상태설계법의 도입과 내진설계의 보강이다.

지금까지 이용해온 허용응력도설계법은 재료나 하중의 격차 등의 불확정요소를 재료강도에 대응하는 안전율로 평가하여, 합리적인 설계를 하기 어려운 방법이었다. 한계상태설계법에서는 재료강도나 하중, 부재치수의 격차에 대응하는 안전계수를 사용하여 보다 합리적인 설계가 가능하다.

다만, 가설구조물에 대해서는 구조물의 사용기간이 매우 짧고, 한계상태설계법의 연구가 충분히 진행되지 않은 것을 고려하여 종래 이용되어 오던 허용응력도법을 적용한다. 내진설계에서는 한신대지진 이후 빠르게 진보된 내진설계법을 포함하고, 새로운 장을 신설하여 해설하였다. 한신대지진 당시 개착터널도 피해를 입었지만, 그 피해현황의 규명과정에서 개착터널의 내진설계법이 급속도로 발전하였다. 대규모지진을 가정하여 2단계

설계법을 도입하고 동시에 콘크리트표준시방서에 규정하고 있는 설계지진동이나, 안전성의 조사(照査)법 등을 명시하여 한계상태설계법을 도입하였다.

추가적으로 설문조사에서 많이 요구된 유지관리와 내구성에 대해 해설을 추가하였고, 최신의 기술을 가능한 많이 도입하여 내용을 보강하는 동시에 참고문헌을 게재하여 이용성을 높였다.

【표 2.24】 터널표준시방서 개착공법편의 2006년 주요 개정내용

구 분	내 용
제2편 터널의 설계	•터널 본체의 설계를 성능조사(照査)형으로 개정하고, 성능조사(照査)는 한계상태설계법에 의한다는 것을 명기 •성능조사(照査)의 방법은 콘크리트 표준시방서와 마찬가지로 안전성, 사용성, 내구성에 대해서 검토 •내진설계의 장을 신설하고 레벨1, 레벨2의 2단계 지진동을 고려하여 성능조사(照査)형으로 함
제3편 가설구조물의 설계	•토류공의 응력, 변형의 계산방법은 탄소성법을 기본으로 함 •보조공법에 대해서 가설구조물의 설계 적용법이나 설계의 사고방식, 시공상의 유의점을 기재 •토류공의 기술개발을 고려하여, 토류공의 분류를 재검토하고, 새로운 토류공에 대한 설계법과 시공에 관한 기술을 추가

2) 목차 분석

(1) 일본 터널표준시방서의 목차 구성

(가) 산악공법(山岳工法)편

「터널표준시방서 · 동해설(산악공법)」은 총10편, 234조의 항목으로 구성되어있으며 목차는 다음과 같다.

【표 2.25】 터널표준시방서 · 동해설(산악공법) 목차구성

제1편 총 론	**제5편 보조공법**
제1장 총 칙	제1장 통 칙
제2편 계획 및 조사	제2장 터널시공의 안전성확보를 위한 보조공법
제1장 통 칙	제3장 주변환경의 보전을 위한 보조공법
제2장 터널의 선형, 내공단면 등	**제6편 특수지반 및 도시부 산악공법 터널**
제3장 조 사	제1장 특수지반 터널
제4장 공사계획	제2장 도시부산악공법
제3편 설 계	**제7편 시공관리**
제1장 통 칙	제1장 통 칙
제2장 설계의 기본	제2장 공정관리
제3장 지보공의 설계	제3장 품질관리와 실측관리
제4장 라이닝의 설계	제4장 관찰 · 계측
제5장 인버트 설계	**제8편 TBM공법**
제6장 방수공 및 배수공 등의 설계	제1장 통 칙
제7장 갱구부 및 갱문의 설계	제2장 TBM공법의 계획 및 조사
제8장 분기 및 확폭부 설계	제3장 설 계
제9장 근접시공에 대한 설계	제4장 TBM의 시공
제4편 시 공	제5장 시공관리
제1장 통 칙	제6장 TBM공법의 안전위생
제2장 안전위생	제7장 특수한 용도의 TBM
제3장 환경보전	**제9편 재래식공법(矢板工法)**
제4장 측 량	제1장 통 칙
제5장 굴 착	제2장 재래식공법의 설계와 시공
제6장 버력처리	**제10편 수직갱 및 사갱**
제7장 갱내운반	제1장 통 칙
제8장 지보공	제2장 수직갱
제9장 라이닝	제3장 사 갱
제10장 방수공 및 배수공 등의 시공	제4장 수직갱 및 사갱의 갱저설비
제11장 갱구부의 시공	

(나) 쉴드공법(シールド工法)편

「터널표준시방서 · 동해설(쉴드공법)」은 총5편, 239조의 항목으로 구성되어있으며 목차는 다음과 같다.

【표 2.26】 터널표준시방서 · 동해설(쉴드공법) 목차구성

제1편 총 론	제9장 토압식 쉴드
제1장 총 칙	제10장 이수식 쉴드
제2장 조 사	제11장 특수 쉴드
제3장 계 획	제12장 쉴드의 제작, 조립 및 검사
제2편 라이닝	제13장 쉴드의 보수 관리
제1장 총칙	**제4편 시공 및 시공설비**
제2장 하중	제1장 총 칙
제3장 재료	제2장 측 량
제4장 허용응력도	제3장 시 공
제5장 세그먼트의 형상치수	제4장 각종조건하에서의 시공
제6장 세그먼트의 구조계산	제5장 시공설비
제7장 세그먼트의 설계세목	제6장 시공관리
제8장 세그먼트의 내구성	제7장 안전위생관리
제9장 세그먼트 제작	제8장 환경보전대책
제10장 세그먼트의 저장, 운반 및 취급	**제5편 한계상태설계법**
제11장 2차라이닝	제1장 총 칙
제3편 실 드	제2장 설계의 기본
제1장 총 칙	제3장 재료의 설계치
제2장 설계의 기본	제4장 하 중
제3장 쉴드본체	제5장 안전계수
제4장 굴착기구	제6장 구조해석
제5장 추진기구	제7장 종국한계상태의 조사
제6장 세그먼트 조립기구	제8장 사용한계상태의 조사
제7장 유압, 전기, 제어	제9장 내진설계
제8장 부속기구	

(다) 개착공법(開削工法)편

「터널표준시방서 · 동해설(개착공법)」은 총4편, 254조의 항목으로 구성되어있으며 목차는 다음과 같다.

【표 2.27】 터널표준시방서 · 동해설(개착공법) 목차구성

제1편 총 론	제6장 보조공법
제1장 총 칙	**제4편 시 공**
제2장 조 사	제1장 총 칙
제3장 계 획	제2장 측 량
제2편 터널의 설계	제3장 토류벽
제1장 총 칙	제4장 노면복공
제2장 설계의 기본	제5장 굴 착
제3장 하 중	제6장 토류지보공
제4장 재료 및 설계치	제7장 방 수
제5장 해석모델 및 응답치의 산정	제8장 본 체
제6장 안전성의 조사	제9장 뒷채움
제7장 사용성 조사	제10장 노면복공철거 및 노면복구
제8장 내구성의 조사	제11장 토류말뚝 등의 철거
제9장 내진에 관한 검토	제12조 지하매설물의 보안조치
제10장 부재의 설계	제13장 보조공법
제11장 구조세목	제14장 근접시공
제12장 지하연속벽을 본체로 이용하는 경우의 설계	제15장 언더피닝
제13장 수직갱 설계	제16장 부분축조공법
제3편 가설구조물 설계	제17장 수직갱
제1장 총 칙	제18장 계측관리
제2장 하 중	제19장 시공관리
제3장 재료 및 허용응력도	제20장 안전위생관리
제4장 노면복공	제21장 환경보전대책
제5장 토류공	

(2) 국내기준 및 시방서와의 목차비교

【표 2.28】 일본 터널표준시방서(산악공법)와 국내 도서 비교

터널표준시방서(산악공법)	터널설계기준	터널표준시방서
제1편 총 론	**제1장 총 칙**	**제1장 총 칙**
제1장 총 칙		
제2편 계획 및 조사	**제2장 계획, 제3장 조사**	**제2장 시공계획, 제3장 조사 및 측량**
제1장 통 칙	2.1 계획일반	
제2장 터널의 선형, 내공단면 등	2.2 터널의 계획	
제3장 조 사	**제3장 조사**	3-1 조 사
제4장 공사계획		2-1 시공계획 수립
제3편 설 계	**제4장 설계일반**	
제1장 통 칙		
제2장 설계의 기본	4.1 설계의 기본방향	
제3장 지보공의 설계	**제5장 터널지보재**	
제4장 라이닝의 설계	**제6장 콘크리트라이닝**	
제5장 인버트 설계	6.6 인버트 형상 및 콘크리트라이닝의 설치	
제6장 방수공 및 배수공 등의 설계	**제8장 배수 및 방수**	
제7장 갱구부 및 갱문의 설계	**제10장 갱구부**	
제8장 분기 및 확폭부 설계	**제11장 단면확폭부 및 접속부**	
제9장 근접시공에 대한 설계		
제4편 시 공		
제1장 통 칙		
제2장 안전위생		1-2 안전관리 및 환경관리
제3장 환경보전		1-2 1.11 시공 중 완경보전
제4장 측 량		**제3장 조사 및 측량**
제5장 굴 착		**제4장 터널의 굴착**
제6장 버력처리		4-5 버력처리
제7장 갱내운반		4.5 1.2 터널 내 운반
제8장 지보공		**제5장 터널지보재**
제9장 라이닝		**제6장 콘크리트라이닝**
제10장 방수공 및 배수공 등의 시공		**제7장 배수 및 방수**
제11장 갱구부의 시공		

【표 2.28】 일본 터널표준시방서(산악공법)와 국내 도서 비교(계속)

터널표준시방서(산악공법)	터널설계기준	터널표준시방서
제5편 보조공법		**제8장 보조공법**
제1장 통 칙		
제2장 터널시공의 안전성확보를 위한 보조공법		
제3장 주변환경의 보전을 위한 보조공법		
제6편 특수지반 및 도시부 산악공법 터널		
제1장 특수지반 터널		
제2장 도시부산악공법		
제7편 시공관리		
제1장 통 칙		
제2장 공정관리		
제3장 품질관리와 실측관리		
제4장 관찰 · 계측		
제8편 TBM공법	**제13장 TBM 터널**	**제11장 TBM**
제1장 통 칙	13.1 TBM 적용일반	
제2장 TBM공법의 계획 및 조사	13.2 계 획, 13.3 조 사	11-1 시공계획 수립, 11-2 조 사
제3장 설 계	13.4 설계일반~13.15 콘크리트라이닝	
제4장 TBM의 시공		11-4 세그먼트~11-17 TBM 시공설비
제5장 시공관리		11-18 시공관리
제6장 TBM공법의 안전위생		
제7장 특수한 용도의 TBM		
제9편 재래식공법(矢板工法)		
제1장 통 칙		
제2장 재래식공법의 설계와 시공		
제10편 수직갱 및 사갱	**제12장 연직갱 및 경사갱**	**제10장 연직갱 및 경사갱**
제1장 통 칙	12.1 설계일반	1. 일반사항
제2장 수직갱	12.2 연직갱의 설계	10-1 연직갱
제3장 사 갱	12.3 경사갱의 설계	10-2 경사갱
제4장 수직갱 및 사갱의 갱저설비		

【표 2.29】 일본 터널표준시방서(쉴드공법)와 국내 도서 비교

터널표준시방서(쉴드공법)	터널설계기준	터널표준시방서
제1편 총 론	13.1 TBM 적용일반	
제1장 총 칙	13.4 설계일반	
제2장 조 사	13.3 조 사	11-2 조 사
제3장 계 획	13.2 계 획	11-1 시공계획 수립
제2편 라이닝	13.8 세그먼트라이닝	11-4 세그먼트
제1장 총 칙		
제2장 하 중		
제3장 재 료		
제4장 허용응력도		
제5장 세그먼트의 형상치수		
제6장 세그먼트의 구조계산		
제7장 세그먼트의 설계세목		
제8장 세그먼트의 내구성		
제9장 세그먼트 제작		
제10장 세그먼트의 저장, 운반 및 취급		
제11장 2차라이닝	13.15 콘크리트라이닝	
제3편 쉴 드	13.6 TBM의 제작	11-6 TBM 장비
제1장 총 칙		
제2장 설계의 기본		
제3장 쉴드본체		
제4장 굴착기구		
제5장 추진기구		
제6장 세그먼트 조립기구		
제7장 유압, 전기, 제어		
제8장 부속기구		

※ 국내 터널설계기준 및 터널표준시방서는 별책으로 쉴드공법을 다루지 않으므로, 터널설계기준의 “제13장 TBM터널”, 터널표준시방서의 “제11장 TBM” 부분의 목차를 비교

【표 2.29】 일본 터널표준시방서(쉴드공법)와 국내 도서 비교(계속)

터널표준시방서(쉴드공법)	터널설계기준	터널표준시방서
제9장 토압식 쉴드		
제10장 이수식 쉴드		
제11장 특수 쉴드		
제12장 쉴드의 제작, 조립 및 검사		
제13장 쉴드의 보수 관리		
제4편 시공 및 시공설비	13.7 터널지보재 및 보조공법 13.9 작업장 및 작업구 13.10 발진기지 13.11 터널내 운반 시스템의 설계 13.12 기타 설비 13.13 뒤채움 주입재의 설계 13.14 방수설계	11-3 터널측량 11-5 작업구 11-7 발진과 도달 11-8 추 진 11-9 터널 내 운반 11-10 세그먼트라이닝 설치 11-11 뒤채움 주입 11-12 방 수 11-13 내부 콘크리트라이닝 11-14 터널지보재 11-15 급곡선부 11-16 지반안정과 구조물 보호 11-17 TBM 시공설비 11-18 시공관리
제1장 총 칙		
제2장 측 량		
제3장 시 공		
제4장 각종조건하에서의 시공		
제5장 시공설비		
제6장 시공관리		
제7장 안전위생관리		
제8장 환경보전대책		
제5편 한계상태설계법		
제1장 총 칙		
제2장 설계의 기본		
제3장 재료의 설계치		
제4장 하 중		
제5장 안전계수		
제6장 구조해석		
제7장 종국한계상태의 조사		
제8장 사용한계상태의 조사		
제9장 내진설계		

※ 국내 터널설계기준 및 터널표준시방서는 별책으로 쉴드공법을 다루지 않으므로, 터널설계기준의 “제13장 TBM터널”, 터널표준시방서의 “제11장 TBM” 부분의 목차를 비교

3) 내용 분석

(1) 내용의 구성 체계

일본 터널표준시방서는 공법별로 “산악공법”, “쉴드공법”, “개착공법”으로 구성되어 있으며, 각 시방서는 “편”, “장”, “조”의 목차구성을 이루고 있다.

【표 2.30】 일본 터널표준시방서의 목차 구성

구 분	편	조	국내 도서
산악공법편	총 10편	234조	터널설계기준 : 총 14장 터널표준시방서 : 총 11장
쉴드공법편	총 5편	239조	
개착공법편	총 4편	254조	

국내에서는 설계기준 및 시방서에서 각기 설계와 시공에 대한 내용을 다루고 있지만, 일본 터널표준시방서는 설계와 시공편을 한 도서에서 동시에 다루고 있으며 각 장의 세부 항목을 “조”의 목차로 구성하여 사용자가 참고하여 인용하기 쉽도록 작성되었다. 일반적인 내용의 구성은 ① 총론, ② 설계, ③ 시공의 순으로 흐름에 따라 기술하고 있으며, 추가적으로 보조·특수공법 및 설계법 등을 다루고 있다. 한편, 국내 터널설계기준에서는 적용 범위를 “지반을 개착하지 않고 시공하는 터널공사(mined tunnel)의 계획, 조사, 설계에 대한 기준(01 총칙, 1.1 적용범위)”으로 정의하고 있어 개착공법에 대한 기준을 규정하지 않고 있는데 반해, 일본 터널표준시방서는 “개착공법”을 별도로 규정하고 있는 것이 특징이다. 도심지 공공시설물인 지하철도, 지하도, 공동구, 상하수도, 전력·통신·가스관로 등의 건설 수요 증가로 인해 1977년 「개착터널지침」을 제정하여 도심지의 표준적인 터널공법으로 널리 사용되어 왔으나, 이후 산악터널공법과 쉴드터널공법에 비해 개착터널공법에 대한 연구 및 통일적인 기준 정비가 미흡하고 표준적인 시방서에 대한 요구가 증가하여 1986년 「터널표준시방서(개착편)·동해설」을 제정하게 되었다.

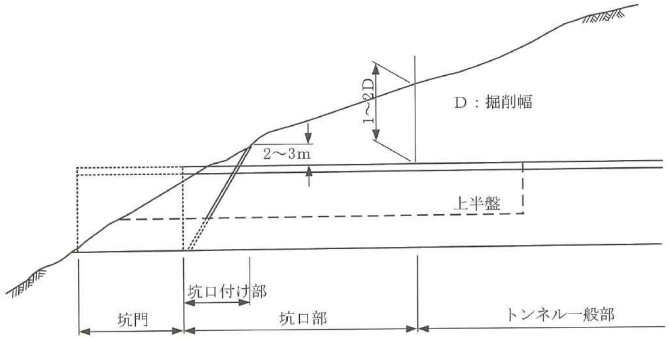
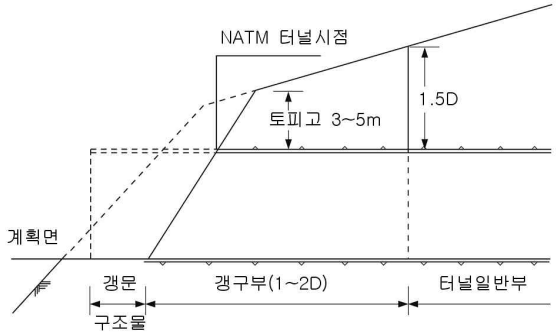
(2) 내용 기술의 상세 수준

터널표준시방서·동해설은 설계·시공 및 유지관리에 있어 기술자가 취해야할 방향에 대해 제시하고 있으며, 상세한 기술은 자제하여 기술자의 판단이 개입된 창의적인 설계, 시공을 유도하고 있는 것이 특징이다.

【표 2.31】 일본 산악공법편 내용 기술의 상세수준 및 국내도서 비교

구 분	기술 상세 수준 예
제1편 총 론	•용어의 정의 – 22가지 항목에 대해 간략히 소개(국내 설계기준은 124가지 항목에 대해 정의) •산악터널의 계획 · 조사 · 설계 · 시공 · 시공관리의 흐름 도를 도시하고, 각 항목에 해당하는 기술내용번호(제OO조)를 표기하여 도서 이용자의 편의성 고려
제2편 계 획 및 조 사	•내공단면 계획 – 「용도에 맞는 필요단면을 포함하고, 터널의 안정성 및 시공 성을 고려하며, 합리적 형상을 결정」 cf) 국내설계기준에서는 터널의 기능, 지반조건, 노선에 따라 고려해야 할 사항을 10가지로 구분하여 기술 •시공중 지반조사 – 「시공중 지반조사는 터널을 안전하고 경제적으로 시공하기 위해 필요에 따라 실시」 cf) 국내설계기준에서는 시공중 보완조사를 실시해야 하는 경우와 필요시 시험법까지 제시하고 있음
제3편 설 계	•내진설계 – 「터널의 토피, 지형, 지질, 입지조건, 주변 환경, 사용목적 등에 따라 필요시 지진, 수압, 그 외의 영향을 고려」 【해설】 부분에서 지진의 영향에 대해 “터널은 주변지반과 일체로 거동을 하기 때문에 지표의 구조물에 비해 지진의 영향을 덜 받는다. 따라서 지반조건이 양호한 터널에 대해서는 일반적으로 지진의 영향을 고려할 필요가 없다.” 라고 해설하고 있음. 단, 규모가 큰 지진에 대해 갱구부 경사면 붕괴나, 라이닝 변상의 사례가 있어, 구조상의 배려가 필요한 경우도 있음. cf) 국내설계기준에서는 내진설계에 대해 7가지 항목으로 내진설계일반부터 내진설계 대상지역 및 구조물, 내진설계방법, 내진설계시 주의사항까지 상세하게 기술하고 있음 •지보재 설계, 라이닝 설계 지보재 및 라이닝 설계에 있어서 재료의 재질 및 형상은 일반적인 내용만을 제시하고 있고, 이에 따른 【해설】 부분에서 주로 많이 사용되는 재료의 강도, 형상 등에 대해 설명을 하고 있는데 반해, 국내 설계기준에서는 재료의 강도, 형상의 최소기준을 제시하고 있음

【표 2.31】 일본 산악공법편 내용 기술의 상세수준 및 국내도서 비교(계속)

구 분	기술 상세 수준 대표 예
제3편 설 계	●방수공 및 배수공등의 설계 방수 및 배수공에 대해 일반적 방향을 제시하고 있으나, 국내 설계기준에서는 방 · 배수재의 재료형상, 강도, 허용누수량등 세부항목에 대한 최소기준을 제시하고 있음 ●갱구부 및 갱문의 설계 “갱구부의 범위” 에 있어서 국내 설계기준과 미소한 차이가 있음  <일본터널표준시방서(2006)>  <국내터널설계기준(2007)> ●근접시공 설계 기설구조물에 근접하는 터널이나 상호 근접한 터널의 설계에 대해 기술하고 있으나, 국내 설계기준에서는 근접시공에 대한 기술 없음
제4편 시 공	●터널 시공과 관련하여 안전위생, 환경보전, 측량, 굴착, 버력처리, 갱내운반, 지보공, 라이닝, 방 · 배수공, 갱구부시공 등에 대한 시공방향을 기술하고, 【해설】에서 상세 보완 기술 ●국내 터널표준시방서는 모든 항목에 대하여 “1. 일반사항, 2. 재료, 3. 시공” 의 순으로 일률적 기술

【표 2.31】 일본 산악공법편 내용 기술의 상세수준 및 국내도서 비교(계속)

구 분	기술 상세 수준 대표 예
제5편 보조공법	•공법의 기능과 목적에 따라 기술하고 있으나, 국내 터널표준시방서에서는 공법 명에 따라 기술 예) 일본 터널표준시방서 – 막장안정대책을 위한 보조공법, 지표면침하대책을 위한 보조공법 등 국내 터널표준시방서 – 막장면 숏크리트, 막장면 록볼트, 강관보강그라우팅 공법 등
제6편 특수지반 및 도시부 산악터널	•일본 터널표준시방서에서는 산악지형 및 온천이 많은 일본 열도의 지반특성에 따라 특수지반 및 도심지 산악터널공법에 대해 별도의 장으로 구성하여 기술 예) 미고결지반, Squeezing지반, Rock Burst지반, 높은 지열, 온천, 유해가스가 있거나 고압, 다량의 용수가 있는 지반
제7편 시공관리	•터널 시공에 있어 공정관리, 품질관리, 실측관리, 계측관리 등의 전반적인 관리업무에 대하여 기술 cf) 국내 터널표준시방서에서는 해당 공정 및 자재의 “재료”, “시공” 부분에서 기술하고 “계측”만 별도의 장으로 구성
제8편 TBM공법	•적용범위에 대해 “본편에서는 암반을 대상으로 하는 전단면굴착기의 내부에, 토압과 이수압등의 막장유지장치를 갖지 않고, 주된 추진 반력을 메인 그리퍼(main gripper)에 의해 지반으로부터 직접 확보하는 방식의 굴착기를 TBM으로 취급하기로 한다”라고 【해설】 부분에서 기술하여 별도의 「쉴드공법편」과 구분 cf) 국내 터널설계기준 및 시방서에서는 Open TBM과 Shield TBM의 단순 분류가 어려워 두 공법을 통합하여 기술
제9편 재래식공법	•근래 적용이 제한적인 재래식공법(矢板工法)에 대해서, 소단면터널을 중심으로 기술하는 등내용을 축소하여 실정에 맞게 변경 (2006년 개정판, “개정의 주된 개요” 발췌)
제10편 수직갱 및 사갱	•수직갱 및 사갱에 대하여 단면형상, 지보공 · 라이닝 설계, 시공, 안전에 대하여 기술적 방향 제시

산악공법편은 【표 2.31】에서와 같이 설계 및 시공에 있어서 기술적 방향을 제시하고 있으나, 국내 터널설계기준에서는 주요 항목에 대하여 최소기준치를 제시하고 있다. 또한 산악지형이 많고, 온천과 화산이 발달한 일본의 지형 및 지질 특성에 따라 설계·시공시 고려해야할 사항에 대해 별도의 장으로 구성하여 기술하고 있는 것이 특징이다. 아울러 근래 적용이 제한적인 재래식 공법에 대해서도 상세 기술내용은 축소하였으나 소개하고 있으며, 쉴드공법편과 구분되는 TBM공법을 별도의 장으로 구성하고 있다.

터널표준시방서 쉴드공법편에서는 쉴드공법의 정의를 “이토 혹은 이수로 막장의 토압과 수압에 저항하여 막장의 안정을 도모하면서, 쉴드를 굴진시켜가며 라이닝을 조립하고 지반을 지지하여, 터널을 구축하는 공법을 말한다.” 라고 하여 산악공법편에서 기술한 TBM공법과 구분하고 있다.

일본의 터널표준시방서는 별도의 쉴드공법편을 구성하고 있는 만큼 국내터널설계기준에서 제시하고 있는 TBM터널에 대한 기준보다는 상세하게 기술되어있으며, 라이닝편 및 한계상태설계법편에서는 사용 재료에 대한 특성치를 상세하게 제시하고 있는 것이 특징이다.

【표 2.32】 일본 쉴드공법편 내용 기술의 상세수준

구 분	기술 상세 수준 대표 예
제1편 총 론	•총칙, 조사, 계획 등의 내용에 대하여 기술적 방향 제시하고, 【해설】 부분에서 상세한 예와 설명을 기술
제2편 라이닝	•세그먼트라이닝의 명칭, 기호 등을 도식화 하여 상세하게 기술하고 있으며, 라이닝에 작용하는 하중의 종류별로 고려해야 할 사항에 대해 기술 •라이닝의 재료에 대해서는 「콘크리트표준시방서(규준편), 2005년」의 규정에 따라 사용재료의 규격을 제시하고 있고, 재료의 탄성계수 및 포아송비까지 제시하고 있음 •세그먼트 콘크리트, 철근콘크리트, 무근콘크리트, 철근, 강제세그먼트 등에서 볼트까지 각 재료의 허용응력 종류에 따라 제시 •기타 세그먼트의 구조해석방법, 세그먼트 내구성, 제작, 저장, 운반 및 취급, 2차 라이닝에 대해 상세 기술하고 있음

【표 2.32】 일본 쉴드공법편 내용 기술의 상세수준(계속)

구 분	기술 상세 수준 대표 예
제3편 쉴 드	●쉴드의 적용하중, 쉴드의 구성, 굴착장치, 추진장치, 세그먼트 조립장치, 유압, 전기, 제어, 부속장치, 토압식쉴드, 이수식쉴드, 특수쉴드, 쉴드의 제작, 조립 및 검사, 쉴드의 보수관리 등 쉴드기기의 전반적인 구성과 설계시 고려해야할 사항에 대해 상세히 기술
제4편 시공 및 시공설비	●쉴드공법의 시공 및 시공설비에 대해 전반적인 시공방향을 제시 ●토압식, 이수식, 개방형 쉴드공법별 굴착과 막장의 안정에 대해 기술 ●쉴드공법의 시공시 접할 수 있는 각종 조건 하에서의 시공시 고려해야하는 사항을 명기하고, 【해설】에서 도식화하여 상세 기술 ●쉴드공법의 시공관리 및 환경보전대책에 대해 기술 특히, 안전위생관리, 교육의 주된 규칙일람표를 제시하면서 주된관계법규를 명기하여, 사업장 규모에 따른 주된 안전위생관리 업무를 설명
제5편 한계상태 설계법	●한계상태설계법에 의한 라이닝 설계 기준 제시 ●콘크리트, 철근, 강재 등 각 재료에 대한 강도의 특성치(압축강도, 인장강도, 휨균열강도, 부착강도, 지압강도, 항복강도 등)를 표로써 제시 ●각 재료의 탄성계수 및 포아송비 등을 재료의 종류별로 제시 ●기타 구조해석 및 내진설계 방법에 대한 기술
자 료	●부록의 형식으로 특수쉴드에 대해 기술하면서, 특수단면쉴드의 시공실적, 특수쉴드 기기의 구성에 대해 설명

【표 2.32】에서와 같이 쉴드공법편에서는 세그먼트라이닝과 쉴드기기에 대한 세부적인 명칭소개에서 부터 각 부속장치의 설계에 이르기까지 상세하게 기술하고 있으며, 시공편에서는 안전위생관리 및 환경보전대책 등에 대해 기술하고 있는 등, 국내 터널설계기준 및 터널표준시방서에서 다루지 못하고 있는 항목까지 상세하게 구성하고 있다.

한편, 쉴드 공법의 라이닝 설계를 한계상태설계법에 의해 수행하는 경우의 기준을 제시하고, 설계법에 대한 상세한 해설을 흐름에 따라 설명하고 있다.

일본의 터널표준시방서는 개착공법편을 별도로 구성하고 있는데, 국내 터널설계기준 및 터널표준시방서에서는 개착공법을 다루고 있지 않고, 「콘크리트구조설계기준」 및 「콘크리트표준시방서」에 준하여 설계와 시공이 이루어지고 있다. 일본 터널표준시방서의 개착공법편의 내용 기술 수준은 【표 2.33】와 같다.

【표 2.33】 일본 개착공법편 내용 기술의 상세수준

구 분	기술 상세 수준 대표 예
제1편 총 론	•총칙, 조사, 계획 등의 내용에 대하여 기술적 방향 제시하고, 【해설】 부분에서 상세한 예와 설명을 기술 •개착터널의 조사 · 계획 · 설계 · 시공의 흐름도를 도시하고, 각 항목에 해당하는 편 · 장(제O편, 제OO장)을 표기하여 도서 이용자의 편의성 고려
제2편 터널의 설계	•개착터널의 적용하중에 있어서 하중계수의 표준, 재료의 단위중량 등을 표로써 수치로 제시하고, 각 하중에 대한 적용방향에 대해 기술 •설계에 적용되는 재료의 일반적인 특성치 제시 (탄성계수, 수축변형률, 포아송비 등) •안전성, 사용성, 내구성 조사(照査) 및 내진검토에 대한 방향을 기술하고, 【해설】 에서 자세한 검토 방법 설명 •제11장 구조세목에서는 터널본체 및 각 부재의 철근피복, 형상, 정착, 이음부 등에대해 상세한 설명과 해설 •기타 지하연속벽 및 입갱에 대한 설계의 기술적 방향 제시
제3편 가설구조물 설계	•가설구조물의 설계에 있어 구체적 설계법 및 계산법 기술 •각 재료의 특성치 제시(강재 및 콘크리트 허용응력 등) •흙막이벽체 및 보조공법 등에 대한 설계 및 계산법 기술
제4편 시 공	•가설구조물의 분류에 따라 시공방법, 고려사항 등을 기술하고, 근접시공, 지하매설물, 안전위생관리, 환경보전대책 등을 별도의 장으로 구성하여 기술
자료편	•자료편에서는 본문에서 다루지 못한 관련 기술자료를 기술 – 노면교통하중, 기반면의 응답스펙트럼, 지진시 지반변위 산정방법, 굴착저면의 안정, 주변지반의 변형 계산방법, 지반개량 등 보조공법의 설계법 등에 관한 자료

이와 같이 일본의 터널표준시방서는 세그먼트라이닝(쉴드공법편), 한계상태설계법(쉴드공법편, 개착공법편) 등에서 재료의 분류별 특성치 정도를 제시하고 있으며, 설계 및 시공에 있어서 제한하는 최소의 기준은 거의 규정하고 있지 않고 있다. 다만, 【해설】 부분에서 일반적으로 많이 적용하고 있는 규격이나, 치수를 예로써 명기하여 기술자가 참고자료로 활용할 수 있도록 유도하고 있다.

4) 결 론

일본터널표준시방서는 일본 토목학회의 터널공학위원회 주관으로 1964년 처음 제정된 이래로 1977년 산악편과 쉴드편으로 구분되어 개정되었고, 1986년 개착편을 추가하면서 현재의 구성 체계를 유지하여 약 10년 단위로 개정작업이 이루어지고 있다. 최근 2006년 개정되었던 최신판은 향후 2016년 개정을 위해 전문가 설문조사 등의 작업이 진행 중에 있다.

이처럼 일본에서는 시방서의 개정작업시 중앙관청, 자치단체, 종합건설회사, 컨설턴트사 등의 발주자 및 수주자에 대해 설문조사를 실시하여 신기술 · 신공법, 시방서의 문제점 등 전문가의 주요 의견을 최대한 반영하려는 노력을 하고 있다.

한편, 시방서의 내용적인 면에 있어서 각 항목을 “조(条)”로 구성하여 사용자가 참고하기 쉽도록 구성하고, 기술 기준으로써 수치적으로 제한을 하지 않고 설계 및 시공의 방향을 제시하여 기술자의 창의적이고 능동적 사고를 유도하고 있는 것이 특징이다. 더불어 본 시방서는 해설서로써의 기능을 포함하고 있기 때문에 기술방향에 대한 부연설명을 각 조의 【해설】부분에서 상세하게 설명하고 있다.

국내 터널설계기준 및 터널시방서의 체계 및 내용구성과 비교하여 향후 개정 시 참고하거나 반영이 필요한 항목을 제안하면,

•10년 내외의 일정한 개정 시기

개정시기가 길면 최신기술의 즉각적인 반영에 어려움이 있으나, 충분한 준비기간을 거쳐 완성도 높은 검증된 기준서 개정 가능

(2007년 개정된 국내 터널설계기준은 2006년 5월부터 2007년 5월까지의 연구기간을 거쳐 최종안이 확정된데 반해, 일본의 터널표준시방서는 2006년 개정을 위해 2000년에 설문조사를 실시하였고, 2016년 개정을 위해 2009년 개정준비회를 발족하고, 전문가에 대한 설문조사를 2010년 실시하는 등 개정작업에 대한 연구를 충분한 시간을 두고 진행)

•터널관련 전문가 및 기관의 의견 수렴(설문조사)

터널과 관련하여 발주, 설계, 시공, 유지관리 및 학계, 연구기관 등 다양한 분야의 전문가에 대한 설문조사로, 실제 기준서 사용자의 의견 수렴

•내용기술의 상세수준

기준서 에서 최소한의 기준치로 설계 및 시공시 제한사항을 규정하여 창조적인 설계기회를 박탈하고, 역으로 주요 항목에 대해서는 규정하고 있지 않아 건설기술의 질적 저하 초래

•국내 터널관련 기준서의 체계적인 표준화 연구

주무관청과 관련학회 및 학계의 기준서에 대한 체계적인 표준화 연구를 통해 국내 건설기술의 선진화 및 국제화 노력 필요

2.3.3 미 국

1) FHWA 터널 설계가이드라인 목차 분석

1-0. 서론	- 건물보호 방안
1-1. 목적	- 쉴드터널 라이닝 설계
1-2. 범위	- 추진공법
1-3. 적용성	
1-4. 용어정의	4-5. 암반터널
	- 암반의 불연속면
2-0. 계획	- 암반의 거동
2-1. 대안 평가	- 암반보강
2-2. 터널운영 기준	- 초기 지보 설계
2-3. 재정계획	- 지반 역학적 해석
2-4. 계획관련 조달	- 영구라이닝의 설계
2-5. 예측의 신뢰성	- 굴착방법
	- 굴착방법이 설계에 미치는 영향
3-0. 조사	
3-1. 일반	4-6. 복합지반 및 연약지반
3-2. 현장조사	- 불안정성
3-3. 지장물 조사	- 고하중 조건
3-4. 지질 및 지반조사	- 지장물
3-5. 환경영향 평가	- 시공조건
	- 복합지반 터널시공
4-0. 설계	- 발파공법
4-1. 도록 요구조건	- Squeezing 지반에서의 TBM 공법
4-2. 중심선의 기하조건	
4-3. 단면	4-7. 수직구
4-4. 토사터널	- 연약지반에서의 수직구 굴착
- 지반보강 및 지하수 조절	- 암반에서의 수직구 굴착
- 토사터널 시공 장비	- 수직구의 최종 라이닝
- NATM/SEM	- 연직시공이 가능한 쉴드터널 신공법
- 연약지반 터널 지보 및 라이닝	

4-8. 숏크리트 - 재료 - 공학적 특성 - 시험 - 설계적 관점에서의 고찰 4-9. 침매터널 - 구조설계 - 방수 및 유지관리 - 환경적 측면의 이슈 - 위험도 분석 - 사고시 하중 - 터널 element box의 운반 4-10. 개착터널 - 구조설계 - 흙막이 시스템 - 복공판 - 굴착 및 지하수 조절 - 방수 4-11. 내진설계 4-12. 조명 4-13. 터널 방재 및 안전 감시 4-14. 터널 화재 감시 4-15. 환기 4—16. 배수시스템	

2) 결 론

미국의 터널 설계 가이드라인의 주요 특징들은 다음과 같다.

•FHWA 터널 설계 가이드라인은 터널 설계 전반에 걸쳐 기술되어있으며 교과서적인 내용을 담고 있어 설계기준으로 보기에는 부적당함 우리나라 기준으로 편람의 성격을 지니고 있음.

•FHWA 터널 설계 가이드라인은 특히, 토사터널 및 암반터널, 침매터널, 수직구 등 다양한 종류의 터널을 다루고 있으며 터널 설계 전반에 걸쳐 기술되어 있으며 교과서적인 내용을 담고 있음

•다만 기술적인 세세한 부분을 다루고 있어 참고할 만한 내용을 포함하고 있음

•설계편(4장)에서는 토사터널(Soft Ground Tunnel)과 암반터널(Rock Tunnel)에 대한 이론적 측면과 각 터널 설계시 주안점을 상세히 다루고 있어 기술자들이 쉽게 적용할 수 있도록 다양한 내용을 기술하였다. 아울러 복합지반(Mixed Ground)에 대한 대처방법 및 시공법에 대한 구체적인 내용을 다루고 있음. 또한 수직구 설계/시공에 대한 내용을 다루고 있다.

•설계편(4장)에서는 이와 함께 개착터널의 박스 구조물 설계 내용도 다루고 있으며 굴착 및 지하수 처리, 방·배수 등에 대한 구체적인 내용을 다루고 있다. 또한 내진설계에 대한 기본 이론을 다루고 있다.

•또한 부록(Appendix)에서는 터널설계시 적용할 수 있는 이론 해와 함께 터널 라이닝의 비선형 거동에 대한 이론적 내용, 그리고 Tunnel Boring Machine에 대한 개략적 설명과 다양한 사진을 수록하고 있다.

•요약하면, 미국 FHWA 터널 설계가이드라인은 설계기준이라기 보다는 편람의 성격을 띠고 있으나 터널 설계시 필요한 다양한 이론적 내용과 이론 해를 다루고 있고 토사터널 및 암반터널 등 터널 특성을 고려한 이론적 내용을 기술하고 있어 이러한 부분은 설계시 도움이 될 수 있을 것으로 판단됨.

2.3.4 영 국

1) Specification for Tunnelling

(1) 개요

본 시방서는 터널 이외에도 말뚝, Embedded Retaining Walls 등에서 터널과 유사한 지하구조물까지 포함한 프로젝트의 재료, 품질, 기술의 기초적인 부분을 포함한 시방서이

다. 본 시방서에서 기술한 기준들은 터널 시공시 표준 기준이며 특별한 경우를 제외하고는 국제 기준에 부합하여야 한다. 프로젝트별 경제성 부분을 내포한 사항에 대해서는 본 시방서에서는 제외한다. 그리고 각각의 프로젝트별 시방기준을 준수할 경우 시방기준에 대한 우선순위 확립이 필요하다.

본 시방기준은 영국 또는 ITA의 시방기준을 준수하며 터널 작업 시 위험 방지를 위해 ABI/BTS의 공동 기준을 준수하여야 한다.

시방서에서 제공되지 않는 사항에 대해서는 BS 6100을 참조한다. 또한 굴착기간에 대한 기준은 BS 6100:Part2:Section 2.2:Subsection 2.2.3(1990)을 참조한다.

영국의 터널시방서는 유로코드, 유럽·영국·스위스·독일·미국을 참조하여 작성되었으며 그 기준은 다음과 같다.

(가) Eurocode

Eurocode 1 : 구조 설계 및 시공의 기초

Eurocode 2 : 콘크리트 구조물의 설계

Eurocode 3 : 철강 구조물의 설계

Eurocode 5 : 목재 구조물의 설계

Eurocode 7 : 지반 설계

Eurocode 8 : 내진 구조 설계

(나) 유럽 기준

BS EN ISO 62:2008 : 플라스틱, 물 흡수 결정

BS EN 196:2005 : 시멘트 시험 방법

BS EN 197-1:2000 : 시멘트. 구성, 시방서와 일반 시멘트에 대한 적합성 기준

BS EN 197-4:2004 : 시멘트 - 파트 1 : 구성, 시방서, 일반 시멘트의 적합성 기준

BS EN 206-1:2000 : 콘크리트 - 파트 1 : 시방서, 성능, 생산, 적합성

BS EN 295-7:1996 : 중압 공법의 접합부, 도관의 요구 사항

BS EN 450-1:2005, A1:2007 : 플라이 애쉬 콘크리트 - 파트 1 : 정의, 시방서, 적합성 기준

BS EN 471:2003 : 콘크리트 혼화제, 모르타르, 그라우트, 시험 방법

BS EN ISO 527-3 : 플라스틱. 인장 특성 결정. flim과 sheet의 시험조건

BS EN 681-2:2000 : elastomeric seal(씰 탄성중합체). 수중 파이프의 접합부 seal의 재료 요구사항과 배수 적용. 열가소성 탄성체

BS EN 771-3:12003 : masonry units의 시방서. masonry units의 골재 콘크리트 (밀도 및 경량 골재)

BS EN 772-2:1998 : masonry units 시험 방법.

BS EN 791:1996 : drill rigs - 안전

BS EN 815:1997 : 암반에 적용되는 open TBM과 rodless shaft boring machines의 안전성

BS EN 932-6:1999 : 골재의 일반적 특성 시험법. 반복성과 재현성의 정의

BS EN 933 : 골재의 지반 특성 시험

BS EN 934-2 : 콘크리트 혼화재, 모르타르, 그라우트 - 파트 2 : 콘크리트 혼화제 - 정의, 요구 사항, 적합성, 검사, labelling

BS EN 1008:2002 : 콘크리트의 물 배합 - 시방서, 물의 적합성 시험 및 평가

BS EN 1011-1:200 : 용접, 아치 용접의 일반적인 안내

BS EN 101-2:2001 : 용접. 금속재료용접의 권장사항

BS EN 1062-7 : 페인트와 광택제, 외부 masonry와 콘크리트를 위한 코팅 시스템 및 코팅 소재

BS EN 1097 : 골재의 기계적 물리적 특성에 대한 시험

BS EN 1367:2007/8 : 골재의 열 및 풍화 특성에 대한 시험

BS EN ISO 1461:2009 : 강, 철강 조립의 고온 아연 도금 코팅. 시방서와 테스트 방법

BS EN 1537:2000 : 독특한 지반의 굴착

BS EN 1542:1999 : 보호를 위한 시스템과 생산과 콘크리트 구조물의 수리. 테스트 방법. pull-off에 따른 결합 강도 측정

BS EN 1562:1997 : 가단주철 시방서

BS EN 1563:1997 : 주조. 회전 타원체의 흑연 주철

BS EN 1744 : 골재의 화학 특성 테스트

BS EN 1849-2:2001 : 방수 유연 시트. 단위 면적당 질량 및 두께의 결정

BS EN 1916:2009 : 기술의 한계와 fits. 한계 및 허용 오차 안내

BS EN 1928:2000 : 방수 유연 시트. 지붕 방수를 위한 아스팔트, 플라스틱, 고무 시트. 수밀성 결정

BS EN ISO 3506-2:1998 : 부식 저항 스테인리스 강 체결의 기계적인 특성. Nuts

BS EN ISO 4624:2003 : 페인트와 광택제. 점착성 Pull-off 테스트

BS EN ISO 9001 : 품질 관리 시스템. 요구사항

BS EN 10025:2004 : 강 구조물의 열간 압연 생산. 배달 조건 기술

BS EN 10080:2005 : 콘크리트 보강용 강철. 강철 용접 강화. 일반

BS EN 10164:2004 : 변형 특성을 향상시킨 철강 생산

BS EN ISO 11925-2:2002 : 발화점 테스트의 반응

BS EN 12110:2002 : 굴착 기계 - 안전 요구사항

BS EN 12111:2002 : 굴착 기계 - Roadheader, ontinuous miners and impact rippers - 안전 요구 사항

BS EN 12310-2:2000 : 방수 유연 시트. 테어링 저항 결정. 지붕 방수를 위한 플라스틱, 고무 시트

BS EN 12317-2:2000 : 방수 유연 시트. 지붕 방수를 위한 플라스틱, 고무 시트

BS EN 12336:2005 : 굴착 머신 - shield machines, thrust boring machines, 라이닝 조립 장비, 안전 요구사항

BS EN 12350 : 프레쉬 콘크리트 테스트

BS EN 12390 : 경화 콘크리트 테스트

BS EN 12504-1 : 구조물의 콘크리트 테스트 - 파트 1 : 표본 채취 - 압축 테스트

BS EN 12588:1999 : 납, 납합금.

BS EN 12620:2002 : 콘크리트용 골재

BS EN 12878:2005 : 시멘트, 라임 빌딩 재료의 색소. 시방서 및 테스트 방법

BS EN 12889:2000 : Trenchless 실행, 하수도 배수 테스트

BS EN 13055-1:2005 : 경량 골재. 콘크리트용 경량 골재. 모르타르. 그라우트

BS EN 13139:2002 : 모르타르용 골재

BS EN 13263-1:2005 : 실리카 퓸 콘크리트 - 파트 1 : 정의 요구 사항, 적합성 기준

BS EN 13492:2004 (E) : 주지성 방벽

ENV* 13670-1:2000 : 콘크리트 건물의 시공

BS EN 13791 : 구조물의 현장 압축 강도 평가, 프리 캐스트 콘크리트 구성 요소

BS EN 14487-1 : Sprayed concrete - 파트 1 : 정의, 시방서, 적합성

BS EN 14487-2 : Sprayed concrete - 파트 2 : 실행

BS EN 14488-1 : sprayed concrete 테스트 - 파트 1 : 프레쉬 콘크리트, 경화

콘크리트 견본 추출

BS EN 14488-2 : sprayed concrete 테스트 - 파트 2 : 압축 강도

BS EN 14488-3 : sprayed concrete 테스트 - 파트 3 : 섬유 보강 빔 표본의 휨 강도(1차 최대 강도, 극한 강도, 잔여 강도)

BS EN 14488-4 : prayed concrete 테스트 - 파트 4 : cores by direct tension 에 따른 부착 강도

BS EN 14488-5 : prayed concrete 테스트 - 파트 5 : 섬유 보강 슬래브 표본의 에너지 흡수 용량의 결정

BS EN 14488-7 : prayed concrete 테스트 - 파트 7 : 섬유 강화 콘크리트의 Fibre content

BS EN 14889-1 : 콘크리트용 섬유 - 파트 1: 강 섬유. 정의, 시방서 및 적합성

BS EN 14889-2 : 콘크리트용 섬유 - 파트 2: 폴리머 섬유. 정의, 시방서 및 적합성

BS EN 15167-1:2006 : 그라우트, 모르타르, 콘크리트용 Ground granulated blast furnace slag(GGBS) - 정의, 시방서, 적합성 평가

BS EN 60204:2006 : 기계의 안전. 전기 기계 장비

BS EN 61672-1:2003 : 전기음향학

DD CEN/TS 14416 : 주지성 방벽

PD CLC/RT 50426:2004 : 다리 와이어 전기도금의 부주의 평가

*ENV : 개발을 위한 초안의 기준. 최종안은 곧 발급되기로 예정되어 있다.

(다) 영국 기준

BS 21:1985 : 튜브 및 fitting을 위한 Pipe threads

BS 143:1986 : Threaded pipe fittings

BS 1256:2006 : surface texture 평가 방법

BS 4190:2001 : 검은 육각 볼트, 나사, 너트. 시방서

BS 4449:2005 : 콘크리트 보강을 위한 강철

BS 4482:2005 : 콘크리트 보강을 위한 철망

BS 4483:2005 : 콘크리트 보강을 위한 강섬유

BS 4921:1988 : 철 또는 강철의 sherardized coatings

BS 5228-1:2009 : 소음 및 진동 관리를 위한 실행 규칙. 소음

BS 5228-2:2009 : 소음 및 진동 관리를 위한 실행 규칙. 진동

BS 5268 : 목재 구조 사용

BS 5400-6:1999 : 강철, 콘크리트, 다리.

BS 5607:1998 : 폭팔물의 안전 사용을 위한 실행 규칙

BS 5911-1 : 콘크리트 및 부수적 콘크리트 생산.

BS 5950-2:2001 : 강철 건축물 구조 사용

BS 5975:2008 : 임시 작업 절차 실행 규칙과 가설물의 허용 응력 설계

BS 6100 : 건축 및 토목 항목의 용어

BS 6164:2001 : 굴착 시 안전을 위한 실행 규칙

BS 6319 : 건축 및 토목 항목 용어

BS 6472:2008 : 건설에 사용되는 수지 및 폴리머 시멘트 성분의 시험

BS 6472:2008 : human exposure to vibration in buildings의 평가

BS 7385-1:1990 : 진동 측정 및 평가와 진동이 건물에 미치는 영향 평가(파트 1)

BS 7385-2:1993 : 진동 측정 및 평가와 진동이 건물에 미치는 영향 평가(파트 2)

BS 7668:2004 : 용접 철강 구조

BS 7671:2008 : 전기 설치의 요구 사항

BS 7973-1:2001 : 철강 강화를 위한 Spacers and chairs, 제품 성능 요구사항

BS 7979:2001 : 철강 강화를 위한 Spacers and chairs

BS 8081:1989 : rock anchors 실행 규칙

BS 8102:1990 : 지하수에 대비하여 구조물의 보호를 위한 실행 규칙

BS 8500-1:2006 : 콘크리트. BS EN 206-1의 영국 기준 보완

BS 8500-2:2006 : 콘크리트. BS EN 206-1의 영국 기준 보완

BS 8666:2005 : 일정, 치수, 강섬유 보강 콘크리트 절단 및 굽힘

(라) 스위스 기준

SIS 005900 SA 215, Grit blasting

(마) 독일 기준 : DIN

1048 : 콘크리트 테스트

4062 : 하수도 배수를 위한 Cold processable 접합 재료

16726 : 플라스틱 방수 재료 및 방수 시트 ; 테스트

16776 : 플라스틱 몰딩 재료, 폴리에틸렌 몰딩 재료

53352 : 인조 가죽 및 유사 시트 재료 테스트

53370 : plastic film 테스트 ; 두께 결정

53377 : plastic film 테스트 ; 치수 안정성 결정

53387 : 풍화 및 플라스틱과 탄성체의 노화

53455 : 플라스틱 테스트 ; 인장 테스트

53457 : 플라스틱 테스트 ; 인장, 압축, 굽힘 테스트에 따른 탄성계수의 결정

53479 : 플라스틱 및 탄성체 테스트 ; 조밀도 결정

53488 : 플라스틱 시트 테스트 : 구멍 테스트

53515 : plastic film 및 고무 탄성체의 절단 강도 결정

53521 : 고무 탄성체 거동 결정

53532 : 탄성체 테스트 ; 탄성 중합체의 투과성 결정

53739 : 플라스틱 테스트 ; 곰팡이와 박테리아 영향

53861 : textile 테스트

(바) 미국 기준 : ASTM

A820 : 섬유 보강 콘크리트를 위한 강섬유 기준 시방서

A569 : 강판

ACI 506R-05 : 숏크리트 안내

D1693 : 화학 저항

영국의 터널시방기준에서는 계약의 일반적 조항을 특정 시방서에 명백히 규정지어야 하게 되어 있으며 일반적으로 작업장의 환경과 안전, 위생, 응급조치, 보안조치 등의 항목을 준수하여야 한다. 또한 건설현장의 굴착 진행시 안전을 위한 실행 규칙 및 안전요구사항, 전기 설치 규칙 등을 준수하여야 한다.

(2) 목차 분석

「Specification for Tunnelling」은 총5장, 69절의 항목으로 구성되어있으며 목차는 다음과 같다.

【표 2.34】 Specification for Tunnelling 목차 분석

영문	국문
1. General requirements	1. 일반사항
101. General notes	101. 일반적 정보
102. Definitions	102. 정의

영문	국문
103. References to Standards	103. 표준규정에 대한 참조
103.1 Standards and alternative standards	103.1 표준 및 대체 표준
103.2 Alternative materials and equipment	103.2 대체 재료 및 장비
104. Eurocodes and European and British Standards	104. 유로코드(범유럽의 건축 및 토목구조 설계 기준), 유럽, 영국 표준
104.1. Eurocodes	104.1. Eurocodes
104.2. European Standards	104.2. 유럽 표준
104.3. British Standards	104.3. 영국 표준
105. Other standards and documents	105. 그외 표준 및 문헌
105.1. standards referred to in the text	105.1. 분몬에서 언급된 표준
105.2. Documents referred to 기준	105.2. 본문에서 언급된 문헌
106. General provisions	106. 일반 조항
107. Occupational health, safety and welfare	107. 직업의 건강, 안전, 복지
108. Quality Management and records	108. 품질 관리 및 기록
108.1. Quality Management System	108.1. 품질 관리 시스템
108.2. Engineer's agreement	108.2. 기술자의 합의
108.3. Site records	108.3. site 기록
2. Materials	2. 재료
201. Standards	201. 표준
202. Concrete	202. 콘크리트
202.1. General	202.1. 일반
202.2. Constituent materials – cement	202.2. 구성 재료 – 시멘트
202.3. Constituent materials – aggregates	202.3. 구성 재료 – 골재

영문	국문
202.4. Constituent materials – water	202.4. 구성 재료 – 물
202.5. Constituent materials – admixtures	202.5. 구성 재료 – 혼합물
202.6. Constituent materials – fibres	202.6. 구성 재료 – 섬유
202.7. Constituent materials – additions	202.7. 구성 재료 – 추가
202.8. Concrete mixes	202.8. 조합 콘크리트
202.9. Ready – mixed concrete	202.9. Ready – mixed 콘크리트
202.10. Concrete batching	202.10. 콘크리트 batching
202.11. Quality control	202.11. 품질 관리
203. Reinforcement	203. 강화
203.1. Bar reinforcement	203.1. 보강
203.2. Welded wire fabric	203.2. 용접망
203.3. Fibre reinforcement	203.3. 섬유보강
204. Precast concrete linings	204. 프리캐스트 콘크리트 라이닝
204.1. General	204.1. 일반
204.2. Manufacture of segments	204.2. 세그먼트 제조
204.3. Moulds	204.3. 몰드
204.4. Tolerances for the manufacture of bolted segments	204.4. Bolted segments의 허용 오차
204.5. Tolerances for the manufacture of expanded segments	204.5. Expanded segments의 허용 오차
204.6. Opening sets	204.6. Opening sets
204.7. Marking of segments	204.7. 세크먼트 표시
204.8. Joint packing	204.8. 이음매 충전재
204.9. Gasket grooves	204.9. 가스킷 홈
204.10. Concrete cover	204.10. 콘크리트 피복
204.11. Grout holes	204.11. 그라우트 홀
204.12. Curing	204.12. 양생
204.13. Handling stacking and transport	204.13. Stacking and transport 취급
204.14. Segments reinforced with steel fibres	204.14. 강섬유 보강 세그먼트

영문	국문
205. Spheroidal graphite cast iron (SGI) linings	205. SGI 라이닝
205.1. General	205.1. 일반
205.2. Testing	205.2. 테스트
205.3. Production testing	205.3. 생산 테스트
205.4. Marking segments	205.4. 세그먼트 표시
205.5. Machining and drilling	205.5. 가공 및 드릴링
205.6. Dimensions and tolerances	205.6. 치수 및 허용오차
205.7. Segment weights	205.7. 세그먼트 무게
205.8. Grout holes	205.8. 그라우트 홀
205.9. Grout plugs	205.9. 그라우트 마개
205.10. Casting details	205.10. 주조 세부사항
205.11. Corrosion protection	205.11. 부식 방지
205.12. Damaged segments	205.12. 세그먼트 손상
205.13. Ring removal	205.13. 링 제거
206. Structural steelwork and steel linings	206. Structural steelwork and steel linings
206.1. General	206.1. 일반
206.2. Fatigue and dynamic loading	206.2. 피로, 동적 로딩
206.3. Connection design	206.3. 연결 디자인
206.4. Materials	206.4. 재료
206.5. Fabrication	206.5. 제작
206.6. Protective treatment	206.6. 보호 처리
206.7. Steelwork erection	206.7. Steelwork 조립
206.8. Bolt assemblies	206.8. 볼트 조립
206.9. Fabricated steel segments	206.9. 강재 세그먼트 조립
206.10. Cold-formed pressed steel segments	206.10. Cold-formed pressed steel segments
207. Jacking pipes	207. 잭킹 파이프
207.1. General	207.1. 일반

영문	국문
208. Support arches and lattice girders	208. Support arche와 격자 지보
208.1. General	208.1. 일반
208.2. Arches/ribs	208.2. 아치/리브
208.3. Lattice girders	208.3. 격자 지보
209. Spiles, dowels and rockbolts	209. Spiles, 다웰, 록볼트
209.1. Spiles	209.1. Spiles
209.2. Rock dowels	209.2. 록 다웰바
209.3. Rock bolts	209.3. 록 볼트
209.4. Rock anchors	209.4. 록 앵커
210. Sprayed concrete constituent materials	210. 분무식 콘크리트 구성 재료
210.1. Cement	210.1. 시멘트
210.2. Pulverised fuel ash (PFA) and ground granulated blast furnace slag (GGBS)	210.2. Pulverised fuel ash (PFA) and ground granulated blast furnace slag (GGBS)
210.3. Silica fume	210.3. 실리카 퓸
210.4. Aggregates	210.4. 골재
210.5. Water	210.5. 물
210.6. Admixtures	210.6. 혼합물
210.7. Consistency	210.7. 일관성
210.8. Strength and quality	210.8. 강도와 품질
210.9. Fibres	210.9. 섬유
211. Sheet waterproof membranes	211. 멤브레인 방수 시트
211.1. Sheet waterproofing membrane systems	211.1. 멤브레인 방수 시트 시스템
211.2. Materials – geotextile fleece	211.2. 재료 – 토목섬유 fleece
211.3. Materials – fixing elements for sheet waterproofing membrane	211.3. 재료 – 멤브레인 방수 시트의 구성 요소
211.4. Materials – sheet waterproof	211.4. 재료 – 멤브레인 방수 시트

영문	국문
membrane	
211.5. Additional Items – sheet waterproofing systems	211.5. 추가 항목 – 방수 시트 시스템
212. Sprayed – applied waterproofing membrane	212. Sprayed – 멤브레인 방수 적용
212.1. General	212.1. 일반
212.2. Materials	212.2. 재료
212.3. Materials – health and safety during application	212.3. 재료 – 적용에 따른 건강, 안전
212.4. Selection of spray–applied membrane systems – from track record or appropriate trials	212.4. 실적 또는 적절한 실험을 통한 멤브레인 시스템을 적용시킨 스프레이 선택
212.5. Quality Assurance and requirements	212.5. 품질 보증 및 필요 사항
212.6. Quality Assurance construction testing	212.6. 품질 보증 시공 테스트
213. Gaskets	213. 가스킷
213.1. Compression gaskets – general	213.1. 압축 가스킷 – 일반
213.2. Compression gaskets – testing	213.2. 압축 가스킷 – 테스트
213.3. Hydrophilic gaskets	213.3. 친수성 가스킷
213.4. Elastomeric gaskets	213.4. 탄성 가스킷
213.5. Composite gaskets	213.5. 합성 가스킷
213.6. Gaskets for pipe jack joints	213.6. 파이프 잭 관절을 위한 가스킷
214. Cement grout for cavity grouting	214. Cement grout for cavity grouting
214.1. General	214.1. 일반
214.2. Special grouts	214.2. 특별 그라우트
214.3. Mixing	214.3. 배합
214.4. Storage and delivery	214.4. 보관 및 배송
215. Packings	215. 포장
215.1. Packings for segmental linings	215.1. 세그먼트의 포장

영문	국문
215.2. Packings for opening frames	215.2. opening frame을 위한 포장
215.3. Packings of jacking pipes	215.3. 잭킹 파이프 포장
216. Grommets and bolts	216. Grommets와 볼트
216.1. Grommets	216.1. Grommets
216.2. Bolts	216.2. 볼트
217. Pointing and caulking material	217. Pointing과 caulking 재료
217.1. Caulking	217.1. Caulking
217.2. Pointing	217.2. Pointing
218. Timber	218. Timber
218.1. General	218.1. 일반
3. Methods	3. 시공방법
301. Excavation for tunnels	301. 터널 굴착
301.1. General	301.1. 일반
301.2. Rock	301.2. 암반
301.3. Soft ground	301.3. 연약 지반
302. Drilling	302. Drilling
302.1. General	302.1. 일반
302.2. Blast hole drilling	302.2. 발파 천공
302.3. Probe hole drilling	302.3. Probe 천공
303. Temporary Works and ground support	303. 예비공사 및 지반보강
303.1. General	303.1. 일반
304. Spiling, dowelling and rock bolting	304. Spiling, 다웰링, 록볼팅
304.1. Spiling	304.1. Spiling

영문	국문
304.2. Rock dowelling	304.2. 록 다웰링
304.3. Rock bolting	304.3. 록 볼팅
304.4. Load testing	304.4. 하중 테스트
304.5. Records	304.5. 기록
305. Sprayed concrete	305. 뿌림 콘크리트
305.1. General	305.1. 일반
305.2. Proficiency	305.2. 능력
305.3. Batching and mixing	305.3. Batching과 배합
305.4. Application	305.4. 적용
305.5. Curing	305.5. 양생
305.6. Defects and repairs	305.6. 결함, 수리
305.7. Reinforcement	305.7. 강화
305.8. Tests for trial mixes	305.8. 시험 배합 테스트
305.9. Test panels and acceptance tests	305.9. panel 테스트, acceptance 테스트
305.10. Production tests	305.10. 생산품 테스트
306. Ground support with arches	306. 아치 지반 보강
306.1 Steel arches/ribs and lattice girders	306.1 철강 아치/리브, 격자지보
307. Forepoling	307. 포어폴링
307.1. General	307.1. 일반
308. Explosives	308. 발파
308.1. General	308.1. 일반
308.2. Blasting vibrations	308.2. 발파 진동
309. Ground water	309. 지하수
309.1. General	309.1. 일반
310. Probing ahead	310. Probing ahead

영문	국문
310.1. General	310.1. 일반
311. Break-outs from shafts and tunnels	311. Break-outs from shafts and tunnels
311.1. General	311.1. 일반
312. Installation of sheeted waterproof membranes	312. 멤브레인 방수 시트 설치
312.1. Surface preparation	312.1. 외부 준비
312.2. Geotextile fleece layer	312.2. 토목섬유 fleece 층
312.3. Waterproof membrane	312.3. 방수 멤브레인
312.4. Construction joints: geotextile fleece	312.4. 접합 시공 : 토목섬유 fleece
312.5. Construction joints: sheet waterproof membrane	312.5. 접합 시공 : 멤브레인 방수 시트
312.6. Quality Assurance and control – field trials	312.6. 품질 보증 및 관리 – 현장 실험
312.7. Quality Assurance and control – construction testing	312.7. 품질 보증 및 관리 – 건설 테스트
312.8. Defective membrane	312.8. 멤브레인 결함
312.9. Inner lining concrete works	312.9. 내부 라이닝 콘크리트 효과
313. Installation of sprayed – applied waterproof membrane	313. 방수 멤브레인 적용 Spray 설치
313.1. Substrate preparation	313.1. Substrate 준비
313.2. Application	313.2. 적용
313.3. Equipment	313.3. 장비
313.4. Construction joints	313.4. 접합 시공
313.5. Defective membrane	313.5. 멤브레인 결함
313.6. Secondary lining construction	313.6. 2차 라이닝 시공
314. Tunnel boring machines (TBMs) and shields	314. TBM과 Shield
314.1. General	314.1. 일반

영문	국문
314.2. Machine characteristics	314.2. 기계 특성
314.3. Guidance	314.3. 안내
314.4. Fire protection	314.4. 화재 방지
314.5. Contractor's submission	314.5. 계약자의 제출물
314.6. Inspection and testing	314.6. 검사 및 테스트
314.7. Personnel and training	314.7. 인원, 작비조작
315. Slurry and earth pressure balance machines	315. Slurry and EPB 기계
315.1. General	315.1. 일반
315.2. Machine characteristics	315.2. 기계 특성
315.3. Grouting	315.3. 그라우팅
315.4. Spoil removal	315.4. Spoil 제거
315.5. Instrumentation	315.5. 계측
316. Open-faced tunnel boring machines	316. Open-faced TBM
316.1. General	316.1. 일반
316.2. Unshielded tunnelling machines	316.2. Unshielded tunnelling machines
316.3. Shielded tunnelling machines	316.3. 쉴드 터널링 머신
317. Hand shields and mechanised open shields	317. Hand shields and mechanised open shields
317.1. General	317.1. 일반
317.2. Boom cutting machines	317.2. Boom cutting machines
317.3. Backhoe machines	317.3. 백호
318. Tunnelling machines and shield operation	318. Tunnelling machines and shield operation
318.1. General	318.1. 일반
318.2. Excavation	318.2. 굴착
319. Pipe jacking	319. 중압공법(파이프 잭킹)

영문	국문
319.1. General	319.1. 일반
319.2. Thrust and Reception pits	319.2. 추력, Reception pits
319.3. Operation	319.3. 작동
319.4. Packing and sealing	319.4. 충전재, 차수
319.5. Monitoring and instrumentation	319.5. 모니터링, 계측
319.6. Tolerances	319.6. 허용오차
319.7. Micro tunnelling	319.7. 마이크로 터널링
320. Jacked box tunnelling	320. Jacked box tunnelling
320.1. General	320.1. 일반
320.2. Design principles	320.2. 원리 설계
320.3. Site investigation	320.3. Site 조사
320.4. Tunnelling shield	320.4. Tunnelling shield
320.5. Jacking system	320.5. 잭킹 시스템
320.6. Anti-drag systems	320.6. Anti-drag systems
320.7. Prediction of ground movements	320.7. 지반 거동 예측
320.8. Design	320.8. 설계
320.9. Construction	320.9. 시공
320.10. Tunnelling operations	320.10. Tunnelling operations
321. Construction of segmental tunnel lining	321. 세그먼트 터널 라이닝 시공
321.1. General	321.1. 일반
321.2. Segmental lining: general	321.2. 세그먼트 라이닝 : 일반
321.3. Erection of bolted lining	321.3. bolted lining의 조립
321.4. Tapered segmental lining	321.4. 테이퍼 세그먼트 라이닝
321.5. Grouting of bolted lining	321.5. bolted lining의 그라우팅
321.6. Erection of expanded lining	321.6. expanded lining의 조립
321.7. Packing	321.7. 팩킹
321.8. Defective work	321.8. Defective work
322. Segment gaskets	322. 세그먼트 가스킷

영문	국문
322.1. General	322.1. 일반
323. Grouting	323. 그라우팅
323.1. Cavity grouting of segmental lining	323.1. Segmental lining의 공동충진
323.2. Primary grouting	323.2. 1차 그라우팅
323.3. Secondary grouting	323.3. 2차 그라이팅
323.4. Cavity grouting of in situ lining	323.4. 현장 lining의 공동충진
324. Pointing and caulking	324. Pointing and caulking
324.1. Pointing	324.1. Pointing
324.2. Caulking	324.2. Caulking
324.3. Lead caulking	324.3. Lead caulking
324.4. Cementitious cord caulking	324.4. Cementitious cord caulking
325. In situ concrete linings other than sprayed concrete	325. In situ concrete linings other than sprayed concrete
325.1. General	325.1. 일반
325.2. Temperature monitoring of the concrete	325.2. 콘크리트의 온도 모니터링
325.3. Transport of concrete	325.3. 콘크리트 운반
325.4. Concrete placing equipment	325.4. 콘크리트 배치 장비
325.5. Placing concrete	325.5. 콘크리트 배치
325.6. Compaction	325.6. 압축
325.7. Curing and protection	325.7. 양생 및 보호
325.8. Construction joints	325.8. 접합 시공
325.9. Defective work	325.9. 결함
325.10. Formwork	325.10. Formwork
325.11. Concrete finishes	325.11. 콘크리트 마감
325.12. Fixing bar and mesh reinforcement	325.12. 지보 고정 및 철망 강화
325.13. Inspection of completed structure	325.13. 완성품 검사
326. Shafts	326. 샤프트
326.1. General	326.1. 일반

영문	국문
326.2. Safety	326.2. 안정성
326.3. Temporary shafts	326.3. 임시 샤프트
326.4. Construction	326.4. 시공
327. Timber headings	327. Timber headings
327.1. General	327.1. 일반
328. Tolerances for tunnels, shafts and underground works	328. 샤프트, 터널, 지하공사의 허용오차
328.1. All tunnels and shafts	328.1. 샤프트와 터널
328.2. Segmental lined tunnels and shafts	328.2. 샤프트와 터널의 세그먼트 시공
328.3. Sprayed concrete lined tunnels and shafts	328.3. 샤프트와 터널의 뿌림콘크리트 시공
329. Monitoring recording and the control process of undergroundworks	329. 지하굴착 제어 과정 및 모니터링 기록
329.1. General	329.1. 일반
329.2. Ground movement monitoring	329.2. 지반 거동 모니터링
329.3. Monitoring of tunnel excavation	329.3. 터널 굴착 모니터링
329.4. Tunnel and shaft linings	329.4. 터널과 샤프트 라이닝
329.5. Daily review meeting(DRM)	329.5. 일일 검토 회의 (DRM)
329.6. Key performance indicators	329.6. 주요 성과 지표
329.7. RESS-Required Excavation and support Sheet	329.7. RESS(필수 굴착과 지원 시트)
329.8. Contingency measures and emergency procedures	329.8. 비상 대책 및 비상 절차
330. Survey and setting out	330. 조사와 setting out
330.1. Datum for the Works	330.1. Works 기준
330.2. Survey bench marks	330.2. Survey bench marks
4. Ground stabilizaion processes	4. 지반 안정화 과정

영문	국문
401. Compressed air working	401. Compressed air working
401.1. General	401.1. 일반
401.2. Submission of information	401.2. 정보 제출
401.3. Initial Pressurisation	401.3. 초기 압력
401.4. Minimisation of leakage	401.4. 누출량의 최소화
401.5. Changes in working conditions	401.5. 작업 조건의 변화
401.6. Submission of daily records	401.6. 일일 기록의 제출
401.7. Exposure records	401.7. Exposure 기록
401.8. Decompression of working chamber	401.8. working chamber의 감압
401.9. Settlement	401.9. 정착
401.10. Emergency procedures	401.10. 비상 절차
401.11. Storage of materials	401.11. 재료의 보관
401.12. Burning and welding	401.12. Burning and welding
402. Grouting for ground stabilization and ground water control	402. 지하수 관리와 지반 안정화를 위한 그라우팅
402.1. General	402.1. 일반
402.2. Contractor's proposals	402.2. 계약자의 제안
402.3. Drilling	402.3. 드릴링
402.4. Plant	402.4. Plant
402.5. Disposal of waste	402.5. Disposal of waste
402.6. Records	402.6. 기록
403. Ground freezing	403. 지반 동결
403.1. General	403.1. 일반
403.2. Process	403.2. 공정
403.3. Methods	403.3. 방법
403.4. Precautions	403.4. 주의 사항
403.5. Method statement	403.5. Method statement
403.6. Freeze pipes	403.6. Freeze pipes
403.7. Plant	403.7. 플랜트

영문	국문
403.8. Monitoring and records	403.8. 모니터링 및 기록
404. Dewatering	404. 탈수
404.1. General	404.1. 일반
404.2. Contractor's proposals	404.2. 계약자의 제안
404.3. Drilling and jetting	404.3. 드릴링 및 jetting
404.4. Plant	404.4. 플랜트
404.5. Operations	404.5. 작동
404.6. Monitoring and records	404.6. 모니터링 및 기록
405. Compensation grouting	405. Compensation grouting
405.1. General	405.1. 일반
405.2. Execution	405.2. 실행
405.3. Monitoring	405.3. 모니터링
405.4. Assessment	405.4. 평가
5. Working environment	5. 환경 작업
501. Temporary electrical installations	501. 임시 전기 설비
501.1. General	501.1. 일반
502. Ventilation during construction	502. 시공 중 환기
502.1. General	502.1. 일반
502.2. Ventilation systems	502.2. 환기 시스템
502.3. Monitoring	502.3. 모니터링
502.4. Start-up ventilation	502.4. 환기 시동
502.5. Checking and inspection	502.5. 점검 및 검사
502.6. Ventilation failure	502.6. 환기 장애
502.7. ventilation after breakthrough	502.7. 환기 후 전진
503. Lighting	503. 조명
503.1. General	503.1. 일반

영문	국문
504. Noise and vibration	504. 소음 및 진동
504.1. General	504.1. 일반
504.2. Temporary fencings and barriers	504.2. 임시 팬스 및 장벽
504.3. Plant and equipment	504.3. 플랜트 및 장비
504.4. Transport restrictions	504.4. 운송 제한
504.5. Noise and vibration monitoring	504.5. 소음 및 진동 모니터링
504.6. Noise and vibration levels	504.6. 소음 및 진동 단계
505. Access and egress	505. 출입구
505.1. General	505.1. 일반
505.2. Designated access routes	505.2. 지정된 입구 경로
505.3. Maintenance of routes	505.3. 도로 유지
505.4. Access for others	505.4. 또다른 통로
505.5. Traffic safety and management	505.5. 운송 안전 및 관리
505.6. Signing and signalling	505.6. Signing 및 신호
505.7. Temporary lighting	505.7. 임시 조명
505.8. Survey and reinstatement	505.8. 조사 및 reinstatement
505.9. Access within Works	505.9. 작업구
506. Atmospheric testing	506. 대기 테스트
506.1. General	506.1. 일반
506.2. Temperature	506.2. 온도
507. Disposal of spoil and water	507. Spoil 및 물 처리
507.1. Spoil waste programme	507.1. Spoil waste programme
507.2. Disposal of solid waste spoil	507.2. Solid waste Spoil의 처리
507.3. Monitoring spoil removal	507.3. Spoil 이동 모니터링
507.4. Liquid waste disposal	507.4. 액체의 폐기물 처리
508. Leakage and infiltration	508. 누수 및 침투
508.1. General	508.1. 일반
508.2. Leakage criteria and classes of	508.2. 터널의 누수 기준 및 등급

영문	국문
tunnel 508.3. Leakage tests 508.4. Water tightness of tunnels and shafts	 508.3. 누수 검사 508.4. 터널 및 샤프트의 방수

(3) 내용 분석

(가) 내용의 구성 체계

영국 터널표준시방서는 공정별로 구성되어 있으며 편, 장, 절의 목차구성을 이루고 있으며 각 편에서 수록하고 있는 세부사항은 다음과 같다.

【표 2.35】 영국 Specification for Tunnelling의 기술 상세 수준

구 분	기술 상세 수준 대표 예
제1편 일반적 필요사항	•일반적인 목표, 정의 , Eurocodes, 유럽, 영국 표준 등에 관한 규정 제시 •작업 위생, 안전 및 복지, 품질 관리와 기록에 대한 일반 사항에 대하여 제시
제2편 재료	•시공에 필요한 모든 재료(콘크리트, SGI, 잭킹 파이프, 맴브레인, 세그먼트, 가스킷 등)에 대한 규정을 구체화하여 기술 •기타 각 재료들에 대한 품질 관리에 대해 제시
제3편 방법	•각 시공방법(드릴링, Spiling, sprayed concrete, 맴브레인, Shield TBM 등)에 대한 규정 제시 •터널 시공으로 인한 영향력 및 인프라 구축을 위한 모니터링 기록에 대한 규정 제시
제4편 지반 안정화 과정	•지하수 관리와 지반 안정화를 위한 압축공기시공 및 그라우팅에 대한 규정 제시 •기타 지반 동결, 탈수 및 Compensation Grouting에 대한 규정 제시
제5편 환경 작업	•전기 설비, 환기, 조명, 소음 및 진동 등의 환경 작업에 관한 규정 제시 •터널 굴착시 주변 환경(교통 관리, 인접 통행, 폐기물, 누수, 공기 등) 영향 최소화를 위한 규정 제시

이와 같이 영국의 터널시방서는 크게 일반적 필요사항, 재료, 방법, 지반 안정화 과정 및 환경 작업의 5가지 항목으로 구분하여 기술되어 있다. 영국의 터널 시방서는 설계법 및 계산법 기술의 내용이 아닌 구체적으로 표시할 수 없는 시공 재료, 방법, 품질검사, 안전관리 및 환경 작업 등의 구체적인 기술내용으로 이루어져 있다.

(나) 시방기준 상세분석

영국 터널시방서상에 수록되어 있는 기준 중 세부적인 설계기준에 대한 상세검토를

실시한 결과는 다음과 같다.

(다) 프리케스트 콘크리트 Special 세그먼트 허용오차

프리캐스트 콘크리트 special segments 치수는 다음 허용오차 이내에 있어야 한다.

①	원주	±1mm
②	두께	+3mm, −1.5mm
③	폭	±1mm
④	사각형	대각선 수치 ±1mm(이론적 수치)
⑤	볼트 구멍: 크기	+1mm, −0.2mm
⑥	볼트 구멍 및 다월 위치	1mm
⑦	차수 가스킷 홈 : 깊이	+0.5mm, −0.0mm
⑧	차수 가스킷 홈 : 폭	±0.5mm
⑨	차수 가스킷 홈 : 위치	±1.5mm (규정된 위치)
⑩	longitudinal joints	
	in a plane generally along	0.3mm (이론적 계획)
	the axis of the tunnel	(편차의 비율 이내)
	(longitudinal)	exceeding 0.6mm/m
	in a radial plane	0.1mm (이론적 수치이내)
		(편차의 비율 이내)
		exceeding 0.6mm/m
⑪	원주의 면	0.5mm (이론적 수치)
		(편차의 비율 이내)
		exceeding 1mm/m
⑫	면의 매끄러운 정도	
	뒷 면	smooth float ±1.5mm
	앞 면	formed face ±1mm
⑬	모서리에서 차수 홈의 불일치	<0.5mm

(라) Rings

①	내부 직경 (adjusted for packer removal where necessary)	±0.2% ID or 최대 6mm
②	인접한 부분 사이의 lip segments on internal diameter(직경)	<3mm
③	인접한 부분 사이의 틈 segment joints (packings removed and bolts tightened)	1mm feeler gauge not passing

(마) SGI(Spheroidal graphite cast iron) 라이닝 승인 기준

① 재료의 구성 비율을 결정하기 위하여 분광 분석 시험을 실시한다.

② Casting의 5%의 중요한 지점에 대하여 초음파 검사는 엔지니어에 의해 결정된다. 계약자는 고용되는 시험 방법에 대하여 엔지니어의 동의를 얻어야 한다. 허용 결함의 정도는 제출된 초음파 검사 결과를 통해 엔지니어의 동의를 얻어야 한다.

③ 초음파 검사에 의해 표시된 결함을 의심한다면, 계약자는 X-레이 또는 sectioning 기법 중 하나에 의해 추가 시험을 실시한다.

④ 적어도 casting 5% 재료의 미세 조직 시험은 엔지니어에 의해 선택된다.

⑤ 적어도 casting 5%의 경도 시험, 현미경 조직 검사

⑥ 추가적인 인장 테스트는 강도, 경도와 미세 조직의 상호 관계를 확립하기 위하여 실행될 수 있다.

⑦ 음파 또는 초음파 테스트가 생산 도중 실행될 경우, 예비 시험은 재료의 평균 특성을 수립하고 허용 편차를 결정하기 위해 필요에 따라 실시하여야한다.

【표 2.36】 SGI 세그먼트 허용오차

특성	오차 범위	비고
machined face의 수치	+1.0mm	−0.0mm
세그먼트 부분의 두께	+3.0mm	−0.0mm
설계 치수 허용		
completed ring의 내부 직경 (설계된 직경의 비율)	+0.15%	−0.0%
볼트 구멍		
천공된 직경	+0.5mm	−0.0mm
Drill centres	±1.0mm	
Pitch circle diameter	+0.15%	−0.0%
(PCD − as a percentage of the design diameter)		
Bolt hole for services (M10 @25mm deep)		
천공된 직경	+0.5mm	−0.0mm
Drill centres	±0.5mm	
Caulking groove		
Half width dimension	±0.5mm	
깊이	±0.5mm	
차수 홀		
깊이	±0.5mm	
폭	±0.5mm	
Grout plug holes		
Thread	$1\frac{1}{4}$inch BSP	
Segment lifting point holes		
직경	±3.0	
Deviation from pitch circle diameter (PCD − as a percentage of the design diameter)	+0.15%	−0.0%

최대 직경 6.0m이하 : 최대 허용오차40mm

최대 직경 6.0m이상 : 최대 허용오차60mm

Master ring segments는 위의 허용오차 내에서 제작되어야 한다.

(바) 뿌림콘크리트 구성 재료

① 시멘트

포틀랜드 시멘트는 BS EN 197-1또는 국가 기준의 요구사항을 준수하며 sprayed concrete 적용에 적합해야 한다. 포틀랜드 시멘트는 CEM1, 강도 등급은 42.5로 한다. ; N과 R단계는 모두 적합하여야한다. 포틀랜드 시멘트 강도는 $350m^2/kg$ 이상 이어야 하고 C3A 양은 5% 이하이다. 포틀랜드 시멘트 최소 양은 $360kg/m^3$이다. 모든 결합재 최소 양은 $400kg/m^3$이다.

【표 2.37】 첨가물의 최대 허용 수준 (결합재의 중량에 따른)

시멘트계 재료	최대 증가
실리카 퓸(고체)	15% 포틀랜드 시멘트
플라이 애쉬 가루	30% 포틀랜드 시멘트
GGBS	30% 포틀랜드 시멘트

PFA(Pulverised fuel ash) 와 GGBS(granulated blastfurnace slag)는 BS EN 450-1과 BS EN15167을 준수해야하며 위의 표에 포함될 수 있다.

② 실리카 퓸

실리카 퓸(microsilica)은 다음과 같은 요구사항을 준수해야한다.

㉮ 건조 질량의 무게에 의한 SiO_2 양은 85% 이상이어야 한다.

㉯ 실리카 퓸은 실리카 요소(건조 질량의 무게에 따라) 또는 석영, 녹, 셀룰로오스 fibres와 같은 해로운 물질은 0.4% 이하여야 한다.

㉰ 특정 표면 면적은 $15000m^2/kg$ 이상이어야 한다.

㉱ 탄소 함량은 2%를 미만이고 Na_2O와 같은 총 알칼리 컨텐츠는 2% 미만이어야 한다.

㉲ SO_3 함량(건조 질량의 무게에 따른)은 2% 이상이어야 한다.

㉳ pH는 5.5±1.0이다.

③ 골재

sprayed 입자 크기에 대한 집계는 엔지니어가 합의한 10mm 미만이어야 한다. 그리고 등급은 별도로 승인하거나 지정되지 않으면 아래 표와 그림과 같이 주어진 상태 안에 존재해야한다.

【표 2.38】 권장 골재 변화 영역

체	최소 %	최대 %
0.125	4	12
0.25	11	26
0.5	22	50
1.0	37	72
2.0	55	90
4.0	73	100
8.0	90	100
16.0	100	100

④ 강도와 품질

단기 및 장기에서 뿌림콘크리트의 압축 강도는 초기 지원이 불안정한 지반을 지지하거나 지반의 움직임을 최소화하기 위해 높은 초기 연령 강도는 지정되어야 한다. 28일간에 sprayed concrete의 압축 강도는 최소 콘크리트 강도 C32/40로 BS EN 206-1를 의거해야 한다.

【표 2.39】 숏크리트 초기 강도 발생

시간	실험 방법	원 위치 강도 : MPa
1시간		0.5
3시간	Pentration gun	1.0
9시간	HILTL Tester	2.0
12시간	BS EN 14488-2	2.5
24시간		5.0
28시간	BS EN 12504-1	27.2*

* BS EN 13791 Table 1같이 현장 콘크리트의 코어에 대한 0.85 감소 계수와 C32/40 혼합

영구적인 뿌림콘크리트의 경우, 내구성은 콘크리트 투수성에 의해 영향을 받는다. 따라서 물의 투수성의 계수는 현장 콘크리트의 Concrete Society Technical Note 31 Permeability에서 설명한 실험 방법에 따라 28일에 $1\times10-11m/s$ 미만이거나 침투 깊이는 BS EN 12390-8 따라 28일에 적어도 50mm이어야한다.

(사) 멤브레인

멤브레인은 폴리비닐 염화물(PVC)와 폴리올레핀(FPO/TPO)을 사용하지 않고 DIN 16776 parts 1 and 2에 따른 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)이나 에틸렌 혼성 중합체 역청

(ECB)을 사용하여 제작한다.

【표 2.40】 시트 방수 맴브레인의 성능 요구 사항

특성	시험방법	필요 조건
두께	BS EN 1849-2	$2.0mm \pm 10\%$
인장 강도	BS EN ISO 527-3	$16MPa$
균열 이격	BS EN ISO 527-3	300% 이상 (-10%/+20%)
수압에 대한 저항	BS EN 1928 방법 B	1시간에 5 bar씩
root 저항	DD CEN/TS 14416	근입 없음
균열 저항	BS EN 12310-2	$80N/mm$
경계선 용접의 인장강도	BS EN 12317-2	경계선 옆에 발생하는 균열
물 흡수	BS EN ISO 62	$< 4.0\%$
화재 등급	BS EN ISO 11925-2	자체 진화
매연 종류	BS EN ISO 11925	E

(아) 터널 굴착 모니터링

① 일일검토회의(DRM)

㉮ 모니터링은 정기적으로 도면, 계획, DRM, 시공자의 회원 및 엔지니어에 의해 실행된다. 회의시 TBM 보고서와 관련된 최근의 적합성 보고서를 이용하여 터널 공사에 적용된다.

㉯ 시공자와 엔지니어에 의해 동의하지 않는 한 DRM은 터널 굴착동안 매일 실시 한다.

㉰ 시공자의 회의에서 터널의 모니터링을 실시하여 결과를 제시한다. 이러한 결과 계산에 의해 예측 변형을 비교한다.

㉱ 회의 결과 필요한 굴착 및 지보재 시트, RESS, 시공자와 엔지니어에 의해 합의 등 터널 상태에 대해 계속적으로 제안한다. 또한 터널 변경에 대한 요구 사항을 제공한다.

㉲ 만약에 검토보고서를 매시간 실시하는 것으로 지정한다.

㉳ 모든 기록은 터널 막장 및 모니터링 결과 회의는 계약이 종료 될 때까지 검사를 위해 사용할 수 있다.

② 핵심 성과 지표

㉮ 핵심성과지표(KPI) 시스템은 모니터링 움직임에 대해 개발한다. 따라서 그 손실을 기존 건물과 subsurface 인프라에 의해 계산된다.

㉯ 시공시 사용되는 KPI의 구체적인 모니터링은 다음과 같다.

- 터널 통합 관리(SCL)

- Spoil reconciliation(TBM)
- 지반이동관리
- 인접하거나 중복된 구조체의 관리

㉰ 설계에 명시된 KPI값은 터널 공사시 사유 없이 표시하는데 사용되어야 한다. KPI를 초과하는 경우 특정 절차를 실행해야 한다. 이들을 요약하면 다음과 같다.

- 라이닝 성능 관련 터널 섹션 및 KPI값을 비교 검사한다. 이것은 지반 조건에 대한 시공 품질과 모니터링 결과를 제공한다.
- 시공자와 엔지니어에 의해 우려의 영역에 특정 데이터를 모니터링 하기 위한 동향의 종합적인 검토를 실시한다.
- 시공자는 SCL 서비스와 극단적인 제한 조건으로 평가 한다.
- 엔지니어와 함께 시공자는 SCL 연속굴착 또는 TBM 막장 압력의 변화를 결정한다. 안전 공사를 진행하기 위해 대화형 proceed를 결정한다. 또한 정당한 사유에 대한 비상대책절차를 구현하는데 필요하다. 이러한 조치는 새로운 RESS에 포함된다.
- 시공자 및 엔지니어는 긴급 조치를 구현하는 비상대책절차를 구현한다. 합리적인 원인의 경우 빠른 대책이 필요하다.
- 터널의 성능은 모니터링 데이터의 안정적인 상태를 보여주고 있으며 지속적으로 검토해야 한다.

㉱ 적어도 세 개의 trigger를 설립한다 : 녹색, 노란색, 빨간색을 제한한다. 녹색은 정상적인 행동의 경계를 표시한다. 주황색 및 빨간색 trigger 내벽의 궁극적인 용량을 설정하는 동안 서비스의 경계를 표시한다. 시공자가 trigger 값을 초과하는 경우 취할 수 있는 조치에 대해 사전에-계획된 것을 대비한다.

(4) 결 론

본 절에서 검토한 영국터널시방서는 BTS(THE British Tunnelling Society)와 ICE(The Institution of Civil Engineers)의 주관으로 2010년 개정된 내용으로 터널 시공의 전반적인 사항 이외에도 각 공정별 건설재료의 선정기준 및 시공기준, 제작후 판정기준, 지반안정화 과정, 환경작업, 작업환경, 안전 및 복지 등 건설공사의 전반에 관해 설계기준을 수립하여 적용하고 있다. 또한 기존의 시방서들과 달이 현장 엔지니어와 전문가의 주요 의견을 최대한 반영하여 사고에 대한 사전 방지를 위해 노력을 하고 있다.

한편, 시방서의 내용적인 면에 있어서 각 편에 대해 장과 절로 세분화하여 구성함으로 엔지니어가 참고하기 쉽도록 구성하고, 현장요건을 고려한 설계 및 시공의 방향을 제시하여 기술자의 창의적이고 능동적 사고를 유도하고 있는 것이 특징이다.

2.3.5 독 일

1) 독일 터널설계기준 및 시방서 현황

(1) 독일 터널설계기준 및 시방서의 체계

독일의 터널건설 관련 기준서의 제정 및 개정은 국내 터널설계기준 및 터널 표준시방서를 제·개정한 우리나라 한국터널지하공간학회와 같은 역할을 하는 독일터널위원회에서 맡아서 수행하고 있다.

독일터널위원회(German Tunnelling Committee), 약자로 DAUB(Deutsche Ausschuss fü r unterirdisches Bauen)는 독일 연방교통부 장관의 발의에 의해 1972년에 설립되었으며 1973년에 등록되었다. 1970년 미국 워싱턴DC에서 개최된 OECD회의에서 20개국의 대표들이 기초공학분야의 위원회 설립을 결의하였고 이에 따라 독일 등 20개 회원국의 구성으로 오슬로에서 1974 년 4월에 국제터널협회(ITA, International Tunnelling Association)가 설립되었다. 독일도 이와 같은 취지에서 터널위원회를 설치하게 되었다.

독일 터널위원회는 지하구조물 건설기술의 발전과 표준화관련 업무를 수행하고 있다. 독일터널위원회의 주요 임무는 다음과 같으며 DAUB기술위원회의 연구결과물은 완성되는 즉시 국제 저널인 TUNNEL(http://www.tunnel-online.info)에 실리게 된다.

- 지하구조물 건설분야 업무 통합/조정
- 지하구조물 건설에 관한 기술 정보 수집 및 전파
- 연구개발 관련 제안, 선별 및 평가
- 미래 지하구조물에 대한 수요예측과 계획관련 정보 수집
- 법률, 기준, 지침, 안전규칙 등의 제·개정에 참여
- 지하구조물 건설분야 기술자교육 장려
- 지하구조물 건설관련 국제 프로젝트에 참여

(2) 독일터널위원회 발행 기준서

현재까지 DAUB에서 출판된 지하구조물관련 권고사항은 다음 표와 같으며 권고사항별 목차를 분석 하였다.

【표 2.41】DAUB 의 16가지 권고사항

번호	최근 Recommendations 목록	자료 유무
1	BFA-Guideline: Risk Assessment of Conventional Tunnel Works (German only), April 2009	○ 14
2	Recommendations for selecting Tunnel Boring Machines (German only), revised version as of October 2010 (Taschenbuch Tunnelbau 2011)	○ 10
3	BFA-Guideline: Risk Assessment of TBM-Works (German only), April 2009	○ 15
4	Recommendations for Planning and Implementation of Occupational Health and Safety Concepts in Underground Worksites, final version November 2007	○ 6
5	Recommendations for Executing and Application of unreinforced Tunnel Inner Linings (Tunnel 5/07)	○ 5
6	Recommendations for protective Measures during Tunnel Construction in Asbestos-bearing Rock, January 2007 Text in german only	○ 7
7	Recommendations for static Analysis of Shield Tunnelling Machines (Tunnel 7/05)	○ 11
8	Recommendations on Planning and Constructing Tunnels (Tunnel 4/04)	○ 12
9	Concrete Linings for Tunnels built by Underground Construction (Tunnel 5/01)	○ 1
10	Recommendations for Design and Operation of Shield Machines (Tunnel 6/00)	○ 4
11	Recommendations for Risk Distribution in Tunnelling Contracts (Tunnel 3/98)	○ 8
12	Recommendations for selecting and evaluating Tunnel Boring Machines (Tunnel 5/97)	○ 9
13	Functional Description of Performances for Transport Tunnels - Possibilities and Limits for Awarding and Accounting(Tunnel 4/97)	○ 3
14	Securing Competitiveness in the Approval Proceedings for Construction Projects (Tunnel 5/93)	○ 16
15	Recommendations on Planning, Tendering and Awarding shield-supported Tunnelling Projects (Tunnel 2/93)	○ 13
16	Definition of Construction Methods and their Application in Construction Contracts for Subsurface Construction (Tunnel 3/87)	○ 2

※참고자료 http://www.daub-ita.de/

① Concrete Linings for Tunnel built by underground Construction

영 문	국 문
1 Preliminary Remarks	1 서문
2 Function and Design of the Tunnel Lining	2 터널 라이닝의 기능 및 설계
3 Tunnel Lining made of Shell Concrete	3 쉘 콘크리트 터널 라이닝
3.1 General	3.1 일반
3.2 Demands on the Serviceability	3.2 사용성에 대한 요구
3.2.1 Strengths	3.2.1 강도
3.2.2 Water impermeable Concrete	3.2.2 불침투성 콘크리트
3.2.3 Special Properties	3.2.3 특성
3.3 Production	3.3 생산
3.3.1 Form work	3.3.1 폼 작업
3.3.2 Block Joints	3.3.2 블록 조인트
3.3.3 Working Joint	3.3.3 워킹 조인트
3.4 Concrete Composition	3.4 콘크리트 구성
3.4.1 Cement	3.4.1 시멘트
3.4.2 Concrete Admixtures	3.4.2 콘크리트 혼합물
3.4.3 Concrete Additives	3.4.3 콘크리트 첨가제
3.4.4 Aggregates	3.4.4 골재
3.4.5 Steel Fibers	3.4.5 철근
3.4.6 Mixing Water	3.4.6 혼합액
3.5 Execution of Construction	3.5 시공
3.5.1 Concreting Subsurface	3.5.1 표면아래 콘크리팅
3.5.2 Shell Thickness, Reinforcement and Concrete Covering	3.5.2 쉘 두께, 강화 및 콘크리트 도포
3.5.3 Concrete Production and Installation	3.5.3 콘크리트 생산 및 설치
3.5.4 Measures following Shotcreting	3.5.4 숏크리팅 조치

영 문	국 문
3.6 Quality Assurance	3.6 품질 보증
3.6.1 Overview	3.6.1 개요
3.6.2 Suitability Test	3.6.2 적합성 시험
3.6.3 Starting Materials	3.6.3 시작 재료
3.6.4 Concrete Manufacturers	3.6.4 콘크리트 제조업체
3.6.5 Construction Site	3.6.5 건설 현장
3.6.6 Client	3.6.6 고객
4 Tunnel Lining made of Shotcrete	4 숏크리트 터널 라이닝
4.1 General, Production	4.1 일반, 생산
4.2 Demands on the Serviceability Properties	4.2 사용성에 대한 요구
4.2.1 Strengths	4.2.1 강도
4.2.2 Water impermeable Shotcrete	4.2.2 불침투성 숏크리트
4.2.3 Special Properties	4.2.3 특성
4.3 Concrete Composition	4.3 콘크리트 구성
4.3.1 Cement	4.3.1 시멘트
4.3.2 Concrete Admixtures	4.3.2 콘크리트 혼합물
4.3.3 Concrete Additives	4.3.3 콘크리트 첨가제
4.3.4 Aggregates	4.3.4 골재
4.3.5 Mixing Water	4.3.5 혼합액
4.3.6 Steel Fibres	4.3.6 철근
4.4 Executing Construction	4.4 시공
4.4.1 Concreting Subsurface	4.4.1 표면 아래 콘크리팅(응고)
4.4.2 Shell Thickness, Reinforcement, Concrete Covering	4.4.2 쉘 두께, 강화, 콘크리트 도포
4.4.3 Shotcrete Installation	4.4.3 숏크리트 설치
4.4.4 Curing	4.4.4 양생
4.5 Quality Assurance	4.5 품질 보증
4.5.1 General	4.5.1 개요
4.5.2 Suitability Test	4.5.2 적합성 시험
4.5.3 Starting Materials	4.5.3 시작 재료
4.5.4 Concrete Producers, Construction Site	4.5.4 콘크리트 제조업체, 건설 현장
4.5.5 Client	4.5.5 고객
5 Reinforced Concrete Segments	5 철근 콘크리트 세그먼트
5.1 General	5.1 일반

영 문	국 문
5.2 Demands on the Serviceability Properties	5.2 사용성에 대한 요구
5.3 The Design of Segments	5.3 세그먼트 설계
5.3.1 Ring Geometry	5.3.1 링 기하학
5.3.2 Longitudinal Joints	5.3.2 종방향 조인트

② Definition of Construction Methods and their Application in Construction Contracts for Subsurface Construction

영 문	국 문
1 Preliminary Remarks	1 서문
2 Classifying the Terms in Applied Tunnelling	2 터널링에 적용되는 용어 분류
2.1 Excavation	2.1 굴착
2.2 Cross-Sectional Sub-Division	2.2 단면 분류
2.3 Supporting	2.3 지보시스템
2.3.1 Advancing Support	2.3.1 공사중지지
2.3.2 Permanent Support	2.3.2 영구지지
2.4 Measures to improve the rock Stability	2.4 암반의 안정성을 증진시키는 방법
3 Effects on the Contract	3 계약 효과
3.1 Construction Method	3.1 시공 방법
3.2 Rock	3.2 암반
3.3 Measurements	3.3 측정
3.4 Documentation	3.4 문서화
3.5 Competence	3.5 경쟁력
3.6 Construction Period	3.6 시공기간
3.7 Determining Volumes of Material	3.7 자재량 결정

③ Functional Description for Transport Tunnels - Possibilities and Limits for Awarding and Accounting

영 문	국 문
1 General	1 일반
2 Principles	2 원리
3 The Functional Description of Performances	3 거동의 기능적인 설명
4 Summary	4 요약

④ Recommendations for Design and Operation of Shield Machines

영 문	국 문
1 Planning and operational marginal Conditions	1 계획 및 작동 한계 조건
1.1 Shield Diameter	1.1 쉴드 직경
1.2 Type of Shield	1.2 쉴드 유형
1.3 Tunnel Alignment	1.3 터널 선형
1.3.1 Overburden	1.3.1 상재하중
1.3.2 Water Pressure	1.3.2 수압
1.3.3 Curve Radii	1.3.3 곡률반경
1.3.4 Susceptibility to Settlements	1.3.4 침하에의 민감
2 Workability of the Subsoil	2 하층토의 워커빌리티
2.1 Choice of Tools	2.1 기구 선택
2.2 Wear/Changing Tools	2.2 장착/변경 기구
2.3 Cutting Wheel Design	2.3 커팅휠 설계
2.4 Cutting Wheel Pressure/Torque	2.4 커팅휠 압력/토크
2.5 Central Reaming	2.5 중앙 reaming
2.6 Rock Crushing	2.6 암반 파괴
2.7 Clogging	2.7 클로깅
3 Treating the removed Material	3 버력 처리

영 문	국 문
3.1 Influence of the Subsoil Stability	3.1 하층토 안정성에의 영향
3.2 Slurry treatment plant	3.2 슬러리 처리 플랜트
4 Reduction of Settlements in Conjunction with Construction Methods and Work Phases	4 시공 방법과 작업 면에 의한 침하 감소
4.1 Choosing Process Technology	4.1 선택 공정 기술
4.2 Bulk Control	4.2 대량 제어
4.3 Optimal Supporting Pressure	4.3 최적의 지지 압력
4.4 Activities in the Working Chamber	4.4 작업공간에서의 활동
4.5 Tail gap Grouting	4.5 tail gap 그라우팅
4.6 Special Steering Processes	4.6 특별 운영 프로세스
5 Face and Subsoil Stabilisation	5 막장 및 지반 안정
5.1 General	5.1 일반
5.2 Requirements	5.2 요구사항
5.3 Subsoil Stabilisation	5.3 지반 안정
5.4 Subsoil Stabilisation from the Surface	5.4 지표면으로부터 지반 안정
5.5 Subsoil Stabilisation from the Shield Machine	5.5 쉴드 머신으로부터의 지반 안정
6 Mastering natural and artificial Obstacles	6 자연적이거나 인공적인 장애 요소 극복
7 Operating Safety of the Shield Machine	7 쉴드 머신의 운영 안전
7.1 Systematic Maintenance	7.1 체계적인 유지 보수

영 문	국 문
7.2 Changing Tools	7.2 장비 변경
7.3 Storage of Components	7.3 구성 요소의 저장
7.4 Changing Tools for Shield Machines with EPB and Slurry Support	7.4 EPB과 슬러리 쉴드 머신에서의 장비 변경
7.5 QM/Working Instructions	7.5 QM/ 작업 지침
7.6 Risk analysis, interruptions, management of disruptions	7.6 리스크 분석, 중단, 붕괴 관리
7.7 Personnel	7.7 인적자원
8 Control Technology/Data Compilation and Evaluation	8 제어 기술/ 데이터 편집 및 평가
8.1 Directional Control	8.1 방향 제어
8.2 Data Compilation	8.2 데이터 편집
9 Changing Methods by means of Modification or Conversion	9 수정이나 변환에 의한 방법 변경
9.1 Methods	9.1 방법
9.1.1 Characterising Features	9.1.1 특징 변경
9.1.2 Changing the Operating Mode	9.1.2 작업 모드 변경
9.2 Changing the Method	9.2 방법 변경
9.2.1 Unscheduled Change of Method through Modification	9.2.1 수정을 통한 예정되지 않은 방법 변경
9.2.2 Scheduled Change of Method through Modification	9.2.2 수정을 통한 예정된 방법 변경
9.2.3 Scheduled Change of Method through Conversion	9.2.3 변환을 통한 예정된 방법 변경
9.2.4 Common Changes of Method	9.2.4 일반적인 방법 변경
9.3 Examples	9.3 예
9.3.1 Change between slurry-supported Face and Soil Discharge via Slurry Support to EPB-Support with Screw Conveyance - taking the Example of Duisburg TW 7/8 - through Modification	9.3.1 Duisburg TW 7/8

영 문	국 문
9.3.2 Change between slurry-supported Face and Soil Discharge via Slurry Conveyance to unsupported Face with Belt Conveyance taking the Example of the Grauholz Tunnel - through Modification or Conversion	9.3.2 Grauholz Tunnel
9.3.3 Change between EPB-supported Face and Soil Discharge via a Screw conveyor slurry-support Face and Slurry Conveyance and vice versa taking the Example of Socatop, Paris - through Conversion	9.3.3 Socatop, Paris
9.3.4 Change between EPB-supported Face and Soil Discharge via Screw conveyor unsupported Face with Soil Discharge via Belt and vice versa taking the Example of the Glattstollen, Zurich - through Modification	9.3.4 Glattstollen, Zurich

⑤ Recommendations for Executing and Application of unreinforced Tunnel Inner Linings

영 문	국 문
1 Preliminary Remark	1 서문
2 Regulations	2 규정
3 Fields of Application and Limits of unreinforced Concrete Linings	3 무근콘크리트라이닝의 한계 및 적용 분야
4 Stability and Serviceability Verification	4 안정성 및 사용성 증명
4.1 Analytical Principles	4.1 분석 원리
4.2 Static System, Calculating Method	4.2 정적 시스템, 계산 방법
4.3 Influences	4.3 영향
4.4 Establishing the Stress Resultants and Deformations	4.4 응력 결과 및 변형 확증
4.5 Proof of Bearing Capacity	4.5 지지력 증명
4.6 Serviceability Verification	4.6 사용성 증명
5 Design, Concrete Mix and Curing Block Lengths	5 설계, 콘크리트 혼합 및 경화 블록 길이
6 Assessing and Treating Cracks	6 평가 및 균열 처리

⑥ Recommendations for planning and implementation of occupational health and safety concept on underground worksites

영 문	국 문
1. Preface	1. 머리말
2. Range of application	2. 응용 범위
3. Fundamentals	3. 기본사항
3.1 Fundamentals for Germany	3.1 독일 기본사항
3.2 Fundamentals for Austria	3.2 오스트리아 기본사항
3.3 Fundamentals for Switzerland	3.3 스위스 기본사항
4. Definition of terms and explanatory notes	4 용어 및 설명 노트의 정의
5. Assignment of tasks and responsibilities	5 작업과 책임 부여
5.1 General	5.1 일반
5.2 Client	5.2 고객(클라이언트)
5.3 Coordination of health and safety management	5.3 건강 및 안전 관리 조정
5.4 Contractor	5.4 계약자
5.5 Authorities and emergency services	5.5 기관 및 응급 서비스
6. Preparation of the health and safety concept	6 건강 및 안전 개념의 준비
6.1 General	6.1 일반
6.2 Process steps and structure	6.2 프로세스 단계 및 구조
6.3 Procedure for preparing	6.3 준비 절차
6.4 Note regarding application	6.4 응용에 관한 노트

영 문	국 문
7. Process step: “Risk analysis”	7 프로세스 단계: 리스크 분석
7.1 General	7.1 일반
7.2 Listing of hazards	7.2 위험 목록
7.3 Risk evaluation	7.3 리스크 평가
7.4 Summary of the risk analysis	7.4 리스크 분석 요약
8. Process step: “Safety analysis”	8 프로세스 단계: 안전 분석
8.1 General	8.1 일반
8.2 Definition of specific safety aims	8.2 특정 안전 목표의 정의
8.3 Safety measures	8.3 안전성 측정
8.4 Evaluation of safety measures	8.4 안정성 측정 평가
8.5 Residual risk	8.5 잔여 위험
8.6 Continuous updating of safety measures	8.6 안정성 평가의 지속적인 업데이트
8.7 Summary of the safety analysis	8.7 안정성 분석 요약
9. Health and safety concept	9 건강 및 안전의 개념
9.1 General	9.1 일반
9.2 Elements of the health and safety concept	9.2 건강 및 안전 개념의 요소
9.2.1 Safety-related mission statement, fundamental safety aims	9.2.1 안전 관련 임무 문구, 근본적인 안전 목표
9.2.2 Safety management	9.2.2 안전 관리
9.2.3 Project description	9.2.3 프로젝트 설명

영 문	국 문
9.2.4 Documentation and summary of the risk analysis	9.2.4 리스크 분석 설명서 및 요약
9.2.5 Documentation and summary of the safety analysis	9.2.5 안전성 분석 설명서 및 요약
9.2.6 Rescue plan	9.2.6 구조 계획
9.2.7 Fire protection plan	9.2.7 화재 방지 계획
9.2.8 Access control plan	9.2.8 접근 제어 계획
9.2.9 Alert and emergency operation plan for the construction phase	9.2.9 시공단계에서 경보 및 비상 운영 계획
9.2.10 Inspection plan	9.2.10 검사 계획
9.2.11 Health and Safety Plan (HSP)	9.2.11 보건 및 안전 계획
9.2.12 Listing of other safety measures	9.2.12 기타 안전성 평가 목록
10. Implementing the health and safety concept	10 건강 및 안전 개념 구현
10.1 Construction planning	10.1 시공 계획
10.2 Tendering and contracting	10.2 입찰 및 계약
10.3 Construction	10.3 시공
10.4 Information and education	10.4 정보 및 교육
10.4.1 General	10.4.1 일반
10.4.2 Information	10.4.2 정보
10.4.3 Education	10.4.3 교육
10.5 Training	10.5 훈련
10.6 Controls and audits	10.6 제어 및 감사
10.7 Registration system	10.7 등록 시스템
List of enclosures: (applicable for Germany, Austria and Switzerland)	첨부목록 (독일, 오스트리아, 스위스에 대한 적용)

영 문	국 문
Enclosure A - Hazard category/hazard (examples), (see point 7.2)	첨부A- 위험 분류/위험(예)(7.2 참조)
Enclosure B - Safety measures (examples), (see point 8.3)	첨부B- 안정성 측정(예)(8.3 참조)
Enclosure C - List of residual risks (examples), (see point 8.5)	첨부C- 잔여 리스크(예) 목록(8.5 참조)
List of appendixes: (applicable for single countries)	부록 목록
Appendix A (D) - DAUB - work group "Emergency concepts" "Minimum required measures for preventing damages to persons in case of the site-relevant hazards of fire, gas in-leakage, water inrush and rockburst" (see point 8.3)	부록A-DAUB work group " Emergency concepts"(8.3 참조)
Appendix B (D) - Registration system for Germany (see point 10.7)	부록B(D) - 독일의 등록 시스템(10.7 참조)
Appendix B (A) - Registration system for Austria (see point 10.7)	부록B(A) - 오스트리아 등록 시스템(10.7 참조)
Appendix B (CH) - Registration system for Switzerland (see point 10.7)	부록B(CH) - 스위스 등록 시스템(10.7 참조)

⑦ Recommendations for protective Measures during Tunnel Construction in Asbestos-bearing Rock(독일어)

영 문	국 문
1 Introductory Remarks	1 서문
2 Legal Basis	2 법적 근거
3 Responsibilities	3 책임
3.1 Measures in the planing phase 3.2 Measures in the bidding phase 3.3 Measures in the design and implementation	3.1 기획 단계에서 대책 3.2 입찰 단계에서의 대책 3.3 설계 및 실행 단계에서의 대책
4 Recommendations for geologic investigations	4 지질 조사에 대한 권고
5 Recommendations for selecting the propulsion method	5 추진 방법 선택에 대한 권고
6 Action levels for protective measures	6 보호 대책에 대한 조치 정도
7 Recommendations on technical protection measures	7 기술적 보호 조치에 대한 권고
8 Recommendations for asbestos sampling and analysis	8 석면 샘플링 및 분석에 대한 권고
9 Recommendations for personal protective equipment	9 개인 보호 장비에 대한 권고
10 Recommendations on organization of work on site	10 작업장의 조직체계에 대한 권고
11 Conclusion	11 결론
12 Literature	12 참고도서
13 Annex overview maps	13 부록 : 개략도

⑧ Recommendations for Risk Distribution in Tunnelling Contracts(Recommendations for Sharing Risks in Tunnelling Contracts)

영 문	국 문
1 Foreword	1 머리말
2 Contractual Principles	2 계약 원칙
2.1 National contractual Principles	2.1 국가 계약 원칙
2.2 FIDIC:International contractual Conditions for Engineering Works	2.2 FIDIC: 토목공사에 대한 국제 계약 조건
3 Sharing Risks	3 리스크 공유
3.1 Defining Risks	3.1 리스크 정의
3.2 Constructional Planning	3.2 건설 계획
3.3 Reallocation of the Heading Classes or Process Limits	3.3 선진도갱 또는 접근 한계의 재배치
3.4 Supplementary Offer	3.4 보충 공사
3.5 Non-contractual Performances	3.5 계약되지 않은 공사
3.6 Liability Construction Performance Insurance	3.6 책임 건설 공사 보험
3.7 Quality Assurance	3.7 품질 보증
4 Construction Contract for Underground Work	4 지하 공사에 대한 건설 계약
4.1 Problem Complex and Objective	4.1 문제의 복잡성 및 목적
4.2 Structure of the Contract	4.2 계약 구조

영 문	국 문
4.3 Construction Period 4.4 Equipment and indirect Cost Reimbursement 4.5 Overbreak Regulations	4.3 시공 기간 4.4 장비 및 간접비용 환급 4.5 여굴 규정

⑨ Recommendations for selecting and evaluating tunnel boring machines

영 문	국 문
1 Purpose of the recommendations	1 권장 사항의 목적
2 Geotechnics	2 지반 공학
3 Construction methods for mined tunnels	3 터널 굴착 방법
3.1 Survey	3.1 조사
3.2 Explanation of the Construction Methods	3.2 시공법 설명
4 Tunnelling machines TM 4.1 Tunnel Boring Machines (TBM) 4.1.1 Tunnel boring machines without shields 4.1.2 Tunnel boring machines with shields TBM-S	4 터널 굴착 기계 TM 4.1 TBM 4.1.1 쉴드 없는 TBM 4.1.2 쉴드 TBM
4.2 Shield Machines SM 4.2.1 Shield Machines with full-face excavation SM-V 4.2.2 Shield machines with partial faxe excavation SM-T	4.2 쉴드 기계 SM 4.2.1 전단면 굴착 쉴드 4.2.2 부분굴착 쉴드
4.3 Adaptable dual purpose shield machines	4.3 적응가능한 두가지 목적의 쉴드
4.4 Special forms 4.4.1 Finger shields 4.4.2 Shields with multi-circular cross-sections 4.4.3 Articulated shields	4.4 특수 형태 4.4.1 Finger 쉴드 4.4.2 다중 원형 교차면 쉴드(shields with multi-circular cross-sections) 4.4.3 Articulated 쉴드

영 문	국 문
4.4.4 Cowl shield 4.4.5 Displacement shield 4.4.6 Telescopic Shields	4.4.4 Cowl 쉴드 4.4.5 Displacement 쉴드 4.4.6 Telescopic 쉴드
4.5 Supporting and lining 4.5.1 Tunnel boring machines TBM 4.5.2 Tunnel boring machines with shield TBM-S and shield machines SM	4.5 지지 및 라이닝 4.5.1 TBM 4.5.2 쉴드 TBM과 쉴드 SM
5 Relationship between geotechnics and tunnelling machines	5 지반공학과 터널 굴착 기계와의 관계
5.1 Ranges of application for tunnelling machines	5.1 터널 굴착 기계의 적용 범위
5.2 Important selection and evaluation criteria	5.2 중요 선택 및 평가 기준
5.3 Pointers for special geotechnical and constructional conditions	5.3 특수 지반 및 건설 조건에서의 조언

⑩ Recommendations for selecting Tunnel Boring Machines(German only)

영 문	국 문
1 Introductory Remarks	1 서문
2 Regulations	2 규정
2.1 National Regulations	2.1 국가 규정
2.2 International Regulations	2.2 국제 규정
2.3 Rules and others	2.3 규칙 및 기타
3 Definitions and Abbreviations	3 정의 및 약어
3.1 Definitions	3.1 정의

영 문	국 문
3.2 Abbreviations	3.2 약어
4 Application and structure of the recommendation	4 권장사항의 적용 및 구조
5 Typing of Tunnel Boring Machine	5 TBM 형태
5.1 Classification of tunnel boring machines(TVM)	5.1 터널 굴착 기계(TVM) 분류
5.2 Tunnel boring machines(TBM) (TBM cf. TVM-hard rock) 5.2.1 Unshielded tunnel boring machines(Gripper-TBM) 5.2.2 Extension Tunnel Boring Machines(ETBM) 5.2.3 Tunnel boring machines with shield(TBM-S)	5.2 TBM 5.2.1 Gripper-TBM(unshield TBM) 5.2.2 ETBM(Extension TBM) 5.2.3 쉴드 TBM(TBM-S)
5.3 Double Shield machines(DSM)	5.3 DSM(Double shield machines)
5.4 Shield machines(SM) 5.4.1 Shield machines with full-cut mining(SM-V) 5.4.2 Shield machines with Sub-area breakdown(SM-T)	5.4 쉴드 기계(SM) 5.4.1 전면굴착 쉴드(full-cut mining SM, SM_V) 5.4.2 하부굴착 쉴드(sub-area breakdown SM, SM_T)
5.5 Customizable label machines combined process technology(KSM)	5.5 공정 기술과 결합된 customizable label 기계(KSM)
5.6 Special forms 5.6.1 Knife blades 5.6.2 Shields with multiple-circular cross-sections 5.6.3 Joint shields	5.6 특수 형태 5.6.1 Knife blades 5.6.2 다중 원형 단면 쉴드 5.6.3 조인트 쉴드
5.7 To protect and expand	5.7 보호 및 확장

영 문	국 문
5.7.1 Tunnel boring machines(TBM)	5.7.1 TBM
5.7.2 Tunnel boring machines with shield(TBM-S), Sheild machines(SM, DSM, KSM)	5.7.2 쉴드 TBM(TBM_S), 쉴드 기계 (SM, DSM, KSM)
5.7.3 Rushing ahead of safety	5.7.3 앞으로의 안전을 고려한 운전(운행)
5.7.4 Assurance in the tunnel boring machine	5.7.4 TBM 보증
6 Building and system behavior	6 건축과 시스템 거동
6.1 Introductory Remarks	6.1 서문
6.2 Mountain stability and Face support	6.2 산 안정성과 막장면지지
6.3 Soil degradation	6.3 지반 저하
6.3.1 Bonding	6.3.1 접착
6.3.2 Wear	6.3.2 내구성
6.3.3 Soil conditioning	6.3.3 지반 개량
6.3.4 Soil separation	6.3.4 지반 분리
6.3.5 Ground transportation and disposal	6.3.5 지상 운송 및 폐기
7 Environmental aspects	7 환경 측면
8 Other project conditions	8 다른 프로젝트 조건
9 Applications and selection criteria	9 적용 및 선택 기준
9.1 Recommendations for use of tables	9.1 표 사용을 위한 권장사항
9.1.1 The main application areas	9.1.1 주요 적용 장소
9.1.2 Possible areas of application	9.1.2 적용 가능한 장소
9.1.3 Critical areas	9.1.3 기본적인 장소
9.1.4 Classification in soil	9.1.4 지반 분류
9.1.5 Classification in rock	9.1.5 암반 분류
9.2 Information about specific types of TVM	9.2 TVM 특정 형태에 대한 정보
9.2.1 TBM(tunnel boring machine)	9.2.1 TBM
9.2.2 DSM(double shield machine)	9.2.2 DSM

영 문	국 문
9.2.3 SM-V1(full-cut mining, with no face support)	9.2.3 SM-V1(전면굴착, 지지 안함)
9.2.4 SM-V2(full-cut mining, with face mechanical support)	9.2.4 SM-V2(전면굴착, 기계적 지지)
9.2.5 SM-V3(full-cut mining, with face compressed air)	9.2.5 SM-V3(전면굴착, 압축 공기)
9.2.6 SM-V4(full-cut mining, with face fluid support)	9.2.6 SM-V4(전면굴착, 유체 지지)
9.2.7 SM-V5(full-cut mining, with face earth pressure)	9.2.7 SM-V5(전면굴착, 토압)
9.2.8 SM-T1(subarea reduction, face no support)	9.2.8 SM-T1(하부굴착, 지지 안함)
9.2.9 SM-T2(subarea reduction, face with mechanical support)	9.2.9 SM-T2(하부굴착, 기계적 지지)
9.2.10 SM-T3(subarea reduction, face with compressed air)	9.2.10 SM-T3(하부굴착, 압축 공기)
9.2.11 SM-T4(subarea reduction, face with fuild support)	9.2.11 SM-T4(하부굴착, 유체 지지)
9.2.12 KSM(combined process technology)	9.2.12 KSM(공정 기술과 결합)
Facilities	시설

⑪ Recommendations for static Analysis of Shield Tunnelling Machines

영 문	국 문
1 Introduction	1 소개
2 Safety Concept	2 안전 개념
2.1 Verification Objectives	2.1 검증 목적
2.2 Bearing Capacity Verification	2.2 지지력 확인
2.3 Serviceability Verification	2.3 사용성 확인
3 Actions	3 작업
3.1 General	3.1 일반
3.2 Choice of Calculation Cross section	3.2 단면적 계산 선택

영 문	국 문
3.3 Determining the Actions from the Subsurface	3.3 토층에 따른 작업 결정
3.3.1 Actions in soft Ground	3.3.1 연약지반에서의 작업
3.3.2 Actions in solid Rock	3.3.2 암반에서의 작업
3.3.3 Actions from Groundwater	3.3.3 지하수와 만날 때 작업
3.3.4 Actions imposed by Structures and Traffic	3.3.4 구조 및 교통에 의해 부과된 작업
3.3.5 Estimating the Actions deriving from unscheduled Steering Movements	3.3.5 예정되지 않은 방향 전환 움직임으로 파생된 작업 예측
3.4 Subsurface Characteristic Values for a preliminary design	3.4 예비 설계를 위한 토층 특성값
3.5 Actions in special Situations	3.5 특수 상황에서의 작업
3.5.1 Narrow-spaced Tunnel Tubes	3.5.1 Narrow-spaced tunnel tubes
3.5.2 Lateral Excavations	3.5.2 Lateral excavations
3.5.3 Swelling Ground	3.5.3 팽창 지반
3.5.4 Karstified Ground	3.5.4 Karstified 지반
4 Computational Models	4 전산모델
4.1 Shell Model with elastic Bedding	4.1 탄성 토대 쉘 모델
4.2 Continuum Model	4.2 연속체 모델
4.3 Additional References for Model Formation	4.3 모델 형성에 대한 추가 참조
5 Conclusion	5 결론

⑫ Recommendations on Planning and Constructing Tunnels

영 문	국 문
Introduction	소개
Recommendations	권고사항
1 Planning and Design	1 계획 및 설계
2 Tendering, Form of Contract, Awarding	2 입찰, 계약 형태, 입찰
3 Execution of Construction, Contract Management, Quality Assurance	3 시공 시행, 계약 관리, 품질 보증
4 Competence and Distribution of Tasks	4 역량과 작업의 분배

⑬ Recommendations on Planning, Tendering and Awarding shield-supported Tunnelling Projects(Recommendations for Planning, Tendering and Awarding shield-supported Tunnel Drivage Projects)

영 문	국 문
1 Introduction	1 소개
2 Planning	2 계획
2.1 General	2.1 일반
2.2 Executing the Project 2.2.1 Routing 2.2.2 Geological Engineering and soil/rock - mechanical Investigations 2.2.3 Catalogue of technical Requirements for the Drivage Method 2.2.4 Initial Draft and Predimensioning of the Tunnel, Construction Method and Tunnel Lining	2.2 프로젝트 수행 2.2.1 절차의 결정 2.2.2 지질 공학 및 지반/암반 - 기계적 조사 2.2.3 굴진 방법에 대한 기술 요구사항 목록 2.2.4 초기 초안 및 터널, 시공방법, 터널 라이닝의 선 치수 기입
3 Project Approval Proceedings 3.1 Assessing the Pros and Cons of the Project	3 프로젝트 승인 절차 3.1 프로젝트의 장단점 평가
3.2 Environment Compatability Examination	3.2 환경 호환성 검사
4 Tendering 4.1 General	4 입찰 4.1 일반
4.2 Technical Documents 4.2.1 Geological Engineering and soil/rock mechanical investigatory Report 4.2.2 Design Criteria for the Construction Method and for Calculating and Dimensioning the Lining 4.2.3 Draft for the Construction Method and for the Lining	4.2 기술 보고서 4.2.1 지질 공학 및 지반/암반 기계적 조사 보고서 4.2.2 시공 방법과 라이닝 치수 기입 및 계산에 대한 설계 기준 4.2.3 시공 방법과 라이닝에 대한 초안

영 문	국 문
4.3 Notes pertaining to the contractual documents	4.3 계약 문서에 관한 초안
4.3.1 General	4.3.1 일반
4.3.2 Listing the general and specific Regulations and Codes for Drivage with shield-supported TBMs such as DIN Standards, Recommendations	4.3.2 DIN 규격, 권고와 같은 쉴드 TBMS 굴진에 대한 일반 및 특정 규정 및 코드 목록
4.3.3 General and specific contractual Conditions for Drivage with shield-supported TBMs	4.3.3 쉴드 TBMs 굴진에 대한 일반 및 특정 계약 조건
5 Awarding the Contract	5 계약 체결
5.1 Examining Offers	5.1 입찰 검토
5.1.1 Computational Control of the Offers	5.1.1 입찰의 전산 제어
5.1.2 Technical and economic Control and Assessment	5.1.2 기술 및 경제적인 제어 및 평가
5.2 Contractual Agreements and Awarding the Contract	5.2 계약 합의와 계약 입찰

⑭ Risk Assessment of Conventional Tunnel Works (German only)

영 문	국 문
TVK 1 Management	1 관리
TVK 2 Site work	2 지역 조사
2.1 General site facilities	2.1 일반 지역 시설
2.2 Working alone	2.2 작업인부
TVK 3 Infrastructure/special BE	3 사회기반시설/특수 BE
3.1 Infrastructure/roads	3.1 사회기반시설/도로
3.2 Electrical Installation	3.2 전기 설비
3.3 Used cars/appliances	3.3 사용되는 차/용품
TVK 4 Manufacturing plant above ground	4 제조공장
4.1 Water protection/neutralization system	4.1 수질 보호/증화 체제
4.2 Mixing system	4.2 혼합 시스템
4.3 Material handing	4.3 자재 운송
4.4 Workshop/Magazine	4.4 워크샵/잡지
4.5 Explosives storage	4.5 폭발물 저장

영 문	국 문
TVK 5 Driving 5.1 Excavation and mucking 5.2 Blasting operations 5.3 Backup with shotcrete(reinforced/unreinforced) 5.4 Backup with steel arches 5.5 Backup with three anchors and spikes 5.6 Materials handling in tunnel 5.7 Supply and disposal lines 5.8 Mountain water	5 운전 5.1 굴착 및 적재 5.2 발파작업 5.3 숏크리트(철근/무근) 5.4 철근 아치 5.5 세 개의 앵커와 스파이크 5.6 터널내 자재 취급 5.7 공급 및 처리 라인 5.8 지하수
TVK 6 Special Operation 6.1 Compressed air work 6.2 Drilling and injections 6.3 Freezing 6.4 Pipe roof 6.5 Crosscuts 6.6 Manholes	6 특수 작업 6.1 압축 공기 작업 6.2 천공 및 주입 6.3 동결 6.4 파이프 루프 공법 6.5 Crosscuts 6.6 맨홀
TVK 7 Inner shell 7.1 Assembly the expansion train car 7.2 Facility of the expansion train car 7.3 Operating the expansion train car 7.4 Top injection 7.5 Inner shell thickness measurement	7 내부 쉘 7.1 확장 철도 차량 조립 7.2 확장 철도 차량 시설 7.3 확장 철도 차량 운전 7.4 상부 주입 7.5 내부 쉘 두께 측정
8 Blank hazard list(pattern) 9 Contacts ROOF-guide for planning and implementing a safety and health protection concept(2007) to underground sites	8 위험 목록(패턴)표 예 9 연락처

⑮ Risk Assessment of TBM-Works (German only)

영 문	국 문
TVK 1 Management	1 관리
TVK 2 Site work	2 지역 조사
2.1 General site facilities	2.1 일반 지역 시설
2.2 Loan worker	2.2 작업인부
TVK 3 Infrastructure/special BE	3 사회기반시설/특수 BE
3.1 Two roads	3.1 도로
3.2 Electrical Installation	3.2 전기 설비
3.3 Used appliances	3.3 사용되는 용품
TVK 4 Manufacturing plant above ground	4 제조공장
4.1 Separation	4.1 분리
4.2 Mixing layer	4.2 혼합층
4.3 Material Cover	4.3 자재
4.4 Workshop/tray	4.4 워크숍
4.5 Lining segment - Reinforcement	4.5 라이닝 세그먼트 - 강화
4.6 Lining segment - Concrete	4.6 라이닝 세그먼트 - 콘크리트
4.7 Lining segment - Assembly and stripping	4.7 라이닝 세그먼트 - 조립 및 조직
4.8 Lining segment - Finishing	4.8 라이닝 세그먼트 - 마감
4.9 Lining segment - Temporary storage	4.9 라이닝 세그먼트 - 임시 저장
TVK 5 General driving	5 일반 운전
5.1 Installation, alteration and removal	5.1 설치, 변경 및 제거
5.2 How to sign, exit sign	5.2 출입구
5.3 Slurry shield tunneling	5.3 슬러리 쉴드 굴착
5.4 EPB shield tunneling	5.4 EPB 실 굴착
5.5 Compressed air shield tunneling	5.5 Compressed air 쉴드 굴착
5.6 Hard rock shield tunneling	5.6 경암 쉴드 굴착
5.7 Ring construction	5.7 링 시공
5.8 Annular gap backfilling	5.8 환형 gap 뒷채움(Annular gap backfilling)
5.9 Material handling	5.9 자재 취급
5.10 Tubular extension	5.10 관 연장
5.11 Track extension	5.11 트랙 확장
5.12 Operation including track reconstruction	5.12 트랙 재시공을 포함한 운영
TVK 6 Special Operation	6 특수 작업

영 문	국 문
6.1 Sheild tail seal change	6.1 쉴드 테일 씰 교체
6.2 Maintenance including changing tools	6.2 도구 변경을 포함한 유지 보수
6.3 Compressed air work	6.3 압축 공기 작업
6.4 Preliminary exploration drilling	6.4 예비 탐사 시추
6.5 Crosscuts	6.5 Crosscuts
6.6 Subsequence work on the concrete lining	6.6 콘크리트 라이닝 후속 작업
TVK 7 Pipe jacking	7 중압공법(pipe jacking)
7.1 Excavation	7.1 굴착
7.2 Pipe installation	7.2 관 설치
7.3 Pipe support	7.3 관 지지
7.4 Compressed air work, work in the working chamber	7.4 압축 공기 작업, 작업챔버에서의 작업
8 Important instructions	8 주요 지시 사항
9 Blank hazard list(pattern)	9 위험 목록(패턴)표 예
10 Imprint	10 날인

⑯ Securing Competitiveness in the Approval Proceedings for Construction Projects

영 문	국 문
1 Situation	1 상황
2 Consequences	2 결과
3 Reasons for this Development	3 이 프로젝트 개발 이유
4 Recommended Measures	4 추천 대책

(3) 독일 터널관련 기준서와 국내 기준서 비교분석

독일기준서	내용분석	국내기준서와 비교
Concrete Linings for Tunnels built by Underground Construction (Tunnel 5/01)	터널라이닝의 기능 및 설계 숏크리트, 콘크리트 라이닝 및 쉴드 세그먼트 라이닝에 대한 제작, 품질, 시공 전분야에 대한 지침서 수준	국내는 설계와 시공이 분리되어 있으면 제작과 품질에 대한 사항은 시방서에서 다루고 있음.
Definition of Construction Methods and their Application in Construction Contracts for Subsurface Construction (Tunnel 3/87)	터널건설에 대한 용어정의 터널단면분류 및 지보시스템의 공사중, 운영중 방법 계약의 효력	용어정의, 단면, 지보재 굴착방법 등은 설계기준과 시방서에서 다루고 있으나 계약에 대한 것 해당사항이 없음.
Functional Description of Performances for Transport Tunnels – Possibilities and Limits for Awarding and Accounting(Tunnel 4/97)	도로터널에 대한 기능적 설명(성능, 비용에 대한 사항)	해당사항없음
Recommendations for Design and Operation of Shield Machines(Tunnel 6/00)	쉴드TBM을 이용한 터널설계 시공에 관한 사항 쉴드TBM 장비 관점 쉴드TBM 터널사례 4개 포함	터널설계기준 및 시방서의 TBM 터널편에서 계획, 설계, 시공관련 사항을 다루고 있으나 장비관점이 아닌 터널관점에서 기술됨
Recommendations for Executing and Application of unreinforced Tunnel Inner Linings (Tunnel 5/07)	터널의 콘크리트 라이닝 설계관련 권고사항	설계기준/시방서의 콘크리트 라이닝 편에서 다루고 있음
Recommendations for Planning and Implementation of Occupational Health and Safety Concepts in Underground Worksites, final version November 2007	지하 공간 건설 작업에서의 환경 및 안전관리에 관한 매우 상세한 권고사항(독일, 오스트리아, 스위스 3국의 통합권고사항임)	표준시방서, 고속철도/도로시방서에서 선언적으로 다루고 있으나 상세한 설명은 없음.
Recommendations for protective	석면이 함유된 암반에서의	해당사항 없음.

독일기준서	내용분석	국내기준서와 비교
Measures during Tunnel Construction in Asbestos-bearing Rock, January 2007 Text in german only	터널건설에 대한 권고사항	
Recommendations for Risk Distribution in Tunnelling Contracts (Tunnel 3/98)	터널공사 계약과 리스크분배에 대한 권고사항	해당 사항 없음
Recommendations for selecting and evaluating Tunnel Boring Machines (Tunnel 5/97)	TBM 장비의 분류와 선정/평가에 대한 권고사항	터널설계기준에 분류, 장비의 선정에 대한 개괄적인 사항이 있으나 상세히 다루지는 않음
Recommendations for selecting Tunnel Boring Machines (German only), revised version as of October 2010 (Taschenbuch Tunnelbau 2011)	TBM 장비선정에 대한 상세한 권고사항(체계적인 분류와 각각에 대한 설명도 포함)	터널설계기준에 분류, 장비의 선정에 대한 개괄적인 사항이 있으나 상세히 다루지는 않음
Recommendations for static Analysis of Shield Tunnelling Machines (Tunnel 7/05)	쉴드TBM 해석 설계에 대한 권고사항	장비설계에 대해서는 다루고 있지 않음.
Recommendations on Planning and Constructing Tunnels (Tunnel 4/04)	터널 계획, 계약형태, 품질 보증 등 계약에 관련된 권고사항	터널설계기준이나 시방서에서 다루고 있지 않음
Recommendations on Planning, Tendering and Awarding shield-supported Tunnelling Projects (Tunnel 2/93)	쉴드TBM 터널의 계획, 계약에 관한 권고사항	계획분야는 다루고 있으나 계약에 대한 사항은 없음
BFA-Guideline: Risk Assessment of Conventional Tunnel Works (German only), April 2009	발파에 의한 터널건설에서의 리스크 관리 및 평가에 대한 권고사항	시방에서 안전에 대해 약간 다루고 있으나 상세한 기준은 없음
BFA-Guideline: Risk Assessment of TBM-Works (German only), April 2009	TBM 터널 건설에서의 리스크 관리 및 평가에 대한 권고사항	시방에서 안전에 대해 약간 다루고 있으나 상세한 기준은 없음

2) 결론

독일의 터널관련 기준서의 분석결과 주로 독일터널위원회(DAUB)에서 발간된 권고(recommendation) 또는 가이드라인의 형태로 배포되어 사용하고 있다.

국내의 경우 터널설계기준/시방서는 법적구속력을 지니고 있으나 독일의 경우는 DIN code에서 법적구속력을 지닌 발파진동규제기준, 각 재료의 품질관리에 관련된 사항들 외에는 법적구속력을 지니고 있지 않은 것으로 파악되었다.

특히 국내와 같이 포괄적, 선언적인 내용을 담고 있는 기준서 형태보다는 숏크리트, 콘크리트 라이닝, 보조지보재, 세그먼트라이닝 등 세부 항목별 별도의 가이드라인 또는 권고의 형태로 기술되어 강제성은 없거나 크지 않아 설계/시공의 유연성을 주는 것으로 판단된다. 그러나 품질, 안전에 대한 규정에는 국내의 경우보다 많은 비중을 주어 강조되고 있다.

결과적으로 품질, 성능위주의 설계/시공이 이루어지는 방향으로 제시되어 있어 향후 국내에도 기준서의 작성방향도 성능중심의 설계/시공의 방향으로 기술되는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 그러나 국내 건설시장의 특성, 활용성 등을 우선적으로 검토하여 이와 같은 성능중심의 권고 또는 가이드라인 형태로 도입 내지는 변화를 가질 필요가 있다.

2.3.6 프랑스

1) 프랑스 AFTES 추천사항 분석

현재까지 조사한 바로는 프랑스에서는 특정한 기준이나 시방을 찾기는 어려웠으나, 프랑스 터널지하공간협회(Association Franc aise des Tunnels et de l'Espace Souterrain, AFTES)에서 다양하고 많은 추천사항들(recommendations)을 제시하고 있다.

AFTES는 1972년에 설립된 비영리단체로서 터널 및 지하공간 분야에서 기술적 추천사항들을 확립하고 제시하는 역할을 하고 있다.

추천사항들은 크게 1) 기획, 사회경제적, 법적 내용, 2) 지반과 지반구조물의 상호작용, 3) 기계화시공(TBM과 세그먼트), 4) 재래식 터널공법, 5) 그라우팅과 방수, 6) 안전, 품질, 관리 및 환경, 7) 유지관리와 노후 구조물 복원 등 총 7가지 범주로 구분할 수 있다. 특히, 공통적인 사항들을 제외하고 터널공법에 대한 내용들을 기계화시공과 재래식 터널공법을 구분하여 별도 제시하고 있다는 점이 특징적이다. 또한 유럽에서 터널공사 입찰 시에 중요하게 고려하고 있는 1) 입찰서 작성방법, 2) 터널 리스크의 고려, 3) 지질·지반보고서 등에 대한 내용도 포함되어 있다.

TBM터널과 관련하여 특징적인 사항은 TBM장비의 선정, TBM공급 계약, 세그먼트의 설계와 규격 등을 상세하게 다루고 있다는 점이다.

Conventional 터널공법에서는 압송방식의 에멀젼 폭약의 사용, 숏크리트 등 지보재에 대한 내용에 중점을 두고 있다. 또한 우리나라나 타 국가에서는 좀처럼 다루고 있지 않은 노후 지하구조물의 복원과 관련된 추천사항을 3개 제시하고 있다는 점도 특징적이다.

상세한 사항은 아래의 표를 참조할 수 있다.

【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항

분류	AFTES 추천사항
기획, 사회 경제적 및 법적 내용	•프로젝트의 비용 관리 방법 (Comment maî triser les coû ts de son projet) •터널공사의 계약 사례 – TBM 제공을 위한 계약 체결 (Pratiques contractuelles dans les travaux souterrains – Contrat de fourniture d'un tunnelier) •도시부와 교외 철도의 인프라 비용 (Coû t des infrastructures de transport ferroviaire urbain et suburbain)
지질과 지반구조의 상호 작용 – 지반조건과 지반구조물의 상호작용	•발전에 대한 인식 (Les reconnaissances a l'avancement) •지하 조사방법 (Mé thodes d'auscultation des ouvrages souterrains) •터널 프로젝트 입찰서 상의 지반공학적 리스크들의 고려 •석유 시추·검증기술의 대규모 지하구조물에의 적용 •지하 공간 관련 암반 특성화 (Caract é risationdes massifs rocheux utile a l'é tude et a la ré alisation des ouvrages souterrains) •지반–지보 반응곡선 해석법(La mé thode convergence–confinement) •지하구조물의 내진 설계와 방호(La conception et la protection parasismiques des ouvrages souterrains) •터널공사에 의한 침하(Les tassements lié s au creusement des ouvrages en souterrain) •지하구조물의 설계, 크기 및 시공에 유용한 지반공학적 변수들과 시험들의 선정(Le choix des paramè tres et essais gé otechniques utiles a la conception, au dimensionnement et a l'exé cution des ouvrages creusé s en souterrain)

【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항(계속)

분류	AFTES 추천사항
TBM, 쉴드 및 세그먼트	•도심지 원형터널의 설계 (Dimensionnement intérieur des tunnels circulaires des services urbains réalisés avec des tunneliers habités) •이수식 쉴드TBM에서의 이수 사용 (Boue de forage a usage des boucliers a pression de boue) •기계식 터널공법의 선정 (Choix des techniques d'excavation mécanisée) •터널 라이닝 세그먼트에 사용되는 수팽창 개스킷 – 개스킷의 평가와 품질관리 절차 (Etanchéité des tunnels en voussoirs par joints hydrogonflants – Procédures d'évaluation et de contrôle qualité des joints) •터널 공사 계약 실행 – TBM공급에 대한 계약 •(Pratiques contractuelles dans les travaux souterrains – Contrat de fourniture d'un tunnelier) •TBM 및 쉴드 관련 용어 (Glossaire franc ais anglais allemand relatif aux tunneliers) •TBM 후방에 설치되는 프리캐스트 콘크리트 세그먼트의 설계, 규격 및 시공 (La conception, le dimensionnement et l'exécution des revêtements en voussoirs préfabriqués en béton armé installés a l'arrière d'un tunnelier) •프리캐스트 콘크리트 세그먼트의 방수 (L'étanchéité des voussoirs préfabriqués en béton) •세그먼트 개스킷 (Segmental gaskets)

【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항(계속)

분류	AFTES 추천사항
Conventional 터널공법	•폭약의 사용: 막장면 직접 압송 방식의 에멀젼 폭약 (Utilisation des explosifs : é mulsions, sensibilisé es et pompé es directement a front de taille) •콘크리트 배합, 거푸집 및 콘크리트 타설 (Gé omé trie, bé ton, coffrage et bé tonnage des revê tements de tunnels) •숏크리트의 설계 (Conception et dimensionnement du bé ton projeté utilisé en travaux souterrains) •터널에서 무근 콘크리트(플레인 콘크리트)의 사용 (L'utilisation du bé ton non armé en tunnel) •섬유보강 숏크리트 기술과 시공 (La technologie et la mise en oeuvre du bé ton projeté renforcé de fibres) •숏크리트와 록볼트에 의한 지보 시공 (Soutè nement immé diat par bé ton projeté et boulonnage) •터널에서 강지보의 사용 (Emploi des cintres dans la construction des ouvrages souterrains) •터널 라이닝의 일반적인 설계방법에 대한 고찰 (Ré flexions sur les mé thodes usuelles de calcul du revê tement des souterrains) •터널 지보의 선정 (Choix d'un type de soutè nement en galerie)

【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항(계속)

분류	AFTES 추천사항
그라우팅과 방수	•방수 시스템 설치시 화재와 인명 보호와 관련된 특정 추천사항 (Comportement au feu et a la protection sanitaire spé cifique aux procé dé s d'é tanchéité lors de leur mise en œuvre en milieu confiné) •지오멤브레인 방수시스템에 대한 방호 설계 (Dimensionnement des écrans de protection des dispositifs d'étanchéité par géomembrane) •아스팔트와 역청 기반의 매립 구조물의 방수 (L'étanchéité des couvertures d'ouvrages enterrés a l'aide de systèmes a base d'asphalte ou de bitume) •지하구조물의 방수와 배수 (L'étanchéité et le drainage des ouvrages souterrains) •터널 라이닝 세그먼트에 대한 수팽창 개스킷 – 개스킷의 평가와 품질관리 절차 (Etanchéité des tunnels en voussoirs par joints hydrogonflants – Procédures d'évaluation et de contrôle qualité des joints) •지오멤브레인 방수 시스템 적용 이전의 터널 표면 사전처리 (La préparation des supports de tunnels recevant un dispositif d'étanchéité par qéomembrane) •터널 방수 멤브레인 고정을 위한 PVC 와셔의 사용 (L'emploi de rondelles PVC pour la fixation des membranes d'étanchéité) •프리캐스트 콘크리트 라이닝 세그먼트의 방수 (L'étanchéité des voussoirs préfabriqués en béton) •합성 지오멤브레인 라이닝 시스템에의 실재(seal)의 사용과 설치 (L'utilisation et la mise en œuvre d'un compartimentage associé a un dispositif d'étanchéité par géomembrane synthétique) •세그먼트 개스킷 (Les joints d'étanchéité entre voussoirs)

【표 2.42】 프랑스 AFTES의 터널 관련 추천사항(계속)

분류	AFTES 추천사항
안전, 품질, 관리 및 환경	•터널 내부 도로포장 (Chaussé es routiè res en tunnels) •시공 중 대피 및 구난과 관련된 TBM 굴착 터널의 설계 (Conception des tunnels creusé s au tunnelier vis-a -vis de l' engagement des secours et de l' auto-é vacuation du personnel en phase chantier) •시공 중 지하 환기 (Ventilation des ouvrages souterrains en cours de construction) •지하공사 관련 품질 과정에 대한 지침 (La dé marche qualité en travaux souterrains)
유지관리와 노후 구조물 복원	•지하구조물 재난 분류 (Catalogue des dé sordres en ouvrages souterrains) •노후 지하구조물 복원을 위한 그라우팅 이전의 사전 작업 (Opé rations pré alables a la ré ception des travaux de ré habilitation des ouvrages souterrains par injection) •지하구조물 출입시설의 복원을 위한 그라우팅 (Opé rations pré alables a la ré ception des travaux de ré habilitation des ouvrages souterrains par injection) •터널 라이닝의 진단 방법 (Mé thodes de diagnostic pour les tunnels revê tus)

2) 결 론

프랑스에서는 특정한 기준이나 시방이 명기되어 있지는 않으며, 세부 기술분야별로 다양한 추천사항들(recommendations)이 제시되어 있다. 반면, 우리나라의 현행 설계기준과 시방에서는 상대적으로 세부적인 사항들에 대해서도 기준과 시방을 규정하고 있다.

따라서 향후 설계기준과 시방 개정 시에는 큰 틀에서만 관련 기준과 시방을 제시하고, 구체적이고 세부적인 사항들에 대해서는 하위의 지침, 편람, 추천서 등을 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이는 세계적인 추세인 “성능기반 설계”와도 관련 있다고 판단된다.

1999년의 설계기준과 시방과 비교하여 최근 개정된 국내의 기준 및 시방에서 TBM 터널과 관련된 내용이 보강되긴 하였으나, 일반적인 내용이 대부분이며 불필요하게 세부적인 사항들을 규정하는 경우도 있는데, 프랑스의 경우처럼 실제 실무에 도움이 되는 TBM장비 선정지침, 계약관련 절차 등을 하위의 추천서 등으로 발간할 필요가 있다. 또한 프랑스를 포함한 유럽에서는 설계·시공 리스크를 고려한 터널 입찰방법에 대해서 중요하게 다루고 있으나, 우리나라에서는 발주처별로 상이한 입찰 및 기준·시방을 제시하고 있는 상황이다.

국제화 시대에 발맞추기 위하여 유럽의 사례를 참고하여, 향후 터널공사 입찰방법과 입찰서(지반보고서 – GBR, Geotechnical Baseline Report)등의 표준화도 필요하다고 판단된다.

2.3.7 오스트리아

1) 오스트리아의 터널관련 기준서 현황

(1) 오스트리아 기준서 개요

오스트리아의 터널관련 기준서는 국내 터널설계기준이나 표준시방서와 같이 독일정부에서 공식적으로 발간된 것이 없는 것으로 판단된다.

오스트리아 지반공학회(Austrian Society for Geomechanics ; http://www.oegg.at/)에서 발간한 Conventional Tunnelling가 대표적인 권고(안) 내지는 기준서로 사용되고 있으며 주로 ITA권고를 이용하거나 Graz대학(http://www.tugraz.at/)에서 발간, 또는 학술발표회에서 발표된 내용을 인용하는 것으로 보인다.

주로 역할을 하는 회사들은 GEOCONSULT ZT GmbH, TU Graz, D2 Consult, ILF, 3G 등의 회사들이 주도적으로 가이드라인 작성이나 배포에 역할을 하는 것으로 판단된다.

【표 2.43】 오스트리아 터널관련 기준서

번호	제목	저자	출처	비고	자료유무
1	Guidelines for the Design of Tunnels	ITA Working Group on General Approaches to the Design of Tunnels	Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.3 , No. 3. pp. 237-249. 1988.	논문집	○ 9
2	The Guideline for the Geo-mechanical Design of Underground Structures with Conventional Excavation	By Wulf Schubert, Andreas Goricki and Gunter Riedmuller	FELSBAU 21 (2003) NO. 4 13~18	저널논문	○ 7
3	Basics and Application of the Austrian Guideline for the Geomechanical Design of Underground Structures	Wulf Schubert(Graz University of Technology & 3G-Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH, Graz)	EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium. Schubert (ed.) . 2004 VGE	학술발표회 논문	○ 10

【표 2.43】 오스트리아 터널관련 기준서(계속)

번호	제목	저자	출처	비고	자료유무
4	Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe A European Perspective	Robert Hack, Rafig Azzam & Robert Charlier (Eds.)	Springer 2004	출판물	○ 6
5	Austrian Risk Analysis for Road Tunnels Development of a new Method for the Risk Assessment of Road Tunnels	Kohl B., Botschek K., Hö rhan R.	3rd International Conference „'Tunnel Safety and Ventilation “" 2006, Graz 204~211	학술발표회 논문	○ 1
6	Best Practices in Austria	Dipl.-Ing. Gerhard Eberl(ASFiNAG -- Service Ges.m.b.H. Ost)	75th Annual Meeting & Exhibition October 7-10, 2007	학술발표회 자료	○ 3
7	NCHRP 20-7 Task 230 Workshop on Safety and Security in Roadway Tunnels Regulations, Standards and Guidelines	Bill Connell(Chairman - NFPA Technical Committee , Parsons Brinckerhof)	NFPA 502 - Road Tunnels Bridges and Other Limited Access Highways November 28 - 29, 2007 Irvine, California	학술발표회 자료	×
8	NEW AUSTRIAN GUIDELINE FOR THE TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS THROUGH ROAD TUNNELS	Diernhofer F., Kohl B., Hö rhan R.	5thInternational Conference ‘'Tunnel Safety and Ventilation’ ' 2010, Graz	학술발표회 논문	○ 2
9	Tunnel Design and Construction Practice: Technical Solutions in Swelling Ground	Thomas Marcher	Workshop UPC: Tunnelling through Saline and Swelling Ground 20.01.2011	학술발표회 자료	○ 8

(2) 오스트리아 기준서 목차분석

수집한 자료와 목차 분석은 다음과 같다.

(가) Guidelines for the Design of Tunnels(Tust_Vol_3_3_237-249)

<ITA Working Group on General Approaches to the Design of Tunnels>

영 문	국 문
1. Scope of the Guidelines	1. 가이드라인의 범위
2. Outline of General Approaches	2. 일반적인 접근법의 개요
2.1. General Procedure in Designing a Tunnel	2.1. 터널 설계의 일반 절차
2.2. Elements of the Structural Design Mode/for Tunnels	2.2. 구조적 설계 모드 / 터널에 대한 요소
2.3. Different Approaches Based on Ground Conditions and Tunnelling Methods	2.3. 지반 조건 및 Tunnelling 방법에 따라 서로 다른 접근
2.4. Site Investigations, Structural Analysis and In-Situ Monitoring	2.4. 지반조사, 구조적 분석 및 원위치 모니터링
2.5. Design Criteria and Evaluating Structural Safety	2.5. 설계 기준 및 구조적 안전율 평가
3. Site Investigations and Ground Probings	3. 지반조사 및 지반 탐색
3.1. Geological Data and Ground Parameters	3.1. 지질 데이터 및 지반 매개 변수
3.1.1. Tunnels in rock	3.1.1. 암반에서의 터널
3.1.2. Tunnels in soil	3.1.2. 토양에서의 터널
3.2. Evaluation of Parameters by Ground Probing and Laboratory Tests	3.2. 지반 탐색 및 실내실험에 의한 매개 변수 평가
3.3. Interpretation of Test Results and Documentation	3.3. 실험 결과 및 참고 문서의 해석
4. On Structural Design Models for Tunnelling	4. Tunnelling을 위한 구조 설계 모델
4.1. Alternative Design Models	4.1. 대체 설계 모델
4.2. Continuum or Discontinuum Model	4.2. 연속체 또는 비연속체 모델
4.3. Bedded-Beam Model (Action-Reaction Model)	4.3. Bedded-Beam 모델 (작용-반작용 모델)
4.4. Empirical Approach	4.4. 경험적 접근
4.5. Observational Method	4.5. 관측 방법

영 문	국 문
4.6. Special Design Features 4.6.1. Ground improvement techniques 4.6.2. Unusual ground behaviour	4.6. 특수 설계 기능 4.6.1. 지반 개선 기술 4.6.2. 예외적인 지반 거동
5. In-Situ Monitoring 5.1. Purpose of In-Situ Measurements 5.2. Monitoring Methods 5.3. Interpreting Results of In-Situ Monitoring	5. 원위치 모니터링 5.1. 원위치 측정의 목적 5.2. 모니터링 방법 5.3. 원위치 모니터링의 해석 결과
6. Guidelines for the Structural Detailing of the Lining	6. 라이닝의 구조적 상세에 대한 지침
7. Examples of Presentation of Tunnel Design Data References	7. 터널 설계 데이터 제시 사례 참고문헌

(나) The Guideline for the Geo-mechanical Design of Underground Structures with Conventional Excavation

영 문	국 문
Procedure during design Step 1 - determination of rock mass types (RMT) Step 2 - determination of rock mass behaviour types (BT) Step 3 - determination of the excavation and support Step 4 - geotechnical report - baseline construction plan Step 5 - determination of excavation classes	설계 절차 Step 1 - 암반 타입 확정 Step 2 - 암반 거동 확정 Step 3 - 암반 거동의 평가 및 굴착과 지지방법 확정 Step 4 - 지반보고서- 기초 건설 계획 Step 5 - 굴착 패턴 결정
Procedure during construction Step 1 - determination of the encountered rock mass type Step 2 - determination of the actual rock mass behaviour type Step 3 - determination of excavation and support Step 4 - verification of system behaviour Conclusion	건설 절차 Step 1 - 마주치는 암반 타입 확정 Step 2 - 실제 암반의 거동 타입 확정 Step 3 - 굴착과 지지방법 확정 Step 4 - 시스템 거동 검증 결론

(다) Basics and Application of the Austrian Guideline for the Geomechanical Design of Underground Structures(voe_main2)

영 문	국 문
1 INTRODUCTION	1 소개
2 PROCEDURE DURING DESIGN	2 설계 절차
2.1 Step 1 - Determination of Rock Mass Types (RMT)	2.1 Step 1 - 암반 타입 확정
2.2 Step 2 - Determination of Rock Mass Behavior	2.2 Step 2 - 암반 거동 확정
2.3 Step 3 - Determination of excavation and support and evaluation of System behaviour	2.3 Step 3 - 암반 거동의 평가 및 굴착과 지지방법 확정
2.4 Step 4 - Geotechnical report – baseline construction plan	2.4 Step 4 -지반보고서– 기초 건설 계획
2.5 Step 5 - Determination of excavation classes	2.5 Step 5 - 굴착 패턴 결정
3 PROCEDURE DURING CONSTRUCTION	3 건설 절차
3.1 Step 1 - Determination of the encountered Rock Mass Type	3.1 Step 1 - 마주치는 암반 타입 확정
3.2 Step 2 - Determination of the actual Rock Mass Behavior Type	3.2 Step 2 - 실제 암반의 거동 타입 확정
3.3 Step 3 - Determination of excavation and support	3.3 Step 3 - 굴착과 지지방법 확정
3.4 Step 4 - Verification of System Behavior	3.4 Step 4 - 시스템 거동 검증
4 EXPERIENCE WITH THE APPLICATION	4 적용 사례
5 CONCLUSION	5 결론
REFERENCES	참고문헌

(라) Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe A European Perspective

영 문	국 문
Professional Practices	전문 사례
Cooperation between (Engineering) Geologist and Geotechnical Engineers	(토목)지질학자와 지반 엔지니어간의 협력
The Joint European Working Group of the ISSMGE, ISRM and IAEG for the Definition of Professional Tasks, Responsibilities and Co-operation in Ground Engineering	지반 공학에서의 전문 작업, 책임과 협력의 정의하기 위한 ISSMGE, ISRM, IAEG의 공동 유럽 워킹 그룹
Some Basic Considerations about the Necessities and Possibilities of Cooperation between Civil Engineers and Engineering Geologists	토목 엔지니어와 토목 지질학자간의 협력에 대한 필요성 및 가능성에 대한 몇 가지 기본 고려사항
Current Issues Relating to the Professional Practice of Engineering Geology in Europe	유럽에서 토목 지질학의 전문 사례에 관한 최근 이슈
Feasibility Studies and Design of High-Speed Railway (TGV) Projects in Portugal	포르투갈에서의 고속철도(TGV) 사업의 타당성 조사 및 설계
Austrian Guideline for Geomechanical Design of Tunnels - Necessity for Cooperation between Geologists, Geotechnical and Civil Engineers	터널의 지반 역학적 설계를 위한 오스트리아 지침 - 지질학자, 지반공학 및 토목 엔지니어간 협력의 필요성
Soil Investigations Requirements from the Construction Industry	건설 사업에서의 지반조사 요건
Common Educational Requirements	일반 교육 요건
The Necessity of Combining Geologists and Engineers for Fieldwork in the Practice of Geotechnics	지반공학 수행시 현장조사에 대한 지질학자와 엔지니어의 화합 필요성
Contribution of On-Line Tools on Internet for the Teaching of Slopes and	사면과 터널 안정성의 교육을 위한 인터넷 온라인 도구의 공헌

영 문	국 문
Tunnels Stability	
German Higher Education in the Framework of the Bologna Process	볼로냐 프로세스의 구성에서 독일 고등 교육
International Standardisation of Geotechnical Description of Soil/Rock and Testing Practices (ISO, CEN); Geotechnical Exchange Format (GEF)	토양 및 암반의 지반 등급과 시험 관리에 대한 국제 기준(ISO, CEN); 지반 교환 포맷(GEF)
International Standardisation of Ground Investigation and Testing Methods	지반조사 및 시험 방법에 대한 국제 기준
Towards Quality Assurance and an Adequate Risk Management in Geotechnical Engineering - Application of Eurocode 7 and DIN 4020 in Engineering Geology	지반공학에서 품질보증 및 적절한 리스크관리를 향하여- 토목 지질학에 Eurocode 7과 DIN 4020 적용
Aggregate Research in Support of European Standardisation	유럽 기준의 지원 현황 집계 연구
Standardised Methods for Sampling by Drilling and Excavation and for Groundwater Measurements	드릴링 및 굴착을 통한 샘플링과 지하수 측정을 위한 표준화된 방법
Engineering Geological Methods	토목 지질 방법
Methods of (Digital) Characterisation of the Surface	지표 (디지털) 특성 표시 방법
Interpretation of SCPT Data Using Cross-over and Cross-Correlation Methods	크로스오버와 교차 상관 방법을 사용한 SCPT 데이터 해석
Evaluation Concept and Testing Method for Heavy Metal Contaminant Transport in the Underground	지하에 있는 중금속 오염 물질의 수송을 위한 평가 개념 및 시험 방법
Geo-engineering Evaluation with Prime Consideration to Liquefaction Potential for Eskisehir City (Turkey)	에스키쉐히르시(터키)의 액상화 가능성에 대한 주요 고려사항을 포함한 지반공학 평가

영 문	국 문
Engineering Geology Property Parameters for the Tertiary in The Netherlands	네덜란드 제3기층에 대한 토목 지질학 속성 매개변수
Various Assessments of the Characteristic Values of Soil Cohesion and Friction Angle: Application to New Caledonian Laterite	토양점착력과 마찰각의 특성 값의 다양한 평가: 뉴칼레도니아 라테라이트(홍토)
Numerical Analysis of a Tunnel in an Anisotropy Rock Mass. Envalira Tunnel (Principality of Andorra)	이방성 암반의 터널의 수치해석. Envalira 터널(안도라공국)
Engineering-Geological Properties of Carbonate Rocks in Relation to Weathering Intensity	풍화 강도와 관련된 탄산염암의 토목 지질학적 특성
Engineering Geocryological Mapping for Construction in the Permafrost Regions	영구 동토층 지역에서 건설을 위한 공학 지반 빙설학적 맵핑
3D Terrestrial Laser Scanning as a New Field Measurement and Monitoring Technique	새로운 지반 측정 및 모니터링 기법인 3D 지상 레이저 스캐닝
Engineering Geology in International Dredging and Infrastructure	국제 준설 및 기반시설에서의 토목지질학
Prediction of the Uniaxial Compressive Strength of a Greywacke by Fuzzy Inference System	퍼지 추론 시스템에 의한 경사암의 일축압축강도 예측 (경사암-이암 성분을 기초로 한 암석조각과 조립모래가 많은 사암)
New Development in Site Investigation	지반조사의 새로운 개발
Self-healing of Fractures around Radioactive Waste Disposal in Clay Formations	점토층에 위치하고 있는 방사성 폐기물 처리장 주위의 균열의 자연 치유
Hydrogeological Investigations in Deep Wells at the Meuse/Haute Marne Underground Research Laboratory	Meuse/Haute Marne 지하연구시설에서 깊은 우물(심정)에서의 수리지질학적 조사

영 문	국 문
Java Tomography System (JaTS), a Seismic Tomography Software Using Fresnel Volumes, a Fast Marching Eikonal Solver and a Probabilistic Reconstruction Method: Conclusive Synthetic Test Cases	Fresnel Volumes, Fast Marching Eikonal Solver, 확률적 재건 방법을 사용한 Java Tomography System (JaTS), a Seismic Tomography Software: 결정적인 합성 시험 사례
Using the Complete Nano Engineering Geological Spectrum to Assess the Performance of Clay Barriers	점토 장벽의 성능을 평가하기 위한 완벽한 나노 공학 지질 스펙트럼 사용
Modelling of Soil and Rock Behaviour	토양 및 암반 거동의 모델링
Rock Splitting in the Surrounds of Underground Openings: An Experimental Approach Using Triaxial Extension Tests	지하 입구 주변의 암반 굴착: 삼축 확장 시험을 통한 실험적 접근
A Constitutive Model for Chemically Sensitive Clays	화학적으로 민감한 점토층의 구성 모델
Relocation of a Problematic Segment of a Natural Gas Pipeline Using GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping, Hendek (Turkey)	Hendek(터기)에서, GIS 기반 산사태 대자율 변환을 사용한 천연가스 파이프라인의 문제가 있는 세그먼트의 재배치
Micro-structure and Swelling Behaviour of Compacted Clayey Soils: A Quantitative Approach	압축된 점성토의 미세 구조 및 팽창 거동: 양적 접근
Physical and Numerical Modelling of a Two-Well Tracer Test at the Laboratory Scale	실험실 규모의 재순환 시험법의 물리적 및 수치 모델링 (재순환 시험법(Two-Well Tracer Test): 현장추적자시험중 하나)
Soil Investigation Aspects of a Complex Metro Project in Amsterdam	암스테르담의 복합 매트로 프로젝트의 토양 조사의 양상들
Effects of the Determination of Characteristic Values of Soil Parameters	토양 매개 변수의 특성 값의 결정 효과

영 문	국 문
Basic Soil Properties of a Number of Artificial Clay - Sand Mixtures Determined as a Function of Sand Content	많은 인공 점토의 기본 토양 속성 - 모래 함유율의 함수에 따른 모래 혼합물
The Effect of Sand on Strength of Mixtures of Bentonite-Sand	벤토나이트-모래 혼합물의 강도에 따른 모래의 효과
Nonconventional and Simple View of the Soil-Structure Interaction Problem	토양-구조 상호 작용 문제에 대한 비전통적이며 단순한 관점
Effect of Pore Fluid Salinity on Compressibility and Shear Strength Development of Clayey Soils	점성토의 압축 및 전단 강도 증진에 간극유체 염도의 영향
New Geotechnical In-situ Testing and Sampling Techniques	새로운 지반 원위치 시험 및 샘플링 기법
Hydraulic Monitoring of Low-Permeability Argillite at the Meuse/Haute Marne Underground Research Laboratory	Meuse/Haute Marne 지하연구시설에서 낮은 투과율의 규질 점토암의 유압 모니터링
Hydrogeologic Exploration during Excavation of the L¨otschberg Base Tunnel (AlpTransit Switzerland)	L¨otschberg Base Tunnel(AlpTransit Switzerland) 굴착중 수리지질학적 탐사/연구
Coring Performance to Characterise the Geology in the “Cran aux Iguanodons” of Bernissart (Belgium)	베르니사르(벨기에)의 Cran aux Iguanodons(이구아노돈 화석이 발견된 지역) 내의 지질 특징을 나타내는 시추조사 실행
ConsoliTest -Using Surface Waves for Estimating Shear-Wave Velocities in the Dutch Subsurface	네덜란드 지표 아래의 전단파 속도를 예측하기 위하여 표면파를 사용한 압밀시험
Geo-monitoring and Special Field Measurements or Techniques	지반 모니터링 및 특수 현장 측정 또는 기술
Multi-level Groundwater Pressure Monitoring at the Meuse/Haute-Marne Underground Research Laboratory, France	프랑스 뫼즈/오트 마른 지하연구소에서의 다양한 수위의 지하수압 모니터링

영 문	국 문
Application of Borehole Radar for Monitoring Steam-Enhanced Remediation of a Contaminated Site in Fractured Limestone, Maine, USA	미국 메인주의 균열진 석회암층내 오염지에 대한 증기를 이용한 정화 처리를 모니터링하기 위한 시추공 레이더의 적용
Site Investigation for Abandoned Lignite Mines in Urban Environment	도시 환경에서 버려진 갈탄 광산에 대한 지반 조사
Behaviour of the Weak Rock Cut Slopes and Their Characterization Using the Results of the Slake Durability Test	Slake 내구성 시험 결과를 이용한 연약 암반의 절취사면의 거동 및 그 특성
Determination of the Failure Surface Geometry in Quick Slides Using Balanced Cross Section Techniques - Application to Aznalcollar Tailings Dam Failure	Balanced Cross Section 기술을 사용하여 급속 산사태 발생시 파괴면 기하학 결정-Aznalcollar Tailings Dam
Case Studies of Infrastructure Projects	기반시설사업 사례 연구
Inner-City Projects (Ground Improvement, BoredTunnels, Deep Shafts)	도심 프로젝트(지반 개선, 도심지 터널, 심층 수직갱)
Obstacle Investigation RandstadRail in Rotterdam, The Netherlands	네덜란드 로테르담의 RandstadRail 장애물 조사
Tunnelling in Urbanised Areas - Geotechnical Case Studies at Different Project Stages	다른 프로젝트 단계에서의 지반 사례 연구 - 도시화된 지역에서의 터널링
Geotechnical Characterization and Stability of a Slope in the Marnoso-Arenacea Formation for the Realization of an Underground Car Park in Urbino (Italy)	우르비노(이탈리아)의 지하 주차장 실현을 위한 Marnoso-Arenacea(사질 유공충류)층에서의 사면의 지반 특성 및 안정
Cross Connections at Pannerdensch Canal Tunnel - Freezing Soil Mass	Pannerdensch 운하 터널의 교차 연결 - 동결토 설계 및 실행 비교

영 문	국 문
Design and Execution Comparison Effects of Lime Stabilization on Engineering Properties of Expansive Ankara Clay	팽창성 앙카라 점토의 공학적 특성에 대한 석회 안정화의 영향
European Traffic Routes (High-Speed Lines, Alpine Base Tunnels, Oil-Gas Pipeline Routes, Channel Crossings, etc.)	유럽 교통 노선(고속 노선, 알파인베이스터널, 석유-가스 파이프라인 노선, 채널 횡단 등)
The Belgian High-Speed Railway Soumagne Tunnel Project	벨기에의 고속철도 Soumagne 터널 프로젝트
High Speed Lines in Belgium: Various Engineering Geological and Geotechnical Aspects	벨기에 고속 라인: 다양한 지질 및 지반 공학 측면
An Overview of the Geological and Geotechnical Aspects of the New Railway Line in the Lower Inn Valley	Lower Inn Valley에서 새 철도 라인의 지질 및 지반 측면의 개요
Stability and Serviceability of a Gas Pipeline at the Base of a Steep Creeping Slope	가파른 creeping 사면에서의 가스 파이프라인의 안정성 및 사용성
Investigation of Karst Cavities and Earth Subsidence with Combined Application of Boring and Geophysics in the Progress of High-Speed Railway Routes	고속철도 노선의 진행에 시추 및 지구물리학의 결합 적용하여 카르스트 공동과 지반 침하 조사
Engineering Geological Considerations in Tunnelling through Major Tectonic Thrust Zones -Cases along the Egnatia Motorway, Northern Greece	주요 구조학적 트러스트 지형에서의 터널링에서 주요 지질학적 고려사항-북부 그리스, Egnatia 고속도로 사례
Tunnelling Problems in Older Sand Formations	노년기 모래층에서 터널링 문제
Engineering Geological Model of the	크로아티아 Zagreb-Split 고속도로를 따라

영 문	국 문
Contact between Two Petrographic and Stratigraphic Units along the Zagreb-Split Highway, Croatia	암석구와 층서단위 사이의 접점구간에서의 지질공학적 모델
Overconsolidated, Early-Pleistocene Clays in Relation to Foundation Design and Construction of HSLSouth, Province of Brabant, The Netherlands	네덜란드, Brabant 지방의 HSL South의 기초 설계 및 시공과 관련된 과압밀된 초기 홍적세 점토
Mininig Projects and Natural Resources	광산 프로젝트 및 천연자원
Location of Buried Mineshafts and Adits Using Reconnaissance Geophysical Methods	답사를 통한 지구물리학 방법을 이용한 매장된 수직 갱도 및 횡갱도의 위치 추적
Geological-Technical and Geo-engineering Aspects of Dimensional Stone Underground Quarrying	지하 채석장의 지질-기술 및 지구 공학 측면
Leibis/Lichte Dam in Germany	독일의 Leibis / Lichte 댐
Creep Behaviour of Alpine Salt Rock and the Influence of Insoluble Residues in Solution Mining	알프스 암염의 크리프 거동과 용해채광법에서의 불용성 잔류물의 영향
Assessment of Rock Slope Stability in Limestone Quarries in the Tournai's Region (Belgium) Using Structural Data	구조 데이트를 사용하여 투르네 지역(벨기에)의 석회암 채석장에서의 암반 사면 안정성 평가
Studying Underground Motions in the Ramioul's Cave -Belgium	벨기에 Ramioul의 동굴에서의 지하 움직임 연구
Regional Planning and Surfaces Characteristics, Redevelopment and Reclamation of Land	지역 개발 계획 및 지표면 특성, 토지의 재개발 및 개간
Drying-Up of a Natural Spring for Ensuring Stability of an Artificial Slope: Is It Sustainable Development?	인공 사면의 안정성 확보를 위한 자연 샘의 건조화: 그것은 지속가능한 개발인가?
Suitability Maps of Underground Construction in the Province of	South-Holland 지역에의 지하 건설 공사의 적합성 지도

영 문	국 문
South-Holland Liquefied Natural Gas Terminal Siting in a Highly Seismic Region on the Mexican Pacific Coast	멕시코 태평양 연안에서 높은 지진 발생 지역에 놓이는 액화천연가스 터미널
Hazard and Risk in Engineering Geology	토목 지질학에서의 재해 및 위험
Hazardous Geological Processes in Civil Engineering	토목 공학에서의 재난에 대한 지질학적 과정
National Environmental Monitoring of the Slovak Republic - Part Geological Hazards	슬로바키아 국립 환경 모니터링-부분 지질학적 재난
Stability and Subsidence Assessment over Shallow Abandoned Room and Pillar Limestone Mines	얕은 버려진 공간과 석회 광산 지주에 대한 안정 및 침하 평가
Numerical Modelling of Seismic Slope Stability	지진동에 대한 사면의 안정성에 대한 수치 모델링
A Multidisciplinary Approach for the Evaluation of the “Bottegone” Subsidence (Grosseto, Italy)	"Bottegone" 침하(그로세토, 이탈리아)의 평가를 위한 종합적인 접근방법
Influence of Underground Coal Mining on the Environment in Horna Nitra Deposits in Slovakia	슬로바키아의 Horna Nitra 광상의 환경에 미치는 지하 석탄 광산의 영향
Sustainable Passive and Active Remedial Measures of Creeping Bedrock Slopes: Two Case Studies from Austria	기반암 사면 크리프에 대한 지속가능한 수동 및 주동적인 조치 방안 – 오스트리아 두 가지 사례 연구
New Developments in Risk Evaluation	위험 평가에 대한 새로운 방법
Problems in Defining the Criteria for an Earthquake Hazard Map - A Case Study: The City of Haifa, Northern Israel	지진 재난 지도를 위한 기준 정의에 대한 문제 – 사례 연구:북부 이스라엘 하이파의 도시
Some Positive and Negative Aspects of Mine Abandonment and Their	폐광 및 기반시설에 미치는 그 영향에 대한 몇 가지 긍정적 및 부정적 측면

영 문	국 문
Implications on Infrastructure Seismic and Flood Risk Evaluation in Spain from Historical Data	역사 자료로부터 스페인의 지진 및 홍수 위험 평가
Landslide Risk Assessment in Italy: A Case Study in the Umbria-Marche Apennines	이탈리아에서의 산사태 위험 평가 : Umbria-Marche 아펜니노 산맥의 사례 연구
Modelling of Landslide-Triggering Factors - A Case Study in the Northern Apennines, Italy	산사태 유발 요인의 모델링 – 이탈리아 북부 아펜니노 산맥에서의 사례 연구
Management of Combined Natural Risks - A New Approach	복합된 자연적 위험의 관리 – 새로운 접근법
Technique of Quantitative Assessment of Karst Risk on the Local and Regional Levels	지역 수준에서 카르스트 지형의 위험에 대한 정량 평가 기법
Cut-and-Cover Tunnel below Boulevard River Meuse, Maastricht, The Netherlands	네덜란드 마스트리히트 뫼즈강 아래의 개착터널
The Geotechnical Baseline Report as Risk Allocation Tool	위험 배분 도구로의 지반 기선 보고서
Matching Monitoring, Risk Allocation and Geotechnical Baseline Reports	모니터링과 일치하는 위험 배분 및 지반 기선 보고서
Smart Site Investigations Save Money!	스마트한 지반 조사는 비용을 절감한다!
Author Index	저자 색인

(마) Austrian Risk Analysis for Road Tunnels

<Development of a new Method for the Risk Assessment of Road Tunnels>

영 문	국 문
ABSTRACT	초록
1. BACKGROUND	1. 배경
2. TuRisMo --TUNNEL RISK MODEL FOR ROAD TUNNELS	2. 도로터널의 리스크 모델
2.1. Database of risk analysis	2.1 리스크 분석의 데이터베이스
2.2. Methodical approach	2.2 조직적 접근 방법
2.2.1 General Consideration	2.2.1 일반적인 고려
2.2.2 Influencing factors	2.2.2 영향을 미치는 요인
2.2.3 Event tree analysis	2.2.3 사고결과예상계통도 분석
2.2.4 Consequence analysis	2.2.4 결과 분석
2.2.5 Risk calculation:	2.2.5 리스크 계산
2.3. Results of risk analysis and strategy of risk evaluation	2.3 리스크 분석 및 리스크 평가 전략의 결과
3. EXPERIENCE IN PRACTICAL APPLICATION	3. 실용적인 응용 프로그램 적용
3.1. Range and limitations of application	3.1 적용 범위와 한계
3.2. View on the simplified method for Austrian codes	3.2 오스트리아 코드에 대한 단순화된 방법
References	참고문헌

(바) New Austrian Guideline for the Transport of Dangerous Goods Through Road Tunnels

영 문	국 문
ABSTRACT	초록
1. LEGAL ASPECTS OF TUNNEL SAFETY	1. 터널 안전의 법적 측면
1.1. Directive 2004/54/EC	1.1. 지침 2004/54/EC
1.2. Austrian Road Tunnel Safety Law	1.2. 오스트리아의 도로 터널 안전법
1.3. ADR 2007 / 2009	1.3. ADR 2007/ 2009
2. DATA BASE	2. 데이터베이스
3. OECD/PIARC MODEL (DG-QRAM)	3. OECD / PIARC 모델 (DG-QRAM)
4. DEVELOPMENT OF A COMPLETE RISK ASSESSMENT PROCEDURE	4. 완전한 리스크 평가 절차의 개발
4.1. Stage 1 - Classification Matrix	4.1. 1 단계 - 분류 매트릭스
4.2. Stage 2 - Detailed Approach	4.2. 2 단계 - 세부 접근법
4.3. Stage 3 - Alternative Route	4.3. 3 단계 - 대체 방법
5. MEASURES	5. 조치
6. DEFINITION OF RISK CRITERIA	6. 리스크 기준의 정의
6.1. Reference line for risk assessment	6.1. 리스크 평가를 위한 기준선
6.2. Adjustment of the reference line for tunnel length	6.2. 터널의 길이에 대한 기준선 조정
7. INTERNATIONAL OUTLOOK	7. 국제적 견해
8. REFERENCE LIST	8. 참조 목록

(사) Conventional Tunnelling "The Austrian Draft"

영 문	국 문
1 PURPOSE	1 목적
1.1 Scope of Work	1.1 작업 범위
1.2 Definitions	1.2 정의
2 PRINCIPLES OF CONVENTIONAL TUNNELLING	2 컨벤셔널 터널공법의 원리
2.1 Historical Background	2.1 역사적 배경
2.2 General	2.2 일반
2.3 Principle Tunnel Construction Methods	2.3 터널 시공 방법의 원리
2.4 Tunnelling in Squeezing Rock	2.4 압출 암반 내 터널 공법
2.4.1 Introduction	2.4.1 소개
2.4.2Design Considerations	2.4.2 설계 고려사항
3 PROJECT DEVELOPMENT	3 터널 건설시 단계별 계획
4 PRINCIPLE DESIGN STAGES	4 설계 단계에서의 원칙
4.1 Conceptual Design	4.1 개념적 설계
4.2 Preliminary Design	4.2 예비 설계
4.3 Tender Design	4.3 입찰 설계(tender design)
4.4 Final Design	4.4 최종 설계
5 GROUND INVESTIGATIONS	5 지반조사
5.1 General	5.1 일반
5.2 Design stages and objectives	5.2 설계 단계 및 목표
5.3 Conclusion	5.3 결론
6 GEOLOGICAL-GEOTECHNICAL EVALUATION	6 지질 - 지반 평가
6.1 Definitions	6.1 정의
6.2 Phase 1 - Design	6.2 1 단계 - 설계
6.2.1 Basic Procedure	6.2.1 기본 절차
6.2.2Determination of Rock Mass Types	6.2.2 암반 타입 확정
6.2.3 Determination of Rock Mass Behavior Types	6.2.3 암반 거동 타입 확정
6.2.4 Method	6.2.4 방법
6.2.5 Determination of excavation and support	6.2.5 굴착 및 지지 방법 확정

영 문	국 문
6.2.6 Determination of excavation classes	6.2.6 굴착 패턴 확정
6.2.7Geotechnical Report	6.2.7 지반 보고서
6.2.8 Geotechnical Safety Management Plan	6.2.8 지반 안전 관리 계획
6.3 Phase 2 – Construction	6.3 2 단계 – 시공
6.3.1 Basic procedure	6.3.1 기본 절차
6.3.2 Determination of the actual Rock Mass Type	6.3.2 실제 암반 타입 확정
6.3.3Assignment of the Rock Mass Behavior Type	6.3.3 암반의 거동 타입 확정
6.3.4Determination of excavation and support	6.3.4 굴착 및 지지 방법 확정
6.3.5 Check of System Behavior	6.3.5 시스템 거동 확인
6.3.6 Updating of the design	6.3.6 설계의 업데이트
7 MONITORING – STATE OF THE ART DATA EVALUATION	7 모니터링 – 그래프를 이용한 데이터 평가
7.1 Displacement History Plots	7.1 변위 이력 도표
7.2 Deflection curves	7.2 편향 곡선
7.3 Trend Lines	7.3 추세선
7.4 Displacement Differences between Two Measurement Points	7.4 두 측정 지점 사이의 변위 차이
7.5 Displacement Vector Plots in Cross Section	7.5 단면에서의 변위 벡터 도표
8 CONSTRUCTION CONTRACT – AUSTRIAN STANDARDS ÖN B 2203-1 AND -2 FOR UNDERGROUND WORKS	8 건설 계약 – 오스트리아 기준 B 2203-1 및 지하 작업을 위한 B 2203-2
8.1 Conventional tunnelling	8.1 컨벤셔널 터널 공법
8.1.1 Introduction	8.1.1 소개
8.1.2 Main features of the "Classification of excavation"	8.1.2 “굴착 분류”의 주요 특징
8.1.3 Implementation of excavation classes	8.1.3 굴착 패턴에 따른 이행
8.1.4 Other topics of B 2203-1	8.1.4 B 2203-1의 기타 주제
8.1.5Project overhead costs	8.1.5 프로젝트 간접비
8.1.6Construction time model	8.1.6 건설 시간 모델
8.1.7Conclusion	8.1.7 결론

영 문	국 문
9 CONSTRUCTION ORGANIZTION	9 건설 조직도
10 CONSTRUCTION SUPERVISION	10 건설 감독
10.1 Geotechnical Risk Management	10.1 지반 리스크 관리
10.2 Claim Management	10.2 클레임 관리(보상 관리)
10.3 Guideline For Risk Identification	10.3 리스크 식별에 대한 가이드라인
10.3.1 Introduction and scope	10.3.1 소개 및 범위
10.3.2 Use of risk management	10.3.2 리스크 관리의 사용
10.3.3 Objectives of risk management	10.3.3 리스크 관리의 목적
10.4 Risk management in early design stages	10.4 초기 설계 단계에서의 리스크 관리
10.5 Risk management during tendering and contract negotiation	10.5 입찰 및 계약 협상 중의 리스트 관리
10.5.1 Risk management during preparation of tender documents	10.5.1 입찰 서류 준비 동안 리스크 관리
10.5.2 Risk management during selection of contractor	10.5.2 계약자 선택시 리스크 관리
10.5.3 Risk clauses in contract	10.5.3 계약시 리스크 조항
10.6 Risk management during construction	10.6 시공중 리스크 관리
10.6.1 Contractor's risk management	10.6.1 계약자의 리스크 관리
10.6.2 Owner's risk management	10.6.2 소유자의 리스크 관리
10.7 Typical components of risk management	10.7 리스크 관리의 일반적인 구성 요소
10.7.1 Introduction	10.7.1 소개
10.7.2 Hazard identification	10.7.2 위험 식별
10.7.3 Classification	10.7.3 분류
10.7.4 Quantitative risk assessment	10.7.4 양적 위험 평가
10.8 Risk management tools	10.8 리스크 관리 도구
10.8.1 Fault tree analysis	10.8.1 사고결과 예상 계통도 분석(fault tree analysis)

영 문	국 문
10.8.2 Event tree analysis	10.8.2 사고결과 예상 계통도 분석(event tree analysis)
10.8.3 Decision tree analysis	10.8.3 결과 예상 계통도 분석 방법 결정 (decision tree analysis)
10.8.4 Multirisk	10.8.4 다양한 리스크
10.8.5 Monte Carlo simulation	10.8.5 몬테카를로 시뮬레이션
10.9 Glossary	10.9 용어 해설
11 REFERENCES	11 참고문헌

(3) 오스트리아 터널관련 기준서와 국내 기준서 비교분석

오스트리아 기준서	내용분석	국내기준서와 비교
Guidelines for the Design of Tunnels	터널설계에 대한 전반적인 가이드라인(ITA working group) 조사, 모델링, 지반개량, 현장모니터링, 라이닝 구조 등 필수적이 사항만 다루고 있음.	국내 터널설계기준에 비해 매우 간단하며 필수적인 사항만을 다루고 있음
The Guideline for the Geo-mechanical Design of Underground Structures with Conventional Excavation	발파 굴착에 대한 암반중심의 터널 건설 가이드라인 암반의 역학적 거동에 초점을 맞추어 설명하고 있음	터널설계기준에 암반분류, 굴착패턴 등에 관한 사항을 전반적으로 다루고 있으나 상세한 내용은 편람 등에서 다룸
Basics and Application of the Austrian Guideline for the Geomechanical Design of Underground Structures	발파 굴착에 대한 암반중심의 터널 건설 가이드라인 암반의 역학적 거동에 초점을 맞추어 설명하고 있음	터널설계기준에 암반분류, 굴착패턴 등에 관한 사항을 전반적으로 다루고 있으나 상세한 내용은 편람 등에서 다룸
Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe A European Perspective	지질공학적 접근에서의 터널, 사면 등 인프라구조물 건설과 관련된 광범위한 참고서	국내 기준서 에서는 다루고 있지 않으며 오스트리아와 마찬가지로 교과서 형태의 출판물로 존재
Austrian Risk Analysis for Road Tunnels Development of a new Method for the Risk Assessment of Road Tunnels	도로터널에서의 리스크 분석 및 평가 방법 관련 프로그램과 오스트리아 코드에 대한 단순화된 방법 제안	국내기준서 에서는 관련된 사항을 다루고 있지 않음

오스트리아 기준서	내용분석	국내기준서와 비교
New Austrian Guideline for the Transport of Dangerous Goods Through Road Tunnels	도로터널 건설의 안전과 관련된 법규 리스크 평가와 이에 대한 기준	표준시방서에서 선언적으로는 다루고 있으나 상세한 내용은 없음
Conventional Tunnelling “ The Austrian Draft”	컨벤셔널 터널공법의 계획, 조사, 설계와 리스크관리 및 평가에 대한 상세한 참고자료	터널설계기준에서 전반적인 사항을 다루고 있으나 오스트리아와 같이 상세한 내용은 기타의 참고자료에서 다루고 있으며 리스크관리, 평가에 대한 사항은 거의 다루지 않고 있음.

2) 결론

오스트리아의 경우 오스트리아 지반공학회가 Conventional Tunnelling가 대표적인 기준서 또는 해설/권고사항으로 사용되는 것으로 파악되며 특별히 국가에서 법적구속력을 가진 기준서를 발간하여 사용하지는 않는 것으로 조사되었다.

또한 오스트리아는 독일에 인접하여 동일한 언어권으로 독일에서 발간된 code, 권고, 가이드라인을 같이 사용하거나 오스트리아 버전으로 재 발간하여 배포, 사용하는 것으로 보인다.

오스트리아는 국내 뿐만 아니라 세계 각국에서 공통적으로 받아들여 사용하는 터널건설의 공법내지는 개념인 NATM(New Austrian Tunnelling Method)를 처음 선보인 터널건설의 가장 선두주자이지만 code에 의존하기 보다는 그라츠 대학, GEOCONSULT ZT GmbH, D2 Consult 등의 터널건설관련 학계, 컨설팅 업체의 발간물에 의존하여 터널을 설계/시공하고 있다는 점이 매우 특이한 점으로 볼 수 있다.

오스트리아 역시 독일과 마찬가지로 품질, 안전에 대한 규정에 많은 비중을 두고 있으며 품질, 성능위주의 설계/시공이 이루어지는 방향으로 제안하고 있는 것으로 파악되었다.

2.3.8 노르웨이

1) 노르웨이 터널 표준 및 핸드북 분석

노르웨이에서는 핸드북(handbook)이 포함된 표준(standard)이 제시되어 있다. (노르웨이 도로교통국 Norwegian Public Roads Administration, NPRA)

특히, 2004년에 발간된 도로터널 표준(Road tunnel – Standard)은 아래의 【표 2.44】와 같이 이후의 2010년에 발간된 도로터널 핸드북(Vegtunneler handbook)과 구성이 거의 동일하다. 따라서 최신 내용을 확인하기 위해서는 2010년에 발간된 도로터널 핸드북의 내용을 참고하는 것이 필요하다.

단, 2004년의 도로터널 표준에 보다 상세한 기술적인 사항들이 제시되어 있기 때문에, 상세 항목에 대해서는 2004년 내용도 함께 참고하여야 한다.

우리나라와 가장 다른 첫 번째 차이점은 제일 먼저 관련 법령을 다루고 있다는 점이다. 무엇보다도 가장 큰 차이점은 주변 환경과 안전을 최우선적으로 고려한 터널 설계·시공·운용이라고 할 수 있으며 이에 대한 내용들이 매우 상세히 기술되어 있다. (2004년 표준 기준, 3~5장) 특히, 터널의 미학적 설계를 수행하고 있다는 점도 특징적이다.

또 다른 차이점으로는 터널 표준에 도로 포장, 교통, 화재, 안전·운영 설비 등에 대한 상세한 내용을 함께 다루고 있다는 점이다. 반면, 우리나라에서 주되게 다루고 있는 굴착, 지보, 보강, 콘크리트 라이닝 등의 기술 내용에 대해서는 매우 간략히 다루고 있다. 이는 환경과 교통 등의 최소 요구사항만 만족하면 터널 설계·시공과 관련해서는 터널 기술자들에게 기술적인 자유를 제공하고 있기 때문인 것으로 사료된다.

노르웨이의 기후적 특징으로 인하여, 우리나라에서는 다루고 있지 않은 터널의 동상방지 대책에 대해서 상기 2가지 표준과 핸드북에서 중요하게 다루고 있다. 또한 '터널의 유출수와 동상방지(Vann– og frostsikring i tunneler, 2006)' 핸드북(시리즈 163번)도 제시되어 있으며, 구체적으로는 동상방지를 위한 단열대책, 하중조건 및 화재사고 등을 고려한 설계 내용이다. (【표 2.45】 참조)

도로터널의 안전과 관련된 규정에 대해서는 '도로터널의 안전관리(Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler, 2007)'가 별도로 제시되어 있다. (【표 2.46】 참조)

【표 2.44】 노르웨이 NPRA 도로터널 핸드북(2010)과 도로터널 표준(2004)의 비교 분석

노르웨이 도로터널 핸드북 (2010)	노르웨이 도로터널 표준(2004)
1. 법령에 대한 간략한 개요	1. 터널 계획에 대한 형식적인 근거(법령 등) 101 관계 법령의 간략 요약 102 계획과 건설법률에 관한 절차 102.1 일반적인 계획 102.2 영역 계획 102.3 시공 과정 102.31 도로 프로젝트의 일반적인 적용과 공지 요구사항 102.32 시공 예외에 대한 추가 정보 102.33 적용과 공지에 대한 행정처리
2. 지질학적 예비연구 2.1 개요 2.2 타당성 평가 2.3 개략 계획 (지역, 시) 2.4 지역구분 2.5 입찰 2.5.1 추가 부지조사 2.5.2 입찰을 위한 지질 및 지반 보고서	2. 지질조사 201 서론 202 예비계획 203 일반계획 204 구역계획 205 시공계획/입찰 205.1 추가 지질조사 205.2 입찰을 위한 지질 및 지반 보고서
3. 환경미학에 관한 사항 3.1 개요 3.2 요구사항과 제한사항 3.3 등록 및 조사 프로그램 3.4 진동과 건물 조사 3.5 누출부 제어에 대한 요구사항 3.5.1 방수에 대한 요구사항 3.5.2 방수 요구사항을 달성하기 위한 방법 3.6 임시 오폐수 3.6.1 개요 3.6.2 적용 내용 3.6.3 조사와 감독 3.7 영구적인 배수 3.8 터널 작업시 화학물질의 사용 3.9 가스와 분자들의 배출 3.9.1 가스 배출의 영향 평가	3. 지역적 환경 고려 301 서론 302 요구사항과 제한사항 303 등록 및 조사 프로그램 304 진동과 건물 조사 305 누출수 제어에 대한 요구사항 305.1 방수 기준 305.2 방수 요구사항을 만족시키기 위한 방법 306 임시 오폐수 306.1 일반 306.2 적용 내용 306.3 제어와 감독 308 영구적인 배수 307 터널 시공시 화학물질의 사용 309 가스와 분자들의 배출 309.1 영향 분석

노르웨이 도로터널 핸드북 (2010)	노르웨이 도로터널 표준(2004)
3.9.2 바람직한 공기질 표준	309.2 공기질 추천 기준
3.9.3 환기탑을 통한 배출	309.3 환기용 수직구를 통한 배출
	310 터널 공기의 청소
3.10 터널 갱구부 부근의 소음	311 터널 갱구부 부근의 소음
3.11 미학	5. 터널의 미학적 설계
3.11.1 미학과 운전 경험, 전체적인 목적	501 주된 목적
3.11.2 외부 궤도 트랙의 미학적 설계	502 터널 접근 영역
3.11.3 터널의 미학적 설계	502.1 일반
	502.2 위치
	502.3 설계
	502.31 지형 및 빌딩 건설
	502.32 기존 및 신생 식생
	502.33 터널 갱구부와 기타 건설
	502.4 식생과 표지
	503 터널
	503.1 일반적인 설계
	503.2 터널의 선형
	503.3 터널 공간의 설계
4. 기하구조	4. 기하학적 설계
4.1 개요	401 일반
4.2 노선	402 터널 범주의 선정
4.2.1 개요	403 터널 단면
4.2.2 평면선형	404 합류부
4.2.3 종단선형	405 위험한 측면 장애물에 대한 안전 대책
4.3 도로와 도로터널 사이의 전이 영역	406 차로 레벨 하부 시공
4.3.1 터널 외부 전이 영역의 설계	407 콘크리트 터널의 단면
4.3.2 갱구부	408 대피영역의 확장
4.4 터널 등급의 선택	408.1 응급 대피영역과 회차로의 설계와 위치
4.5 터널 단면	408.2 기술장비에 대한 보호
4.6 대피영역의 확장	408.3 화물수송이 가능한 산악터널에서의 확장
4.6.1 사고 피난구간, 회차로, 만남의 장소	409 교차로
4.6.2 기술실	410 1차로 터널
4.6.3 긴급상황실의 설계	411 보행자와 자전거 이용자
4.6.4 펌프실의 설계	412 선형

노르웨이 도로터널 핸드북 (2010)	노르웨이 도로터널 표준(2004)
4.7 번역불가 4.8 터널과 연결되는 교차점 4.8.1 터널 내부 교차점 4.8.2 터널 외부 교차점	412.1 일반 412.2 설계 속도 412.3 평면 선형/시인성 412.4 종단 선형 412.5 추월 차선 412.6 종단 곡률반경 413 교차점 413.1 터널 갱구부 외부 교차점 413.2 터널 내부 교차점 413.21 일반 413.22 로터리 413.23 출구와 입구 413.24 T자형 삼거리 414 장치, 교통신호 및 도로 표시 414.1 일반 414.2 터널 외부의 장치와 교통신호 414.3 터널 내부의 교통신호 414.4 도로 표시와 시인성
5. 교통과 화재안전 5.1 개요 5.2 안전과 보안 시스템 5.2.1 터널내 안전의 최소수준을 확보하기 위한 대책 5.2.2 보안 장치에 대한 요구사항 5.2.3 라디오 통신과 방송시설 5.2.4 기존 터널들의 안전 향상 5.3 교통제어 5.3.1 필요사항 분석 5.3.2 교통제어 시스템의 주요 종류 5.3.3 기술적 해결방법 5.4 소방에 대한 요구사항 5.4.1 개요 5.4.2 화재 저항성 – 건설에 대한 요구사항 5.5 터널 내 위험물의 운반 5.6 응급 준비계획	6. 교통과 화재안전 601 일반 601.1 기존 터널 602 안전장치 602.1 다양한 터널 범주에 따른 안전장치 602.2 터널 안전장치에 대한 시방 602.201 긴급 동력원 602.202 긴급 탈출로 조명 602.203 긴급 출구 표시 602.204 긴급 전화 602.205 소화기 602.206 소화수 602.207 붉은색 정지 섬광신호 602.208 터널 폐쇄를 위한 원격제어 장벽 602.209 교체가능한 표지 및 차선 신호 602.210 CCTV 감시 602.211 수직 장벽

노르웨이 도로터널 핸드북 (2010)	노르웨이 도로터널 표준(2004)
6. 교통, 교통신호와 도로표지 6.1 개요 6.2 터널 교통 6.2.1 터널 외부 교통 6.2.2 터널 내 교통 6.3 터널의 교통신호 6.4 도로표지 및 시각적 인식	602.3 라디오 장치 602.31 통신장치 602.32 방송장치 602.33 이동전화
7. 안전, 안정성, 지하수 및 동상방지 7.1 일반 7.2 막장면 작업 7.2.1 탐사시추, 코어링, 천공변수 해석 7.2.2 보강공법 7.2.3 발파 7.3 안정성과 안전 7.3.1 일반 7.3.2 영구 보호대책을 결정하기 위한 근거 – 안전등급의 결정 7.3.3 방법 7.4 해저터널 장치와 긴급사항에 대한 요구사항 7.5 터널에서의 동상침투 7.5.1 개요 7.5.2 동상침투 7.6 유출수와 동상 방지 7.6.1 일반 7.6.2 시공법의 선정 7.6.3 동상방지층 하부의 조사장치 배열	7. 막장, 지보, 지하수 및 동상방지 701 절삭과 터널 갱구부 702 막장면 작업 702.1 탐사시추 702.2 사전 그라우팅 703 지보 703.1 일반 703.2 방법 704 해저터널에서의 장치와 긴급계획에 대한 요구사항 705 터널에서의 동상침투 705.1 일반 705.2 동상침투 706 유출수와 동상 방지 706.1 일반 706.2 시공법의 선정 707 보온성 도어에 의한 동상방지 708 갱구부
8. 배수 8.1 개요 8.2 배수시스템 8.3 배수로 8.4 지표수와 폐수 수집 시스템 8.5 소화수 8.6 펌프장, 펌핑 시스템	8. 배수 801 개요 802 배수시스템 803 배수로 804 폐수 수집 시스템 805 소화수 806 펌프장, 펌핑 시스템
9. 하부구조 및 포장 9.1 개요	9. 하부구조 및 포장 901 일반

노르웨이 도로터널 핸드북 (2010)	노르웨이 도로터널 표준(2004)
9.2 시공 기준면	902 시공 기준면
9.3 상부구조 (F10T ≤ 10,000 H℃)	903 동상방지가 없는 포장
9.3.1 보강 보드	903.1 하부 기층노반
9.3.2 노반, 결합층, 도로 마모층	903.2 상부 기층노반, 결합층, 도로 마모층
9.4 상부구조 (F10T > 10,000 H℃)	904 동상방지 포장
9.4.1 동상방지층	904.1 동상방지층
9.4.2 압출성형 폴리스티렌(XPS) 절연보드에 의한 동상방지	904.2 절연재료와 시멘트 안정화 골재 (Cg)
9.4.3 결합층과 도로 마모층	904.3 결합층과 마모층
10. 기술 시스템	10. 기술적 장치(내부설비)
10.1 기술장치에 대한 요구사항	1001 기술 장치에 대한 시방
10.1.1 전기장치에 대한 일반적 요구사항	1001.1 전기장치에 대한 일반적인 요구사항
10.1.2 기술장치의 부식 방지	1001.2 기술 장치에 대한 부식 방지
10.1.3 방호정도	1001.3 방호정도
10.1.4 케이블	1001.4 케이블
10.1.5 기술실	1001.5 기술실
10.2 전력공급	1002 전력공급
10.3 조명	1003 조명
10.3.1 일반	1003.1 일반
10.3.2 터널 외부 조명	1003.2 터널 인접부 조명 – 적응 조명
10.3.3 터널 내부 조명	1003.3 터널 내부 조명
	1003.31 터널 내부의 조명 수준
	1003.32 대피로 조명
10.3.4 조명거리	1003.4 조명거리
10.3.5 조명기구	1003.5 조명기구
10.3.6 안전조명	1003.6 우선 조명 / 긴급 조명
10.4 환기	1004 환기
10.4.1 일반	1004.1 터널 내부 공기질에 대한 요구사항
10.4.2 터널 내부 공기질에 대한 요구사항	1004.11 일반
	1004.12 일산화탄소, 이산화질소 및 가시성 오염에 대한 허용 농도수준
10.4.3 기계식 환기	1004.2 기계식 종방향 환기
	1004.21 일반
	1004.22 임펄스 환풍기
	1004.23 환기 수직구 또는 사갱의 환풍기

노르웨이 도로터널 핸드북 (2010)	노르웨이 도로터널 표준(2004)
10.4.4 화재시 제연환기 10.4.5 팬에 대한 요구사항	1005 화재시 제연환기
11. 운영과 유지관리	11. 운영과 유지관리 1101 일반 1102 유지관리 방법 1102.1 일반 1102.2 일정 기반 유지관리 1102.3 작업 기반 유지관리 1102.4 육안조사에 의한 상황 기반 유지관리 1102.5 등록에 의한 상황 기반 유지관리 1102.6 체계적인 유지관리 경험 1103 시공의 유지관리 1103.1 일반 1103.2 기능적 제어 1103.3 조건 평가 (상태 보고서) 1104 포장과 배수의 유지관리 1104.1 일반 1104.2 기능적 제어 1104.3 특징적인 요구사항 1105 기술장치들의 유지관리 1105.1 일반 1105.2 유지관리 매뉴얼 1105.3 기능적 제어 1105.4 상태 보고서 1106 청소 1107 동상기 유지관리
12. 문서에 대한 요구사항	12. 제출 자료에 대한 문서화
부록 A. 도로터널로부터 발생되는 공기 오염원의 평가와 계산	부록 A. 도로터널에서 발생되는 공기 오염원의 평가와 계산
부록 B. 도로터널로부터의 소음 확산 계산	부록 B. 도로터널로부터의 소음 확산 계산
부록 C. 환기	부록 C. 환기
부록 D. 화재시 배연 계산모델	부록 D. 화재시 배연 계산모델
부록 E. 연중 온도 및 동상정도	부록 E. 연중 온도 및 동상정도

【표 2.45】 노르웨이 NPRA ‘터널의 유출수와 동상방지 핸드북(2006)’

장 제목	세부 내용
1. 일반	1.1 서론 1.2 시공법의 종류 1.3 구조물의 승인 1.4 설계수명 1.5 시공법의 선정
2. 승인	2.1 적합성 평가 2.2 승인 절차 2.3 직접적인 설계와 문서화
3. 품질계획	-
4. 동상방지 설계	4.1 일반 4.2 수분 흡수에 대한 요구사항 4.3 절연체 두께의 계산 4.4 특정 법칙 4.5 동상층
5. 화재설계	5.1 일반적인 요구사항 5.2 화재에 대한 문서화와 시험절차 5.2.1 인화성 시험 5.2.2 연소성 구조물 표면의 시험 5.2.3 인화성 재료에 대한 내화 문서화 5.3 연소성 재료의 보호 5.4 내화
6. 환경하중	-
7. 운영 및 유지관리	-

장 제목	세부 내용
8. 기타 시공 요구사항	8.1 패쇄 8.2 멤브레인 8.2.1 멤브레인의 선정과 승인 8.2.2 요구사항과 시방 8.3 볼트와 부착물 8.3.1 앵커링 8.3.2 부식 방지 8.4 콘크리트층 8.5 숏크리트층 8.6 경량 구조물 8.7 콘크리트 각부 유지
부록 A. 하중조건과 설계	A1 일반 A2 설계하중의 영향 A2.1 파괴상태 A2.2 사고하중 A2.3 사용자 상태 A3 변동하중 A3.1 압력 / 교통 흡입하중 A3.2 일반적인 변동하중 A4 사고에 의한 재하중 A4.1 충돌 A4.2 낙하하중
부록 B. 동상정도와 온도자료	연평균 온도와 동상정도

【표 2.46】 노르웨이 NPRA ‘도로터널의 안전관리(2007)’

1. 범위
2. 정의
3. 안전
4. 구조물과 역할
5. 터널의 안전 승인
6. 혁신적인 기술에 대한 면제
7. 주기적인 조사
8. 리스크
9. EU / EFTA로의 보고
10. 운영 대책
11. 위험물질의 운반
12. 터널내의 추월
13. 차량 사이의 거리와 속도 – 도로 사용자들에 대한 조언
14. 정보 캠페인
15. 안전 승인과 문서화
16. 교육, 훈련 및 연습

2) 결 론

국내 터널설계기준 및 터널시방서의 체계 및 내용구성과 비교하여 향후 개정 시 고려할 사항들을 아래와 같이 제안할 수 있다.

- 노르웨이에서는 표준서에 관련 법령을 최우선적으로 다루고 있다는 점이 특징적임. 향후 개정 시에 설계기준 및 시방서 내용과 관련된 주요 법령을 정리하여 수록할 필요가 있음
- 노르웨이에서는 환경과 안전에 대한 고려를 가장 중요하게 다루고 있음. 또한 터널의 미학적 설계를 표준서에 포함하고 있다는 점도 특징적임. 우리나라에서도 장대터널에서 터널 내외부의 미학적 설계가 이루어지고 있으나, 설계기준이나 시방서에는 명기되지 않은 사항으로서 향후 개정 시 이러한 사항을 고려할 필요도 있음
- 프랑스와 마찬가지로 터널 설계·시공 기술에 대해서는 매우 간략한 표준만을 제시하고 있음. 이는 최소 요구 성능만 만족하면 기타 사항들에 대해서는 터널 기술자들이 자유롭게 경제적이고 향상된 설계·시공을 도모할 수 있는 기반을 마련하고 있다고 판단됨

- 최근 국내에도 동상문제가 제기되고 있는 가운데 터널의 동상방지 대책은 향후 개정시 고려해야할 사항이라 판단됨
- 프랑스와 마찬가지로 입찰과 관련하여 '지질 및 지반 보고서'에 대해 중점을 두고 있음. 이는 입찰·계약 단계에서 시공 중에 발생할 수 있는 제반 리스크들을 최소화하고 관리하기 위한 것임. 우리나라에서도 국제적인 동향에 발맞추어 '지질 및 지반 보고서'에 대한 지침을 제시할 필요가 있음
- 도로터널의 기하학적 설계에 있어서, 합류부, 교차로, 1차로 터널, 보행자 및 자전거 이용자, 터널 내외부의 설비 및 교통 신호·표지 등을 터널 관련 표준서에 포함하고 있음. 향후 개정 시 터널의 특성을 고려한 상기 사항들을 도로 분야와 연계하여 터널에서의 특징적인 도로 시스템에 대한 내용을 포함하는 것을 고려할 필요도 있음

2.3.9 EFNARC

본 내용은 국내터널설계기준상에 있는 숏크리트 기준과 EFNARC의 European specification for sprayed concrete 내용을 비교한 것이다.

각 절의 앞에 숫자는 국내 터널설계기준의 항목을 나타내며 ※는 EFNARC 기준과의 비교 내용을 나타낸다.

1) 숏크리트

숏크리트의 설계는 사용 목적, 지반 조건, 시공성 등을 고려하여 지보재로서 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

(1) 숏크리트는 일반 숏크리트와 고강도 숏크리트로 구분할 수 있다.

(2) 지반과의 부착 및 자체전단 저항효과로 숏크리트에 작용하는 외력을 지반에 분산시키고, 터널주변의 붕락하기 쉬운 암괴를 지지하며, 굴착면 가까이에 지반아치가 형성될 수 있어야 한다.

(3) 휨압축 또는 축력에 의한 저항효과로 주변 원지반에 내압을 가함으로서, 굴착면주변 지반을 3축응력 상태로 유지시켜 지반강도 저하를 방지할 수 있어야 한다.

(4) 강지보재 또는 록볼트에 지반압을 전달하는 기능을 발휘할 수 있어야 한다.

(5) 굴착된 지반의 굴곡부를 메우고 절리면 사이를 접착시킴으로써 응력집중현상을 피할 수 있어야 한다.

(6) 굴착면을 피복하여 풍하방지, 지하수 및 세립자 유출 등을 억제할 수 있어야 한다.

숏크리트는 다음의 특성을 보유한 것이어야 한다.

(1) 설계 목적과 기준에 부합하는 충분한 강도를 확보하여야 한다.

(2) 조기에 필요한 강도를 발휘할 수 있어야 한다.

(3) 지반과 충분한 부착성을 확보하여야 한다.

(4) 충분한 내구성을 확보하여 터널의 공용기간 동안 소요의 기능을 발휘할 수 있어야 한다.

(5) 반발률(rebound) 및 분진 발생량을 최소화하여야 한다.

(6) 평활한 굴착면을 확보하여 방수 및 배수시공이 용이하여야 한다.

※유럽기준에는 염화물 함유량, 알카리 함유량, 최소시멘트함량 등 요구조건이 제시되어 있다.

일반 숏크리트의 배합 및 강도는 다음 사항을 따라야 한다.

(1) 숏크리트는 설계 목적에 적합한 조기 및 장기강도를 발휘하여야 하며, 다음 사항을 고려하여 설계 강도를 결정하여야 한다.

① 지반강도 및 지보재로서의 기능.

② 배합재료의 품질 및 조달의 용이도.

③시공성 및 숏크리트 타설 작업의 숙련도.

(2) 숏크리트용 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 잔골재에는 입경 0.1mm 이하의 세립물을 포함하지 않아야 하고, 굵은 골재의 최대치수는 10mm 이하가 되어야 한다.

※ (굵은 골재의 최대치수 : 중량으로 90%이상 통과한 체 중에 가장 최소치수의 체눈금의 공칭치수)유럽기준은 Figure5.4.1에 따르면 중량이 90%이상이 통과한 체는 8mm 체이고, 잔골재의 입경은 제시되어 있지 않다.

(3) 숏크리트는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호하며 재령 1일 압축강도가 10MPa 이상, 재령 28일 강도가 21MPa 이상 되도록 배합되어야 한다.

※ 유럽기준에는 압축강도시험시 공시체 3개로 시험하여 28일 강도가 요구되는 강도의 최소 75%를 발현해야 한다. 한국과 달리 재령 1일의 압축강도를 요구하지 않으며, 재료와 core의 모양 또한 다양하며 요구하는 강도도 다양화 되어있다.

유럽기준 : C24/30 : (원통 : 24MPa, 입방체 30MPa)

C28/35 : (원통 : 28MPa, 입방체 35MPa)

C36/45 : (원통 : 36MPa, 입방체 45MPa)

C40/50 : (원통 : 40MPa, 입방체 50MPa)

C44/55 : (원통 : 44MPa, 입방체 55MPa)

C48/60 : (원통 : 48MPa, 입방체 60MPa)

최소 현장강도 요구사항 (시편지름 50mm, 높이 100mm)

C24/30 : 20.5MPa, C28/35 : 24MPa, C32/40 : 27MPa, C36/45 : 30.5MPa,

C40/50 : 34MPa, C44/55 : 37.5MPa, C48/60 : 41MPa

(4) 숏크리트 사용수의 혼합방법에 따라 건식과 습식으로 구분하며 필요에 따라 강 또는 기타 재질의 섬유(fiber)도 혼합하여 사용할 수 있다.

(5) 강섬유는 인장강도 700MPa 이상, 직경 0.3~0.6mm, 길이 30~40mm를 표준으로 하며, 숏크리트와의 부착성능이 양호하게 발현되고 숏크리트 타설 시 뭉침 현상이나 막힘 현상이 발생하지 않아야 한다.

※ 유럽은 강섬유의 직경이 0.7mm 이하로만 제시되어 사양에 차이가 있다.

(6) 실제 벽면에 타설된 강섬유 혼입량은 $30kg/m^3$이상 테스트이 되어야 하며, 설계 휨강도와 휨인성을 만족하여야 한다. 이때 재령 28일의 강섬유 보강 숏크리트의 휨강도는 4.5MPa 이상, 그리고 휨인성을 나타내는 등가휨강도는 3.0MPa 이상 이어야 한다. 강섬유 이외의 기타 섬유를 적용할 경우에는 상기 강섬유 보강 숏크리트의 성능기준 이상을 발현할 수 있도록 설계하여야 한다.

※ 유럽의 기준에 따르면 혼입량에 대한 다른 지시는 없으며 kg/m^3로 표시하며 휨강도는 공시체 3개로 시험하며, 평균 휨강도가 같거나 이상이어야 한다. 28일 강도가 요구되는 강도의 최소 75%를 발현해야 한다. (C24/30 : 3.4MPa, C36/45 : 4.2MPa, C44/55 : 4.6MPa) 등가 휨강도에 따른 처짐이 0.5mm일때 1.5~4.5MPa, 처짐(low)이 1mm일때 1.3~4.3MPa, 처짐(normal)이 2mm일때 1~4MPa, 처짐(high)이 4mm일때 0.5~3.5MPa으로 제시되어있다.

(7) 숏크리트의 조기강도 발현을 위해 급결제를 사용할 수 있다. 이때 사용되는 급결제의 사용량은 시멘트 중량의 5~10%를 표준으로 함을 원칙으로 하며, 다음의 특성을 보유한 것이어야 한다.

① 콘크리트의 응결경화를 촉진하여야 함.

② 장기강도의 저하가 적어야 함.

③ 부착성이 우수하여야 함.

④ 강지보재를 사용하는 경우는 강재를 부식시키지 말아야 함.

⑤ 사용상의 안전성이 확보되어 있어야 함.

※ 급결제에 대한 기준은 제시되어 있지 않지만 첨가제에 대한 기준은 실리카퓸일 시 포틀랜드시멘트 중량의 15%를 초과하면 안 되며, 플라이애쉬는 포틀랜드시멘트 중량의 30%를 초과해선 안 된다. 포틀랜드와 플라이애쉬의 혼합물은 포틀랜드시멘트 중량의 15%를 초과하면 안 되며, 고로시멘트는 포틀랜드시멘트 중량의 20%를 초과해선 안 된다. 또 고로슬래그는 포틀랜드시멘트 중량의 30%를 초과하면 안 된다.

(8) 장대터널에서는 콘크리트 배합부터 숏크리트 타설 까지 상당한 시간이 소요되어 작업성이 저하될 수 있으므로 감수제의 사용을 검토하여야 한다.

고강도 숏크리트의 배합 및 강도는 다음 사항을 따라야 한다.

(1) 고강도 숏크리트는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호하여야 하며, 재령 1일에 10MPa 이상 그리고 재령 28일 강도가 35MPa 이상이 되도록 배합하여야 한다.

(2) 다음과 같은 경우에는 고강도 숏크리트를 사용할 수 있다.

① 콘크리트라이닝을 설치하지 않는 경우.

② 터널의 조기 안정화가 요구되는 경우.

③ 장기내구성이 요구되는 목적구조물로서 활용되는 경우.

④ 대단면 터널에서 숏크리트 두께 축소를 목적으로 하는 경우.

⑤ 안전성, 시공성, 경제성 향상을 목적으로 하는 경우.

(3) 숏크리트의 강도 증진을 위하여 혼화재를 사용할 경우는 실리카 흄, 메타카올린, 플라이애쉬등과 같은 미분말 혼화재를 사용할 수 있다.

(4) 기타사항은 일반 숏크리트에 대하여 제시된 내용에 따르는 것을 원칙으로 한다.

※ 국내에는 일반 숏크리트와 고강도 숏크리트를 구분하지만 유럽에서는 따로 고강도 숏크리트를 구분하지 않는다. 국내 고강도 기준에 부합하는 C36/45이상은 고강도 숏크리트로 보아도 무방하다.

터널의 지보재로 사용되는 숏크리트의 최소 두께는 사용 목적, 지반조건, 단면의 크기, 지보재 안정성 및 시공성 등을 고려하여야 하며, 50mm 이상으로 하는 것을 원칙으로 한다. 또한, 타설된 숏크리트가 자중으로 인하여 박리될 가능성이 있는 경우 또는 숏크리트의 인장강도 및 전단강도 등 인성을 향상시키기 위하여 철망을 사용할 수 있다. 단, 강섬유 또는 기타 재질의 섬유를 혼합한 숏크리트의 경우는 철망을 생략할 수 있다. 철망

의 재질 및 규격은 다음 사항을 따라야 한다.

(1) 철망은 KS D 7017에 규정된 용접철망을 사용하여야 하며, 철망의 지름은 5mm 내외, 개구크기는 100×100mm 또는 150×150mm 인 철망을 표준으로 하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 굴착면의 자립이 어렵고 숏크리트 타설 시 숏크리트 박리가 발생하는 경우에는 숏크리트와 지반과의 부착을 증진시키기 위하여 개구크기와 철선지름이 작은 철망을 사용할 수 있다.

(3) 철망은 종방향 및 횡방향으로 겹이음을 실시하되 터널 종방향으로는 100mm, 횡방향으로는 200mm 이상의 이음장을 표준으로 하는 것을 원칙으로 한다.

2) 결론

국내터널설계기준과 유럽의 EFNARC의 숏크리트 가이드라인을 비교한 결과는 다음과 같다. 국내 터널설계기준의 경우 주로 숏크리트 재료의 요구 성능 및 단면 대한 항목이 상세히 기술되어 있는 반면에 유럽가이드의 경우 숏크리트 구성 재료의 적정 사용한계, 사용골재의 입도분포, 요구되는 내구성의 항목들, 다양한 혼합재료의 요구 성능 평가, 테스트 방법 등이 다양하고 상세하게 기술되어 있다. 숏크리트 부분에 대한 기준의 개정방향은 본 연구과제의 개정방향과 동일한 연장선상에서 논의 되어야겠지만 숏크리트 자체만을 놓고 평가하면 국내 기준 및 시방보다 훨씬 상세하고 깊은 수준으로 작성되어 있다. 따라서 터널 설계기준상에서는 설계자의 자유도를 확대하기 위하여 가급적 선언적인 수준에서 요구 성능 및 검토사항을 기술하고 시방서 상에서 상세 기술을 통하여 상호보완 할 수 있는 역할을 유도하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

2.4 국내외 터널 방재관련 가이드라인 표준화 방안

2.4.1 일반 현황

1) 유럽지역

- 산악지형 통과 장대터널 건설이 빈번한 유럽에서 터널안전사고 지속 발생으로 관심 증대
- 1992년 EU의 유레카(Eureka) 프로젝트를 포함, 유럽 각국에서 방재관련 연구 활성화
- 1999년 몽블랑터널 화재 참사 계기로 터널 화재에 대한 대규모 프로젝트(FIT, UPTUN, DARTS 등) 수행하여 터널 안전을 위한 규제방안(기준, 가이드라인 등) 마련

2) 비유럽지역 – 미국, 일본 등

- 유럽과는 달리 대규모 인명피해사고 없었으나 터널 안전확보를 위한 독자적 연구 수행
- 미국에서는 1993년 메모리얼 터널 화재실험(MTFVTP) 실시하여 터널화재안전기준(NFPA 502) 기초자료로 활용한 바 있음
- 일본의 경우 터널 축소 및 실규모 화재실험을 통해 연구결과를 설계기준에 반영한 사례 있음

√ 1990년대 초반부터 유럽을 중심으로 터널방재 관련 연구 수행, 국가별 가이드라인 확보 (대부분이 강제적 성격의 법령보다는 정부 가이드라인 수준)
√ 도로, 철도(지하철)의 터널 목적별 가이드라인 마련

3) 국내 일반 현황

- 2000년도 이후로 도로 및 철도터널 방재 설계기술 및 기준 관련 산학연 연구 본격 수행
- 국내 터널방재 관련 가이드라인은 일본, 유럽 등 선진기술국들 또는 관련분야 전문단체(PIARC, UIC, NFPA 등)에서 제시한 가이드라인 내용 참조하여 주기적 개정 수행

√ 법령, 고시를 통한 가이드라인 관리(제 · 개정)
√ 도로, 철도, 지하철 등 터널 목적별로 가이드라인 분류
√ 정부 관리주체별(국토교통부, 소방방재청) 가이드라인 존재하나 항목 및 내용 일부 상이

4) 터널목적별 및 국가별 가이드라인 현황

- 국내를 비롯하여, 유럽국가들 위주로 운송수단에 따른 터널 목적별(도로, 철도, 지하철) 터널방재 가이드라인이 제정된 국가들이 상당수 있었음
- 도로터널이 철도나 지하철 터널보다 위험수준이 더 높으므로, 도로터널 관련 가이드라인이 안전측면에서 가장 향상된 수준으로 나타나고 있음

- 철도 및 지하철 분야의 경우 승강장, 역사 등 주요시설과 각종 안전시설에 대한 내용의 비중이 컸으며, 터널관련 사항은 도로터널에 비해 그리 많지 않았음

(1) 도로터널

국가 및 협회	가이드라인	비 고
호주	Fire safety guideline for road tunnels(2001)	가이드라인
오스트리아	Guidelines and regulations for road design(2001)	가이드라인
프랑스	Inter-ministry circular no 2000-63 relating to the safety of tunnels in the national highways network(2000)	규정(Regulation)
독일	RABT : Guidelines for equipment and operation of raod tunnels(2006)	가이드라인
일본	설계요령, Vol 3 Part (4) 터널방재설비(1998)	가이드라인
	도로터널 비상용시설 설치 기준 · 동해설(2002)	기준(Standard)
한국	도로터널의 화재안전기준(NFSC 603) (2009)	규정(Regulation)
	도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(2009)	가이드라인
노르웨이	Norwegian design guide, Road tunnels(2004)	가이드라인
스웨덴	Tunnel 2004(2004)	가이드라인
영국	Design manual for roads and bridges, vol2 Highway structure design section 2, part 9, BD 78/99 : Design of road tunnels(1999)	가이드라인
스위스	도로터널의 화재감지	가이드라인
	도로터널의 라디오시스템	
미국	Standards for road tunnels, bridges and other limited access highways(NFPA 502) (2011)	기준(Standard)
EU	Directive 2004/54/EC of the european parliament and of the council(2004)	규정(Regulation)
PIARC	Fire and smoke control in road tunnels(1999)	가이드라인
UN/ECE	Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels(2001)	가이드라인

(2) 철도터널

국가 및 협회	가이드라인	비 고
오스트리아	Eisbav : Eisenbahn Arbeitnehmer Inner Schutzverordnung Verkehrs-Arbeitsinspektorat(2001)	규정(Regulation)
프랑스	Decret relatif a la securite du reseau ferre national(2000)	규정(Regulation)
독일	Fire and disaster protection in railway tunnels(2004)	가이드라인
한국	철도시설 안전기준에 관한 규칙(2011)	규정(Regulation)
	철도시설 안전세부기준(2011)	규정(Regulation)
노르웨이	Substructure, regulations for new lines, tunnels-safety requirements(2000)	규정(Regulation)
스웨덴	Sakerhet i jarnnvagstunnlar, Ambitionsniva och varderingsmethodik, Hanbok BVH 583.30(1997)	가이드라인
영국	Railway safety principles and guidance, part 2, section A, Guidance on the infrastructure Chapter 5:Tunnels(2002)	규정(Regulation)
	Guidance on system safety requirement in new and re-opened tunnels(2002)	가이드라인
미국	Standards for fixed guideway transit and passenger rail systems(NFPA 130)(2010)	기준(Standard)
UIC	Measures to limit and reduce the risk of accidents in underground railway installations with particular reference to the risk of fire(UIC Report IF 4/91)(1991)	가이드라인
UN/ECE	Recommendations of the multidisciplinary group of experts on safety in tunnels(Rail) (2003)	가이드라인

(3) 지하철터널

국 가	가이드라인	비 고
오스트리아	Guideline for construction and operation of new rail tunnels(1999)	가이드라인
프랑스	Decret no 2003-425 du 9 mai 2003 Decret relatif a la securite des transports public guides(2003)	규정(Regulation)
독일	Guideline for the construction of tunnels(1991)	가이드라인
한국	소방방재청 화재안전기준(NFSC)	규정(Regulation)
	도시철도시설 안전기준에 관한 규칙(2009)	규정(Regulation)
스페인	Fire safety in rail and metro tunnels of Catalunia(1997)	기준(Standard)
이탈리아	Fire prevention in metro tunnels , tramways and cable railway(1991)	규정(Regulation)
미국	Standards for fixed guideway transit and passenger rail systems(NFPA 130)(2010)	기준(Standard)

2.4.2 목차 분석

1) 주요 국외자료 목차 구성

(1) 국외 터널방재 관련 가이드라인 분석 자료

- FIT의 'Technical Report Part 2 - Fire Safety Design'
- NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways
- NFPA 130 Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems
- SP Technical Research Institute of Sweden - ‘Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels'

분석자료명	특 징
Technical Report Part 2 – Fire Safety Design(FIT)	도로, 철도, 지하철 터널로 각각 구분하여 '안전관련 구조적 수단', '안전설비', '구조물 및 장비 내화'의 세 가지 카테고리로 크게 분류, 세부항목 서술
NFPA 502 및 130	일반적 도로터널, 교량, 고속도로 및 고정선로방식의 철도 시스템에 대한 방재 표준사항 서술
Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels	도로터널의 방재설계 항목들을 순차적으로 서술

(2) 국외 터널방재 관련 가이드라인 목차 비교

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	NFPA 502(2011 edition) & 130(2010 edition)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)
▶Road Tunnel(도로 터널)	▶Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways(NFPA 502)	
2.1 안전 관련 구조적 수단		4.3 안전 관련 구조적 수단
S1 비상 탈출구		
S11 피난대피터널	7.15.7 피난연결통로	4.3.1 피난대피터널
S12 피난연결통로		4.3.2 피난연결통로
S13 쉘터	7.15.6.2 비상구	
S14 보행자용 비상구		

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	NFPA 502(2011 edition) & 130(2010 edition)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)
S2 구조대 긴급 접근로		4.4 구조대 긴급 접근로
S21 긴급차량용 분리 갱도		4.4.1 긴급 차량용 분리 갱도
S22 차량용 피난연결통로		4.4.2 구호 차량용 피난연결통로
S23 비상 차선		4.4.3 비상주차대
S24 보행자용 직접 접근로		
S25 회차 지역		4.3.3 회차 지역
S27 갱구부 긴급구조 스테이션		
S3 인화물 배수	7.12 터널배수시스템	4.10 인화물 배수
S31 터널 경사		4.10.1 터널 경사(구배)
S32 분리 배수시스템		
S33 배수조		
S34 비다공성 지표층		
2.2 안전설비		
E1 스모크 제어 환기	11.2 스모크 제어	4.6 배연환기
E11 수직갱 자연환기		4.6.1 제연환기
E12 종류식	11.2.4 종류식	
E13 횡류식	11.2.4 (반)횡류식	
E14 환기제어센서		
E2 비상구 및 구조접근로 환기		
E3 조명	12.6 비상조명	4.5 조명
E31 터널비상조명		4.5.1 비상조명
E32 자동식별 표식		
E33 비상구 및 구조접근로 조명	12.6.8 비상구 조명	
E4 정보표지판	7.6 터널폐쇄 및 교통제어	4.7 정보표지판
E41 터널외부 교통표지 및 신호		4.7.1 터널외부 교통신호
E42 터널내부 교통표지 및 신호		4.7.2 터널내부 교통신호
E43 출구 보행자 표지		4.7.3 비상구 표시
E44 구조 보행자 표지	7.15.1.2 비상구 표지	

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	NFPA 502(2011 edition) & 130(2010 edition)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)
E5 통신 및 경보 시스템		4.2 화재감지 및 통신
E51 긴급전화		4.2.4 긴급전화
E52 알람푸쉬버튼(수동 화재경보)	7.4.1.3 수동식화재경보	4.2.1 수동식 화재감지시스템 (알람버튼)
E53 설비 자동경보		
E54 자동사고감지		
E55 화재/스모크 감지	7.4.1.4 자동화재탐지시스템	4.2.2 자동 화재탐지 시스템
E56 라디오재방송설비		4.2.5 라디오 통신 시스템
E57 확성기(터널내, 쉘터내)	7.5 비상통신시스템	4.2.3 확성기
E6 교통규정-감시설비		4.8 감시 설비
E61 차속 및 차량밀도 감시		
E63 CCTV		4.8.1 CCTV
E64 원격제어 진입차단설비	7.4.1.1 CCTV	
E66 갱구부 열감지기(트럭)		
E7 전원공급		4.9 전원 공급
	12.4 비상전원	4.9.1 UPS 및 비상 발전기
		4.9.2 비상 콘센트
E8 화재진압(진압장비)		4.1 방재설비
E81 화재진압 초기대응 매뉴얼(소화기, 호스릴, 기타)	7.7 소화설비 7.9 휴대용 소화기	4.1.1 수동식 소화기 4.1.2 옥내소화전설비
E82 화재진압수단	7.8 옥내소화전설비	4.1.3 연결송수관설비
E84 고정식화재진압시스템	7.10 물분무화재진압시스템	4.1.4 고정식 화재진압 시스템
2.3 구조물 및 장비 내화	7.10 물분무화재진압시스템	4.11 화재시 구조물 및 장비 대응
R1 화재 대응		
R2 구조물 내화		4.11.1 구조물 내화
R3 장비 내화	7.3 구조물 보호	4.11.2 장비 내화
-케이블류		
-송풍기류		
	11.6 송풍기	

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	NFPA 502(2011 edition) & 130(2010 edition)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)
▶Rail Tunnel(철도 터널)	▶Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems(NFPA 130)	
2.2 안전 관련 구조적 수단		
S1 비상 탈출구		
S11 대피용 서비스 터널		
S12 피난연결통로(거리)	6.2.2.3 피난연결통로	
S13 안전지대		
S14 대피로		
S15 수직출구/구조용 수직갱	7.5 수직갱	
S16 측면출구/대피터널		
S2 구조대 긴급 접근로	6.2.3.1 지상 긴급접근로	
S21 차량용 접근로		
S22 구조대 긴급차량용(기차 등)		
S3 인화물 배수		
S31 터널 경사		
S32 트랙배수시스템		
S4 개방지역		
S41 구조지역		
2.3 안전설비		
E1 스모크 제어 환기	7. 비상환기시스템	
E11 자연환기		
E12 강제환기		
E2 비상구 및 구조접근로 환기		
E21 비상구 및 구조접근로 환기		
E3 조명시스템		
E31 터널비상조명	6.2.5 조명	

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	NFPA 502(2011 edition) & 130(2010 edition)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)
E32 비상구 및 구조접근로 조명		
E4 정보표지판	6.2.8 방향표지	
E41 보행자 출구 표지		
E42 기타		
E5 통신 및 경보 시스템		
E51 긴급전화	10.4 전화	
E52 알람푸쉬버튼		
E53 화재/스모크 감지		
E54 라디오재방송설비	10.3 라디오통신/10.6	
E55 확성기	방송시스템	
E6 운영 및 교통관제		
E61 차속 및 차량밀도 감시		
E62 차량 구분 및 제어		
E63 터널진입전 열차주행상태		
E7 전원공급	6.4 전원공급	
E71 전원공급		
E8 화재진압	6.5 방재	
E81 초기조치 및 화재진압		
E82 소화시스템(기계실 등)		
E9 일반적 안전 설비		
E91 일반안전설비(본선 터널)		
E92 일반안전설비(피난연결통로)		
2.4 구조물 및 장비 내화		
R1 화재 대응		
R11 화재 대응		
R12 구조물 내화 요구조건	6.3 시공 재료	
R13 장비 내화 요구조건	5.4.10 비상환기팬	

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	NFPA 502(2011 edition) & 130(2010 edition)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)
▶Metro Tunnel(지하철 터널)	▶Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems(NFPA 130)	
3.1 안전 관련 구조적 수단	6.2.2.3 피난연결통로	
S1 보행자용 비상구	6.2.3.1 지상 긴급접근로	
S2 구조대 긴급 접근로		
S3 배수	7.5 수직갱	
S4 기타		
3.2 안전설비	7. 비상환기시스템	
E1 스모크 제어 환기	6.2.5 조명	
E3 조명	6.2.8 방향표지	
E4 정보표지판(영구/가변)	10.4 전화	
E5 통신 및 경보 시스템	10.3 라디오통신	
E6 교통규정-감시설비	6.4 전원공급	
E7 전원공급	6.5 방재	
E8 화재진압(진압장비)		
3.3 구조물 및 장비 내화		
R1 화재 대응	6.3 시공 재료	
R2 구조물 내화	7.3 비상환기팬	
R3 장비 내화		

√ FIT 자료의 목차는 (1)도로, 철도, 지하철 등 터널 목적별 분류 그리고 (2)해당 터널별 세부 분류되어 있음

√ '도로, 교량, 터널 등에 대한 방재표준(NFPA 502)'과 '고정선로 방식의 철도 방재표준(NFPA 130)' 목차 그리고, FIT 자료의 목차를 비교할 경우, 터널 구조적 측면과 관련 설비 측면에서의 목차들이 누락되어 있는 차이가 있음

√ 'Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels' 자료의 목차는 FIT의 도로터널 자료와 비교할 경우 일부 몇 가지 항목을 제외하고 거의 유사

⇒ FIT의 가이드라인 목차가 비교적 잘 분류되어 있음

(FIT 목차를 기준으로 분석진행)

2) 국내 가이드라인 목차 구성

(1) 터널방재 관련 가이드라인 분석 자료

- 현행 국내 가이드라인(국토교통부, 소방방재청 관련 법령) 검토
- 도로, 철도, 지하철 등 터널별 관련 가이드라인 내용 중 적용 방재시설 위주로 분석

(2) 국내 터널방재 관련 가이드라인 목차 비교

(가) 도로터널

도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(국토교통부)	도로터널 화재안전기준(소방방재청)
제3장 소화설비	
3.1 수동식소화기	제4조 수동식소화기
3.2 옥내소화전설비	제5조 옥내소화전설비
3.3 물분무설비	제5조의2 물분무소화설비
제4장 경보설비	
4.1 비상경보설비	제6조 비상경보설비
4.2 자동화재탐지설비	제7조 자동화재탐지설비
4.3 비상방송설비	
4.4 긴급전화	
4.5 CCTV	
4.6 라디오재방송설비	
4.7 정보표지판	
4.8 터널진입차단설비	
4.9 영상유고감지설비	
제5장 피난대피설비 및 시설	
5.1 비상조명등	제8조 비상조명등
5.2 유도표지등	
5.3 피난대피시설	
제6장 소화활동설비	
6.1 제연설비	제9조 제연설비
6.2 무선통신보조설비	제10조 연결송수관설비
6.3 연결송수관설비	제11조 무선통신보조설비
6.4 비상콘센트설비	제12조 비상콘센트설비
제7장 비상전원설비	
7.1 무정전전원(UPS)설비	
7.2 비상발전설비	

(나) 철도터널

철도시설 안전기준에 관한 규칙(국토교통부)	철도시설 안전세부기준(국토교통부)
제4절 터널	제4절 터널
제27조 터널의 안전 일반기준	제1관 사고예방 시설물 대책
제28조 안전대책 시설물	
제29조 분기기의 배치	제18조 분기기의 배치
제30조 본선터널의 출입구	제19조 터널의 출입구
제31조 비상통신장비	제20조 비상통신장비
제32조 안전스위치	제21조 안전스위치
제33조 표지판	제22조 터널안의 표지판
	제2관 사고피해감소 시설물 대책
	제24조 터널구조물의 보호
	제25조 전기시설물의 보호
	제26조 방재를 위한 터널의 형태
	제27조 소화기
	제28조 방연문 등
제34조 제연설비	제29조 제연 · 배연 설비
제35조 배연설비	
제36조 대피통로 접속부의 안전기준	제30조 대피통로 접속부의 안전기준
	제3관 대피촉진 시설물 대책
제37조 대피로의 설치	제31조 대피로의 설치
제38조 안전손잡이	제32조 안전손잡이
제39조 대피통로	제33조 대피통로
	제34조 연직갱
	제35조 경사갱
	제36조 교차통로
제40조 비상조명등	제37조 비상조명등
	제4관 구조촉진 시설물 대책
	제38조 단전 및 접지기구 설치
	제39조 터널 출입구의 진입로
	제40조 방재구난지역
제41조 송수관설비	제41조 연결송수관 설비
	제42조 콘센트 설비

(다) 지하철터널

도시철도시설 안전기준에 관한 규칙(국토교통부)	소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 별표4(소방방재청)
제2장 선로시설 제2절 터널 제12조 터널의 일반기준 제13조 비상시 대피 제14조 탈선대책 제15조 교차통로의 설치 제16조 터널 내 소방 설비 제17조 터널 내 환기설비 제18조 터널 내 배수설비 제19조 터널 내 조명설비 제3장 전철전력설비 제2절 화재안전기준 제47조 비상조명등 제48조 소화설비	▸소화설비 1.수동식 소화기 또는 간이소화용구 2.옥내소화전설비(지하가 중 1km 이상 터널) 5.물분무소화설비(지하가 중 3km 이상 터널) ▸경보설비 1.비상경보설비(지하가 중 500m 이상 터널) 4.자동화재탐지설비(지하가 중 1km 이상 터널) ▸피난설비 5.비상조명등(지하가 중 500m 이상 터널) ▸소화활동설비 1.제연설비(지하가 중 500m 이상 터널) 2.연결송수관설비(지하가 중 1km 이상 터널) 4.비상콘센트설비(지하가 중 500m 이상 터널) 5.무선통신보조설비(지하가 중 500m 이상 터널)

√ 터널목적별 가이드라인이 별도로 제정, 운영되고 있으나, 도로 및 지하철 터널의 경우 관리주체별 개별 가이드라인 존재(상하위 체계 개선 필요)

√ 가이드라인간 용어 불일치 조항 일부 있음

3) 국내·외 가이드라인 목차 비교

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)	국내 가이드라인
▶Road Tunnel(도로 터널)		▶도로터널 방재시설 설치 및 관리지침
2.1 안전 관련 구조적 수단		
S1 비상 탈출구 S11 피난대피터널 S12 피난연결통로 S13 쉘터 S14 보행자용 비상구	4.3 안전 관련 구조적 수단 4.3.1 피난대피터널 4.3.2 피난연결통로	5.3 피난대피시설 -피난대피터널 -피난연결통로 -피난대피소
S2 구조대 긴급 접근로 S21 긴급차량용 분리 갱도 S22 차량용 피난연결통로 S23 비상 차선 S24 보행자용 직접 접근로 S25 회차 지역 S27 갱구부 긴급구조 스테이션	4.4 구조대 긴급 접근로 4.4.1 긴급 차량용 분리 갱도 4.4.2 구호 차량용 피난연결통로 4.4.3 비상주차대 4.3.3 회차 지역	 -차량용 피난연결통로 -비상주차대 -회차로
S3 인화물 배수 S31 터널 경사 S32 분리 배수시스템 S33 배수조 S34 비다공성 지표층	4.10 인화물 배수 4.10.1 터널 경사(구배)	
S4 기타		
2.2 안전설비		
E1 스모크 제어 환기 E11 수직갱 자연환기 E12 종류식 E13 횡류식 E14 환기제어센서 -Opacity,CO,NOx -풍속계 -갱구부 외부압 측정	4.6 배연환기 4.6.1 제연환기	6.1 제연설비 -수직갱 환기 -종류식 -횡류식

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)	국내 가이드라인
E2 비상구 및 구조접근로 환기		
E3 조명 E31 터널비상조명 E32 자동식별표식 E33 비상구 및 구조접근로 조명	4.5 조명 4.5.1 비상조명	5.1 비상조명등 -유도표지등
E4 정보표지판 E41 터널외부 교통표지 및 신호 E42 터널내부 교통표지 및 신호 E43 출구 보행자 표지 E44 구조 보행자 표지	4.7 정보표지판 4.7.1 터널외부 교통신호 4.7.2 터널내부 교통신호 4.7.3 비상구 표시	4.7 정보표지판 -터널입구정보표지판 -차로이용규제신호등 5.2 유도표지등
E5 통신 및 경보 시스템 E51 긴급전화 E52 알람푸쉬버튼 (수동식 화재경보) E53 설비 자동경보 E54 자동사고감지 E55 화재/스모크 감지 E56 라디오재방송설비 E57 확성기(터널내, 쉘터내)	4.2 화재감지 및 통신 4.2.4 긴급전화 4.2.1 수동식 화재감지시스템 (알람버튼) 4.2.2 자동 화재탐지 시스템 4.2.5 라디오 통신 시스템 4.2.3 확성기	 4.4 긴급전화 4.1 비상경보설비 4.1 비상경보설비 4.9 영상유고감지설비 4.2 자동화재탐지설비 4.6 라디오재방송설비 4.3 비상(확성)방송설비 6.2 무선통신보조설비
E6 교통규정-감시설비 E61 차속 및 차량밀도 감시 E63 CCTV E64 원격제어 진입차단설비 E66 갱구부 열감지기(트럭)	4.8 감시 설비 4.8.1 CCTV	 4.5 CCTV 4.8 터널진입차단설비

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)	국내 가이드라인
E7 전원공급	4.9 전원 공급 4.9.1 UPS 및 비상 발전기 4.9.2 비상 콘센트	 7.1 무정전전원(UPS)설비 6.4 비상콘센트설비 7.2 비상발전설비
E8 화재진압(진압장비) E81 화재진압 초기대응 매뉴얼(소화기, 호스릴, 기타) E82 화재진압수단 E84 고정식화재진압시스템	4.1 방재설비 4.1.1 수동식 소화기 4.1.2 옥내소화전설비 4.1.3 연결송수관설비 4.1.4 고정식 화재진압 시스템	 3.1 수동식소화기 3.2 옥내소화전설비 6.3 연결송수관설비 3.3 물분무설비
E9 기타		
2.3 구조물 및 장비 내화		
R1 화재 대응 R2 구조물 내화 R3 장비 내화	4.11 화재시 구조물 및 장비 대응 4.11.1 구조물 내화 4.11.2 장비 내화	 -환기시설 온도저항
▶Rail Tunnel(철도 터널)		**▶철도시설 안전세부기준**
2.2 안전 관련 구조적 수단		
S1 비상 탈출구 S11 대피용 서비스 터널 S12 피난연결통로(거리) S13 안전지대 S14 대피로 S15 수직출구/구조용 수직갱 S16 측면출구/대피터널		 제33조 대피통로 제31조 대피로의 설치 제34조 연직갱 제35조 경사갱
S2 구조대 긴급 접근로 S21 차량용 접근로 S22 구조대 긴급차량(열차 등)		제39조 터널 출입구의 진입로

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)	국내 가이드라인
S3 인화물 배수 S31 터널 경사 S32 트랙배수시스템		
S4 개방지역 S41 구난지역		제40조 방재구난지역
2.3 안전설비		
E1 스모크 제어 환기 E11 자연환기 E12 강제환기		제29조 제연 · 배연 설비
E2 비상구 및 구조접근로 환기 E21 비상구 및 구조접근로 환기		
E3 조명시스템 E31 터널비상조명 E32 비상구 및 구조접근로 조명		제37조 비상조명등
E4 정보표지판 E41 보행자 출구 표지 E42 기타		제22조 터널안의 표지판 -탈출구 표시 표지판
E5 통신 및 경보 시스템 E51 긴급전화 E52 알람푸쉬버튼 E53 화재/스모크 감지 E54 라디오재방송설비 E55 확성기		제20조 비상통신장비 -비상연락 유선전화기
E6 운영 및 교통관제 E61 차속 및 차량밀도 감시 E62 교통 체계 및 규정 E63 터널진입전 열차주행상태		
E7 전원공급 E71 전원공급		제42조 콘센트 설비

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)	국내 가이드라인
E8 화재진압 E81 초기조치 및 화재진압 E82 소화시스템(기계실 등)		제41조 연결송수관 설비 제27조 소화기
E9 일반적 안전 설비 E91 일반안전설비(본선 터널) E92 일반안전설비(피난연결통로)		제36조 교차통로 제18조 분기기의 배치 제21조 안전스위치 제28조 방연문 등 제32조 안전손잡이 제38조 단전 및 접지기구 설치
2.4 구조물 및 장비 내화		
R1 화재 대응 R11 화재 대응 R12 구조물 내화 요구조건 R13 장비 내화 요구조건		제24조 터널구조물의 보호 제29조 제연 · 배연 설비
		제19조 터널의 출입구 제25조 전기시설물의 보호 제26조 방재를 위한 터널의 형태 제30조 대피통로 접속부의 안전기준

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels(2007)	국내 가이드라인
▶Metro Tunnel(지하철 터널)		▶도시철도시설 안전기준에 관한 규칙, 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령(*)
3.1 안전 관련 구조적 수단		
S1 보행자용 비상구		제15조 교차통로의 설치
S2 구조대 긴급 접근로		
S3 배수		제18조 터널내 배수설비
S4 기타		제13조 비상시 대피
3.2 안전설비		
E1 스모크 제어 환기		제17조 터널내 환기설비
E3 조명		제19조 터널내 조명설비 제47조 비상조명등
E4 정보표지판(영구/가변)		제19조 터널내 조명설비 제15조 교차통로의 설치
E5 통신 및 경보 시스템		*자동화재탐지설비 *무선통신보조설비
E6 교통규정-감시설비		
E7 전원공급		*비상콘센트설비
E8 화재진압(진압장비)		제16조 터널내 소방설비
E9 기타		제12조 터널의 일반기준 제14조 탈선대책 *비상경보설비
3.3 구조물 및 장비 내화		
R1 화재 대응 R2 구조물 내화 R3 장비 내화		

√ 도로터널 가이드라인은 국내·외 비교 경우 비교적 잘 정립되어 있으나, 국내 철도 및 지하철 가이드라인의 기술체계는 확연한 차이 발생(국내 가이드라인 체계 개선 필요)

√ 도로터널 분야에서는 터널 배수 및 내화 기준 위주의 국내 가이드라인 개선 필요

√ 철도 및 지하철 분야 가이드라인은 도로터널에 비해 구체적이지 못하며, 누락 조항들에 대한 전반적인 재검토 필요

2.4.3 내용 분석

• 분석 대상 자료

- 국외자료 : Technical Report Part 2 - Fire Safety Design(FIT)의 도로, 철도 및 지하철 터널편
- 국내자료 : 현행 터널 목적별(도로, 철도 및 지하철터널) 관련 가이드라인

• 내용 분석 주안점

- FIT 자료에서 제시한 목차 기준으로 국내·외 가이드라인 내용 분석
- 국내기준 누락항목(적용 필요항목) 및 국내 기준 간 내용 상이항목 위주 분석

1) 도로터널

(1) 갱구부 긴급구조 스테이션

구 분	내 용	비 고
프랑스	터널 외부 또는 갱구부 주변(길이 12m, 폭 3m)에 긴급차량 정차, 긴급차량 회차 및 이동 가능	관련 국내 방재기준 항목 없음
영국	터널 사고발생시 터널 갱구부 주변에 경찰 및 긴급차량 정차 가능 지역	
대한민국 (국토교통부)	내용 없음	
대한민국 (소방방재청)	내용 없음	

(2) 분리 배수시스템 / 배수조

구 분	내 용	비 고
프랑스	배수구 용량은 분당 5m^3, 배수유량 100 ℓ/s, 배수시스템은 최소 총 배수용량 200m^3 적용	'터널설계기준'에 배수관련사항 있으나, 현행 국토교통부 방재기준 항목 없음
독일	약 100m^3의 배수용량 적용(화재소화용 72m^3, 탱크 유출분 약 30m^3)	
스웨덴	배수시스템 용량은 2분 동안 10m^3의 유출량 처리 가능하여야 함	
오스트리아	충분한 저장 탱크 적용(25m^3/50m^3)	
영국	대형탱크 차량을 총량 고려할 경우 터널 배수용량은 30m^3	
NFPA	연장 240m 이상 터널에 적용, 도로가 범람하지 않도록 모든 유입원(연료, 위험물 등 포함) 고려하여 충분한 용량으로 설계	
EU	연장 500m 이상 터널에서 위험물 운송이 허용될 경우 고려 의무	
대한민국 (국토교통부)	내용 없음	
대한민국 (소방방재청)	내용 없음	

(3) 비다공성 지표층

구 분	내 용	비 고
네덜란드	다공성 아스팔트 비 추천	'도로설계기준'에 포장관련사항 있으나, 현행 국토교통부 방재기준 항목 없음
영국	사고 시 다공성 아스팔트에 유출된 인화물 또는 유독물이 잔재할 가능성이 있으므로, 다공성 아스팔트는 부적합	
대한민국 (국토교통부)	내용 없음	
대한민국 (소방방재청)	내용 없음	

(4) 전원공급(비상전원)

구 분	내 용	비 고
프랑스	연장 300m 이상 터널에 적용, 최소 30분 이상 전원공급(UPS)	국내 기준 간 내용 통일 필요
일본	최소 10분 이상 전원공급 -UPS : 연장 200m 이상 터널에 적용 -비상발전설비 : 연장 500m 이상 터널에 적용	
노르웨이	Category B 이상 터널에 적용, UPS : 최소 60분	
독일	연장 400m 이상 터널에 적용, UPS : 15~60분	
영국	UPS : 최소 2시간	
NFPA	연장 240m 이상 터널에 적용	
대한민국 (국토교통부)	-UPS : 연장 200m 이상 터널에 적용, 60분 이상 비상전원 공급(20분 표준), 비상조명등 등 방재설비에 전원공급 -비상발전설비 : 연장기준등급 2등급 이상 터널에 적용, 옥내소화전 및 제연설비 등에 전원공급	
대한민국 (소방방재청)	물분무소화설비의 비상전원 40분 이상유지, 비상조명등은 비상전원으로 60분 이상 점등, 제연설비는 60분 이상유지	

(5) 고정식화재진압시스템(물분무소화설비)

구 분	내 용	비 고
호주	deluge(일제살수식)/sprinkler 시스템 설치	국내 기준 간 내용 통일 필요
오스트리아	sprinkler 시스템 설치	
일본	Class AA, Class A 터널에 적용, sprinkler 시스템 설치	
노르웨이	sprinkler 시스템 설치	
스웨덴	고정식 화재 진압시스템 설치	
미국	sprinkler 시스템 설치	
PIARC	sprinkler는 비용-효율적이지 못하며 도로터널에는 권고하지 않음. 터널 부속시설에는 적용가능	
대한민국 (국토교통부)	위험도지수기준등급 1등급 이상 터널에 적용, 1m^{2}당 6ℓ/min 방수, 단위 방수구역 25~50m, 2~3개 방수구역(75m 이상)의 방수지속시간 40분 이상	
대한민국 (소방방재청)	1m2당 6ℓ/min 방수, 단위 방수구역 25m 이상, 3개 방수구역의 방수지속시간 40분 이상	

(6) 구조물 내화

구 분	내 용	비 고
오스트리아	중간 천장은 Class F90(90분 내화)의 내화성능 보유	관련 국내 방재기준 항목 없음
프랑스	-차로 지지 구조물 또는 보행자 접근가능 지역 : Level N1 -터널의 안정성 유지에 필요한 구조물 : Level N2 -침매터널 : Level N3	
독일	-ZTV1 : 아치형 또는 원형 구조물에서 6cm의 내화 피복 요구 -ZTV2 : 사각 구조물에서는 300℃의 온도에서 보호, 철근에 대한 내화 피복 두께는 6cm	
영국	터널구조물, 덕트, 수직갱 등 화재효과 검토 필요, 150℃에서의 콘크리트 천장 박리 감소대책 적용	
노르웨이	AADT가 10,000 미만에서 화재강도는 5MW, AADT가 10,000 이상에서는 20MW로 설계	
NFPA	연장 90m 이상 터널에 적용, 라이닝 온도 300℃ 이하 유지 및 콘크리트 구조물 비폭렬(2시간 화재 기준), 콘크리트 철근 온도 250℃ 이하, 콘크리트 표면온도 380℃ 이하	
대한민국 (국토교통부)	내용 없음	
대한민국 (소방방재청)	내용 없음	

2) 철도터널

(1) 피난대피터널

구 분	내 용	비 고
독일	-종단구배 10% 미만, 단면규격 최소 2.25m×2.25m -탈출용 수직갱과 접해있을 경우 터널연장 150m 이하 적용가능 -터널연장 300m 이상 경우 차량접근 가능해야 함	관련 국내 방재기준 항목 없음
프랑스	최소 높이 2.2m	
이탈리아	-연장 2km 이하의 단굴 및 복선형태의 신규터널 : 적절한 연계수단 또는 외부로 직접 연결되는 통로 구비 -연장 2km 이상의 쌍굴 터널 : 250m 간격의 피난연결통로 필요	
영국	-장대터널 : 피난대피터널, 서비스터널, 피난연결통로 등 고려 -단터널 : 외부(갱구부 주변 등) 안전지역 고려	
대한민국	내용 없음	

(2) 안전지대

구 분	내 용	비 고
이탈리아	-단선터널 : 2km 이하의 비상통로로 접근 가능 -복선터널 : 250m 간격의 피난연결통로를 통해 접근	관련 국내 방재기준 항목 없음
스위스	-외부와 연결된 비상구, 피난대피터널(서비스터널) -피난대피소(신선공기 급기, 열차제어센터와 통신 가능)	
독일	여러 피난통로와 서로 연결, 터널 내 어느 지점에서도 500m 이내로 접근이 가능해야 함	
영국	최소 $0.4m^2$/인의 공간, $30m^3/h \cdot$ 인의 급기량 구비	
UNECE	쌍굴 단선터널 및 피난대피터널 경우 접근거리 500m 이내, 외부연결 비상구보다 피난연결통로 활용 추천	
대한민국	내용 없음	

(3) 수직 출구/구조용 수직갱

구 분	내 용	비 고
독일	본선터널과 연결, 최대높이는 60m 이내, 30m 높이 이상의 구조갱 건설시 계단과 함께 최소 1.1×2.1m 규격의 리프트 설치	연직갱 또는 수직갱 용어 통일 필요
영국	피난연결통로가 있는 쌍굴 터널에서 설치간격은 약 1km	
미국	터널과 계단실로 연결, 출구와의 거리는 381m 이내 유지	
UNECE	단굴 터널에 적용, 조명 및 통신설비 구비, 수직갱 높이가 30m 이상 경우 리프트 설치, 계단실과 리프트는 가압 또는 방연 구조	
대한민국	계단 및 안전난간 설치, 30m 높이 이상 경우 추가적 안전공간 또는 리프트 설치 가능, 계단 폭 1.2m 이상, 리프트 면적은 2.5m^2 이상, 조명 및 통신설비 구비	

(4) 구조대 긴급차량

구 분	내 용	비 고
이탈리아	-도로/철도의 양용 차량과 도로용 차량으로 터널 입구부 지역에 대기 -구조작업용 철도 차량(타입:MM380G)	관련 국내 방재기준 항목 없음
스위스	소화 및 구조 장비 장착 열차로 터널 양 끝단부에 정차	
프랑스	구조작업에 제동장치가 있는 2대의 화차 이용, 터널 입구부에 위치, 들것에 부상자들을 위치시켜 대피할 수 있도록 최소 500kg 운반용량 확보	
독일	-소방대의 일반 차량, 도로/철도 양용 차량 -부상자 운송 또는 중장비 반출입을 위한 철도용 화차	
UNECE	철도차량, 장비 및 운영규정 등에 익숙한 철도 기관사에 의해 제어되는 구조열차 권고, 소방대는 도로용 차량 활용	
대한민국	내용 없음	

(5) 트랙 배수시스템

구 분	내 용	비 고
스위스	지반 또는 지표수 오염과 같은 지역 상황을 고려하여 배수시스템 설치	'철도설계기준(노반편)'에 명시되어 있으나, 현행 국토교통부 방재기준 항목 없음
프랑스	위험물 운송을 고려하여 5km 이상 연장의 터널에 적용, 80m^3 용량의 배수조	
이탈리아	위험물 언급 없음	
독일	위험물 언급 없음	
UNECE	위험물 운반 차량 통행이 잦은 터널에서 운송과정 중 유출 위험물 및 화재진압수 배수까지 고려, 저류조 추천, 저류조 적용시 화재 또는 폭발 위험 고려	
대한민국	내용 없음	

(6) 알람 푸쉬버튼(수동식 화재 경보)

구 분	내 용	비 고
이탈리아	기동시 열차운영센터로 직접 연결 및 비상조명 가동, 열차제어센터에서는 'viva-voice' 장치를 통해 해당 위치 확인가능, 버튼 위치는 영구 조명	관련 국내 방재기준 항목 없음
독일	버튼 누름으로써 운영감시센터에 음파신호 발생하여 연결, 자동으로 해당 위치 전송	
대한민국	내용 없음	

(7) 화재/스모크 감지

구 분	내 용	비 고
이탈리아	전기 및 신호 장치를 포함, 스모크 및 열 감지기 장착하여 화재 발생 인지	관련 국내 방재기준 항목 없음
독일	비효율적인 장치로써 간주	
영국	보통, 기능저하 및 비상운영 상황에서의 안전한 운영 목적으로 신규 또는 재개통 터널에 필요한 감시 또는 감지 시스템 결정, 이를 위해 위험도 평가 수행 필요	
미국	변전소에 열 및 연기 감지기 설치, 중앙관리소에 연결	
대한민국	내용 없음	

(8) 차속 및 차량밀도 감시

구 분	내 용	비 고
스위스	터널 진입전 열차를 정지하기 위해 감지기 고려, 운영 제한사항은 없음	관련 국내 방재기준 항목 없음
독일	철도기반시설관리자는 기술적 조건 설정 및 다음사항들을 보장하기 위한 운영지침서 발행 ; 비상제동장치 작동된 열차가 가능한 신속하게 터널을 빠져나가 열차 정지 후 열차 승무원으로부터의 안내없이 감시시스템에 의한 위치결정 가능	
프랑스	운전 에러로 발생되는 충돌을 방지하기 위한 속도감시시스템	
UNECE	열차끼리의 충돌 방지를 위한 신호 시스템, 열차의 신호지침 통과 또는 제한속도 초과 방지를 위한 특정열차 감시 또는 방지시스템	
대한민국	내용 없음	

(9) 터널 진입전 열차주행상태

구 분	내 용	비 고
이탈리아	장대터널에서의 사고 방지를 위해 주행열차의 온도 감지시스템 적용, 위험상황 감지 경우 연결시스템에 의해 터널 진입전 주행열차 정지	관련 국내 방재기준 항목 없음
UNECE	터널내에서 사고 위험 감소를 위해 터널 갱구부로부터 충분한 거리에 차량결함 감지장치(차축온도검지기 등) 설치, 터널 진입전 감지장치로부터의 신호에 따라 결함 열차를 정지	
대한민국	내용 없음	

3) 지하철터널

(1) 송풍기 내화

구 분	내 용	비 고
덴마크	200℃에서 2시간	관련 국내 방재기준 항목 없음
프랑스-파리	200℃에서 2시간	
프랑스	350℃	
이탈리아	300℃에서 90분	
스페인	400℃에서 1시간	
오스트리아	250℃에서 90분	
영국	350℃에서 1시간	
NFPA	250℃에서 1시간	
대한민국	내용 없음	

2.4.4 결 론

터널방재에 관련하여 분야별 국내·외 가이드라인 비교를 토대로 국내 가이드라인들의 누락항목 및 국내 가이드라인 간 내용 상이항목에 대한 내용분석 위주의 검토를 수행하여 다음과 같이 표준화를 위한 필요사항들을 제시 하였다.

- 터널방재 가이드라인 상하위 체계 확립을 위한 필요사항
  - 이원화된 가이드라인 체계에 대한 통폐합 검토(도로터널)
  - 터널 분야별 산재된 가이드라인들의 통폐합 필요성 검토(도로, 철도, 지하철 등)
- 국내 터널방재 가이드라인의 위상 제고를 위한 필요사항
  - 가이드라인들 간 항목 용어 및 내용 통일
  - 국내 관련기술 발전 및 사회적 요구사항 등을 고려한 주기적 가이드라인 보완
  - 구체화된 가이드라인 항목 내용 제시(지하철 터널)

3. 터널 건설기술의 선진화 방안

3.1 선진화된 건설기준의 개념 정립

3.1.1 기본 개념

1)사전적 정의

- 선진화 : 문물의 발전단계나 진보의 정도가 다른 것보다 앞선 상태가 됨.
- 영어식 표현 : Modernization, Advancement, Enhancement

2)기본 개념

발주자가 요구하는 구조물의 기능, 품질, 성능 및 안전기준을 만족하면서 시공비가 낮고 공사기간이 단축되며 이용자의 만족도가 높고, 환경 친화적이면서 유지관리비를 포함한 생애주기비용이 최소화되는 목적물을 건설하기 위해 기술성과 경제성을 동시에 만족하는 최고의 가치를 추구한 설계를 이끌어내기 위한 기준

3)확장 개념

국내의 모든 상이한 발주기간과 해외의 모든 국가와의 공사에서도 동일하게 적용될 수 있는 표준화되고 세계화된 기준

3.1.2 기본 요건

1) 기능

편의성과 안전성을 확보한 인간 중심형 디자인 계획과 글로벌시대에 부응할 수 있는 창의성과 다양성을 포함하는 설계기준

2) 품질

(1)국내외 품질관리 기준에 부합하고 내구성 확보를 반영한 설계기준

(2)목표연도 동안 목적물의 속성, 가치, 유용성이 만족될 수 있는 설계기준

3) 성능

(1)목적물 및 목적물을 구성하고 있는 부품, 자재, 기계 등에 대하여 성능 측정, 시험, 평가, 관리가 가능할 수 있도록 한 설계기준

(2)목표연도 동안 목적물의 성질과 기능이 원활한 상태로 유지되고, 시설물의 보수·관리 측면에서 유지관리가 용이한 설계기준

4) 안전

(1)목표년도 동안 목적물의 안전을 보장하기 위한 설계기준

(2)사용자의 편의성과 비상시 등에 대비한 시설물 안전성을 고려한 설계기준

5) 경제성

시설물 생애주기비용(LCC)이 경제적이고 유지관리 비용이 최소화 되는 설계기준

6) 시공비

(1)목적물의 시공에 소요되는 제반 비용이 경제적이며 신공법·신기술을 적용한 장기 공용성을 확보한 설계기준

(2)설계단계별 사업비 조정원칙 부합 및 시공단계에서 설계변경이 최소화 될 수 있는 설계기준

7) 공사기간

(1)목적물의 완공을 위한 공사에 소요되는 기간을 최소화시킬 수 있는 효율적인 공정계획 수립을 위해 작업분류체계를 적용, 공기를 산출한 설계기준

(2)공사의 불확실성을 충분히 감안한 공기산출을 적용할 수 있도록 한 설계기준

(3)신기술·신공법 등을 활용한 공기단축 및 공사의 불확실성을 충분히 감안한 공기를 산출한 설계기준

8) 환경 친화성

(1)자연환경훼손과 민원발생을 최소화하면서 경제성을 갖춘 설계기준

(2)주변경관과 생태계 특성을 반영하여 잘 어울리도록 한 설계기준

(3)에너지 사용절감 및 건설폐기물 발생 최소화 등 저탄소 녹색성장을 고려한 미래형 설계기법이 반영된 설계기준

9) 최고의 가치

목적물의 성능이 지불비용에 비해 만족도가 가장 높은 상태(Best Value)가 되도록 선진국형 글로벌 스탠다드를 만족한 설계기준

3.2 터널 건설기준 선진화를 위한 추진 전략

3.2.1 표준화 및 코드화

표준화(Standardization)란 일상적이고 반복적으로 일어나는 문제를 주어진 여건하에서 최선의 상태로 해결하기 위한 일련의 활동이다(ISO Guide2). 이러한 활동을 위한 합리적인 기준이 바로 표준(Standards)이며, 표준은 합의에 의해 작성되고 인정된 기관에 의해서 승인되며, 공통적이고 반복적인 사용을 위해 제공되는 규칙, 가이드 또는 특성을

제공하는 문서로 정의되고 있다. 기술표준의 기본요소로는 조항, 규범적 요소, 정보제공 요소, 필수 요소, 항, 부속서, 주의, 경고, 그림, 표로 이루어진다.

기술표준의 기본원칙은 다음과 같다.

1)적용범위 항에 명시된 한계 내에서 안전하여야 한다.

2)일관성이 있고 정확하며 모호하지 않아야 한다.

3)기술개발의 현 상황을 충분히 고려하여야 한다.

4)혁신을 수용하고 지원할 수 있는 기본 틀을 제공하여야 한다.

5)이용 주체가 쉽게 이해할 수 있어야 한다.

기술표준은 경제성과 안전성 등을 만족하는 최소 기준으로 제시되어야 한다.

코드화란 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 시스템 분석을 통한 일원화된 분류체계에 따라 분류체계를 만들고 내용을 단순화 시켜 각 항목에 고유 코드번호를 부여하는 방식이다.

사장된 기술은 특성번호를 삭제하고 신규 기술은 새로운 특성번호 부여하는 방식이다.

3.2.2 성능 기반 설계 (Performance Based Design)

성능 기반 설계법 (Performance Based Design)이란 설계된 구조물이 요구 성능만 만족하고 있다면 어떠한 구조형식이나 구조재료, 설계수법, 공법을 써도 되는 설계 방법으로 구조물의 목적과 그에 적합한 기능을 명시하고 기능을 갖추기 위해 필요로 하는 성능을 규정하고 규정된 성능을 구조물의 공용기간 동안 확보함으로써 기능을 만족시키는 설계방법이다.

유사용어로는 성능 규정형 설계, 성능 명시형 설계, 성능 지향형 설계 등이 있다.

기존의 설계기준은 재료, 방법, 수행절찰를 기술하는 사양중심의 규정설계(Prescribed Design)였으나 최근에 해외 선진국에서는 고효율 발휘를 통한 창조적 아이디어를 수용할 수 있는 성능 기반 설계로의 전환이 이루어지고 있다.

3.2.3 세계화 및 개방화

세계화(Globalization)란 국제표준기구(ISO,CEN,BSI)등과 연계되어 기술 선진국에

서 통상적으로 적용되고 있는 공학적으로 보편타당한 기술이면서 세계 인류의 복지 증진에 기여할 수 있는 기술이어야한다.

기술 선진국 뿐만 아니라 세계 모든 국가와 통용될 수 있는 보편타당한 합리성을 가진 기술이어야 한다.

기존 기술 보호를 위한 제한적 서술 탈피하여 미래 기술의 도입을 위한 문호가 개방되고 타 분야와의 융합을 고려한 여지를 제공할 수 있는 기준이어야 한다.

또한 시대의 요구를 반영한 신기술, 신공법의 적용과 향후 적용 가능한 미래기술과 타 분야의 기술 까지도 융합할 수 있도록 개방되어야한다.

선진화된 터널 건설기준의 관리 운영시스템을 갖추고 국제 기준들과 의사소통을 통하여 정기적(3-5년)으로 제,개정/폐지 등을 하여야한다.

3.3 터널 건설기준의 표준화 및 코드화

3.3.1 도입 배경

국내 터널 건설기준은 코드화 되어 있지 않아 사용자의 편의성이 떨어지고 기준간의 연계성, 호환성이 부족하여 중복 또는 상호 상충되는 내용이 있더라도 쉽게 식별이 곤란하다.

표준화된 전산 기준정보화가 불가능하여 제,개정을 위한 이력관리가 어렵다.

새로운 기술의 도입, 낙후된 기술의 파기 등 역동적 기술변화에 대한 신속한 대응이 어렵다.

터널 선진국의 경우 모든 터널 건설기준은 고유 명칭과 식별 번호를 갖추고 표준화된 코드체계로 구성되어있다.(예 : 영국의 BS, 독일의 DIN, 유럽연합의 EN 등)

따라서 터널기술 선진국과의 원활한 기술교류, 사용자의 편의성, 관리자의 효율적 관리 등을 위해서는 터널 건설기준의 코드화 도입이 필요하다.

3.3.2 연구 추진 방법

1)국내 터널 건설기준의 구성 체계 현황 파악을 통한 문제점 분석

2)해외 터널기술 선진국의 터널 건설기준 코드체계 및 운영체계 조사 분석

3)코드화된 해외 터널 건설기준 중 적합한 기준을 벤치마킹 하여 국내 도입

4)국내 터널 설계기준과 표준시방서의 코드체계 표준화 방안 마련

5)향후 표준화된 코드체계에 따라 터널 설계기준 및 표준시방서 표준 코드집 작성안 마련

6)터널건설기준 코드화에 필요한 법적 제도 개선사항, 관리주체 및 관리 운영 체계, 기준내용 성능화 방안 등에 필요한 연구 과제 제시

3.3.3 연구 추진 전략

1)국내 터널건설기준의 코드체계 현황 및 문제점 분석

-터널설계기준

-터널 표준시방서

2)해외 터널 건설기준의 코드체계 및 활용방식에 대한 조사 분석

3)적합한 해외 코드화 사례를 롤 모델화 하여 국내 터널 건설기준의 코드화 도입 방안 설정

3.3.4 해외 터널 건설기준 표준화 현황

1)미국

(1)현황

-발주기관 : 연방도로국(FHWA), 공병단(USACE)

-학회 : 콘크리트학회(ACI), 토목학회(ASCE)

-협회 : 주도로교통공무원협회(AASHTO)

분야	발행기관	설계기준 및 표준시방기준	특징
터널	CI/ASCE건설연구소/ 미국토목학회	CI/ASCE36-01 초소형터널표준걸가이드라인	표준시방서
콘크리트	ACI미국콘크리트 학회	ACI301 구조용 콘크리트 시방서 ACI506.2 숏크리트 시방서	표준시방서

(2)코드체계

-CSI(The Construction Specification Institute : 미국건설 시방서협회)의 Master Format

2)영국

(1)현황

-영국기준(BS)

분야	발행기관	설계기준 및 표준시방기준	특징
국가표준기관	BSI	BS	설계 및 시방기준
발주기관	DFT	도로공사시방서	전문시방서
학회	BTS(영국터널학회)	터널시방서	가이드시방서

3)유럽

(1)현황

-유로코드(EN)

분야	발행기관	설계기준 및 표준시방기준	특징
EN	CEN	EN1992:EC2콘크리트 구조의 설계	설계기준

4)일본

(1)현황

-정부:국토교통성

-학회:토목학회

-협회:도로협회

분야	발행기관	설계기준 및 표준시방기준	특징
터널	국토교통성	도로터널기술기준	설계기준
	토목학회	터널표준시방서	설계 및 시방기준
	일본도로협회	쉴드터널설계시공지침	

(2)성능평가

기존의 규정설계(PD : Prescribed Design)와 성능중심설계(PBD : Performance Based Design) 비교 평가제도 확립

3.3.5 터널 건설기준 구성체계 및 작성방법의 표준화

1)건설기준 구성체계 및 작성방법 표준화시 고려사항

(1)사용자의 편의성

(2)관리 운영의 용이성

(3)창조적인 발전기술의 포용성

2)현행 터널건설기준의 구성체계 분석

(1)국토부 소관 터널설계기준과 도로공사관련 터널설계기준, 그리고 철도공사관련 터널설계기준간 위상, 패턴, 목차, 내용 등에 대한 현황조사 및 분석(1차년도 과업)

(2)국토부 소관 터널표준시방서와 도로공사 및 철도공사관련 터널건설시방서간 위상, 패턴, 목차, 내용 등에 대한 현황조사 및 분석(1차년도 과업)

(3)각 건설기준간의 상호 연계성, 중복성, 및 누락 사항 조사 분석(1차년도 과업)

3)터널 건설기준 구성체계의 표준화 방안

(1)구성체계의 표준화

-총칙 우선

-조사

-기존 체계 유지

-신기술 후순

(2)고유 코드번호 제시

-D : 터널 설계기준

-D0 : 일반

-D09 : 발파공법 설계기준

-D0 : 일반

-D09 : 발파공법

4)터널 건설기준 표준 코드집 개발

(1)제시된 터널 건설기준 표준코드체계에 따라 터널 건설기준 표준 코드집 작성

(2)터널 건설기준에 따라 절 내용 구성

5)터널 건설기준 코드집 활용 매뉴얼 작성

(1)터널 건설기준의 표준 코드별 설명, 적용범위, 제외사항 등을 매뉴얼로 작성

설계기준 코드체계 (안)

<현행 (17종)>

No.	설계기준
1	콘크리트구조 설계기준
2	강구조 설계기준
3	내진 설계기준
4	구조물기초 설계기준
5	건설공사 비탈면 설계기준
6	건축구조 설계기준
7	건축전기설비 설계기준
8	건축기계설비 설계기준
9	터널 설계기준
10	도로교 설계기준
11	도로 설계기준
12	공동구 설계기준
13	철도 설계기준
14	하천 설계기준
15	댐 설계기준
16	항만 및 어항 설계기준
17	조경 설계기준

<개정안 (10개 모듈)>

Category	Division	Title
A. 공통	A0	설계기준 총칙
	A1	구조설계의 원칙 및 적용방법
	A2	콘크리트구조
	A3	강구조
	A4	합성구조
	A8	지반 및 기초
	A9	비탈면
B. 건축	01~	건축구조
C. 교량	01~	교량
D. 터널	01~	터널
E. 도로	01~	도로
F. 철도	01~	철도
G. 수자원	01~	하천 및 댐
H. 항만	01~	항만 및 어항
I. 설비	01	기계설비
	02	전기설비
J. 조경	01~	조경

3.4 성능기반 터널 건설기준

3.4.1 개요

성능기반 설계(PBD: Performance-based Design)기준이란 목적물 및 목적물을 구성하고 있는 부품, 자재, 기계 등에 대하여 성능 측정, 시험, 평가, 관리가 가능할 수 있도록 규정한 설계기준이며 목표연도 동안 목적물의 성질과 기능이 원활한 상태로 유지되고, 시설물의 보수·관리 측면에서 유지관리가 용이한 설계기준을 의미한다.

기존의 터널 건설기준서에서 적용하고 있는 설계기준은 재료, 방법, 수행절차를 기술하는 사양중심의 규정설계(PD: Prescribed Design)기준이다. 그러나 최근에 해외 터널 선진국에서는 목적 구조물의 요구 성능(강도, 내구성 등)을 만족하는 성능 기반 설계(PBD: Performance-based Design)로의 전환을 통한 사용자 중심의 창조적인 설계를 유도하고 있다.

1) 성능기반 터널설계의 정의

(1) 성능기반 설계법 (Performance-based Design)

설계된 구조물이 요구 성능만 만족하고 있다면 어떠한 구조형식이나 구조재료, 설계기법, 공법을 써도 되는 설계 방법으로, 구조물의 목적과 그에 적합한 기능을 명시하고 기능을 갖추기 위해 필요로 하는 성능을 규정하고 규정된 성능을 구조물의 공용기간 동안 확보함으로써 기능을 만족시키는 설계방법이다.

유사용어로는 성능 규정형 설계, 성능 명시형 설계, 성능 지향형 설계 등이 있다.

(2) 규정기반 설계법 (Regulation-based Design)

구조부재의 종류, 규격 제원, 해석기법 등을 구체적으로 지정하고 그것에 기반하여 설계하는 방법으로 대부분의 현행 설계기준은 이에 해당한다.

(3) 적합 간주 규정 (Deemed-to-satisfy Regulation)

요구 성능을 만족하고 있는 것으로 보이는 [해]를 예시한 것으로 성능조사방법을 명확하게 표시할 수 없는 경우에 규정되는 구조재료나 방법 및 종래의 실적으로부터 적합하다고 간주되는 현행기준에 지정된 해석법, 강도 예측식 등을 쓴 조사방법을 나타낸다. 그 외에는 적합하다고 간주되는 규정, 적합하다고 간주되는 사양, 승인설계 등의 용어가 있으나 시방서 등에 규정되어있는 기존의 해석법 혹은 예측식도 이 안에 포함되기 때문에 사양보다도 규정쪽이 적절하므로 적합하다고 간주되는 규정을 사용한다.

(4) 신뢰성 설계법 (Reliability-based Design)

구조물이 한계상태에 도달할 가능성을 확률론적으로 조사하는 설계법으로, 신뢰성 설

계법은 구조물의 파괴확률에 대한 산정정도가 높은 순서로 Ⅲ, Ⅱ, Ⅰ 의 3레벨로 구분되어 있다.

(5) 한계상태 설계법 (Limit State Design)

조사해야 할 한계상태를 명확하게 한 설계법으로, 조사 포맷으로서 신뢰성 이론의 레벨 Ⅰ에 해당하는 부분안전계수법을 채용하는 경우가 대부분 이므로 부분안전계수법(Partial Safety Factor Design)을 한계상태설계법과 같게 쓰는 경우도 많다.

(6) 성능 평가(Evaluation property of performance)

기본 성능에 대해 평가할 성능에서 기본 성능보다 세분화 된 항목으로. [안전성]이라고 하는 기본 성능에 대해 평가한다.

(7) 성능 조사 지표 (Index for performance check)

성능 평가를 구체적으로 나타낸 물리량으로 조사에서 필요한 응답치나 한계치의 산출 대상이 되는 평가 성능 지표이다.

(8) 성능 조사 (Performance check)

응답치 S와 대응하는 한계치 R 사이에 $S \leq R$ 또는 $f(S.R) \leq 1.0$의 판정을 하는 행위를 말한다.

(9) 응답치 S (Demand, Response value)

외력에 의해 구조물에 발생하는 물리량.

(10) 한계치 R (Capacity, Limit value of performance)

응답치에 대해서 허용되는 한계의 값에서 [한계상태]의 종류에 따라 정해지는 물리량.

(11) 요구 성능 매트릭스 (Required performance matrix)

구조물에 부여하여야 할 성능 수준과 작용 외력의 수준을 매트릭스로 표시한 것.

2) 성능기반 터널설계 평가지수

(1) 변위

일반적으로 터널 내 변위는 발생 경향을 통해 잠재적 문제를 파악할 수 있는 가장 신뢰성 높은 성능 평가 지수이며 절대치와 한계변형률도 중요한 고려 요소이다. 도심지에서는 지표침하도 중요 지수가 될 수 있다.

(2) 지반의 한계 변형률

Hoek와 Marinos(2000)는 Sakurai의 접근방식을 이용하여 터널안정에 문제가 되는 변형률의 범위가 1%~2.5%임을 파악하였다. 연구결과들에 의한 일반적 추천치로써 터널 지보는 지반변형률이 1% 이하로 제한되도록 계획할 필요가 있다.

(3) 지반 거동

지반의 성능은 지반공학적 재료특성과 지보재 설치시기와 같은 많은 요소에 의존한다. 대부분의 경우에 지반의 파괴가 제어되는 조건에서는 소성영역의 발생은 응력재분배에 유리하게 작용하기도 한다. 일반적으로 설계자는 변형한계를 지정하여 공사 중 지반반응을 제어할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

(4) 라이닝 유연도(Flexibility)

라이닝에 작용하는 축력과 휨모멘트는 라이닝과 지반의 상대적 강성에 따라 변화한다. 지반과 라이닝의 탄성계수를 각각 Eg와 E라 하면 Eg/E 를 지반-지보재 탄성계수비로 정의할 수 있다. 탄성계수비에 따른 축력과 모멘트의 변화를 요약하면 다음과 같다.

(가) 탄성계수비가 0.01이하이면, 지보재는 토피하중에 의해 발생된 하중의 거의 대부분을 축력으로 지지하게 된다.

(나) 0.01이상에서는 지반-지보재 상호작용에 의해 축력의 감소가 현저하다.

(다) 터널의 내공 변위는 지반과 지보재의 특성에 의해 결정된다.

(라) 만약, 어떤 이유로 지보재의 변형이 억제된다면 지보재가 지지할 하중은 크게 증가한다.

여기서 탄성계수비가 0.01이하인 경우는 라이닝이 지반에 비해 강성이 매우 크다고 할 수 있다. 그러나, 탄성계수비가 0.01이상인 경우는 지반과 지보재가 하중을 분담하기 때문에 라이닝은 연성이라고 할 수 있다. 근본적으로 라이닝의 지내력을 효율적으로 하기 위해서는 라이닝의 두께 증가보다는 지반에 의한 지지효과를 도모하는 것이 효과적이다. 다만, 경우에 따라 과도한 변형이 유발되는 경우에는 이러한 접근방식을 피해야 한다.

(5) 라이닝 변형

연약지반 내 원형터널에 적용되는 유연한 라이닝에 대한 전형적인 한계변형비는 【표 2.47】과 같다. 이때, 터널반경은 R, 반경변화는 δR이다.

【표 2.47】 원형 연약지반 터널의 한계변형비 추천치

Soil type	δR/R
Stiff to hard clays, overconsolidation ratio	0.15~0.40%
Soft clay or silts, overconsolidation ratio	0.25~0.75%
Dense or cohesive sands, most residual soils	0.05~0.25%
Loose sands	0.10~0.30%

3)성능기반 터널 설계 항목

【표 2.48】 성능기반 터널설계 기준

항목		성능기반 터널설계기준
계획	선형	-평면 및 종단 선형 기준 -터널내 분기 기준
	단면	-최적 단면 기준
	이격	-터널 간 이격거리 기준
	피복	-최소 피복 두께 기준
지반평가	지반조사	-각종 현장/실험실 시험에 대한 지침 제시 -지반조사 보고서(GBR, Geotechnical Baseline Report) 작성 지침 제시
	암반분류	-터널 설계에 필요한 설계변수 선정에 대한 지침 제시 -암반 분류 기준
설계수명	라이닝	-설계수명 제시: 50년 및 100년 -라이닝의 내구성에 대한 설계 고려항목 제시
	설비	-설비의 수명과 교체시기 기준 -내화와 방수에 대한 상세 지침 제시
라이닝	숏크리트	-숏크리트 라이닝 시공허용편차, 지반 한계변형 제시
	콘크리트	-콘크리트 라이닝 시공허용편차 -작용 하중
해석	응력	-적합한 해석방법 선정 -터널해석 방안 상세 제시
	변위	-허용 변위
굴착	지반	-침하 등의 지반거동에 의한 영향 검토 -계측 기준
	발파	-최적 발파 기준
	지보패턴	-최적 지보패턴 기준
	지보재	-지보재 보강 기준
	여굴	-허용 여굴 관리 기준
	배수	-배수 기준
품질	균열	-허용 균열폭 기준
	누수	-허용 누수 기준
	포장	-포장 기준
	동해	-동해 방지 기준
접속부	사갱	-사갱 설치 기준
	수직갱	-수직갱 설치 기준
	갱문	-갱문 설치 기준
방재	방재	-방재기준
	비상대책	-비상주차 및 회차시설 기준
환경	환경	-진동,소음 허용 기준 -오폐수 처리 기준
안전	안전	-공사장 조명기준 -공사장 공기질 기준

3.4.2 국내 터널 건설기준의 현황

1)터널 건설기준의 종류

(1) 상위기준

설계기준(20종), 표준시방서(20종), 전문시방서(9종) 등 총 49종으로 구성

(가)터널 설계기준

터널 공사와 관련하여 설계자가 설계업무를 수행하는데 있어 시설물이나 공법에 대해 품질, 강도, 안전, 성능 등을 유지하기 위한 최저한계의 설계조건을 규정한 기준으로 건설 관련 법령, 규칙에 근거한 기준과 이에 준하는 기준을 말한다.

'터널 설계기준' 은 1975년 제정된 '터널공사 표준시방서' 와의 운영체계상 혼란을 피하고 효율적인 터널 기술의 관리를 위하여 1999년 제정되었다.

(나)터널 표준시방서

'터널 표준시방서' 는 1975년 국내에 터널공사가 빈번함에 따라 이를 관리하기 위해서 일본 시방서를 준용하여 제정하였다.

(2) 하위기준

설계기준 및 표준시방서를 구체화한 표준도, 지침, 편람, 기술지도서, 업무요령 등 360여종이 있으며 발주 기관별(철도분야, 도로분야, 지하철분야, 기타분야) 분류 체계에 따라 상위기준과 하위기준으로 분류되어 있다.

2) 국내 터널건설기준의 문제점 분석

(1) 법적 위상의 혼란

(가)현재 터널 관련 건설기준인 설계기준, 표준시방서, 전문시방서는 법적 구속력을 갖는 상위기준이고 표준도, 지침, 편람, 요령 등은 법적 구속력이 없는 하위기준으로 운영되고 있으나, 발주처나 감사원 등에서 기준 적용상 혼선을 초래하고 있어 명확한 법적 근거에 따른 위상체계를 마련할 필요가 있다.

(나)터널 관련 발주기관들이 임의적으로 하위기준을 제정하여 사용하고 있는데 일부 조항은 상위기준인 터널 설계기준과 상이하게 작성된 조항이 있어서 혼선이 야기되고 있다.

(2) 표준화 미흡

(가)국내 터널 건설기준은 표준화 되어 있지 않아 터널 관련 기준간의 연계성, 호환성이 부족하여 중복 또는 상호 상충되는 내용이 있는데도 쉽게 식별이 곤란하다.

(나)현재 국내에서 사용하고 있는 터널건설기준은 분야별로 세분화되어 개별 기준간 내용 중복 및 상이로 사용자의 불편을 초래한다.

(다)기준 적용상 문제점 및 개선안이 사용자 의견 보다는 발주자 또는 관리자 위주

로 제정 및 개정되었다.

(라)터널 건설기준은 국제표준화기구(ISO)와의 연계성이 전혀 없다.

(마)표준화된 전산 기준 정보화가 불가능하여 제.개정을 위한 이력관리가 어렵다.

(3) 체계적 운영시스템의 부재

(가)ISO, CEN, BSI, CSI와 같은 국제 표준기준들은 상설조직을 운영하여 건설기준을 사용자와의 의사소통을 통하여 정기적(3-5년)으로 제.개정/폐지 등을 하고 있으나, 우리나라의 터널건설기준은 국토부의 소관부서의 필요에 따라 비정기적으로 개정이 이루어지고 있다.

(나)기술선진국인 미국, 영국, 유럽연합, 일본 등은 터널기준에 대한 체계적인 운영체계와 표준화된 코드체계를 활용하여 터널 관련 기준을 제정하거나 개정하는 반면, 우리나라는 터널건설기준에 대한 운영체계와 코드체계가 마련되어 있지 않아 새로운 기술의 도입, 낙후된 기술의 파기 등 역동적 기술변화에 대한 신속한 대응이 어렵다.

【표 2.49】 기존 터널설계기준 현황

항목		기존 터널설계기준
계획	선형	-평면 기준 없음
	단면	
	이격	-
	피복	
지반평가	지반조사	예비조사, 본조사, 보완조사별로 주요 고려사항 제시
	암반분류	
라이닝 콘크리트	설계수명	라이닝의 설계수명과 내구성에 대한 고려 없음
	라이닝	강도기준만 제시
	해석	해석개요만 수록, 터널해석과 라이닝해석 별개
굴착	지반	
	발파	
	지보패턴	-경직된 기준 적용
	지보재	지보재의 최적화를 도모
	여굴	-기준 없음
	배수	
품질	균열	내진설계에 대해서만 품질관리 실시
	누수	-기준 없음
	포장	
	동해	
접속부	사갱	
	수직갱	
	갱문	
방재	방재	
	비상대책	
기타	환경	환경성에 대한 기준 없음
	안전	안정성 확보를 최우선

3.4.3 국내 터널건설기준의 개선 방향

1) 구성 체계

(1)기준의 중복·상충내용 최소화 및 용이한 이력관리를 위해 설계기준과 표준시방서를 표준화된 코드체계로 관리한다.

(2)코드의 구조는 재료별 분야와 공통공사 분야를 각각 상위기준화하고, 각 시설별 기준에서 인용하도록 체계화 한다.

2)운영 시스템

국제 표준 기준(ISO,CEN,BSI,CSI)들과 같이 상설조직을 운영하여 터널 건설기준을 사용자와의 의사소통을 통하여 정기적(3-5년)으로 제.개정/폐지 할 수 있는 체계적인 운영 시스템이 필요하다.

3) 기존 설계기준과 성능기반 설계기준 비교

터널의 기술발달로 인하여 더욱 효율적인 이윤창출을 위해 성능기반의 설계기준으로 기존의 터널설계기준이 바뀌고 있는 실정이다. 그 예시로 안정성에 치중되었던 터널이 사용성으로 비중이 변화되고 그에 따른 리스크 도입으로 인하여 안전하면서 실용성이 높도록 터널의 설계가 바뀌고 있으며 각종 실험을 통해서 그 현장에 적용성이 높은 터널을 설계함으로서 경제성과 안정성을 높이고 있다.

3.4.4 해외 터널공사의 성능기준 현황

1) 유럽연합의 성능 기준형 설계기준

(1) 성능기반 설계

Eurocodes의 작성은 1970년부터 시작되어 2010년까지 일련의 문서가 모두 유럽기준화(EN화)될 예정이다. 1970년대에 시작된 한계상태설계법은 이러한 과정의 근간을 이루고 있으며 이것을 이용하여 한 단계 높은 수준의 유럽 설계코드의 통일을 꾀하려는 움직임이 활발히 진행되고 있다. Eurocodes 설계코드의 목적은 하중, 재료특성, 형상치수, 설계계산법 등의 불확실성 사이에서 균형을 유지하고, 필요한 안전성 여유를 구조물 설계에 도입하는 것이다. 그러나 특히 지반설계에 있어서 코드 작성자가 의도한 안전성 여유를 구조물 설계에 도입하기 위해서는 개개 현장마다 지반 파라메타 값을 결정해야 하기 때문에 이 특정값의 결정방법이 표준화 되어야 한다. 표준화 되지 않을 경우 지반조사자나 설계자의 주관적 판단에 의해 도입되는 안전성 여유가 각각 서로 달라지기 때문이며, 이러한 이유로 특성값의 결정방법은 항상 큰 문제가 되고 있다. Eurocode 7에서는 「특성값은 한계상태의 발생에 영향을 미치는 값의 주의 깊은 특성값(cautious estimate)」이라고 정의하고 있지만 이 정의를 둘러싼 서로 다른 의견이 제기되고 있다. Eurocode 7의 설계검증형식은 최종적으로 포괄설계코드, 고유기본설계코드, 고유설계코드의 3종류의 다른 형식으로 병기되어 있다. 이것은 최종적으로 주요 국가간에 조정되지 않아 발생한 것이고 이것은 Eurocodes 전체의 체계를 흔드는 결과를 초래하고 있다. Eurocodes에서 사용되는 부분계수값은 각국이 NA(National Anmex)에서 독자적으로 정하도록 허용하고 있다. 신뢰성설계이론의 입장에서 이 값은 여러 종류의 불확실성의 밸런스를 고려하고, 실제로 설계된 구조물 조건 등도 감안하여 신뢰성해석에 의해 결정되어야 할 값이다. 그러나 Eurocode 7에 관련해서는 어떠한 나라에서도 이와 같은 조정은 실시되지 않고 있다. 이상과 같이 Eurocode 7은 많은 본질적인 문제점을 가지고 있음에도 불구하고 경제전략적인 측면으로부터 우리나라를 비롯한 세계 각국에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.

(2) 터널공사 관리

모든 터널 프로젝트에 해당되는 기본원칙 중 하나는 리스크 관리는 선택사항이 아니라 필수사항이라는 것이다. 리스크관리에서의 책임은 법규에 명시된 것과 같이 건강과 안전문제를 포함하지만 여기에 국한하지는 않는다. 법규와 지침이 존재한다고 해서 설계자가 개개의 상황에서 제 기능을 다 할 수 있는 라이닝을 설계할 책임이 줄어드는 것은

아니다. 법규가 준수되어야 함을 물론이지만, 그렇게 한다고 해서 설계자의 직업적인 의무가 면제되는 것은 아니기 때문이다. 터널의 설계자는 다른 모든 건설작업의 경우와 마찬가지로 법규(규정)에 의해 직업상의 건강과 안전 문제를 고려하도록 요구되어진다. 이러한 법규는 1992년의 European Directive에서 발원하여, 다음의 규정들이 제정됨으로써 영국 건강 및 안전 법규에 채택되었다.

- Construction (Design and Management) Regulations 1994
- Construction (Health, Safety and Welfare) Regulations 1996

직업적인 건강과 안전 문제가 설계상의 결정에 미쳐야 하는 영향의 범위와 설계과정 전반의 어느 시점에서 이러한 문제가 고려되어야 하는지는, 유럽 및 영국의 규정을 참고해야 한다. 터널공사에서의 직업상의 건강과 안전 문제에 대한 포괄적인 지침과 권장사항은 BS 6164-safety in tunneling in the construction Industry에 규정되어있다.

(3) 리스크 분석과 관리

프로젝트의 리스크 분석과 관리(RAM)는 대부분의 기술자가 그들의 프로젝트에 적용하는 상식을 체계화한 것이다. 차이점은 핵심적인 과업들이 규정의 도움을 받아 설계와 시공 과정에 통합되는 것이다. 이를 수행하기 위해 필요한 단계들을 보여주고 있다. 터널 프로젝트의 리스크 분석은 주로 질적인 것이다. 경험과 판단은 건설방식을 확인하고, 프로젝트를 정해진 시간과 예산에 따라 안전하게 완료하여 전반적인 프로젝트 목표를 달성할 수 있는 설계안을 고안하는 데 이용된다. 이 과정을 효과적으로 관리한다면 프로젝트 감독자는 사후 리스크 관리를 사용하지 않고도 전 과정에 걸친 통제가 가능할 것이다. 이러한 과정은 프로젝트에 위험을 초래할 수 있는 리스크 요소를 식별하는 데에 중점을 두어야 한다. 설계 과정에서 이것들은 개연성과 엄정성으로 평가된다. 프로젝트의 리스크에 대한 반응은 프로젝트 목표에 미칠 영향, 안전, 효율에 좌우된다. 중요한 것은 리스크들이 어떻게 제거·완화되거나 공사기간 동안 관리될 수 있었는지를 기록하는 것이다. RAM과 관련한 많은 논점들이 영국터널협회 BTS Course '터널 공사에서의 건강과 안전' 에서 다루어졌고 토목기사들은 여기에서 유용한 정보들을 찾을 수 있을 것이다. Anderson (2000)에 따르면, 리스크 관리의 수행에는 두 가지 전제 조건이 필요하다.

- 교육과 훈련, 능력과 경험에 기초한 지식
- 리스크 관리의 가치에 대한 이해를 갖춘 리더십으로부터의 동기부여

(4) 1992 European Directive

The Temporary or Mobile Construction Sites Directive (92/57/EEC)는 유럽연

합의 자금제공으로 이루어진 연구용역에 기초하여 작성되었다. 이 연구에서는 현업에서의 사고와 건강문제의 성질과 이러한 문제의 발생 원인에 대해 조사하였다. 주요한 조사결과들은 Directive의 몇몇 전문에 요약되어 있으며, 그 중 두 가지는 본서에서 다루는 주제와(내용과) 관련된 것이다. 프로젝트 준비단계에서의 불충분한 조직상 · 기술상의 옵션이나 미흡한 공사계획이 지역내의 시공현장에서 업무상 재해를 발생시킨 경우가 절반을 넘는다. 그러므로 프로젝트의 계획단계와 공사가 수행되는 동안에도 관련된 당사자들 사이의 협조를 강화할 필요가 있다.

(5) 취약점

위의 첫 번째 조항에서는 건강과 안전상의 위험에 세 가지 '취약점'을 더하였다. 즉

(가) 불충분한 기술적 옵션

(나) 불충분한 조직상의 옵션

(다) 공사전 단계의 계획 부족

따라서 공사전 계획 단계의 책임자는 기술적 옵션과 조직상의 옵션을 고려함으로써 위험을 감소시킬 수 있는 방안을 검토하는 것이 필요하다.

(6) UK Regulations of 1994

전술한 두 가지 영국 국내 법률은 Directive를 영국 내의 요구사항으로 옮긴 것이다. 각 가맹국은 Directive의 최소 요구사항 외에 필요한 사항을 각국 국내법에 부가할 자유를 가진다. (영국은 이러한 재량을 행사한 몇몇 국가들 중 하나이다.) The Construction (Design and Management) Regulations (the CDM Regulations)은 독립적으로 검토하거나 준수해야 할 사항이 아니며, 공사현장의 건강 및 안전 규정 등도 마찬가지이다. 1974년 법령(Act 1974)과 1999년의 관리법역시 관련 법률로 간주할 수 있을 것이다. Directive에서는 설계자나 설계라는 용어를 사용하거나 정의하고 있지 않지만, CDM Regulations에서는 이를 포함하고 있으며, Directive의 프로젝트 감독자는 공사 전 단계에서의 계획 감독자로 재정의 되었다. 당사자 간의 관계는 발주처와 계획 감독자 그리고 설계자간에 성립된다. 이들 당사자는 상황에 따라 하나의 조직에 속할 수도 있으며, 반드시 별개의 개인이나 법인단체(법적단체)로 구성될 필요는 없다. 설계자에게 있어서 CDM Regulations의 핵심적인 규정은 제 13조이며, 여기에서 요구하는 바는 다음과 같다. 모든 설계자는 준비하는 설계에 있어서 반드시 계상의 고려 사항 중 공사를 수행하는 자들의 건강과 안전에 대한 예측 가능한 위험들을 피해야 할 필요에 대한 적절한 관심을 포함시켜야 한다.

2)영국 터널공사 위험관리기준(Joint Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works)

영국터널협회와 영국보험회사협회에서는 터널의 설계·건설 및 기존 지하건축물의 개축을 포함한 지하건축물과 관련하여 위험의 최소화와 관리의 확보·증진을 위한 합동 실행규정을 공포하였다. 여기서는 위험을 식별하고 계약당사자들과 계약보증인들 사이에 이를 할당하며, 리스크 산정과 리스크 등록을 통하여 위험을 관리하고 통제하는 실행방법을 구체적으로 명시하고 있다.

(1) 적용범위

Code의 적용범위는 영국 내의 터널 건설을 위한 프로젝트 개발, 설계, 계약과 계약상 명시된 유지기간 동안의 터널 운영에 대한 사항 및 터널 건설이 제3자나 다른 구조물에 끼치는 영향을 포함한다.

(2) 내용

실행규정은 리스크 관리 절차의 요구사항들을 세부적으로 제시하고 모든 관련 당사자의 책임과 활동을 상세히 규정하고 있다.

① 리스크 산정	
② 리스크 등록	
③ 발주처의 역할과 책임:	적합한 기술 · 계약관리 역량 공사용지와 현장 조사 프로젝트 옵션의 평가·사정 프로젝트 개발 · 설계 조사
④ 계약 단계:	수주 계약 서류의 준비 공사의 시공자 선정 또는 자격검토 평가·산정을 위한 충분한 시간 수주 리스크 등록
⑤ 설계:	설계자의 선정 및 지명 설계자들 간의 정보 교환 설계 과정 설계 검사 시공성성 관련 이슈 설계 검증
⑥ 시공 단계:	공사 전 활동 리스크 분석절차 건설 인력과 조직 시공성 공사방법과 공사 장비
⑦ 관리 시스템 모니터링 변화관리	

【그림 2.3】 리스크 관리

3) 설계자의 전략적 실천 사항들

설계자는 설계과정 전반에 걸쳐 예측 가능한 건강, 안전상의 위험을 검토하고 제거할 책임이 있다. 이것은 설계과정이 전적으로 건강과 안전에 대한 고려만으로 진행되는 것을 의미하지는 않으며, 검토해야 할 리스크 역시 설계자가 예측하는 것이 가능하다고 인정할 만한 것에 한정된다. 설계자는 자신의 설계에 따른 가능한 공사방법과 예상 되는 다양한 공사과정에 연계된 위험 및 위험요소들에 대해 명확히 이해하고 있을 것으로 기대된다.

(1) 위험의 회피

리스크 관리의 첫 번째 단계는 가능하다면 위험을 피하는 것이다. 이것은 구조화된 리스크 요소 및 리스크 확인 과정을 요구하며 첫번째 목표는 설계옵션을 이행하여 리스크 요소를 제거하는 것이다. 만약 리스크 요소에, 따라서 리스크가 남아있다면, 잔존 리스크는 반드시 통제되거나 축소되어야 한다. 궁극적인 목표는 공사와 관계되며 잔존 리스크에 노출되는 모든 사람을 보호할 수 있는 설계를 개발하는 것이며, 이것은 예를 들어, 공사인원에 대한 어느 정도의 보호를 제공하는 리스크 통제 수단 같은 것과는 대비되는 것이다.

(2) 정보의 제공

설계자에게는 프로젝트에서 건강 및 안전에 관계된 측면, 시공 단계에서 공사를 수행하는 자들의 건강과 안전에 영향을 줄 수 있는 구조물, 자재 등에 관한 충분한 정보를 제공할 중요한 법적 의무가 있다. 이러한 정보는 공사를 담당할 책임자들이 이에 대해 충분히 주의를 기울이고, 안전한 공사 시스템을 고안 · 적용할 수 있도록 충분한 시간적 여유를 두고 그들에게 전달되어야 한다.

(3) 기록

설계자들이 이러한 문제에 대해 기록을 유지해야 할 공식적인 의무는 없지만, 후에 있을지도 모르는 조사를 감안하여 공식적인 사무/설계 시스템의 일부로 그렇게 하는 편이 합리적일 것이다. 집행기관은 언제든 설계자가 법적 의무를 다하고 있는지 감사를 시행할 직권을 가진다.

설계과정이 끝나고 주요한 기술상의 결정들이 이루어진 후에 리스크 사정을 행하려 한다면, 입법취지에 비추어 만족스러울 수 없음은 물론이고, 이러한 피상적인 접근으로는 집행기관의 검사에서 좋은 인상을 줄 수도 없을 것이다. 법규는 설계자들에게 ‘도전’할 것을 요구하고 있다. 이는 아마도 기존의 일반적인 관행에 대한 도전을 의미할 것이

며, 타당한 경우에는 새로운 접근법과 신기술, 창의성을 이용하여 리스크와 이로 인한 사고, 건강상의 문제를 감소시키거나 제거할 방법을 모색하도록 권하고 있다.

4) 유럽의 성능 기준형 설계분석

성능기반 설계기준 분석을 위해 현재 설계기준으로 운영되고 있는 최신의 설계기준과 Specification을 수집 분석하였다. 그 주요 검토 대상 기준은 다음과 같다.

- Model specification for tunnelling, ICE/BTS,1997
- Tunnel lining design guide, ICE/BTS, 2004
- Guidelines for tunnel lining design, ASCE, 1984

(1) 주요 성능 항목

각 성능기준을 위한 핵심관리 목표는 설계수명과 내구년의 설정이며, 이에 대하여

- 운영 중 성능 요구조건
- 사용성 성능 요구조건
- 환경성 요구조건의 분야로 성능요건을 다루고 있다.

(2) 분야별 성능 요구조건 및 평가지표

운영, 사용성, 환경성 성능요구조건 각각에 대하여 검토된 평가지표는 다음 표와 같다.

【표 2.50】 평가지표

성능분류		평가지표	비 고
운영 성능	라이닝 기능	접근성, 외부하중, 내부하중	
	이용도	신뢰성, 이용성, 보전성(시스템)	
	위험요소	리스크관리와 연계	추가연구요구
사용 성능	내구성	온도, 습도, 화학물질, 사용수	
	자재	내구도, 부식성	
	내화성	재료, 시험규정	
	사용기한	60~150년	
환경 성능	유지관리	유지관리비 적정화	
	내부환경	지하수, 가스, 자재,	
	외부환경	지하수오염, 소음, 진동	

5) 해외의 설계단계 평가

(1) 해외의 신뢰성 설계이론

1970년대는 신뢰성설계이론에 대한 활발한 연구가 진행된 시기이었다. Lumb(1974)의 확률과정을 이용한 선견적 모델화, Matsuo, Asaoka(1976)에 의한 연약지반상 성토에 관한 완성도 높은 신뢰성 설계이론, Vanmarcke(1977)에 의한 이동평균 확률장으로서의 지반의 기술 등이 대표적인 연구 성과라 할 수 있다. 그러나 1970년대의 연구 성과에 비하여 이후는 그다지 진전되지 않았다. 또한 위에서 언급한 연구성과도 한정된 경우를 제외하고는 설계업무나 설계코드의 개발로 진전되지 않아, 금후 연구의 진전이 필요하다고 생각된다.

(가) 유럽의 한계상태설계법

Eurocodes는 1960년대 유럽 통일의 토목·건축 구조물의 구조설계 코드로 한계상태설계법을 기본개념으로 강·콘크리트·합성·목재·알루미늄을 재료로 구조물의 설계에 사용하는 것을 의도로 제안되었다. 이 중 지반설계에 관한 것은 Eurocodes 7로 제 1부「지반설계 : 일반원칙」, 제 2부「지반조사와 시험」의 2개의 문서로 구성되어 있다. Eurocodes의 작성은 1970년부터 시작되어 2010년까지 일련의 문서가 모두 유럽기준화(EN화)되었다. 1970년대에 시작된 한계상태설계법은 이러한 과정의 근간을 이루고 있으며 이것을 이용하여 한 단계 높은 수준의 유럽 설계코드의 통일을 꾀하였다.

(나) 미국의 하중저항계수법

유럽의 Eurocodes와는 대조적으로 미국의 설계코드의 관심은 형식적인 통일성이 아닌 실질적인 설계법의 개량을 가장 중요한 목적으로 하고 있다. AASHTO의 도로교시방서의 최근의 하중저항계수법의 변화는 다음과 같다. AASHTO의 도로교시방서에 하중저항계수설계(LRFD)법의 도입이 결정된 것은 1987년이며, 1994년에 기초구조물의 설계를 포함한 LRFD판의 시방서가 출판되었다. 그러나 각 설계법의 불확실성 평가가 모호하고, 계수의 결정방법에 대하여 불명확한 점 등 많은 문제점을 내포하고 있었다. 그 후 데이터베이스에 근거를 둔 합리적 부분계수의 결정을 신뢰성이론에 의해 실제의 말뚝시공의 실정을 고려한 연구결과가 Paikowsky(2002)에 의해 발표되었다. 이 연구의 특징은 PT/LT 2000으로 불리우는 데이터베이스는 말뚝 수 389개, 현장 수 210(대부분이 미국 동부지역)의 데이터를 포함하고 있고, 이것은 모두 항타시의 동적관측데이터와 정적재하시험 결과를 포함하고 있다. 이 연구는 정적재하시험에 의해 추정된 극한지지력이 항타공식 및 동적관측에 따라 여러 종류의 지지력추정법과 비교하여 각각의 정밀도를 상세히

검토하고 있다. 이 결과에 의해 각각의 조건에 따라 하중과 저항의 양자의 불확실성을 고려한 하중·저항계수가 신뢰성해석(FORM)에 의해 산정되고 있음을 제안하고 있다.

(2) 해외의 설계단계 기준

모든 터널 계획단계에 있어 계약 목적의 기준 지반 조건이 포함된 GBR(Geotechnical Baseline Report)을 참고하여야 하는 이론적인 근거를 고려한다. GBR에는 GFR과 GIR의 내용들이 포함되지만, GBR은 설계자보다는 주로 계약에 필요한 것이라는 측면에서 크게 다르다. 당초 기대한 지반조건과 실제 지반조건이 상당히 다른 경우 추가적인 비용 지출이 이루어질 수 있다는 터널 업계의 관점에서 기준 지반 조건의 정의는 터널 계약에 있어 매우 중요하다. 계약시에 발주자, 시공자 및 설계자들간에 합의된 조건들에 대한 정의가 부족하였기 때문에, 역사적으로 예측하지 못한 지반조건이라는 시공사의 주장들을 정확하게 정량화하는 것은 매우 힘들다는 것이 증명되어 왔다. GBR은 이러한 문제를 설명할 수 있는 논리적인 도구이다. 계약 상태에서 GBR의 개념은 전혀 새로운 것이 아니다. 오랜 시간 동안 GBR은 미국에서 일반적인 관행이었고 20년 이상 동안 필요성을 역설해 온 영국에서도 점차 일반적인 과정이 되어가고 있다 (Essex, 1997). 향후의 모든 영국 터널 설계시에 GBR을 준비할 것을 강하게 추천한다. 계약 유형에 상관없이 GBR은 계약서의 일부분을 차지하여야 한다. 그래야만 터널 공사와 관련된 모든 관련자들이 GBR을 쉽게 그리고 공개적으로 활용할 수 있다. GBR을 사용한 예로는 Heathrow Airport Cargo Transfer Tunnel에서 발생 확률이 낮은 심각한 리스크를 시공자의 책임으로부터 제외하였던 사례를 들 수 있다. 이것은 지보의 필요성과 기술된 지반 품질과 관련된 비용 지출에 대해 구역(zoning)을 설정하는 근거로서 사용되어 왔다. 모든 사실적 정보와 이와 관련된 해석적 정보들은 설계와 시공에 있어 가치가 높은 프로젝트 자원으로 고려되어야 한다. 따라서 기준 조건에 대한 근거를 제공하지 않는다면 어떠한 보장 없이 GIR을 시공자가 쉽게 사용할 수 있어야 한다. 리스크를 최소화하고 관리하는데 있어 부지조사 및 지반조사의 역할과 정확하게 입찰 서류를 작성하는 데 있어 조사결과 정보의 활용에 대해서는 BTS와 ABI의 Joint Code of Practice로 설명되어 있다. GBR의 주된 목적은 계약에 대한 기준으로서 터널 시공에 앞서 기대되는 지반공학적 조건들을 명확하게 기술하는 것이다. 시공에 대해 채택되어야 할 계약 체제는 어떤 리스크에 대한 발주자의 접근방법과 허용 정도를 반영한다. 일반적으로 기준과 일치하거나 덜 불리한 지반조건과 관련된 리스크들은 시공자의 책임이며, 기준보다 더 불리한 지반조건으로부터 야기된 리스크들은 발주자의 책임이 된다. Essex(1997)는 이러한 리스크 할당(risk allocation) 문제를 상세

히 설명하였다. 발주자가 터널의 상세설계를 수행할 컨설팅 기술자를 임명하는 환경에서는, 터널 라이닝을 설계하는데 있어 활용될 지반공학적 설계변수들과 시공조건들을 정의하기 위해 GBR을 활용하는 것이 적절하다. 하지만 이는 필요조건은 아니다. 컨설팅 기술자는 단지 개략 설계만을 수행하고 터널 시공뿐만 아니라 상세 설계를 수행할 시공자를 발주자가 임명하는 경우에서, GBR은 시공자의 설계자에 의해 작성된 것이기 때문에 지반공학적 설계변수들을 정의하지는 않는다.

(3) 해외의 성능기반설계 분석

(가) 계획

설계 과정의 시작과 함께 최초의 평가계획이 마련된다. 이것은 변경이 가능하며, 설계과정이 진행되는 동안 수정이 가능하다. 모든 변경사항을 기록하고, 변경이 가해진 이유에 대한 설명을 포함시키도록 한다. 평가안을 작성할 때는 발주처의 구체적인 요구사항들을 취하여 터널이 그러한 요구에 부합하여 설계될 수 있게 한다. 이러한 요구사항들의 예는 다음과 같이 설정하고 있다.

- 직경
- 위치
- 설계 연한 사용기한
- 용도/용적
- 방수

설계단계에서는 요구사항을 빠트리거나 요구사항과 관계된 오류 때문에 수정하지 않고 발주처의 요구를 충족시키도록 하는 일을 중요하게 관리하고 있다. 발주처의 요구를 확인한 후에는, 디자인에 참여하는 관계자들과, 그들의 역할, 책임과 의무를 명확히 한다. 이것은 설계 사무소/회사의 내부 관계자들과 설계 과정에 정보를 제공하는 외부 단체들 양쪽을 포함하는 경우가 많다. 이러한 관계자들의 예는 대략 다음과 같이 설정하고 있다.

- 지반공학 기술자
- 선형설계자
- 내부 설비 설계자
- 고객 대리인
- 시공자
- 제조업자
- 프로젝트 관리자

– 토목공사 관리자

– 설계자

이어서 설계의 준거가 되어야 할 공식적인 성능들을 서류화하고 있다. 이러한 표준들은 다양한 코드들, 영국 및 유럽 표준들, 내부 설계 표준들을 포함하며, 발주처 자신의 설계 표준을 포함하기도 한다. 이 표준들은 설계에 크게 영향을 줄 뿐 아니라 터널의 설계, 제작, 시공, 운영의 모든 측면과 단계들에 결부되므로 건설과 운영기간 동안 관계된 모든 당사자들에게 일관성 있고 조정된 길잡이를 제공하게 된다.

(나) 설계 진행과정

설계단계에서는 일반적으로 터널설계와 관련되는 구체적인 성능고려사항들을 검토하고 판단한다. 그러한 고려사항들의 예는 다음과 같이 설정하고 있다.

– 지반 상태

– 지반의 특성

– 지하수 수위

– 지하수량

– 추가 하중

– 내부 하중 또는 응력

– 공사 하중

– 지반공학적 공법으로 생기는 하중

– 운용 및 수송에서 유발된 하중

– 최대 세그먼트 구획(부품, 단편) 무게

– 개스킷 설비(공급)

– 자재

– 세그먼트 또는 현장 공법

이상의 설계목록은 설계에 포함된 고려사항들을 예시한 것이고, 모든 사항들을 빠짐없이 망라하고 있는 것은 아니다. 처음에는 이런 정보들이 설계의 검토 · 확인을 하는 사람들이 참고하지만, 이어지는 단계들에서는 제작자, 시공자, 터널구조물의 사용자 모두가 설계성능의 내용을 참조할 수 있어야 한다. 설계 과정에서는 부가적인 상황이나 정보가 발생하기도 하므로 설계의 세부사항에 대한 변경절차를 구정하고 있다. 이러한 변경은 그로써 예상되는 결과와 변경이 행해진 이유를 포함하여 기록할 경우 허용하고 있다.

(다) 설계 산출물

설계의 산출물들은 기본적으로 수치, 도면, 검증 증명서를 포함한 시방서들이다. 설계 결과물들은 생산자나 시공자에게 제공된다. 공사시행은 승인된 서류에 따라 추진되며, 성능 인증되지 않은 내용의 복제는 허용하지 않고 있다. 기본 산출정보들을 문서화하고 성능이 인증된 산출문서를 '최종 설계 보고서'로 제공하여 설계의 수령인에게 라이닝 제작의 지침이 될 수 있도록 하는 것이 좋을 것이다.

3.4.5 터널 내부 라이닝의 성능기반 표준화 작성지침(예)

1) 개요

본 지침서는 지하에 건설되는 모든 종류의 굴착 터널과 수직갱에 적용할 터널 라이닝의 설계를 다루고 있다. 터널 라이닝 설계에서는 라이닝과 지반의 상호작용, 휨과 관련된 상대적으로 강한 압축력, 콘크리트가 완전히 양생되기 전에 하중이 가해지는 문제 등 전통적인 설계를 적용하기에는 부적합한 다양한 문제들이 존재해 왔기 때문에 터널 라이닝 설계의 지침이 되는 참고 자료의 필요성은 수년 전부터 제기되어 왔다. 지금까지 설계자들은 유사한 상황에서 터널을 건설했던 실제적인 경험에 기초하거나 혹은 수학적, 물리적인 지식을 바탕으로 설계자들 스스로 또는 기존 논문에 제시된 연구 자료에 기초하여 다양한 접근법을 사용해 왔으며, 터널공사에 그대로 적용하기 어렵거나 부적합한 현행의 표준이나 규정들은 이렇게 얻은 지식과 비교하여 수정되어지곤 했다. 터널 라이닝 구조를 설계하고 시공하는 토목기술자는 이 지침서에서 발췌한 자료가 개개의 프로젝트에 적합하게 이용되고 프로젝트의 개별적인 상황에 따라 조정되도록 할 책임이 있다.

2) 성능기반설계 요구조건

(1) 일반사항

터널에서 라이닝의 용도는 다음 두 가지로 분류될 수 있다.

(가) 구조적인 용도

터널굴착에 의한 하중을 구조적으로 지탱함으로써 운영 가능한 단면을 제공·유지한다. 필요한 경우에는 지하수 흐름에 대해 구조적으로 저항하기도 한다.

(나) 운영상의 용도

터널의 기능에 적합한 공간과 환경을 제공한다.

【표 2.51】 터널 라이닝의 성능 설계조건

항목	내용
라이닝 설계조건	① 재앙적 파괴를 초래할 수 있는 내재된 구조적 결함이 없어야 한다. ② 구조물이 과도한 응력집중을 받지 않도록 변형성을 갖는다. ③ 설계수명 동안 하중을 지지할 수 있는 재료강도를 갖는다. ④ 시간의존거동이나 장기간에 거쳐 예상되는 하중에는 충분한 지내력을 가져야 한다. ⑤ 설계수명동안 내구성을 갖는다. ⑥ 지하수 유입을 통제, 내부압력이 작용하는 터널은 유출되지 않도록 한다. ⑦ 시공 중에 라이닝이 손상되지 않도록 한다.
설계과정 포함요소	① 굴착과 지보과정에 따른 지반거동과 지반강도변화의 평가 ② 최악의 하중조건에 대한 변형과 변형률 평가 ③ 파괴를 방지할 수 있도록 적절한 하중경로를 확보하기 위한 라이닝 형상과 시공단계의 평가 ④ 각 하중조건에 대한 적절한 안전율 확보

라이닝 모델과 거동패턴은 매우 복잡하기 때문에 해석결과의 분석은 과업에 대한 중요도를 고려하여야 하며 이것은 위험관리절차의 일부이기도 하다. 설계자는 사전 또는 건설중에 위험을 통제할 수 있는 대책을 결정하여야 한다. 일반적으로 이러한 대책은 공사중 지반과 라이닝 및 인접 구조물(필요시)의 성능을 측정할 수 있는 계측기 설치방안을 포함한다. 만약 시공단계에서 지반 및 라이닝 분석이 포함되는 경우에 발주처는 설계자에게 현장의 다음 사항들을 확인하도록 고지해야 한다.

(가) 시공의 설계의도 부합여부

(나) 시공자에 의한 변경이 설계가정과 기준에 부합한지 여부

(다) 예상치 않은 상황이 한계상태에 이르기 전에 처리될 수 있는 지 여부

공공보건 및 안전이 토목구조물의 성능에 의존하는 철도 및 도로터널에의 경우에는 운영 중에도 장기계측이 필요할 수도 있다.

(2) 운영 중 성능 요구조건

터널 라이닝의 절대적인 요구조건은 구조물의 사용기한동안 구조적 안정성을 유지하고, 터널 이용에 제한을 가하지 않으면서 지하수 유입을 억제하는 것이다.

(가) 접 근 성

초기에 접근성 요구조건의 산정이 필요하며, 이로 인한 터널 운영의 제약에 대한 평가

가 포함되어야 한다.

(나) 외부하중

지반, 구조물, 기초 등에 의한 하중이나 지진 등의 우발적인 하중 등 외부하중과 지하수 흐름이 고려되어야만 할 것이며, 준설 작업에 의한 장기적인 하중의 경감까지도 고려해야 할 것이다.

(다) 내부하중

내부 하중은 초기부터 검토하여야만 한다. 그리고 내부의 압축된 공기로 인한 폭발이나 일시적인 시공하중 등 우발적인 하중 역시 고려할 필요가 있다. 저수터널이나 송수터널의 내부하중은 라이닝의 하중 변화에 중대한 영향을 미치며, 내·외부적 방수의 상세에도 영향을 주기 때문에 특히 상세히 산정되어야만 한다.

(3) 이용도

시스템의 신뢰성, 이용성, 보전성을 산정하는 것은 운영자에게 라이닝의 문제 해결을 위한 별도의 작업을 필요로 하지 않고 사용기한동안 요구되는 기능을 다할 것이라는 점을 확인시키기 위해 필요하다.

(4) 위험요소

위험요소는 공사나 운영에 의해 공사인력이나 사용자가 예상치 못한 위험에 처하지 않도록 하기 위해 확인되어야만 한다. 따라서 리스크 분석관리 조사는 설계과정의 필수적인 부분이다.

4) 사용성 성능 요구조건

(1) 내구성

터널 라이닝의 외부면은 항상 접근이 불가능하나, 대개의 경우 상대적으로 공기접촉이 적다. 이에 비해 내부면에는 적지 않은 변형이 일어나는데 그 요인은 다음과 같다.

(가) 온도(특히 갱구에 가까운 부분)

(나) 습도

(다) 화학물질(제빙용 염화칼슘)

터널내부와 접합부는 내구성의 문제가 발생하기 쉬우며 다음과 같은 영향요인에 대한 적절한 관심을 필요로 한다.

(가) 물

(나) 침출, 유출, 하수 등으로 인해 지하수에 포함된 화학물질

지하수에 포함된 화학물질의 작용, 활발한 지하수활동에 의한 호기성 상태의 유입, 지하로의 변화 역시 고려해야 한다.

(가) 입구의 결빙과 해빙

(나) 터널내의 잠재된 화재 위험

(2) 자재

터널 라이닝의 자재 선택은 위에서 서술한 것들과 함께 외부적, 내부적인 환경 조건들이 영향을 주게 될 것이다. 터널시공이 외부 환경에 미치는 영향은 특히 시공 단계에서 중요하다.

(가) 내구도

철근콘크리트와 연성 강재의 사용이 증가함에 따라 상세한 검토가 필요하게 되었다.

(나) 철근의 보호

철근의 산화로 인해 초기의 내구성 문제를 유발할 수 있다. 부식이 심한 철도터널은 철근에 피복두께를 늘이거나 철근이 없는 고성능콘크리트나 섬유보강 등과 같은 대안들을 고려하여야 한다.

(다) 부식방지

장기간의 보존을 위한 피복타입과 수리를 위한 자재의 검토 역시 필요하다.

(3) 내화성

라이닝의 내화성은 중대한 문제이며, 도로나 철로터널에서는 특히 그렇다. 여기에는 소유자/운영자와 설계자 양쪽의 고려가 필요하다. 즉, 터널 라이닝을 내화구조로 만들거나, 적어도 내화성 시험을 수행해야 한다. 마찬가지로 플라스틱이나 역청과 같은 특정 물질이 가지는 잠재적인 독성이나 낮은 인화점 등의 이유에서 이러한 물질을 포함시키거나 사용하는 것을 제한할 필요가 있을 것이다.

(4) 사용기한

많은 터널 운영자들은 터널 라이닝에 대해 정통하고 있으며, 그들 자신의 최소 요구연한을 가지고 있다. 이러한 요구연한들은 다양한 형태를 띄고 있으며, 일반적인 사용기한은 60~150년이지만 증가하는 사회기반시설 민영화에 따라 사용기한은 점점 길어지고 있다. 근래 몇몇 발주처는 명확한 사용기한을 가지고 있다.

(5) 설비투자와 유지관리

설비투자와 계획된 유지관리 체계의 비용 사이에서 수지계산이 이루어질 것이다. 채택된 방식은 반드시 설계단계의 초기에 소유자/운영자와 충분히 논의되어야 하며, 설계 단계에서 어느 정도의 범위까지 전체 금액에 대한 합의가 이루어져야 할 것이다.

5) 환경성 성능 요구조건

터널 라이닝의 설계에서는 터널의 내 · 외부적 환경이 고려되어야 한다.

(1) 내부 환경

(가) 지하수와 가스

지하수의 유입은 터널의 습도에 영향을 미칠 수 있으며 철도터널에 안개가 끼게 하거나 환기량의 증가, 라이닝이나 다른 터널 구성 부분에서의 수증기 응결현상 등의 결과로 나타난다. 배수구로의 지하수 유입은 배수처리 비용을 증가시킨다. 가스에 대한 투과성은 독성이나 인화성이 있는 가스가 터널에 차게 되는 경우 잠재적으로 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 마찬가지로 관리 인력에 의해 적절한 터널 출입 절차가 이행되고 준수되어지지 않는 경우에 발생하는 산소 결핍 역시 치명적일 수 있다.

(나) 자재

터널 내 화학물질의 작용은 터널의 내구성에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 배수시설의 황화수소는 콘크리트 라이닝의 수명을 크게 단축할 수 있으므로 계획 과정에서 면밀한 검토가 필요하다.

(2) 외부 환경

외부환경에 대한 터널건설의 영향은 시공단계에서 특히 중요하다.

(가) 지하수 오염

화학물질들, 특히 불연속면을 메우기 위한 충진재, 모르타르 그라우팅이나 차수재, 록볼트에 함유된 것들은 지하수를 오염시킬 수 있다. 함유된 독성에 대해서는 다양한 법규에서 규정하고 있다.

(나) 소음과 진동

소음과 진동은 지반을 통해 원거리까지 미칠 수 있으며 그 효과는 라이닝을 포함해, 지층, 지하수, 터널 내의 진원 등 다양한 변수에 좌우된다. 도시환경에서의 철도터널은 특히 소음과 진동문제를 유발하기 쉬우며, 이러한 문제들이 터널의 규모나 라이닝 종류에 영향을 미칠 것인지를 결정하기 위해서는 초기단계에서의 검토가 필요하다.

6) 설계수명과 내구성

(1) 정의

내구성이 확보된 라이닝이란 라이닝의 기대 서비스 수명 동안 작업 환경에서 만족할 만한 성능을 발휘하는 라이닝을 의미한다.

(2) 설계수명

본 지침은 50년 및 100년의 설계 수명을 만족할 수 있는 다양한 배합조건과 철근 피복두께를 추천하고 있다. 일반적으로 이러한 라이닝 시스템 요소들은 설계 수명의 관점에서 과다하다고 고려된다. 설계수명과 관련하여 고려될 필요가 있는 다른 논점에는 구조물의 방수성과 화재-수명 안전성 등이 포함된다.

(3) 터널 용도와 관련된 내구성의 고려

라이닝은 다양하고 많은 위해 환경에 노출될 수 있다. 내구성과 관련된 논점들은 부지 위치, 즉 지질학적 환경뿐만 아니라 터널/수직구의 용도에 따라서도 달라진다. 내구성과 관련된 요구사항들을 만족하기 필요한 재료 및 설계에 대한 표준은 서로 상이하거나 모순될 수 있다. 이러한 경우에는 적용 가능한 실제적인 기술에 근거하여 최상의 대안을 제시할 수 있는 타협안이 필요하다.

【표 2.52】 터널 라이닝의 내구성에 영향을 미치는 주요 인자

내부적인 고려사항 (일반적인 용도)	내구성에 대한 주요 영향
도로/철도	염화물 (제빙용 염류)
해수 유출	염화물 (해수), 마모
불결한 하수도	산, 황산염
배수용 관거	마모
상수도	방수성
케이블	방수성
입출입구	동결/융해, 중성화
내적인 고려사항 (비상 상황)	
도로/철도, 케이블	화재, 폐액 등의 유출, 화재
외적인 고려사항	
천연 토사	
균열 점토	황산염
모래/자갈	다른 출처로부터의 오염원
재개발 단지 (산업 폐기물)	다양한 오염원, 황산염, 산

(4) 라이닝 종류와 관련된 내구성의 고려

(가) 철재/주철 라이닝

보호처리가 안된 강재는 온도, 반응성 이온(소금과 산)이 포함된 지하수의 존재, 산소의 포함 정도 등에 좌우되는 속도로 부식이 이루어진다. 일반적으로 부식 속도는 약 0.1mm/year에 달할 수도 있다. 100년 이상 동안 회색 주철 세그먼트가 터널 라이닝으로 사용되어 왔으나, 심각한 부식이 발생한 증거는 많지 않다. 왜냐하면 이러한 종류의 철에 포함된 탄소 박편은 부식 산물과 결합되기 때문에 지하수와 산소가 금속에 도달하는 것을 방지하게 된다. 이로 인해 부식이 억제되는 것이다. 그러나 SGI 라이닝의 강도 용량이 더 크기 때문에 현대식 터널에서 이러한 재료를 좀처럼 찾아보기 힘들다. SGI에는 박편보다는 단괴형태의 자유 탄소 성분이 포함되어 있다. 이것은 회색 주철에서 발견된 자기-부식 억제 기능을 감소시킨다는 일부 의견이 있긴 하지만 특정 조사결과 반드시 그렇진 않은 것으로 밝혀졌다.

(나) 콘크리트 라이닝

라이닝의 상세 설계, 콘크리트의 생산과 시공, 적용된 양생 시간과 양생 후 노출 기간 등의 인자들이 라이닝의 내구성에 모두 영향을 끼친다. 더욱이 콘크리트는 본래부터 가변적인 재료이다. 내구성과 관련된 요구 성능을 규정하고 이를 만족하도록 설계하기 위하여 라이닝 재료 자체의 거동에 대한 변동성뿐만 아니라 유해 성분에 대한 노출 정도에 대해 수많은 가정을 해야 한다. 일반적으로 콘크리트의 내구성에 영향을 끼치며 터널 라이닝의 설계에서 고려해야 할 인자들에는 다음과 같은 것들이 포함된다.

① 운용 환경
② 콘크리트의 형태와 용적
③ 철근에 대한 피복 두께
④ 시멘트의 종류
⑤ 골재의 종류
⑥ 혼화재료의 종류와 사용량
⑦ 시멘트 사용량과 물/시멘트비
⑧ 작업자의 기술, 예를 들어 다짐, 마무리, 양생 등
⑨ 최종 콘크리트의 투수성, 공극 및 확산성

7) 내구성 설계와 규정

터널 주변의 내·외부 환경에 따라 모든 터널 라이닝에서 상당 수준의 부식과 열화가 발생한다는 것을 인식하여야 한다. 또한 터널 라이닝은 화재에 의해서도 영향을 받을 수 있다.

(1) 금속 라이닝

때때로 강철로 세그먼트를 제작하기도 하며, 이때 적절한 보호 시스템을 적용한다. 강판을 압착하여 제작된 라이너 플레이트는 일반적으로 임시 지보재로서 적용되기 때문에, 현장 타설 콘크리트 라이닝을 영구 라이닝으로 시공한다. 라이너 플레이트에 대해 일반적으로 방식 처리를 하지 않지만, 라이닝 시스템의 구조체로서 적용되는 경우에는 역시 적절한 보호 시스템을 적용하여야 한다. 강철 단면은 종종 개구부에 대한 뼈대 또는 소규모 구조체를 형성하기 위하여 사용된다. 이러한 경우, 적절한 피복 두께와 균열발생 방지 철근이 포함된 콘크리트로 강철 단면을 피복시키고 보호시켜야 한다. 또한 피복 콘크리트의 품질보다는 강철구조에 대한 보호 대책에 더 큰 주의를 기울여야 한다. SGI 세그먼트 라이닝의 경우에는 일반적으로 보호 페인트 시스템으로 내·외부를 코팅한다. 또한 접합부에서의 원활한 하중 전달을 도모함과 동시에 코킹(누수방지) 및 실링용 홈을 만들기 위하여 반경방향 및 원주방향으로 접합부의 일체화를 위한 면이 필요하다. 세그먼트가 제작되어 조립될 때까지 부식을 방지하기 위하여 일반적으로 보호용 페인트를 얇게 코팅한다. 하지만 이러한 접합부에서는 부식이 억제되는 경향이 있으므로 장기간의 보호를 위한 코팅은 불필요하다. 또한 SGI 세그먼트 라이닝에 대해서는 약간의 부식을 허용할 수 있도록 외판과 외부 플랜지의 최소 설계 두께를 1mm 정도 증가시킬 것을 제안한다. 일상적인 조사 결과로부터 부식이 우려되는 경우에는 음극방식 시스템 등의 적용을 실시하거나 추가적인 열화를 억제하고자 하는 노력을 강구할 수 있다. 그러나 일반적인 설계수명에 대해 이러한 작업을 수행할 가능성은 적다.

(가) 보호 시스템

주철 세그먼트 라이닝의 경우에는 아스팔트 피복에 의한 보호 대책을 쉽게 적용할 수 있다. 그러나 하지만 이러한 재료는 터널 내부에서 화재가 발생할 경우 위험성이 높다. 이로 인해 현재에는 최대 200μm 두께의 특수 제조 페인트를 박층 시공하고 있다. 이때 페인트가 잘 점착되도록 표면 사전처리를 규정할 필요가 있다. 현 시점에서는 Grit blasting을 일반적으로 규정하고 있지만 이러한 피복재를 적용할 때는 주의가 필요하다. 주철에 대해 코팅을 수행하는 것과 관련된 문제는 Grit blasting이 탄소 분자들로 구성된 표층을 형성한다는 점이며, 이렇게 형성된 표층은 재료의 점착을 저해할 뿐만 아니라 제거하기에도 어렵다. 따라서 설계자는 증명된 실적들을 기 보유하고 있는 재료 전문가들에게 이와 관련된 조언을 요청할 것을 추천한다. 강철 세그먼트와 주철 세그먼트 중 어느 것을 사용하던지, 사전에 적용된 피복재는 취급, 조립 및 후속 시공과정 동안 쉽게 훼손될 수 있다는 것을 고려할 필요가 있다.

(2) 화재 저항성

최근 들어 빈번하게 발생한 대형 화재사고의 경험으로부터 라이닝의 온도는 보통 평균적으로 600~700℃까지 상승하지만, 1,300℃의 고온에도 도달할 수 있다는 것을 알게 되었다. 허용 가능한 경제적 대안을 찾기가 어려울 수도 있지만, 팽창성 페인트를 적용할 수도 있다. 하지만 해저 조건에서 팽창성 페인트의 효과는 매우 낮다. 이에 대한 대안으로서 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트 라이닝을 효과적인 방법으로 고려할 수 있다.

(3) 콘크리트 라이닝

내구성을 달성하기 위해서는, 하중을 받고 있으며 다양한 환경조건 하에 놓인 라이닝의 모든 거동적인 측면들을 라이닝의 설계 수명 동안 고려하여야 한다. 설계 시에 고려해야 할 주요 인자들에는 다음과 같은 것들이 포함된다.

① 재료
② 콘크리트 생산방법
③ 적용방법 (예: 숏크리트)
④ 지질조건
⑤ 설계수명
⑥ 요구 성능 기준

(가) 부식

콘크리트 라이닝의 내구성에 영향을 끼치는 세 가지 주요 유해 조건은 다음과 같다.

① 금속의 부식
② 염화물에 의한 매설 급속의 부식
③ 중성화에 의한 매설 금속의 부식

(나) 기타 화학적 손상

화학적 손상은 라이닝 재료 또는 라이닝 내부에 매설된 재료에 대한 직접적인 손상을 의미하는 것으로서, 터널 내부 성분 또는 터널 주변 지반에 포함된 화학 성분에 의해 야기된다. 재료에 대한 손상은 의문시되는 화학성분, 화학성분의 농도, 콘크리트 표면에서 화학성분들이 쉽게 공급될 수 있도록 해주는 지하수 유동조건 등의 수많은 인자들에 따라 좌우된다. 이러한 측면에서 정지수는 투수계수가 10~6m/s이하인 지반에서 발생하는 것으로 정의된다. 반면 이동수는 투수계수가 10~6m/s인 지반에서 발생하는 것으로 정의된다. 다음과 같은 유형들의 교환 반응은 유해성분을 포함한 유체와 라이닝 재료 성분 사이에서 발생한다.

① 황산염 침식

② 산에 의한 손상

③ 알칼리-실리카 반응

(다) 물리적 과정

동결 융해, 충격, 마모 및 균열 발생 등을 포함한 다양한 기계적 과정들이 콘크리트의 손상을 야기한다.

(라) 보호 시스템

시공기술과 재료에 있어 최상의 콘크리트를 규정하면 주어진 환경에서 적절한 라이닝의 거동을 기대할 수 있다. 각종 화학물질들에 의한 부식과 침식 수준이 규정된 최대 한계를 넘게 될 때 적용될 수 있는 콘크리트 표면의 보호대책들이 각종 코드와 표준들에 추천되어 있다. 표면 보호방법에는 코팅, 방수층, 방식층 등과 같이 다양한 방법들이 있다.

(마) 프리캐스트 콘크리트 세그먼트의 상세 설계

세그먼트 링의 상세 설계는 라이닝의 설계 수명 동안 라이닝의 설계와 성능을 좌우하는데 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 타설 방법과 라이닝 거동에 중점을 주어 세그먼트 링을 상세히 설계하여야 한다. 더욱 중요한 고려사항들은 다음과 같다.

① 금속성 조립부품, 고정기구, 볼트 소켓 및 그라우트 소켓들을 배제

② 두께와 세그먼트 크기: 취급과 운반에 밀접한 관계

③ 개스킷 홈: 모서리까지의 거리가 너무 작으면 하중을 받거나 운반할 때 첨단이 깨질 수 있음

④ 접합부: 요구되는 방수성능을 달성할 수 있도록 사용할 방수재료의 종류에 주의하면서 상세설계를 실시하여야 함

⑤ 접합부 베어링: 파괴와 손상을 최소화할 수 있도록 양각 또는 음각을 활용하여 적절한 지지 영역을 형성할 수 있도록 접합부를 상세 설계하여야 함

⑥ 전체적인 상세설계: 제조와 시공과 관련된 모든 허용조건들에 주의하여야 함

⑦ 고정기구의 위치 설정: 철근 피복두께를 유지하면서 철근의 연속성을 확보할 수 있도록 고정기구와 구멍들의 위치를 설정하여야 함

8) 화재 저항성

가연성 물질과 강산화성 물질이 포함된 경우에는 화재 시에도 터널과 수직구의 구조적인 안정성이 유지될 수 있도록 설계하여야 한다. 화재저항성에 대한 특정 요구사항들을 만족시키기 위해 설계자들이 활용할 수 있는 다양한 시행규칙들과 대처방안들이 있다. 라이닝이 화재로 인해 심각하게 손상이 될 수 있다면, 최종적인 선택은 터널의 용도와 화재가 안정성에 미치는 영향 등에 따라 달라질 것이다. 암반 터널에서 라이닝의 안

정성은 중점 사항이 아니지만, 연약지반 터널, 특히 통행량이 많은 도로터널에서는 이용자뿐만 아니라 구조적인 안전도 매우 중요하므로 주의 깊게 평가할 필요가 있다. 터널 라이닝에 사용되는 재료와 선택한 설계 시행규칙에 따라, 이용자들이 주어진 시간 동안 안전하게 터널에서 대피할 수 있도록 콘크리트 또는 숏크리트의 폭렬을 제어하고 터널 라이닝에서의 온도상승을 억제하여야 한다. 이때 적용되는 시행규칙들에는 최악의 경우에 대한 시나리오가 반영되어야 한다. 터널 운용에 대한 수많은 지침들에서 인화성 물질들의 터널 통과금지를 규정하고 있음에도 불구하고 높은 화재등급에서 모든 재료들(식용유, 포장재, 차량연료로 사용되는 휘발유 등)을 배제하는 것은 불가능하기 때문에, 시나리오를 설정하는 것이 반드시 쉽지만은 않다.

(1) 화재에 대한 방지 대책

① 외부 보호: 내화재를 사용하여 급격한 온도 상승에 대해 콘크리트를 보호

② 내부 보호: 높은 증기 응력의 형성을 방지하여 콘크리트를 보호

(2) 화재 복구

화재가 발생한 후에는 콘크리트와 철근의 잔류 강도를 평가하는 것이 반드시 필요하다.

9) 방수

설계 대상 터널에서 기능측면 및 운용측면의 여러 요구사항들을 만족시키기 위한 전략은 설계 요구조건들에 따라 좌우된다. 국제터널협회(ITA)에서 방수 및 지하 시설 내부로의 허용 누수 수준과 관련된 지침을 제시한 바 있다 (Haack, 1991). 기타 관련 기준이 없는 관계로 ITA의 지침은 각종 설계 요구사항, 다양한 라이닝 종류에 대한 누수의 영향, 최적의 보수방법 등을 초기단계에서 평가하기 위한 합리적인 근거가 되고 있다. 여기서는 방수 시스템의 이점들에 대해서도 역설하고 있다. 지하수 유입과 터널 내부로의 침투수에 대한 제어를 위해 활용될 수 있는 방법은 맴브레인, 개스킷, 주입 지수판, 그라우팅 등이 있다.

10) 해외 터널 라이닝 기술개발 현황

해외의 경우는 터널 구조체에 요구되는 성능에 대하여 다양한 측면에서 성능기준을 마련하고 있으며, 안전성 측면에서 성능조건에 대한 연구 및 고찰이 과거에서부터 수행해 왔고 최근에는 사용성 측면에서 성능기준에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 내용을 살펴보면 유럽연합소속인 프랑스의 경우 구조물의 사용자에게 주택성능평가의 결과를 제공하는 Qualitel제도를 1986년부터 실시하고 있으며, 노르웨이, 스페인 등은 국가 차원의 설계기준으로 성능기준형 설계기준을 채택하고 있으며, 이웃 일본의 경우 20년 건축기

준법을 개정하여 설계단계에 성능을 평가하는 설계주택성능평가를 수행하도록 하여, 콘크리트 구조물 설계기준이 성능 평가형 규정으로 전환되도록 하였으며, 향후 레미콘의 발주에 있어서도 설계기준강도, 슬럼프, 굵은 골재 최대치수 등을 표시한 사양발주가 아닌 성능발주라는 새로운 개념의 발주시스템으로 변화할 것으로 예측되고 있다. 향후 약 5년 후부터는 고강도, 고성능, 고내구성 콘크리트가 콘크리트 산업을 주도할 전망이고, 이러한 새로운 콘크리트 구조물의 설계와 시공을 위해서는 현재와는 전혀 다른 개념의 차세대 콘크리트 기준으로 성능중심의 시멘트 제조, 콘크리트 제조, 콘크리트구조 설계기법과 콘크리트 표준시방서가 필요한 실정이다. 특히 일본의 경우를 자세히 살펴보면 최근 쉴드, 개착 및 산악터널 시방서가 10년 만에 개정된 바 있다. 그 주요 내용은 사회정세의 변화에 대응해서 설계 합리화기법이나 유지관리에 관련된 사항 등이 증강되었다.

(1) 미국 교통부(U.S. Department of Transportation)

일리노이즈 대학(University of Illinois, Urban a-Champaign)의 Paul 등(1983)은 미국교통국의 연구 용역을 받아 콘크리트 터널 라이닝의 설계에 대한 보고서를 발표하였다. 이들은 16개 설계회사를 대상으로 터널 설계에 대한 설문조사를 실시하였다. 설문 조사결과에 의하면, 이차 콘크리트 라이닝에 철근의 사용 여부는 터널 설계자들 사이에서 가장의견을 달리하는부분이었다. 많은 설계자들이 뚜렷한 이유 없이 2차라이닝에 철근을 사용하는 것을 선호한다. 어떤 설계자들은 철근을 사용하는 것이 2차라이닝의 장기적인 내구성을 증진시킨다고 주장한다. 하지만 다른 설계자들은 철근이 부식되게 되는 경우 부피가 증가하게 되고 이것이 콘크리트를 부스러뜨려 오히려 라이닝의 내구성을 감소시킨다고 주장한다. 많은 경우에 있어 철근이 지반 하중을 지지하거나 혹은 라이닝의 균열을 억제하기 위하여 필요한지에 대하여 명확하지 않다. 설문자료에 의하면, 2명을 제외하고 다른 모든 설계자들이 흙이나 암반에 굴착된 도로터널에서 종방향과 횡방향으로 철근을 사용하는 것을 선호하였다. 그러나 철근보강이 필요하다고 판단된 경우에도 복철근과 단철근의 결정과 설치 위치를 터널 내부 쪽으로 할 것인가 혹은 라이닝의 중심부 쪽에 할 것인가에 대한 불확실성이 있다. 어떤 설계자는 암반 터널의 라이닝에는 인장을 받는 쪽에만 단철근을 사용하였고 흙 터널의 라이닝에는 복철근을 사용하였다. 어떤 설계자들은 약화된 콘크리트 덩어리가 떨어져 나오는 것을 방지하기 위하여 철근보강이 필요하다고 느끼는데, 특히 직경이 큰 터널이나 장기적인 터널라이닝의 보존을 유지하기 위하여 철근보강을 사용한다. 그렇지만 한 가지 분명한 사실은, 철근이 반드시 필요한 경우가 아닐 경우 철근을 사용하지 않음으로서 공사비를 현저히 감소시킬 수 있었다는 것이다.

(2) 미국 토목학회(American Society of Civil Engineers)

O'Rourke(1984)는 ASCE의 터널라이닝 설계 기술위원회의 위원들과 공동으로 터널라이닝 설계지침서를 편집하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(가) 어떤 일정한 수직응력 상태에서, 휨 모멘트는 지반과 라이닝 사이의 상대적인 stiffness가 증가할수록 감소한다. 라이닝의 bending stress는 라이닝의 두께와 비례한다. 반대로 축력은 라이닝 두께와 반비례한다. 지반 응력이 비교적 작고 응력의 분포가 불균질한 천부 터널의 경우, bending stress를 최소화하기 위해서는 얇은 라이닝이 적합하다. 지반 응력이 높고 응력분포가 비교적 균질한 심부 터널의 경우, 축력에 대응하기 위해서는 두꺼운 라이닝이 필요할 수도 있다.

(나) 대부분의 하중이 1차라이닝에 의하여 지지되므로 현장 타설 콘크리트라이닝에 작용하는 하중은 크지 않다. 콘크리트 라이닝은 비교적 두껍고 강하지만, 라이닝이 받는 휨 변형은 대개 작으며 bending stress는 실제적으로 문제가 되지 않는다.

(다) 현장 타설 콘크리트가 원활히 타설되기 위한 최소 두께는, 직경이 9m까지의 터널의 경우는 20cm이고 더 큰 터널의 경우에는 30cm이다.

(라) 터널 중심부까지의 깊이가 터널 직경의 3배 이내인 천층터널의 경우는, 시공상 필요한 라이닝의 최소 두께만으로도 대개 충분하다. 깊은 터널의 경우에는, 평균 축력이 라이닝의 허용 가능한 응력의 반을 넘지 않으면 대략 문제가 없는 것으로 간주할 수 있다.

(마) 라이닝의 지지능력을 결정할 경우의 주요 고려사항은 철근 배근의 사용여부이다. 현장타설 콘크리트 라이닝에 있어서, 철근의 필요성에 대해서는 많은 논란이 있다. 만약 콘크리트라이닝을 타설하기 전에, 지반 변위나 불균질한 응력이 1차라이닝에 의하여 수용된 경우에는, 바깥쪽으로의 bending의 가능성은 사실상 없다. 이러한 경우에는 라이닝 바깥쪽의 철근배근은 불필요하다. 그러나 안쪽으로의 bending은 특히 천단부의 경우 중력 하중에 의하여 발생할 수 있다. 만약 이 힘이 기 설치된 1차 라이닝의 지지능력을 초과하는 경우에는 라이닝의 안쪽에 철근 배근이 필요하다.

(바) 많은 무배근 콘크리트 라이닝이 암석 터널에서 장기간 안정적으로 사용되어 왔고, 철근배근을 하는 것이 경제적으로 바람직한 것인가는 명확하지 않다. 철근을 배근하게 되면 라이닝의 단가가 상승하고 라이닝 설치도 더 힘들게 된다.

(3) Tunnel Engineering Handbook (Edited by J. O. Bickel & T. R.Kuesel)

콘크리트 라이닝에 철근을 사용해야 하는가에 대해 McCusker (1982)는 다음과 같

은 의견을 제시하였다. 라이닝의 두께는 하중과 시공성에 따라 결정된다. 철근 보강재의 양은 토압에 의하여 결정되지만 일반적으로 콘크리트의 수축과 온도변화에 저항하기 위하여 터널 내부 쪽에 최소한의 철근을 사용한다.

(4) 영국의 터널 라이닝 현황

Craig와 Muir Wood (1978)는 영국의 터널라이닝 설계 현황에 대한 광범위한 검토를 실시하였다. 이들의 검토자료 중 콘크리트 라이닝내의 철근 보강과 관련된 내용을 요약하면 다음과 같다. 프리캐스트 콘크리트 라이닝은 크게 두 가지 이유 때문에 철근 보강을 한다. 첫째, 영구적인 지반하중을 지지하기 위하여 사용된다. 둘째, 라이닝을 옮기거나 굴착면에 설치할 경우 혹은 쉴드가 앞으로 전진할 때 라이닝에 발생할 수 있는 인장이나 휨 응력에 대한 저항을 높이기 위하여 사용된다. 철근 보강을 프리캐스트 콘크리트 라이닝에 사용하는 것은 비교적 짧은 길이의 철근을 휘거나 고정시키는데 드는 인건비의 추가 때문에 비싸다. 또한 몰드에 철근이 놓이는 경우 세그먼트의 제작비용도 증가하게 된다. 이러한 경우에 철근을 넣는 대신 라이닝의 두께를 증가시키는 방법도 검토해볼 수 있다. 철근 보강이 라이닝을 다루기 위해 필요하다면 세그먼트의 길이와 두께의 비를 감소시킴에 의하여 보강을 하지 않을 수도 있다. 지반응력을 지지하기 위하여 철근 보강을 하는 경우에도 세그먼트의 길이와 두께의 비를 조정함으로써 철근 보강을 하지 않을 수도 있다. 현장타설 콘크리트 라이닝에 철근 보강을 사용하는 것은 라이닝의 두께를 줄일 수는 있지만 직경이 크지 않은 터널에서는 대부분 경제적이지 못하다. 철근을 덮는 최소 콘크리트의 두께는 50~75mm는 되어야 한다. 심부의 대단면 터널에서는 철근 보강을 한 두꺼운 콘크리트 라이닝이 필요할 수 있는데 철근을 사용하지 않고 고강도 콘크리트를 사용하는 것을 고려해 볼 수 있다.

(5) 독일 철도 터널 라이닝

Duddeck (1995)은 콘크리트 라이닝에 철근 배근을 해야 하는가의 문제는 많은 논란이 있어 왔다고 서술하였다. 독일에서는 철근 배근과 무배근 라이닝이 함께 사용되어 왔는데, 몇 년이 지난 후에는 온도 변화 등의 여러 이유에 의하여 두 경우 모두 콘크리트에 균열이 발생하였다. 그렇지만, 무배근 라이닝에 발생한 균열의 빈도수가 더 많고 균열의 폭도 더 넓어 균열에 대한 보수가 필요하였다. 그러므로 현장 타설 콘크리트 라이닝의 경우에는 철근 보강을 하는 것이 더 바람직하다고 결론지었다.

(6) 홍콩의 지하철 터널 라이닝 (Kuesel, 1987)

유연한 라이닝을 사용하는 경우 터널 라이닝에 작용하는 축력과 휨력을 감소시킬 수

있다는 장점이 있어, 홍콩 지하철 설계시 프리케스트 콘크리트의 라이닝을 15.2cm 두께로 매우 얇게 만들었으며 철근 배근을 덮고 있는 콘크리트의 두께는 11mm에 불과하였다. 이 라이닝은 처음 몇 년간은 매우 효과적이었으나 지하수가 라이닝에 침투하여 철근을 부식시키기 시작하였다. 결과적으로 철의 부식으로 부피가 팽창하여 콘크리트라이닝에 많은 균열이 발생하게 되었다. 따라서 콘크리트라이닝에 철근을 사용하는 경우에는 철근이 부식되지 않도록 일정 두께 이상의 콘크리트 피복이 필요하다.

(7) 캐나다 에드몬턴시의 터널라이닝

캐나다의 에드몬턴시에서는 1970년대부터 경량철도의 개발로 지하철공사가 활발히 진행되었다. Eisen stein (1988)은 캐나다 에드몬턴시의 터널라이닝 설계사례를 정리하였다. Edmonton시에 건설된 터널의 대부분은 강지보와 목재판으로 구성된 1차라이닝과 현장 타설 콘크리트를 2차라이닝으로 사용하고 있다. 이러한 라이닝 시스템의 가장 큰 장점은 1차라이닝이 매우 유연해서 터널 주위에 균등한 하중이 작용한다는 것이다. 그러므로 2차라이닝이 설치되어 1차라이닝으로부터 하중을 전달받으면 2차라이닝에는 휨모멘트가 거의 작용하지 않으므로 철근 보강이 필요하지 않다. 실제로 에드몬턴시의 많은 터널에서 2차라이닝에 철근 보강을 사용하지 않았다. Montgomery (1995)는 에드몬턴시에서의 터널 설계를 정리하였다. 에드몬턴시의 터널 라이닝은 대부분 2단계 라이닝 시스템을 이용하고 있고 경우에 따라 프리케스트 콘크리트 라이닝과 같은 일단계 시스템을 사용한다. 2단계 라이닝 시스템은 다음과 같이 크게 3가지로 분류된다.

(가) Primary liner : steel ribs 와 timber lagging
Secondary liner : cast-in-place concrete

(나) Primary liner : shotcrete
Secondary liner : cast-in-place concrete

(다) Primary liner : shotcrete
Secondary liner : shotcrete

1차라이닝으로 강지보와 목재 토류판을, 2차라이닝으로 현장 타설 콘크리트를 사용하는 방법은 북미에서 가장 널리 이용되고 있다. 이 방법은 1차라이닝의 설치가 용이하고 2차라이닝에 휨모멘트가 거의 작용하지 않는다는 장점이 있다. 1차라이닝으로 숏크리트를 뿌리고 2차라이닝으로 현장 타설 콘크리트를 사용하거나 혹은 다른 층의 숏크리트를 이용하는 방법은, 터널 벽에 일차로 뿌려지는 숏크리트층이 얇은막을 형성하여 축력에는 강하고 휨에는 유연한 장점이 있다. 이와 같은 유연성에 의하여, 굴착 후 터널의 변위를

허용하여 터널 주변의 토압이 균질하게 되며 따라서 라이닝에 가해질 하중의 휨모멘트가 감소되거나 없어진다. 숏크리트의 두께는 일정한 품질을 유지하기 위해서 최소 10cm 는 되어야 한다. 숏크리트를 2차라이닝으로 사용할 경우에는 1차숏크리트를 친 후 welded wire fabric을 설치하고 다시 2차라이닝을 뿌려준다. 2단계 라이닝 시스템의 경우, 1차 라이닝은 축력에는 충분히 강하고 bending에는 매우 유연하므로 라이닝의 모양이 바뀌게 되며 처음에는 라이닝 주변의 토압이 불균질 하더라도 비교적 균질하게 재분배하게 된다. 따라서 토압이 1차라이닝으로부터 2차라이닝으로 전달되는 경우 응력분포가 균질하므로 2차라이닝에 작용하는 축력은 매우 크나 휨 모멘트는 매우 작게 된다. 그러므로 터널 설계시 2차라이닝의 두께는 얇아질 수 있고 라이닝에 철근 보강을 사용할 필요성이 줄어들거나 없게 된다. 따라서 에드몬턴시의 콘크리트 라이닝은 일반적으로 토피를 가진 터널을 제외하고는 철근을 사용하지 않는다.

3.4.6 터널 구조물의 성능기반 설계에 요구되는 성능의 세분화 방안(도로터널 예)

1) 성능 세분화의 의미

성능 기반 설계법의 시행에 있어서 가장 중요한 과제는 해당 구조물의 요구 성능을 어떻게 규정하는가에 있다. 종래의 사양 중심의 규정 설계법에 따라 개별 공종의 설계 및 시공 규정을 준수한 건설공사에서 발생하는 일련의 성능 문제에 대해서는 그 책임소재가 불명확한 경우가 많다. 그 이유로는 해당 구조물에 대한 성능이 명확히 규정되어 있지 않거나 정량화 되어 있지 않은 것, 암시적인 성능 규정으로 설계 및 시공 기술자가 해당 내용을 정확히 인지하지 못한 점 등을 들 수 있다.

이러한 문제의 해결책으로서 해당 구조물에 대한 요구 성능을 세분화 하여 현장 실무자가 소정의 요구 성능을 쉽게 이해하고 검토 할 수 있도록 하는 방안을 들 수 있다. 성능 세분화에 있어서는 먼저 관련 성능에 대한 개념을 명확히 하여야 하는데, 이 요구 성능은 단지 구조물 자체가 가지는 내구 성능에 국한되어서는 안 될 것이다. 과거의 고도성장기에는 후순위로 밀려났던 시민의 안전이나 환경 문제가 지금은 사회적으로 최우선으로 꼽힐 만큼 관심이 매우 높고, 과거 「개발과 건설」에 초점이 맞춰져 있던 건설 정책이 시대적 흐름에 따라 「유지관리와 현명한 사용」으로의 전환기를 맞이하고 있는 점 등을 종합적으로 반영한 광의의 요구 성능을 생각할 필요가 있다. 이러한 광의의 요구 성능은 유럽이나 미국, 일본 등 해외 선진 사례에서도 쉽게 찾아볼 수 있는데, 터널을 직접 이용하는 이용자, 유지관리 등을 담당하는 관리자, 인근 주민 등 그 주체에 따라서

요구 성능을 구분하고 있다. 이처럼 구조물이 지니는 고유한 내구성능 이외에 터널과 같은 지하구조물에 대한 고려사항으로는 미관성, 사용성, 내수성, 안전성, 쾌적성, 조화성, 계획성 및 경제성 등을 들 수 있다.

2) 요구 성능의 세분화 사례

도로터널의 주된 기능은 소정의 공용 기간 중에 소요의 교통량을 안전하고 원활하게 주행시키는 것이다. 이와 더불어 최근 사용자의 입장에서 쾌적한 환경유지도 중요한 성능이므로, 이러한 도로 터널이 가져야 할 주된 성능을 세분화 해보면, 첫째로는 가장 기본이 되는 구조 안전 성능과 내구성능을 들 수 있다. 구조 안전 성능이란, 예상되는 하중에 대해서 구조적 안정을 유지하는 것을 말한다. 이와 함께 혼용하기 쉬운 내구성능은 예상되는 노화 및 열화 요인에 대해서 내구성을 확보하는가를 일컫는다. 둘째, 도로터널을 이용하는 이용자의 측면에서 보면, 이용자의 안전성능과 사용성능을 들 수 있다. 이용자의 안전성능은 이용자가 안전하게 이용할 수 있는 지를 의미하고 사용성능이라고 함은 이용자가 쾌적하게 이용할 수 있는지를 의미한다. 셋째로는 발주자나 관리자의 입장에서 요구되는 성능으로, 관리자의 사용성능 및 유지관리 성능을 들 수 있을 것이다. 관리자의 사용성능이란 관리자가 적절하게 운용 가능한 상태를 말하며, 유지관리 성능이란 적절한 유지관리를 확실히 수행할 수 있는 상태라 할 수 있다. 마지막으로 제3자에 해당되는 주변인에 대한 영향 정도를 들 수 있다. 여기에는 주변에 대한 영향이 최소가 되도록 억제할 수 있는 성능을 일컫는다. 예를 들면, 주변의 지하수에 대한 영향이 최소화 되어야 할 것이며, 주변지반에의 영향 및 주변 지장물에 대한 영향이 최소화 되어야 한다. 또한, 주변에 대한 진동 및 소음이 적어야 하고 주변의 대기에 대한 영향이 최소화 되어야 한다. 그리고 최근, 미적인 부분에 대한 관심이 고조됨에 따라 경관 및 미관을 크게 손상 시켜서도 안 될 것이다.

이렇게 세분화된 요구 성능을 만족시키기 위해서는 기본 요구 성능을 기초로 각 요구 성능에 대한 구체화 작업이 병행되어야 한다. 【표 2.53】은 도로터널의 요구 성능을 분류하고 구체화 하였다.

【표 2.53】 도로터널의 성능 세분화

목적 (기능)	요구성능			
	대항목		중항목	소항목
소정의 공용기간중에 소요의 교통량을 안전하고 원활 및 쾌적하게 주행시키는 것	이용자의 안전성능	이용자가 안전하게 이용할 수 있다	안전하게 주행할 수 있다	양호한 도로 선형을 확보 할 수 있다 부드럽게 주행할 수 있다 건축한계를 확보 할 수 있다 필요한 시인성을 확보할 수 있다
			이용자의 안전을 직접 위협하지 않는다	박락이 발생하지 않는다 누수가 발생하지 않는다 필요한 환기성능을 확보할 수 있다
			비상시에 이용자가 안전하게 피난 할 수 있다	비상시에 방재설비가 확실하게 작동한다 방재설비를 적절하게 배치할 수 있다
	이용자의 사용성능	이용자가 쾌적하게 사용할 수 있다	쾌적하게 주행 할 수 있다	양호한 도로선형을 확보 할 수 있다
			통행규제를 최소한으로 할 수 있다	보수빈도가 적다
			승차감이 좋다	성차감에 영향을 미치는 터널 변형이 적다
			이용자에 불쾌감 및 불안감을 주지 않는다	이용자가 불쾌감 및 불안감을 가질 만한 누수 및 균열이 보이지 않는다 필요한 시인성을 확보할 수 있다 위압감이 없는 갱문구조이다
	구조안정성능	예상 하중에 대해서 안정하다	상시 작용하중에 대해 안정하다	라이닝이 안정하다 지반이 안정하다
			필요한 내진 성능을 가진다	공용 기간중에 예상되는 지진동에 대해서 라이닝이 필요한 내진성능을 갖는다
			예상되는 하중 변화에 대해서 안정하다	공용기 간중에 예상되는 근접시공에 의한 영향이나 주변 환경 변화 등, 하중조건의 변화에 대해서 필요한 내하중성능을 갖는다.
			화재시에 대해서도 안정하다	화재시에도 라이닝이 안정하다
	내구성능	예상되는 노화요인에 대해서 내구성이 있다	방식성이 좋다	철근 등의 방식성이 좋다
			복공제가 노화하지 않는다	복공재가 침식 및 노화 하지 않는다
			방수성이 좋다	복공 및 제설비의 노화 원인이 되는 누수가 발생하지 않는다.

목적 (기능)	요구성능			
	대항목		중항목	소항목
소정의 공용기간중에 소요의 교통량을 안전하고 원활 및 쾌적하게 주행시키는 것	관리자의 사용성능	관리자가 적절히 공용할수 있다	필요한 수요를 만족한다	필요한 내공단면(건축한계)을 확보할 수 있다
			필요한 터널 제설비를 설치할 수 있다	건축한계를 침해하지 않고 비상용제설비나 관리용설비를 수용할 수 있다
	유지관리성능	적절한 유지관리가 확실히 이루어 질 수 있다	안전 및 용이하게 점검 및 청소가 가능하다.	일상의 순회, 점검, 청소가 안전하고 용이하게 할 수 있다
			안전하고 용이하게 보수 보강이 가능하다.	보수/대책공의 비계설치와 재료 적치장의 확보가 가능하다 내공단면에 보수 및 보강여유가 확보되어 있다
			주변에의 영향도	주변에의 영향이 최소한으로 억제가능하다
			주변지반에 영향이 적다	지표면의 침하 및 융기가 허용범의 이내이다
			주변지장물에 대한 영향이 적다	근접건물 및 매설물 등에 영향이 허용범위 이내이다
			주변에 대한 진동 소음의 영향이 적다	시공중 및 공용중에 주변에 대한 진동/소음이 허용범위 이내이다

3.4.7 해외 성능중심 기술표준 분석을 통한 설계항목별 표준화(선진화) 방안

【표 2.48】에서 제시한 성능 중심 설계 항목중 중요항목에 대하여 해외 선진기준 현황과 비교분석을 실시하고 설계항목별 성능기반 표준화 방안을 제시하였다.

1) 숏크리트 성능 기준

(1) 국내 기준 현황

숏크리트에 관한 국내의 건설기준 중 터널설계기준에는 제5장 터널 지보재 편의 5.3 숏크리트에 5개의 절로 구성되어 있으며, 설계시 고려사항, 특성, 일반 숏크리트의 배합 및 강도, 고강도 숏크리의 배합 및 강도, 두께, 철망에 관해서 기술하고 있다.

또한 터널표준시방서(2009)에는 제5장 터널지보재 편의 5-3 숏크리트의 일반사항, 재료, 시공사항으로 분류하여 기술하고 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

본 내용은 국내 터널설계기준상에 있는 숏크리트 기준과 EFNARC의 European specification for sprayed concrete 내용을 비교한 것이다.

구분	국내 터널설계기준	EFNARC	비고
	5.3.1 숏크리트 설계시 고려사항 (1) 숏크리트는 일반 숏크리트와 고강도 숏크리트로 구분 (2) 지반과의 부착 및 자체전단 저항효과 (3) 휨압축 또는 축력에 의한 저항효과 (4) 강지보재 또는 록볼트에 지반압을 전달하는 기능	유럽의 기준에 따르면 혼입량에 대한 다른 지시는 없으며 kg/m^3로 표시하며 휨강도는 공시체 3개로 시험하며, 평균 휨강도가 같거나 이상이어야 한다.	

구분	국내 터널설계기준	EFNARC	비고
	(5) 굴착된 지반의 굴곡부를 메우고 절리면 사이를 접착시킴 (6) 굴착면을 피복하여 풍하방지, 지하수 및 세립자 유출 등을 억제 5.3.2숏크리트의 특성 (1) 설계 목적과 기준에 부합하는 충분한 강도를 확보 (2) 조기에 필요한 강도를 발휘 (3) 지반과 충분한 부착성을 확보 (4) 충분한 내구성을 확보 (5) 반발률(rebound) 및 분진 발생량을 최소화 (6) 평활한 굴착면을 확보	28일 강도가 요구되는 강도의 최소 75%를 발현해야 한다. (C24/30 : 3.4MPa, C36/45 : 4.2MPa, C44/55 : 4.6MPa) 등가 휨강도에 따른 처짐이 0.5mm일때 1.5~4.5MPa, 처짐(low)이 1mm일때 1.3~4.3MPa, 처짐(normal)이 2mm일때 1~4MPa, 처짐(high)이 4mm일때 0.5~3.5MPa으로 제시되어있다. ※유럽기준에는 염화물 함유량, 알카리 함유량, 최소시멘트함량 등 요구조건이 제시되어 있다.	
	5.3.3일반 숏크리트의 배합 및 강도 (1) 숏크리트는 설계 목적에 적합한 조기 및 장기강도를 발휘 (2) 숏크리트용 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용 잔골재에는 입경 0.1mm 이하의 세립물을 포함하지 않아야 하고, 굵은 골재의 최대치수는 10mm 이하 (3) 숏크리트는 필요한 강도재령 1일 압축강도가 10MPa 이상, 재령 28일 강도가 21MPa 이상 (4) 숏크리트 사용수의 혼합방법에 따라 건식과 습식으로 구분 강 또는 기타 재질의 섬유(fiber)도 혼합	※ (굵은 골재의 최대치수 : 중량으로 90%이상 통과한 체 중에 가장 최소치수의 체눈금의 공칭치수)유럽기준은 Figure5.4.1에 따르면 중량이 90%이상이 통과한 체는 8mm 체이고, 잔골재의 입경은 제시되어 있지 않다. 유럽기준에는 압축강도시험시 공시체 3개로 시험하여 28일 강도가 요구되는 강도의 최소 75%를 발현해야 한다. 한국과 달리 재령 1일의 압축강도를 요구하지 않으며, 재료와 core의 모양 또한 다양하며 요구하는 강도도 다양화 되어있다. 다.	

구분	국내 터널설계기준	EFNARC	비고
	(5) 강섬유는 인장강도 700MPa 이상, 직경 0.3~0.6mm, 길이 30~40mm를 표준 (7) 숏크리트의 조기강도 발현을 위해 급결제의 사용량은 시멘트 중량의 5~10%를 표준	유럽기준 : C24/30 : (원통 : 24MPa, 입방체 30MPa) C28/35 : (원통 : 28MPa, 입방체 35MPa) C36/45 : (원통 : 36MPa, 입방체 45MPa) C40/50 : (원통 : 40MPa, 입방체 50MPa) C44/55 : (원통 : 44MPa, 입방체 55MPa) C48/60 : (원통 : 48MPa, 입방체 60MPa) 최소 현장강도 요구사항 (시편지름 50mm, 높이 100mm) C24/30 : 20.5MPa, C28/35 : 24MPa, C32/40 : 27MPa, C36/45 : 30.5MPa, C40/50 : 34MPa, C44/55 : 37.5MPa, C48/60 : 41MPa 유럽은 강섬유의 직경이 0.7mm 이하로만 제시되어 사양에 차이가 있다.	
	5.3.4고강도 숏크리트의 배합 및 강도 (1) 고강도 숏크리트는 필요한 강도 재령 1일에 10MPa 이상 그리고 재령 28일 강도가 35MPa 이상 (2) 고강도 숏크리트를 사용 (3) 숏크리트의 강도 증진을 위하여 혼화재를 사용	※ 국내에는 일반 숏크리트와 고강도 숏크리트를 구분하지만 유럽에서는 따로 고강도 숏크리트를 구분하지 않는다. 국내 고강도 기준에 부합하는 C36/45이상은 고강도 숏크리트로 보아도 무방하다.	
	5.3.5숏크리트의 최소 두께 50mm 이상 5.3.6철망 사용 철망의 재질 및 규격	※ 급결제에 대한 기준은 제시되어 있지 않지만 첨가제에 대한 기준은 실리카퓸일 시 포틀랜드시멘트 중량의 15%를 초과하면 안 되며, 플라이애쉬는 포틀랜드시멘트 중량의 30%를 초과해선 안 된다. 포틀랜드와 플라이애쉬의 혼합물은 포틀랜드시멘트 중량의 15%를 초과하면 안 되며, 고로시멘트는 포틀랜드시멘트 중량의 20%를 초과해선 안 된다.	

(3) 국내기준의 문제점 분석

국내 터널설계기준의 경우 숏크리트의 배합 및 강도에 대한 사항이 기술되어 있는데, 이는 터널 표준시방서 상의 숏크리트의 재료와 품질 그리고 시공방법의 내용 보다 더욱 상세하게 기술하고 있으며, 이는 설계기준의 한계를 벗어난 것이다. 반면에 유럽의 설계 가이드의 경우 숏크리트에 대한 재료, 품질에 대해서는 어떤 표준을 적용해야 하는지에 대해서만 기술되어 있는 반면에, 공사시방서에는 숏크리트 구성 재료의 적정 사용한계, 사용골재의 입도분포, 요구되는 내구성의 항목들, 각종 혼합재료의 요구 성능 평가 내용 및 평가 방법 등이 다양하고 상세하게 기술되어 있다.

국내 기준 상에서 일반 숏크리트와 고강도 숏크리트로 구분하여 기준을 제시하는 것은 사용자가 필요에 따라서 적용할 수 있는 선택의 폭을 제한해서 창의적인 설계를 할 수 없도록 한 결과를 초래하고 있다고 본다.

(4) 선진화 방안

터널공사에서 숏크리트의 역할은 터널굴착으로 인해 발생되는 지반응력의 일부를 지지할 수 있는 영구 지보재 중에 하나이므로 이를 충족시킬 수 있는 성능을 갖추도록 기준을 마련하여야한다.

숏크리트에 사용되는 재료는 터널의 설계수명 동안 강도와 품질이 유지되어야 한다. 따라서 시간에 따라 성능의 저하가 일어나는 열화 특성을 제시하여야한다.

숏크리트는 지보재이기 때문에 통상 콘크리트와 같이 재령 28일 기준의 압축강도와 휨강도를 요구한다.

요구되는 기준강도를 발휘하기 위한 재료의 배합 기준, 첨가재의 중량기준, 그리고 보강재(강섬유 또는 프라스틱 섬유)의 최소 굵기 기준 만 제한적으로 규정하고 나머지는 모두 설계자의 선택으로 남겨 놓았다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 숏크리트의 초기강도와 터널 거동과의 연계성 분석 연구

(나) 숏크리트의 배합강도 와 타설 후 강도의 특성 분석 연구

(다) 숏크리트의 보강재(강섬유, 프라스틱섬유 등)에 따른 리바운드 특성 연구

(6) 결언

터널공사에 있어서 숏크리트의 역할은 공사 중에는 1차 지보재로서 터널굴착에 따른 초기 지중응력을 일부 지지하여야 하고 최종적으로는 최종 목적 구조물에서 요구되는 품질과 성능을 발휘하여야하기 때문에 이에 합당한 성능 중심의 기준을 제시하는 것이 중요하다.

기존의 국내 설계기준에는 재료의 크기 와 배합비, 급결재 와 첨가재의 종류, 강섬유의 무게 등 최종 구조물의 성능과는 무관한 사양 위주의 기준을 제시하여 발주자 측의 관리 목적에 편리하도록 제시되어 있다.

따라서 향후 건설기준은 추가의 기본적인 연구를 통해서 최종 목적 구조물의 품질과 성능이 요구되는 설계수명 동안 유지될 수 있는 방법을 창의적으로 제시 할 수 있는 성능 중심의 건설기준이 되어야한다.

2)허용누수 기준

(1) 국내 허용 누수 기준 현황

지하수위 하부에 터널을 건설하게 될 경우 현존하는 방수기술상 완전한 방수를 이루어 낸다는 것은 거의 불가능한 일이다. 국내에서도 비배수형 터널의 누수문제는 공식적으로는 노출되지 않았지만 오래 전부터 심각한 문제 중의 하나로 인지되어 왔다.

이 누수문제는 최근 제2기 서울지하철 건설을 기점으로 표면화되면서 이에 대한 기술사항도 본격적으로 거론되기 시작하였다. 특히 부실시공이라는 획일적인 판단으로 인해 기술자들이 곤혹을 치르기로 한 부분이 기술상의 한계로 인해 기인될 수 있다는 쪽으로 인식이 전환된 것은 괄목할만한 발전이라 하겠다.

이를 위하여 우리여건에 맞는 우리의 기준이 없기 때문에 독일의 지하교통시설연구협회(STUVA)가 추천한 값(【표 2.54】 참조)을 참조하여 우리 실정에 맞도록 발주자가 정하도록 ‘터널설계기준’ (건설교통부, 2007)에서 제시하고 있다.

(2) 해외 기준

이 분야에 대해서 우리나라보다 먼저 고민해 온 독일이나 영국 등의 선진국에서는 터널의 용도에 따라 요구되는 방수 등급을 정하고 각 등급별로 허용될 수 있는 누수량을 설정해 관리하고 있다.

터널 내부라이닝 설치 후 콘크리트면의 균영 등을 통해서 유입되는 누수량에 대한 허용치를 규정한 사례는 【표 2.54】 터널의 방수 등급별 허용 누수량과 같이 독일의 지하교통 연구회에서 제시한 값이 대표적이다.

【표 2.54】터널의 방수 등급별 허용누수량

방수 등급	내부상태	용 도	내 부 상 태 정 의	터 널 연 장 을 기 준 한 허용누수량 ($\ell/m^2/day$)	
				10m	100m
1	완전건조	주거공간, 저장실, 작업실	벽면에 수분의 얼룩이 검출되지 않을 정도의 누수상태	0.02	0.01
2	거의건조	동결위험이 있는 교통터널, 정거장 터널	벽면의 국부적인 장소에 약간의 수분얼룩이 검출될 수 있는 정도, 수분의 얼룩을 건조한 손으로 접촉하여도 손에 물이 묻지 않을 정도, 흡수지 또는 신문지를 붙여보아도 붙여진 부분이 습기로 인해 변색되지 않을 정도의 누수	0.1	0.05
3	모관습윤	방수2등급 이상의 방수가 요구되지 않는 교통터널구간	벽면의 국부적인 장소에 수분얼룩이 검출되는 정도, 수분의 얼룩에 흡수지 또는 신문지를 붙였을 경우 습기로 인해 변색되지만 수분이 방울져 떨어지지 않을 정도의 누수	0.2	0.1
4	물방울이 가끔 떨어짐	시설물 터널	독립된 장소에서 물방울이 가끔 떨어지는 정도의 누수	0.5	0.2
5	물방울이 자주 떨어짐	하수 터널	독립된 장소에서 물방울이 자주 떨어지거나 방울져 흐르는 정도	1.0	0.5

※ 독일의 지하교통시설 연구협회(STUVA)의 추천값을 참조한 것임

(3) 선진화 방안

허용누수기준은 터널의 방수등급에 따라 결정되어야하므로 먼저 터널의 용도별 방수등급을 결정하는 기준 작성이 선행되어야한다.

이러한 허용누수기준의 설정은 방수형식에 구애되지 않고 모두 동일하게 터널내부의 조건을 어떻게 유지하여야 할 것인가를 전제로 하여 결정하여야 한다.

(4) 추가 연구

(가) 수압에 따른 터널 방수재의 성능 연구

(나) 균열 폭과 터널내 유입량과의 상관성 연구

(5) 결론

터널이 지하수위 아래에 위치하거나 수면 아래 위치하게 되면 연장이 길고 대단면의 콘크리트 구조물이기 때문에 완전 방수가 불가능하다는 전제를 인정하는데서 허용 누수기준의 필요성이 있게된다.

허용 누수량의 기준은 부실 시공의 빌미를 제공 할 수도 있기 때문에 공학적으로 적합하여야 하며 보편 타당 하여야 한다.

3) 터널의 단면 결정 기준

(1) 국내 기준 현황

터널의 최종 굴착단면은 차량 형태를 고려하여 산정한 시설한계와 지반 특성을 반영한 1차지보재와 내부라이닝의 두께를 합한 값에 시설물 설치를 위한 여유폭을 전부 합한 값이다. 그러나 국내의 터널 단면상에는 시설한계, 구조물 두께, 그리고 시설물 설치를 위한 여유폭 만 고려되었고 시공 중 불가피하게 발생하는 구조물의 시공허용편차와 지반의 이완 변형량은 고려되지 않았다.

(2) 국내기준의 문제점 분석

국내의 터널 설계기준 상에는 터널단면을 구성할 때 시공 허용 편차(Construction Tolerances), 지반의 변형량(Geological Deformation)에 관한 허용기준이 없다.

국내 터널의 최종 굴착단면은 차량 형태를 고려한 시설한계에 1차 지보재와 내부라이닝의 설치두께와 일정량의 여유치를 합한 값으로 구성되어있다. 그러나 시공 중에 발생할 수 있는 구조물의 시공 허용편차와 지반 이완에 따른 내공 축소 등이 설계단면 산정 시 고려되지 않았기 때문에 시공 후 내부라이닝의 공칭 설계 두께를 확보하기 곤란하여 단면 재성형 작업을 하는 경우가 빈번히 발생하고 있다.

최근 한국도로공사(2012.2)에서는 터널 단면 최적화를 위해서 시설한계 여유폭을 기존의 300mm에서 50mm로 대폭 줄이도록 하였다. 이 배경에는 기존에 조명시설이 터널 측벽에 설치하던 것을 천장부로 이동함에 따라 150mm의 여유폭이 필요 없게 되었고 내장재 설치높이가 시설한계에 영향을 주지 않을 높이로 변경되었기 때문에 내장재 설치 여유폭 100mm를 추가로 삭제하여 총 250mm의 여유폭을 축소하게 된 것이다. 그러나 여기에도 구조물의 시공허용편차와 지반의 변형량 등이 고려되지 않았기 때문에 최종 라이닝 구조물선이 시설한계에 저촉될 가능성은 상존해 있다.

이는 국내의 설계기준상에 터널 굴착단면 구성시 지불선의 정의가 규정되어 있지 않았기 때문이다.

(3) 해외 기준과의 비교

(가) 오스트리아의 비엔나 지하철

내부라이닝의 시공 허용 편차는 터널의 크기와 터널의 단면 부위별로 다른 기준을 제시하고 있다. 예를 들어 직선 도는 곡선반경500m 이상인 터널에서는 다음과 같은 허용편차를 규정하고 있다.

-천장부: 100mm

-측벽부: 50~100mm

-바닥부: 30mm

만약 곡선반경이 이보다 작은 경우에는 추가의 허용편차를 고려한다.

(나) 독일 뮌헨 지하철

터널의 크기와 곡선 반경에 상관없이 전 단면 주변에 100mm의 시공허용편차를 적용하고 있다. 단, 인버트에는 30~50mm의 허용편차를 적용한다.

(다) 대만 타이페이 지하철

터널 전 주변에 100mm의 시공 허용편차를 적용하고 유지관리용 통로모서리에서만 50mm를 적용한다.

(라) 영국 터널 시방서

터널 직경 5m를 기준으로 이보다 큰 터널의 경우에 1차숏크리트 라이닝은 +-75mm, 내부 콘크리트라이닝은 +-50mm의 허용편차를 제시하고 있다.

(4) 선진화 방안

터널의 최종 굴착단면은 설계시 이론적으로 산정한 단면과 실제 굴착 단면 사이에는 많은 차이가 있을 수 있다. 터널 굴착을 이론적인 굴착선대로 굴착하는 것은 불가능하기

때문에 구조물 설치시 발생할 수 있는 시공허용편차를 규정해 주는 것이 타당하며 이밖에도 지반의 변형량과 터널 연장 및 곡선반경에 따라 추가의 허용치를 규정해 주는 것이 세계적인 추세이다.

(가) 시공 허용편차

터널의 주 구조물인 1차 지보재와 2차 복공 라이닝의 시공 허용편차를 고려하여야한다.

구조물의 시공허용 편차는 유사한 단면의 터널이 유사한 지반조건에서 시공되었을 때 확보한 자료에 기초하여 결정하여야한다.

통상적인 터널에서 1차지보재의 시공 허용편차는 100mm이고 2차 복공라이닝의 시공 허용편차는 50~100mm이다.

(나) 지반 변형량

지반은 굴착이 완료되면 변형되는 특성을 보이기 때문에 지반특성에 따라 다른 허용 변형량을 규정하여야한다. 지반이 양호한 경암반일 경우에는 매우 작은 탄성변형만 발생하나 연약한 토사지반일 경우에는 과대한 소성변형이 장기간에 걸쳐 발생하기 때문에 이를 고려한 터널 단면이 결정되어야 한다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 1차 지보재의 패턴별 시공 편차 산정에 관한 연구

(나) 지반특성에 따른 변형량 산정에 관한 연구

(다) 터널 내공 단면 3차원 측정 기술에 관한 연구

(6) 결언

터널의 최종 굴착단면의 크기는 차량의 특성을 고려한 시설한계와 1차지보재의 두께, 지반 변형량, 그리고 구조물의 시공 허용 편차 등을 고려하여 산정하여야 한다.

시공허용편차란 터널 시공시 터널의 이론적인 구조물선으로부터 피할 수 없는 오차를 반영하기 위한 것이다.

이러한 시공상의 부 정확성은 측량, 거푸집의 형상, 거푸집 제작 오차, 그리고 콘크리트 타설시 발생하는 변형 등 여러 가지 요인이 있다.

터널단면은 차량과 부속 시설물의 설치에 필요한 시설한계와 각종 구조물의 설치공간과 그 구조물을 설치하기 위한 허용편차를 반영하여 산정하되 구조적으로 안정하며 시공성이 양호한 최소단면이 되도록 하여야한다.

4) 터널간 이격거리 기준

(1) 국내 이격거리 기준 현황

터널간 이격거리에 관한 규정은 터널설계기준 제2장 계획편 2.2터널의 계획항에 “터널을 2개 이상 병렬로 계획하거나 인접하여 계획할 경우에는 단면의 크기, 지반공학적 특성, 발파진동, 용지규모, 지장물 및 민원 등을 고려하여 충분히 이격시켜야한다. 이격거리를 줄여야 할 경우에는 안정성을 확보할 수 있는 굴착방법, 굴착공법, 및 보강공법 등 적절한 대책을 수립하여야한다.” 라고 규정되어 있다.

터널간 이격거리는 설계기준에서 제시한 바와 같이 설계자가 제 조건을 고려하여 안전한 구조물이 될 수 있도록 탄력적으로 계획하여야 하나 통상 터널직경(D) 만큼 이격되어야 한다고 알려져 있어 모든 터널이 천편일률적으로 계획되고 있는데 이를 규정한 설계기준은 없다.

(2) 국내 터널 이격거리 기준의 문제점

국내의 도로터널과 철도터널에서 터널간 이격거리는 통상 터널 직경 만큼의 이격거리를 모든 터널에 천편일률적으로 적용하기 때문에 용지 편입비용이 과다하게 책정되거나 교량 구조물과의 접속이 곤란하여 회피 하는 등 많은 문제점을 야기 시키고 있다.

이는 설계기준의 문제점이라고 보기 보다는 설계를 발주하는 기관의 설계담당자들이 적극적으로 예산을 절감하는 노력을 하지 않고 문제를 일으키지 않는 편한 길을 가려고 한데서 기인한 문제점이라고 생각한다.

터널간 이격거리는 터널 단면의 크기, 지반의 공학적 특성, 발파 진동 영향, 허용 용지규모, 지장물 및 민원 등을 고려하여 결정하면 가장 합리적인 이격거리를 산정할 수 있을 것이다.

5) 허용 여굴 관리 기준

(1) 국내 기준 현황

“터널 설계기준” 에는 터널 굴착시 발생하는 여굴에 관한 기준이 없다. 이밖에도 도로설계기준이나 철도설계기준상에도 여굴에 관한 기준은 없다. 단지 도로설계편람과 철도설계편람에 터널 단면의 위치별로 여굴기준을 제시하고 있다.

“터널 표준시방서” 에는 제4장 터널의 굴착편에 여굴에 관한 기술내용이 있다. 그러나 시방서의 내용은 여굴 발생을 가능한 최소화 하고 과대 여굴이 발생하지 않도록 신속히 대처하라는 지시사항만 있을 뿐 여굴의 발생원인과 허용 여굴량에 대한 기준은 없다.

설계기준상에 여굴에 관한 기준이 없는 반면 표준시방서에만 여굴에 대한 언급이 있는 것은 여굴이 설계상의 문제가 아니라 단지 시공상의 문제로 보고 있기 때문이다.

그러나 여굴은 지반조건과 터널 굴착시 천공 장비의 천공 외향각(Look-out) 때문에 불가피하게 발생되는 것이므로 이에 대한 허용치를 정해주고 이를 관리하는 것이 필요하다.

(2) 국내기준의 문제점 분석

국내의 터널 설계기준내에는 여굴(Overbreak)에 대한 규정이 없다. 설계편람상에 터널 단면의 위치별로 여굴기준을 제시하고 있지만 지반특성이나 천공길이를 고려하지 않고 임의적으로 모든 터널에 동일한 크기의 여굴기준을 적용하고 있는데 이것 또한 합리적이지 못하며 이 기준이 무슨 목적으로 작성되었는지 용도도 명확하지 않다.

여굴은 지반조건에 따라 불가피하게 발생하는 지반성 여굴(Geological Overbreak)과, 천공시 장비의 운용상 불가피하게 발생하는 Look-out에 의한 여굴이 있다. 지반성 여굴은 암반의 등급에 절대적으로 영향을 받게 되는데 지반의 강도가 클수록 지반의 변형량은 적으나 발파에 의한 여굴은 크므로 더욱 큰 허용 여굴량이 규정되어야한다. 천공 장비에 의한 여굴은 터널의 천공장에 영향을 받으므로 암반이 양호하여 굴진장이 클 경우에는 많은 량의 허용 여굴량이 규정되어야한다. 그러나 국내 설계기준상에서는 이러한 여굴을 고려해 주지 않고 있으나 실제로 현장에서는 여굴 뒷채움시 사용되는 숏크리트량의 절반은 숏크리트로 나머지 절반은 콘크리트 단가로 인정해 주고 있다. 이것도 매우 불합리한 제도로서 하루빨리 시정되어야 할 사항이다.

(3) 해외 기준과의 비교

오스트리아에서는 터널의 단면을 결정할 때 이미 1차 지보재와 2차 복공 라이닝의 시공 허용 편차, 지반의 변형량, 시공중 불가피하게 발생될 수 밖에 없는 여굴 등을 고려하여 지불선(Pay Line)을 설정해 놓고 이를 관리하기 때문에 경제적이고 합리적인 설계와 시공이 이루어지고 있다.

(4) 선진화 방안

터널의 굴착단면은 설계시 이론적으로 추정한 단면과 실제 굴착 단면 사이에는 많은 차이가 있다. 기본 원칙은 시공사가 최선을 다해서 굴착을 하였을 경우를 가정해서 실제로 굴착한 단면과 뒷채움 한 단면에 대한 재료비와 공사비는 발주처에서 지불하겠다는 정신이다. 물론 시공 미숙으로 이 지불선 밖으로 과굴한 경우는 전적으로 시공사가 부담하여야한다.

(가) 시공 허용편차

1차 지보재와 2차 복공 라이닝의 시공 허용편차를 얼마만큼 규정하는 가는 유사한 단면의 터널이 유사한 지반조건에서 시공되었때 확보한 자료에 기초하여 결정하여야한다.

통상적인 터널에서 1차지보재의 시공 허용편차는 100mm이고 2차 복공라이닝의 시공 허용편차는 50mm이다.

(나) 지반 변형량

지반은 굴착이 완료되면 변형되는 특성을 보이기 때문에 지반특성에 따라 다른 허용 변형량을 규정하여야한다. 지반이 양호한 경암반일 경우에는 매우 작은 탄성변형만 발생하나 연약한 토사지반일 경우에는 과대한 소성변형이 장기간에 걸쳐 발생하기 때문에 이를 고려한 터널 단면이 결정되어야 한다.

(다) 지반특성에 기인한 여굴

견고한 퇴적암반은 층리에 따라 굴착면이 형성되기 때문에 이론적으로 둥근 원형의 굴착면을 형성하기 곤란하다. 따라서 이러한 암반 특성을 고려한 여굴을 고려해야 한다.

(라) 천공장비에 기인한 여굴

발파암 지반의 경우에는 천공장비의 특성상 외향각 천공(Look-out)이 불가피하기 때문에 천공길이에 따른 여굴량을 산정해서 제시하여야 한다.

(마) 내공 측정과 지불

굴착 후, 1차 지보재 설치 후, 그리고 2차 복공라이닝 설치 후 내공단면을 측정해서 단계별로 정확한 굴착량과 구조물 설치 물량을 산정한다. 이때 내공 측정치에 사전에 고려한 지반 변형량을 추가하면 실제 굴착량이 산정된다.

이와 같이 굴착시 불가피하게 발생하는 여굴을 고려한 합리적인 굴착단면 산정과 공사 후 내공측정이 이루어지면 측정치에 근거한 공사비 정산지불이 합리적으로 이루어 질 수 있다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 1차 지보재의 패턴별 변형량 산정에 관한 연구

(나) 굴착 단면에 따른 지반 허용 변형량 산정에 관한 연구

(다) 터널 내공 단면 3차원 측정 기술에 관한 연구

(6) 결언

터널은 지반을 상대로 어둡고 협소한 지하공간에서 작업이 이루어지기 때문에 지상작업 보다 정밀한 구조물을 시공하기 어렵다. 또한 터널굴착의 기본 원리상 변형 허용 구조물이기 때문에 터널 굴착시 발생하는 1차 지보재와 2차 복공라이닝 구조물의 시공상

편차, 지반의 변형량, 지반 특성상 또는 굴착 장비의 특성상 발생하는 여굴에 대한 허용치가 명확하게 규정되어야한다. 허용된 여굴의 뒷채움재로 투입된 숏크리트도 정확히 정산 지불되어야한다.

따라서 터널 공사는 이 규정에 따라 시공되고 측정된 내공단면에 따라 공사비가 정산 지불되어야한다.

6) 그라우팅 보강 및 차수 기준

(1) 국내 기준 현황

「그라우팅 보강 및 차수」에 대한 국내의 건설기준으로는, 터널설계기준(2007, 건설교통부)과 터널표준시방서(2009, 국토교통부제정)에서 다루고 있다. 2007년에 개정된 터널설계기준(건설교통부)에서는 「제8장 배수 및 방수편」에서 8.2 배수형식의 「8.2.2 배수형 방수형식 터널 선정시의 유의 사항」으로 유입수가 과다한 경우는 양수를 위한 유지관리 비용을 절감하기 위해 차수그라우팅을 실시하도록 규정하고 있다. 한편, 최신 터널표준시방서(2009, 국토교통부제정)에서는 「제8장 보조공법」편에서 「8-6 주입공법」으로 적용범위, 재료(주입재의 선정), 시공(주입)으로 구분하여 관련내용에 대하여 기술하고 있다. 이 터널 표준시방서에서는 내구성능, 안전성능, 환경성능 및 시공성능 등 터널 구조물의 시공에 관련된 「공통 요구 성능」을 만족하도록 최소한의 가이드라인을 제시하고 있으며, 「그라우팅 보강 및 차수」공종의 특수성을 고려하여 현장 기술자의 역할을 극대화하도록 하고 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

본 내용은 국내 터널표준시방서(2009)에 기술되어 있는 내용과 영국 터널 시방 규정(Specification for tunnelling third edition, BTS, 2010)에 규정된 내용을 비교 분석한 것이다. 영국 터널 시방 규정에는 그라우팅 보강에 관련된 항목으로는 214. Cement grout for cavity grouting과 402. Grouting for ground stabilisation and groundwater control편에서 각각 규정하고 있지만, 본 검토에서는 「그라우팅 보강 및 차수」에 부합하는 402. Grouting for ground stabilisation and groundwater control을 기준으로 비교 분석을 실시하였다.

【표 2.55】 그라우팅 기준 비교

구분	터널표준시방서(2009)	영국 터널 시방 규정(2010)
주요내용	1. 일반사항 1.1 적용범위 1.1.1 주입공법은 굴착면 주변지반의 자립성을 증진시키거나 투수성을 감소시킬 목적으로 적용하며 주입재료, 주입범위 및 주입방법은 소요의 목적을 충족시킬 수 있도록 결정하여야 한다. 2. 재료 2.1 주입재의 선정 2.1.1 주입재는 주입목적에 부합되는 내구성을 보유하여야 하며 시멘트 이외의 주입재에 대해서는 환경기준에 부합된 재료를 선정하여야 한다. 2.1.2 주입재는 대상지반의 입도나 절리발달 정도 등을 고려하여 주입가능한 주입재를 선정하여야 한다.	402.1. 일반사항 1. 그라우팅은 시공중의 지반 안정화을 위한 주입식 그라우팅을 의미하며, 시공중의 지하수 유입감소 및 지반침하 경감 또는 배재를 목적으로 한다. 적절한 첨가재를 가진 시멘트계 그라우팅이 주로 이용되며, 주입목적 및 대상 지반의 특성에 따라 화학 그라우팅을 사용할 수 있다. 2. 그라우팅은 기술자(감리자)에게 사전 통보된 숙련된 직원에 의해서 실시되어야 하며, 시공자는 작업 목적과 범위에 상당하는 성능을 만족하는지를 증명해야한다. 3. 시공자는 제안서 작성에 있어서 필요하다고 인정되는 추가 시험 및 지반조사를 실시해야 한다. 4. 시공자는 구조물이나 지반에 피해가 발생하지 않도록 hydrofracture stress level을 최소화 하도록 조치하여야 한다. 5. 시공자는 지중매설물에 저촉되는 경우에는 주입 그라우팅을 피해야 한다. 6. 그라우팅의 성능은 시공자에 의해 모니터링 되어야 하며 그 결과는 기술자(감리)의 동의를 얻어야 한다.

구분	터널표준시방서(2009)	영국 터널 시방 규정(2010)
주요내용	3. 시공 3.1 주입 3.1.1 그라우팅은 소요의 목적을 달성할 수 있도록 주입재 주입범위와 주입방법을 결정하여야 한다. 3.1.2 공당 주입범위는 상호 중첩될 수 있도록 시공하여야 한다. 3.1.3 주입 시에는 주입시간, 주입압력, 주입량 등을 정확히 기록하여야 한다. 3.1.4 주입 시 과도한 압력이 작용하여 이미 설치된 지보재와 인접 시설물 등에 손상을 주지 않도록 관리하여야 한다.	402.2. 시공자의 제안서 1. 시공자는 그라우팅의 상세에 대해서는 기술자(감리)의 동의를 얻어야 한다. 2. 그라우팅 시공자는 그라우팅 설계에 대해서 책임이 있고, 시공자는 그라우팅 주입압력, 주입 및 설계 목적에 관련된 그라우팅의 성능 평가에 대해서는 자동 기록을 해야 한다. 402.3. 천공 1. 기술자(감리)의 동의를 얻어 지반 교란이 최소화되도록 천공해야 한다. 2. 천공 튜브는 최소 지표 −1.0m 이하로 처리해야 한다. 402.4. 플랜트 플랜트는 작업 지시 및 유지관리가 양호한 위치에 설치해야 한다. 계량 및 혼합 플랜트는 그라우팅 주입에 필요한 조절이 정밀하게 이루어져야 한다. 402.5. 폐기물의 처리 402.6. 기록

(3) 국내기준의 문제점 분석

「그라우팅 보강 및 차수」공종에 대한 국내의 설계 기준 및 표준시방서에서는 터널 구조물 시공에 관련된 공통 요구 성능(내구성, 안전성, 시공성)을 달성하기 위한 최소한의 규정을 기술하고 있다. 이는 「그라우팅 보강 및 차수」공종이 현장의 지반 조건 및 시공 여건에 의해 좌우되기 쉬운 공종임을 잘 반영한 것이라 평가되며, 현장 기술자 및 감리자의 역할을 중요하게 생각한 것이라 할 수 있다.

한편, 영국의 시방 규정에서는 해당 요구 성능을 만족시킴에 있어서, 시공단계 뿐만 아니라 시공전후의 플랜트 설치에 관한 규정, 폐공처리의 문제 등 요구 성능을 세분화하고 있다. 따라서, 국내 기준도 현장 기술자 및 설계자의 창의적인 활동을 저해 하지 않는 범위 내에서 시공 후 관련법규에 저촉되지 않도록 규정화 하는 것이 필요할 것이다.

예를 들어, 영국 시방규정에서 기술하고 있는 폐공의 처리 및 폐기물의 처리 규정 및

시공 상황의 자동 기록 의무화는 각각 환경성 및 관리성을 만족시키기 위한 것이라 할 수 있다. 또한 국내 관련기준에는 그라우팅 시공 후의 요구 성능 평가에 대하여 규정을 하고 있지 않은 바, 향후 유지 관리 및 사용상의 내구성 문제가 야기 될 여지가 있다.

(4) 선진화 방안

「그라우팅 보강 및 차수」공종은 현장 시공자 및 기술자의 주관적 판단이 중요한 공정이라 할 수 있다. 현재 관련 시방서상의 내용도 대부분 시공에 관련된 준수 의무 사항 및 주의 사항 위주로 기술하고 있는 실정이다.

따라서 현장의 시공자 및 기술자의 역할이 중요시 되는 만큼 시공자의 요건을 명시해 두는 것과 시공자의 창의적인 설계 및 시공을 저해하지 않는 범위에서 그라우팅 및 차수 시공의 제안서에 대한 감리자의 확인 절차를 명시해 두는 것도 필요할 것이다.

이와 더불어, 지중에 시공되는 그라우팅 및 차수의 특성상 그 성능평가가 매우 어렵다. 따라서 시공자 및 현장 기술자는 그라우팅 및 차수 후의 성능평가에 대한 책임 의무를 규정하는 것은 터널구조물의 내구성능 향상에 도움이 될 것이다. 또한, 최근의 환경 및 유지관리에 대한 사회적 관심이 증대되고 있는 실정을 반영하여 그라우팅 작업 중 및 작업 전후에 필요한 환경 관련 규정을 기술 해두는 것도 필요할 것으로 사료된다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 그라우팅 및 차수공 시행 후의 성능평가 방법의 표준화

(6) 결언

「그라우팅 보강 및 차수」는 현장의 상황에 따라 적용여부가 결정되고 보강 및 차수의 정도도 현장 시공자 및 설계자의 주관에 의존하는 경우가 대부분이다. 또한 현재 규정되어 있는 관련시방서의 내용도 요구 성능 달성을 위한 시공 중의 준수사항 및 주의 사항에 대해서만 제한적으로 언급되어 있는 편이다.

따라서 「그라우팅 보강 및 차수」의 경우, 시공을 위한 정량적인 성능 규정화 보다는 시공후의 성능 평가에 대한 규정 및 환경성 및 사용 중의 유지관리 측면에서의 규정을 보완하는 것이 주요한 것으로 조사되었다.

7) 발파 기준

(1) 국내 기준 현황

터널 발파에 관한 국내기준으로는 2007년에 개정된 터널설계기준(건설교통부)과 2009년에 개정된 터널표준시방서(국토교통부 제정)가 대표적이다. 터널설계기준(건설교통부)에서는 발파 설계시 포함하여야 할 항목과 발파 굴착시의 주변 환경에의 영향에 대한 대책 수립 등에 관해 간략히 기술하고 있다. 반면에 터널표준시방서(국토교통부 제정)에서는 발파 굴착의 계획단계에서부터 시공시에 관련한 세부내용 및 주의 사항 등의 시방규정을 기술하고 있다. 또한 두 기준은 모두「구조물의 손상기준 및 발파 진동 허용치」를 구조물의 특성 및 중요도를 고려하여 5등급으로 세분화하여 최대 입자 속도로써 명확히 명시하고, 발파 설계 시에 이를 준수하도록 규정하고 있다. 또한 여기에서 제시하지 못한 특수한 경우에는 해당 전문가의 자문이나 기존 판례를 고려하도록 하고 있는 등 발파 진동 및 소음에 관해 비중 있게 다루고 있다. 이는 안전성, 사용성, 시공시의 환경성 및 경제성 등의 터널 구조물 건설에 관련되는 공통 요구 성능 이외에 주변 환경에 대한영향 정도까지 고려한 것이라 평가되며, 이를 규정해 둠으로서 시공 및 설계자의 창의적 활동을 제한하지 않으면서도 자칫 무분별하게 다루어지기 쉬운 제3자와의 분쟁을 사전에 회피할 수 있는 최소한의 기준이 정립되었다고 할 수 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

본 내용은 국내 터널표준시방서(2009)에 기술되어 있는 내용과 영국 터널 시방 규정(Specification for tunnelling third edition, BTS, 2010)에 규정된 내용을 비교 분석한 것이다. 영국 터널 시방 규정에는 발파에 관련된 항목으로는 「308. Explosives」편에서 308.1. General, 308.2. Blasting vibrations로 나누어 기술하고 있다. 전반적으로 국내의 시방규정과 영국의 시방규정의 내용은 크게 다르지 않다. 특히 양국의 시방규정은 발파설계 및 시공시의 성능 확보에 필요한 부분을 제한적으로 잘 기술하고 있는 점에서 성능 규정화 기준에 잘 부합하고 있다고 할 수 있다.

【표 2.56】 발파 기준 비교

구분	터널표준시방서(2009)	영국 터널 시방 규정(2010)
주요내용	4-4 발파굴착 1. 일반사항 1.1 발파굴착의 일반 1.1.1 발파계획은 지반조건, 주위환경, 터널 단면의 크기와 형상, 굴착공법, 굴진장, 벤치길이 등에 적합한 천공깊이, 천공배치, 폭약의 종류와 양, 뇌관의 형식, 발파순서 등을 종합적으로 판단하여 수립하여야 한다. 1.1.2 발파계획은 지반의 이완영역을 최소로 억제하고, 평활한 굴착면을 얻을 수 있도록 수립하여야 한다. 1.1.3 발파에 의해 발생된 버력의 크기는 활용계획 및 버력적재방법과 운반장비에 적합하도록 하여야 한다. 1.1.4 발파로 인한 소음, 지반진동 등 주변 환경에 미치는 영향을 고려하여 필요한 경우에는 그 대책을 강구하여야 한다. 1.1.5 발파작업 시에는 총포·도검·화약류 등 단속법 및 동 시행령, 근로 안전관리규정, 기타 관계법규 등을 준수하여야 한다. 1.1.6 발파작업은 화약류관리 보안 책임자의 감독 하에 진행되어야 한다. 1.1.7 발파 후 소정의 시간이 경과한 후 막장에 접근하여야 하며 불발 장약공, 잔류폭약 유무를 점검하고 잔류 폭약의 제거 등의 필요한 조치를 강구하여야 한다. 1.1.8 발파 후 굴착면을 따라 뜬 돌의 잔존여부를 확인하고 뜬 돌이 확인될 경우 안전하게 제거하여야 한다. 이를 위하여 필요한 도구를 상시 마련해 두고 정기적인 점검을 실시하여야 한다.	308.1. 일반사항 1. 시공자는 안전한 상황(사람, 시설물, 작업자)에서만 발파를 하여야 하고, 기술자의 동의가 있어야 한다. 2. 시공자는 기술 감리자와 관련 지방법이 요구하는 모든 자격을 갖추어야 하며 안전한 화약저장 시설과 장비를 제공해야 한다. 3. 화약는 시공자가 적절한 절차에 따가 지명한 자에 의해서 취급되어야 하며, 그 이름과 자격은 사전에 서면으로 기술자에게 제출해야 한다. 4. 발파는 숙련된 작업원의 감독 하에만 실시되어야 한다. 5. 시공자는 발파작업 사전에 기술자, 제3자, 법이 정한 관리자와 발파작업에 의해 영향이 예상되는 서비스 업자에게 알려야 하고, 또한 최소 14일 전에는 기술자에게 불발시의 처리 등을 포함한 자세한 작업계획을 알려야 한다. 6. 발파 작업시에는 계획 굴착선 밖의 박락이나 암석 비산이 없도록 주의해야 하며, 만약에 박락이나 암석이 비산한 경우는 인부가 발파후 작업을 하기 전에 제거해야 한다. 7. 발파원의 경고는 현장에 표식해야 하고 각 발파작업 전에 시공자는 위험을 육성으로 알리고, 현장을 정리해야 하며, 위험구역으로의 출입을 통제 해야 한다.

구분	터널표준시방서(2009)	영국 터널 시방 규정(2010)
주요내용	1.1.9 발파결과가 당초 계획과 상이할 경우에는 그 원인을 규명하여 후속 발파작업에 반영하여야 한다. 1.2 발파로 인한 지반진동 1.2.1 발파진동 측정에 대한 세부 사항을 규정((1)~(5)조항) 1.2.2 발파지점 주변의 대상시설물의 지반진동 허용치 명시 1.2.3 발파지점 주변의 주거민에 대한 생활공해 방지를 위한 발파진동 허용치는 환경부 제정 '진동과 소음에 관한 규정'을 준용한다. (가축사육, 양식장은 별도 검토) 1.2.4 현장에서 측정된 직교하는 3방향의 측정치 성분 허용범위 이내가 되도록 조치하여야 한다. 2. 재료 : 해당사항 없음 3. 시공 3.1 화약과 뇌관의 취급 및 관리 3.1.1 화약과 뇌관의 취급 및 관리는 반드시 관련 자격을 보유한 기술자가 하여야하며 1일 사용량 이상을 초과하여 수령하여서는 안 된다. 3.1.2 화약과 뇌관은 각각 별도로 보관하고 잔여량은 반드시 반납하여야 한다. 3.1.3 화약고는 설치 기준에 따라 설치하고 안전사고가 발생하지 않도록 신중히 관리하여야 한다. 3.1.4 발파 장소에서 화약류의 소운반은 소정의 용기, 운송방법에 준하되 지명된 작업원에 의해서 시행하여야 한다. 3.1.5 여기에 언급되지 않은 사항은 '총포·도검·화약류 등 단속법'에 따른다.	8. 시공자는 가능한 한 최대한 근접하여 발파 결과를 확인하고, 필요하면 기술자의 동의를 얻어 발파작업을 수정해야 한다. 9. 막장의 천공작업이 끝나기 전에는 어떠한 장약행위를 해서는 안 된다. 10. 모든 발파작업 후에는 인부가 막장에 접근할 수 있도록 충분히 환기를 시킨 후에 굴진 작업을 해야 한다. 11. 시공 감독자의 작업 허가가 있기 전에 막장 작업 및 막장 접근은 불가능 하다. 12. 시공자는 발파 후에 신속하게 굴착과 인부의 안정을 위해 필요한 지보를 해야 한다. 13. 점화자(Shot-firer)는 점화기의 수, 점화 시간과 형식, 사용된 폭약량, 그리고 기폭장치의 수와 형식을 기록해야 하고, 발파후의 상황도 함께 기록해야 한다. 14. 매번의 점화 후에는 그 기록의 복사본을 기술자에게 제공해야 한다. 15. 시공자는 폭약취급에 대한 각 법규를 준수해야 한다.(a)~(h) 308.2 발파진동(Blasting vibration) 1. 발파지와 가까운 구조물에 대해서는, 진동 제한이 필요한 위치나 발파 될 막장에서 가장 가까운 위치의 최대 입자 속도를 측정해야 한다. 2. 진동 관측 제안은 기술자와 합의해서 제출해야 한다. 3. ~ 5. 진동관측 방법, 진동관측의 주체, 장비에 대해 기술 6. 시험발파 할 것을 기술

구분	터널표준시방서(2009)	영국 터널 시방 규정(2010)
주요내용	3.2 천공 3.2.1 천공기계는 암질, 터널단면의 크기, 형상, 연장, 굴착공법, 발파계획, 버력처리 방법, 공사기간 등을 고려하여 선정하여야 하며 로드(rod)와 비트(bit)는천공기계, 암질 등에 적합한 것을 사용하여야 한다. 3.2.2 천공에 앞서 막장의 점검, 뜬 돌 제거, 잔류폭약의 유무 확인 및 회수 등의 조치를 취하여 천공 중 막장에서의 붕락, 잔류폭약에 의한 폭발사고 등을 방지하도록 하여야 한다. 3.2.3 천공 시에는 분진발생 억제 및 슬라임 제거 등이 가능한 방법으로 정해진 위치, 방향, 깊이대로 정확하게 천공하여야 하며 잔류폭약의 유무가 육안으로 확인되지 않은 전회 발파공을 다시 천공하여서는 안 된다. 3.2.4 천공 중에는 이상 용수, 가스의 분출, 지질의 변화 등이 있을 경우에는 즉시 천공을 중지하고 필요한 조치를 취하여야 한다. 3.3 장약 및 뇌관 연결 3.3.1 높은 위치에서의 장약은 작업대에서 실시하여야 하며, 장약 전에는 천공상태와 천공 중에 발생한 뜬 돌의 유무를 점검하고 이를 제거한 후 장약을 실시하여야 한다. 3.3.2 장약공은 발파효과를 높이기 위하여 소정의 채움재로 세밀하게 다지며 메워야 한다. 3.3.3 유출된 지하수가 잔류하는 막장의 하단 장약공은 수중으로 전달되는 충격압의 영향으로 불발될 우려가 있으므로 인접 장약공과 동일한 단수의 뇌관을 사용하는 등의 조치를 취하여야 한다. 3.3.4 전기뇌관 사용시의 별도의 준수사항 제시((1)~(6)조항)	

구분	터널표준시방서(2009)	영국 터널 시방 규정(2010)
주요내용	3.4 발파 시 경보 및 대피 3.4.1 발파작업은 화약류관리보안 책임자의 통제 하에 실시하여야 한다. 3.4.2 화약류관리보안 책임자가 경보 및 대피에 관련하여 준수사항 제시((1)~(5)조항) 3.4.3 터널의 양방향 굴착 시 관통이 가까워질 때에는 상호 긴밀한 연락 하에 발파작업을 수행하고 양방향에서 동시에 발파가 이루어지지 않도록 하여야 한다. 3.4.4 대피 시 책임자가 최종 검사하고 특히 횡갱 등이 있는 경우 타 경로로 작업원이 접근하지 않도록 각 방향으로 안전대책을 수립하여야 한다. 3.4.5 발파가 끝난 직후에는 신속한 환기가 되도록 하여야 한다. 3.4.6 발파 시 모든 작업원 및 주변 주민에게 발파를 알리는 사이렌 경보를 하여야 하며, 필요시 주민 대피, 교통 통제, 가축 대피 등을 실시하여야 한다. 3.4.7 안전에 대비하여 전기식 뇌관을 사용하는 발파는 발파 후 5분 이상, 비전기식뇌관을 사용하는 발파는 발파 후 15분 이상을 경과한 후에 발파장소에 접근하여야 하며 불발 화약은 안전하게 제거하여야 한다. 3.5 뜬 돌 처리 3.5.1 발파 후 버력처리 전에 막장면, 측벽, 아치부 등을 점검하여 모든 뜬 돌을 제거하여야 한다. 3.5.2 분할발파 시의 뜬 돌 처리는 발파부위뿐만이 아니라 아직 지보재가 시공되지 않은 구간에 대해서도 실시하여야 한다.	

(3) 국내기준의 문제점 분석

발파에 관련된 최신의 국내기준(터널설계기준, 터널표준시방서)의 경우, 발파 굴착시의 요구 성능(소요의 내공단면 확보, 주변에의 영향 최소화, 시공자의 안전 확보, 시공중 관리 용이성 등)을 만족할 수 있도록 하는 잘 정비되어 있다. 이는 성능 규정화 설계를 잘 이해하고 개정된 것이라 평가할 수 있고, 특히, 시공자 측면의 요구 성능은 물론이고 관리자, 주변인 등의 측면의 요구 성능까지 규정하고 있어 발파에 관한 국내 기준 및 시방서는 상당히 선진화되어 있다고 사료된다. 그러나 요구 성능 확보를 위해 너무 상세한 규정(발파진동의 측정 방법 및 빈도, 전기 뇌관 사용시의 주의 사항 등)은 오히려 창의적인 활동의 저해 할 수 있으므로 현장의 엔지니어와 감리자의 역할로 일임하는 등의 개선이 다소 필요할 것이다.

(4) 선진화 방안

최신 개정판의 터널설계기준 및 터널표준시방서는 발파 기준은 전체적으로 성능 설계의 의도를 잘 반영하고 있는 것으로 평가된다. 그러나 일부 조항에서 과도한 상세 규정도 확인되는 바, 보다 현장 중심의 성능 규정화를 위해 일부 개선하는 것이 바람직한 것으로 조사되었다.

(5) 결언

2007년 개정된 터널설계기준(건설교통부) 및 2009년 개정된 터널표준시방서(국토교통부제정)의 발파기준은 터널 건설 기술의 선진화 추세인 성능 중심 설계에 대응할 수 있는 수준으로 정비되어 있다고 할 수 있다. 특히, 발파 굴착시의 요구 성능 만족뿐만 아니라 시공자, 관리자, 주변인 등의 측면의 요구 성능까지 규정하고 있어 발파에 관한 국내 규준은 어느 정도 선진화 되어 있다고 평가된다. 그러나 일부 조항에 대한 과도한 규정이나 절차는 터널 건설 선진화를 저해 할 수 있으므로 다소 개선하는 것이 바람직한 것으로 조사되었다.

8) 비상주차 및 회차 기준

(1) 국내 기준 현황

터널내 비상주차대 및 회차에 대한 국내기준을 살펴보면, 터널설계기준(2007)에서는 제14장의 14.4 방재설비에서 「도로설계기준」을 준용하도록 규정하고 있다. 한편, 관련 규정인 「도로설계기준(2012)」에서는 「제8장 터널공」편에서 터널구간의 비상주차대 설치에 있어서의 유효길이, 폭 등에 대해 기술하고 있고, 전반적인 방재설비에 대해서는 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(2009년 8월에 개정과 함께 행정규칙(국토교통부 예규)으로 승격)」을 따르도록 하고 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

【표 2.57】은 비상주차대 설치에 대한 유럽의 설계기준을 비교 분석한 연구 내용(도로터널 방재시설(비상설비) 설치기준 개정 작성을 위한 연구, 건설교통부, 2004.12)을 인용한 것과 국내기준(도로설계기준, 2012)을 비교한 것이다.

유럽에서는 비상차로 설치에 대한 규정을 가지고 있는 국가가 많으며, 경제성이나 기술력의 문제로 비상차로를 운용할 수 없는 경우와 1,000m 이상의 터널에 비상주차대를 설치하도록 하고 있으며 설치 간격은 600~1000m 정도인 것으로 조사되었다. 특히, 노르웨이의 경우, 회차로(Tuning bay)를 별도를 설치하도록 하고 있다. 국내 설계기준에서는 길어깨폭 2.0m 미만이면서 터널연장이 1,000m이상인 터널의 경우, 750m 간격으로 비상주차대를 설치하도록 하고 있다. 이와 더불어 쌍굴터널의 경우 750m 간격으로 차량용 피난연결통로를 설치하도록 하고 있으며, 차량용 피난통로의 맞은편에는 차량의 회전 및 고장차량의 정차를 위해서 비상주차대를 시설하도록 하고 있다(비상차량의 회전반경이 확보되는 경우에는 비상주차대 설치 생략 가능).

【표 2.57】 유럽 주요국가의 터널내 비상주차대 설치 기준

국가	적용대상	설치간격 및 위치	주요 내용
한국	· 1,000m이상	· 터널 중앙부 750m	·길어깨폭 2.0m 미만이면서 터널연장 1,000m이상
독일	· 900m 이상 · 특별한 경우 600m이상	· 600m	·비상차로 설치 및 운용을 원칙으로 하나 경제성을 고려하여 비상주차대를 설치한다. ·화물차의 통행량이 4,000Veh · km/tube · day 이상일 경우, 양방향 터널의 경우에는 비상주차의 방향전환이 가능하도록 한다.
프랑스	· 1,000m이상	· 800m	·고장차량이 정차하는 경우 모든 차선을 정상적으로 사용 할 수 없는 경우, 터널 경사에 따라 가변적으로 적용
영국	· B등급 (1,000m이상)	· 터널 중앙부 1,000m이내	·교통량에 따라서 100m 부터
오스트리아	· 1,000m이상	· 입구로부터 1,000m이내	·일방향 통행 터널은 주행차로 측벽 ·양방향 통행 터널은 양측벽에 설치
노르웨이	· 별도 제한 없음	· 1,000~2,000m 마다	·Tuning bay를 시설한다. AADT≥5,000, AADT<5,000인 경우는 2.5km이상

(3) 국내기준의 문제점 분석

비상주차 및 회차에 대한 국내 기준의 문제점은 크게 설치 유무에 대한 문제점과 설치폭원에 대한 문제점을 들 수 있다.

(가) 현행 터널내의 비상주차대의 설치 기준으로는 터널의 길어깨 폭이 2.0m 미만이고 터널의 길이가 1,000m이상일 경우에 설치하도록 규정하고 있다. 이는 역설적으로 터널의 길이가 1,000m이상인 경우에도 길어깨 폭이 2.0m 확보가 된 경우 원칙적으로 비상주차대를 설치하지 않아도 되게 되어 있다. 고속도로의 경우 설계기준차량의 폭원이 최대 2.5m인 점을 고려해 볼 때, 대형차가 사고나 고장으로 인해 비상주차대가 설치되어 있지 않은 폭원 2.0m의 길어깨에 비상주차를 시도할 경우 여유폭원이 부족하게 되어 원활한 교통 흐름에 방해

를 가져오거나 안전상의 문제가 발생 할 수 있다.

(나) 도로설계시의 관련 규준이기도 한「도로 구조시설 기준에 관한 규칙 및 해설」에서는 비상주차대의 설치 폭원을 3.0m로 규정하고 있고(일반도로, 터널을 따로 구분하지 않음). 한편,「도로설계편람」에서는 대형차량 및 세미트레일러의 회전반경을 12.0m로 제시하고 있다. 이 경우 2차로 이하의 일방향 터널에서는 별도의 비상주차대를 설치하지 않거나, 3.0m로 비상주차대를 설치 한 경우 모두 회전반경 12m인 대형차량의 회전은 어려운 게 현실이다.

(4) 선진화 방안

터널내 비상주차 및 회차에 대한 기존의 설계기준은, 방재측면에서는 비상주차대 및 차량용 피난연락갱의 설치간격에 대해서 정량적인 기준(750m)이 제시되어 있다. 그러나 터널이라는 특수성 및 경제성을 고려하여 비상주차대 설치 여부를 제한적으로 규정하는 것이 현실이다. 그러나, 일본 및 유럽 등의 선진화된 설계 기준을 보면, 사용자(당사자)의 측면에서 원활한 비상정차를 할 수 있도록 하고 주변인의 교통 흐름에 방해가 되지 않도록 그 기능을 정상화 할 것을 기술하고 있다. 따라서 국내의 비상주차대 설치에 대한 최소화된 정량적 기준을 보다 현실적으로 개선하여 이용자의 사용성 및 안전성, 도로의 기능이 정상적으로 관리될 수 있도록 하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 차량대형화에 따른 현실적인 비상주차대의 폭원 검토

(나) 원활한 비상 정차가 가능한 접속부 길이 검토

(다) 교통량을 고려한 비상주차대 설치 간격 검토

(6) 결언

비상주차 및 회차에 대한 성능 규정형 설계기준은 기술자의 판단으로 결정하기에는 매우 민감한 부분이기도 하다.

터널을 이용하는 이용자의 입장에서는 비상시의 비상주차는 매우 중요하고, 터널의 기능적 측면을 고려해 봐도 원활한 교통의 확보, 통행의 안전 보장은 그 무엇보다 우선되어야 할 것이다.

그러나, 차량 회차의 기준 자체가 정량적, 객관적으로 규명하기가 어렵고, 터널의 공사비가 고가인 점, 비상주차대 설치를 위한 단면 확폭에 따르는 리스크가 큰 점 등의 이유로 가급적 비상주차대 설치를 최소화 하고자 하는 경향이 있다.

최근, 국민총생산량(GDP)이 증가하고 국민의 사회적 참여 및 관심이 높아지고 있다. 이러한 사회적 추세를 고려해 볼 때, 이용자의 편의성 증대 및 안전 확보를 위한 현실적

인 제도 개선이 중요한 것으로 조사되었다.

9) 갱문 기준

(1) 국내 기준 현황

갱문 기준에 대한 국내 기준을 살펴보면, 2007년 개정판 터널설계기준(건설교통부)에서는 「제10장 갱구부」편에서 10.1 일반사항, 10.2 갱구부의 설계, 10.3 갱문의 설계로 구분하여 관련 내용을 기술하고 있는 실정이다. 또한, 2009년도판 국토교통부 제정 터널표준시방서에서는 「제4장 터널의 굴착」편에서 4-1 터널 굴착20계획의 「1.3 터널 갱구 및 접근로」조항에서 갱구부 계획에 대해서만 간략히 언급하고 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

본 내용은 국내 터널설계기준(2007)에 기술되어 있는 내용과 미국 교통부의 연방도로 관리청(U.S.Department of Transportation's Federal Highway Administration)에서 간행한 미국 도로터널의 설계와 시공에 관한 기술 매뉴얼(Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements, 2009.12) 및 노르웨이 공공도로 관리청(Norwegian Public Roads Administration)에서 제정한 도로터널(Road Tunnels, 2004)에 규정된 내용을 비교 분석한 것이다. 미국 도로터널의 설계와 시공에 관한 기술 매뉴얼에는 갱문과 관련하여「CHAPTER 1- PLANNING」편에서 1.3.5 Tunnel Portals로 관련 내용을 기술하고 있고, 노르웨이 공공도로 관리청의 Road Tunnels에서는「5 Aesthetic design of tunnels」편의 502.33 Tunnel portals and other constructions과 「7 The Workface, support, water and

frost protection」편의 708 Portals로 나누어 기술하고 있다. 특히, 노르웨이 공공도로 관리청의 Road Tunnels에서는 터널의 미학 설계를 비중 있게 다루면서 터널 갱문의 기능적인 성능과 더불어 주변 지형 및 구조물과의 조화, 교통안전 성능까지 만족 시킬 것을 명시하고 있는 것을 알 수 있다.

【표 2.58】 갱문 기준 비교

구분	터널설계기준(2007)	Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements (2009) / Road Tunnels (Norwegian Public Roads Administration, 2004)
주요내용	제10장 갱구부 10.1 일반사항 10.2 갱구부의 설계 10.3 갱문의 설계 10.3.1 갱문의 위치 선정에 있어서는 기상 및 자연재해에 의한 영향을 최소화 할 수 있도록 갱문 배면의 지형, 지반 조건, 깎기 및 비탈면의 안정성 등을 검토하여야 하며, 갱구부 주변의 유지관리시설과의 관계와 터널 외부의 구조물형식을 고려하여야 한다. 10.3.2 갱문은 비탈면에서의 낙석, 토사붕락, 눈사태, 지표수 유입 등으로부터 갱구부를 보호할 수 있는 기능을 갖도록 하여야 하고, 지반 조건이 허용하는 한 최소 토피 구간을 선정하여 자연환경 훼손을 최소화 하여야 하며, 역학적으로 안정한 구조로 하여야 한다. 10.3.3 갱문의 외관과 형상은 터널의 사용목적에 맞고 주변 경관과의 조화를 위한 조경계획과 유지관리상의 편의를 고려하여 선정하여야 한다.	Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels (2009) 1.3.5 터널 갱문 갱문과 환기구는 환경적으로 양호한 대기질 및 터널의 기하형상을 만족하는 곳에 설치하여야 한다. 갱문에는 출구의 오염된 공기가 반대방향의 차량에 의해 터널 입구로 유입되는 것을 줄이기 위한 격벽을 설치해야 할 수도 있다. 가능하면 갱구는 일출 및 일몰시에 운전자가 눈부심 현상을 느끼기 쉬운 방향은 피해야 한다. 또한, 블랙홀 효과에 대응하기 위해 갱문에는 특별 조명이 필요하다. 갱문는 터널의 토피가 충분히 확보되는 위치에 건설되어야 하고, 터널형상 및 터널 단면, 시공법에 의해 결정된다. 예를 들어, 개착 터널에서는 갱문은 지표면 가까이에 설치 하지만, TBM터널에서는 TBM 굴진에 충분한 토피가 확보되는 위치에 갱문을 설치하여야 한다. 또한 산악터널에서 갱문은 현실적으로 설치 가능한 지표 부근에 두어야 한다.

구분	터널설계기준(2007)	Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements (2009) / Road Tunnels (Norwegian Public Roads Administration, 2004)
주요내용	10.3.4 갱문의 형식은 다양한 형식으로 적용할 수 있고 주로 면벽형과 돌출형으로 구분하며 갱구부의 지형, 지반 조건, 주변 여건을 고려하여 다음과 같이 선정하여야 한다. (1) 면벽형은 구조적으로 중력식과 날개식 등으로 나눌 수 있고 갱문 배면의 지반압을 받는 토류 옹벽구조로 하여야 한다. (2) 돌출형은 터널 본체와 동일한 내공단면이터널 갱구부에 연속하여 지반으로부터 돌출한 형식으로서 그 형상에 따라 파라펫트식, 원통깎기식, 벨마우스식 등이 있으며 각 형식별로 장·단점을 고려하여 선정하여야 한다. (3) 해빙기와 집중호우 시 낙석, 눈사태, 산사태로부터 이용자의 안전을 확보할 수 있도록 갱문형식을 선정·설계하여야 한다. 10.3.5 갱문의 구조설계는 소요 하중 외에 지진, 온도 변화, 콘크리트의 건조수축 등의 영향을 고려하여야 하며, 갱문구조물의 기초안정성도 검토하여야 한다. 10.3.6 갱문구조물의 일부로서 터널과 연결된 복개식 터널구조물은 개착구조물로 간주하여 설계하여야 하며, 편압이 작용할 경우에는 이에 대한 영향을 고려하여야 한다.	Road Tunnels (Norwegian Public Roads Administration, 2004) 502.33 터널갱문과 다른 건축물 터널 갱문의 실질적인 기능은 낙석과 산사태뿐만 아니라 얼음덩어리, 눈, 빗물로부터 도로를 보호하는 역할을 한다. 터널 갱문의 미적 기능은 열린 경관에서 터널로의 전이를 주는 것이다. 갱문의 설계는 주변자연 경관 및 터널 단면과의 조화를 이뤄야 한다. 갱문은 미적 기능과 교통 안전을 복합적으로 고려하여 설계되어야 한다. 갱문은 지형 상태에 따라 스트레이트 타입 혹은 경사타입으로 설계하여야 한다. 자연 경관측면에서 컬러는 자연적인 색감과 조화를 이룰 수 있도록 선택되어야 한다. 도심지에서는 인접 건물이 컬러의 선택에 결정적인 영향을 미친다. 도심지에서 갱문은 대개 그 지역과 조화를 이룰 수 있는 건축물로 설계되어야 한다. 터널 갱구부 인근에 교량이나 다른 구조물의 계획은 피하는 것이 좋으나 불가피한 경우 이런 구조물들은 터널 갱문의 설계 및 시공에 조화를 이루어야 하고, 또한 시공방향이 터널 갱문과 부합되어야 한다. 갱문의 앞 또는 뒤를 횡단하는 도로에 의해 발생하는 경사면은 가급적 피해야 한다.

구분	터널설계기준(2007)	Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements (2009) / Road Tunnels (Norwegian Public Roads Administration, 2004)
주요내용	10.3.7 갱문구조물과 본선 터널의 접합부는 분리구조로 하고 적합한 조인트를 설치하여야 하며, 재질이 서로 다른 두 종류의 방수막이 접합되는 경우, 방수막 상호간 접합이 용이한 재료를 선정하여 사용한다. 특히, 접합부에는 누수에 대비하여 구조물 횡방향을 따라 도수로를 설치하여야 한다. 10.3.8 갱구부 개착구조물 설치 시 원지반의 특성을 감안하여 바닥 슬라브의 설치 여부를 검토하여야 한다.	708 갱문 현장타설 콘크리트, 공장제작 콘크리트 부재 및 현장타설 콘크리트+공장제작 콘크리트 부재 등으로 갱문을 시공할 수 있다. 갱문의 길이는 지역적인 환경에 지배를 받는다. 낙석, 산사태 등으로부터 도로를 보호하고, 눈이나 얼음덩어리로부터 터널 입구부를 보호하기 위해 갱문의 길이를 충분히 확보하여야 한다. 갱문은 되메우기 보다 1~2m더 길게 설치하며, 300mm 이상의 컬러(collar)로 마감하여야 한다. 또한, 교통안전을 감안하여 방수에 특별한 주의가 요망된다.

(3) 국내기준의 문제점 분석

터널 갱문에 대한 국내기준은 주변 경관과 조화롭고 구조적인 안정을 도모하고, 터널 갱문의 고유의 성능인 낙석, 눈사태, 빗물 등으로부터 도로를 보호하고 이용자의 안전을 확보하는데 중점을 두고 있다. 이는 미국이나 노르웨이의 관련 규정이 대기질, 조명, 교통 안전등의 사용자 중심의 2차적인 성능까지 만족하도록 하는 것과 다소 대조적이다.

(4) 선진화 방안

성능설계의 역사가 긴 유럽은 물론, 종래 사양설계에서 성능설계로 이양이 활발히 진행되고 있는 일본 등 토목 선진국에서는 최근 다양한 사회적 요구에 대응하기 위해 성능을 구체화 및 세분화 하고 그 대상도 다각화 하는 추세에 있다. 특히 갱문은 사용자에 의해 직접적으로 평가되는 요소인 만큼, 사용자, 관리자 및 주변인의 요구 성능을 만족시킬 수 있도록 관련 규정을 정비하는 것은 매우 중요할 것이다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 오염된 공기의 터널내로의 역유입에 대한 관련 규정의 연구

(나) 일출 및 일몰시의 운전자 눈부심 현상 및 블랙홀 효과에 대응 가능한 관련 기준에 대한 연구

(6) 결언

갱문에 대한 국내기준은 미국, 일본 및 유럽의 기준과 비교해 볼 때 전반적으로 잘 정비되어 있다고 평가된다. 다만, 선진화된 각국의 기준에서, 특히 갱문의 경우, 기존의 「터널 건설」에 국한되어 오던 성능 규정을 「터널 사용」시의 성능까지 만족시킬 것을 규정하고 있는 바, 국내의 관련기준을 다소 보완하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

10) 지보재(록볼트, 강지보) 기준

(1) 국내 기준 현황

국내의 설계기준 중 터널관련 내용을 기술하고 있는 기준은 다섯 가지가 있다. 아래 표는 다섯 가지 기준의 목차를 정리한 것이다. 추가로 모든 구조물에 공통적으로 사용되는 강재의 재료 및 강도기준을 기술하고 있는 강구조설계기준(허용응력설계법)의 관련목차를 정리하였다. 대부분의 기준은 터널설계기준(2007)을 기초로 하여 작성되었으나 농업생산기반정비사업계획설계기준 (수로터널편, 2009)은 일본의 기준을 참조하여 작성함에 따라 용어가 터널설계기준과 상이하고 현재 잘 적용하지 않는 공법인 ‘널판공법’ 과 같은 내용을 포함하고 있는 문제점이 있다.

【표 2.59】 지보재 관련 설계기준 목차

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (2012)	하천설계기준 (2009)
제5장 터널지보재 5.1 설계일반 5.2 강지보재 5.3 숏크리트 5.4 록볼트	8.4.4 지보재 설계	33.4 지보재 33.4.1 지보재의 종류 33.4.2 지보재의 설치

철도설계기준 (노반편, 2011)	농업생산기반정비사업계획설계기준 (수로터널편, 2009)	강구조설계기준 (허용응력설계법, 2004)
12.5 터널지보재 12.5.1 터널 지보재의 설계일반 12.5.2 강지보재 12.5.3 숏크리트 12.5.4 록볼트	3.7 시공법의 선택 3.7.1 널판공법 3.7.2 뿜어붙임 콘크리트·록볼트 공법 3.7.3 널판공법과 뿜어붙임 콘크리트·록 볼트공법의 비교 5.4 뿜어붙임 콘크리트·록 볼트 공법 5.4.1 일반사항 5.4.2 지보공의 형식 5.4.3 뿜어붙임 콘크리트 5.4.4 록 볼트 5.4.5 강재 동바리	제3장 재료 및 허용응력 3.1 재료 및 강도 3.1.1 강재의 재질 3.1.2 강재의 강도 3.1.3 강재의 재료정수 3.1.4 콘크리트, 철근의 재질 및 강도 3.2 허용응력 3.2.1 강재 3.2.2 콘크리트

(2) 해외 기준과의 비교

(가)영국

영국 BTS(The British Tunnelling Society)와 ICE(The Institution of Civil Engineerings)가 공동으로 「Specification for tunnelling」을 2000년도에 제정하였고, 2010년 3rd Edition이 개정·출간 되었으며, 이는 우리나라의 설계기준 및 표준시방서에 준하는 위상을 가진다.

「Specification for tunnelling」은 일본의 터널표준시방서와 마찬가지로 기존의 기준에 대한 의견, 비판, 제안 등을 반영하여 주요 내용들을 개정하였고, 2004년에 추가로 BTS와 ICE가 공동으로 「Tunnel Lining Design Guide」를 제정하였다. 이 가이드는 NATM터널의 현장타설 콘크리트 라이닝과 숏크리트 라이닝 뿐만 아니라 쉴드터널의 세그먼트 라이닝 등 다양한 라이닝의 해석방법, 설계수명, 내구성, 품질관리 등을 상세히 다루고 있으며 영국에서의 주요 적용사례들을 함께 수록하였고, 이외에도 지표침하, 계측 및 유지관리에 대해서도 관련 가이드를 제시하고 있다.

서두에 유럽이나 영국내의 각종 기준(standard)를 요약기술하였고, 지보재의 재료강도 등은 이러한 standard의 code를 참조하도록 기술하였으며 필요한 경우 수치만 일부 함께 기술하공 있다. 또한, 시방서의 특성에 맞게 시공시 꼭 준수해야할 사항에 대하여 기술하고 있다. 다만, 국내나 일본과 달리 설계에 대한 자세한 내용을 기술하지 않고 있

고 필요한 재료의 강도와 같은 성능위주의 기준으로 볼 수 있어 제한사항이 매우 적은 특징이 있다.

(나)미국

미국의 터널관련 지침서로는 2005년에 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 내용을 폭 넓게 다루고 있다.

미국 FHWA 터널 설계가이드라인은 설계기준이라기 보다는 편람의 성격을 띠고 있으나 터널 설계시 필요한 다양한 이론적 내용과 이론 해를 다루고 있고 토사터널 및 암반터널 등 터널 특성을 고려한 이론적 내용을 기술하고 있어 이러한 부분은 설계시 도움이 될 수 있을 것으로 판단됨. 그러나, 선진화된 설계기준이나 시방서로와는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

(다)일본

일본은 별도의 설계기준은 없으며 터널표준시방서의 산악공법편에 터널관련 설계 및 시방기준을 제시하고 있으며 더불어 본 시방서는 해설서로써의 기능을 포함하고 있기 때문에 기술방향에 대한 부연설명을 각 조의 【해설】부분에서 상세하게 설명하고 있다. 시공예를 수록하여 도심지 산악공법의 내용에 충실하였다. 1996년 개정당시에도 포함하고는 있었지만, 2006년 개정하면서 독립된 장으로(제6편 특수지반 및 도심지 산악공법의 터널, 제2장 도심지산악공법) 구성하였고, 설계부터 시공까지 흐름에 따라서 해설하였다. 시방서의 내용적인 면에 있어서 각 항목을 “조(条)”로 구성하여 사용자가 참고하기 쉽도록 구성하고, 기술 기준으로써 수치적으로 제한을 하지 않고 설계 및 시공의 방향을 제시하여 기술자의 창의적이고 능동적 사고를 유도하고 있는 것이 특징이다.

일본의 표준시방서는 내용적인 면에서는 충실하게 기술되어 있어 기술자가 참조하기에는 좋으나 선진화의 주요항목인 ‘code화’와는 맞지 않으며 기술자의 창의적인 설계 유도 측면에서는 바람직하지 않은 것으로 판단된다.

【표 2.60】 영국, 미국, 일본의 지보재 기준

Specification for tunnelling (영국, 2010)	Road tunnel design guidelines (미국 FHWA, 2004)	터널표준시방서 [산악공법]·동해설 (일본, 2006)
2. Materials 208. Support arches and lattice girders 208.1 General 208.2 Arches/ribs 208.3 Lattice girders 209. Spiles, dowels and rockbolts 209.1 Spiles 209.2 Rock dowels 209.3 Rockbolts 209.4 Rock anchors 3. Methods 304. Spiling, dowelling and rockbolting 304.1 Spiling 3.4.2 Rock dowelling 3.4.3 Rockbolting 3.4.4 Load testing 3.4.5 Records	4.0 Design 4-4. Soft ground tunneling Soft ground tunnel support & lining 4-5. Rock tunnels Rock reinforcement Design of initial support	제3편 설계 제3장 지보공의 설계 제1절 통칙 제41조 지보공일반 제42조 지보공의 설계 제43조 지보공의 변경 제3절 록볼트 제49조 록볼트일반 제50조 록볼트 정착방식 제51조 록볼트 정착재 제52조 록볼트 배치 및 설치법 제53조 록볼트 정착 및 형상 제4절 강재지보공 제54조 강재지보공일반 제55조 강재지보공형상 제56조 강재지보공 단면 및 재질 제57조 강재지보공 설치간격 제58조 강재지보공 연결 및 저판 제4편 시공 제8장 지보공
영국의 경우 별도의 설계기준(design guide)은 없으며 시방서(specification)에 재료 기준을 기타 standard를 인용하여 제시하고 있으며 표준화된 분류코드를 활용함	본 설계지침서의 목적은 엔지니어가 일관성 있고(uniform) 적합한 설계를 할 수 있도록 터널설계요소를 상세히 소개한 자료임 - 한국의 설계편람의 성격이 있음	일본의 경우 우리나라와 같이 설계기준과 시방서가 별도로 규정되어 있지 않으며 시방서 내에 설계와 시공의 기준과 해설을 병기함으로써 설계 및 시공기술자에게 주요고려항목을 비교적 상세히 제시하고 있음 ('제O조' 로 코드화 함)

다음 표는 기준의 선진화와 code화에 가장 적합한 것으로 판단되는 영국의 Specification for tunnelling (영국, 2010)과 우리나라의 터널설계기준(2007)과의 관련 내용을 비교한 것이다.

【표 2.61】 영국과 국내 지보재 기준 비교

구분	터널설계기준 (2007)	Specification for tunnelling (영국, 2010)
록볼트, 강지보재	제5장 터널지보재 5.1 설계일반 5.1.1 터널의 지보는 원지반의 지보능력을 적극적으로 활용함을 원칙으로 하며, 터널지보재는 터널주변의 지반거동 특성에 부합되도록 설계하여 시공 중이나 완공 후에도 터널의 안정을 유지 5.1.2 터널 내부에서의 작업효율성, 안정성을 고려하여 각종 지보재를 설계하여야 한다. 5.1.3 지보재는 굴착지반을 조기에 안정시키며, 지반굴착에 의한 영향이 인접구조물의 안정을 해치지 않도록 설계되어야 한다. 5.1.4 터널지보재는 강지보재, 록볼트, 숏크리트 등으로 구성되어 있는 주지보재와 굴착의 용이성 및 안정성 증진을 목적으로 주지보재에 추가하여 시공하는 강봉, 굴진면 숏크리트, 굴진면 록볼트, 주입재, 강관 등의 보조지보재로 구분하여 설계 5.1.5 지보재의 설계에 있어서는 지반의 분류등급과 해당 지보재의 선정에 대한 기준을 제시함으로써, 시공 시 실제 지반 조건이 설계 시의 예측 조건과 상이할 경우 적합한 지보재의 종류와 물량으로 변경할 수 있도록 하여야 한다. 5.1.6 지보재의 설계에 있어 암반 분류에 의한 표준 지보패턴설계를 원칙으로 하며, 대규모 단층대, 함수 미고결층, 3차로 이상의 대단면, 석회암층 통과부 및 기타 풍화가 용이한 암반층 등의 구간에서는 별도의 지보패턴을 설계하여야 한다.	208. Support srches and lattice girders 208.1. General 1. Steel arches or lattice girders shall be installed to maintain the designed shape of the opening and if necessary provide an immediate support at the working face over the length of the last excavation completed. If necessary the installation of steel arches or lattice girders shall also prevent fround loss and shall improve load distribution. 2. For the design of support arched and lattice firders the following shall be taken into account : (a) axial stress and bending moment in the steel arch ribs induced by the ground loads (b) lateral stability and bracinf of steel arches or lattice girders (c) method of installing the steel arches or lattice girders (d) method of blocking and spacing of blocking points (e) bearing capacity of the ground at the toe of the arch ribs (f) the stand-up time of the unsupported part of the excavation (g) the groundwater regime and permeability of the ground.

구분	터널설계기준 (2007)	Specification for tunnelling (영국, 2010)
록볼트, 강지보재	5.2 강지보재 5.2.1 강지보재의 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다. (1) 다음의 기능이 요구될 때 강지보재를 사용하여야 하며, 강지보재의 역할이 필요 없는 경우에는 생략할 수 있다. ① 숏크리트 또는 록볼트의 지보기능이 발휘되기까지 굴착면의 안정을 도모. ② 굴진면 훠폴링 등 보조공법의 반력지지점. ③ 큰 지압으로 인한 지보재의 강성 증가 필요. ④ 지표침하 등 지반변위의 억제 필요. (2) 강지보재는 숏크리트, 록볼트 등의 지보재와 일체가 되어 소요의 지보기능을 발휘하도록 규격과 배치간격을 정하여야 한다. (3) 강지보재의 이음은 시공순서 및 시공성을 고려하여 이음개소가 최소가 되도록 정하되 제거와 추가이음이 요구되는 곳에는 시공이 가능하도록 설계에 반영하여야 한다. 5.2.2 강지보재의 형상 및 치수는 다음 사항을 따라야 한다. (1) 강지보재의 단면은 강지보재의 설치 후에도 숏크리트의 타설이 용이하고, 숏크리트와 일체화되기 쉬운 형상을 가진 것이어야 하며, H형강, U형강 및 격자지보(lattice girder) 등을 사용할 수 있다. (2) 강지보재의 치수는 작용하중 외에 숏크리트의 두께, 강지보재의 최소덮개, 굴착공법 및 굴착방법 등을 고려하여 결정하여야 한다. 또한 소요의 강성이 발휘되고, 좌굴 비틀림 및 국부적인 하중에 대하여 저항성이 크고 시공능률을 높일 수 있는 것이어야 한다.	208.2. Arches/ribs 1. Arches, base plates, ties and connections shall be formed from steel conforming to BS 7668. Arches shall be rolled to suit the dimensional requirements of the Contract. Welding shall conform with BS EN 1011-1. Holes for ties, struts and any bolted connections shall be drilled. No burning will be allowed whether for temporary Works items or permanent elements. 2. Threaded tie rods and struts shall be of adequate length to suit arch centres and allow 25mm projection each end beyond the nut. 3. Bolts for bolted connections shall be black bolts to BS 4190. 4. Where arches are to be provided as part of the Contractor's obligation for support the Contractor shall provide dimensional details of the arches, calculations regarding imposed loads and design and such other information that the Engineer may reasonably request. 5. Galvanised arches, where required, shall be treated in accordance with BS EN ISO 1461. All components, including the rods, fish plates, nuts and bolts shall be galvanised.

구분	터널설계기준 (2007)	Specification for tunnelling (영국, 2010)
록볼트, 강지보재	5.2.3 강지보재의 재질은 다음 사항을 따라야 한다. (1) 강지보재는 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호하여야 한다. (2) H형강, U형강의 재질은 KS D3503에 규정된 SS 400, 격자지보의 재질은 KS D3504에 규정된 SD500W를 표준으로 함을 원칙으로 하며, 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 하여야 한다. (3) 강재 대신 고강도 플라스틱, 복합부재 등을 지보재로 사용할 경우 강지보재와 동등 이상의 성능을 발휘하여야 한다. 5.2.4 강지보재의 이음 및 설치 간격은 다음 사항을 따라야 한다. (1) 강지보재는 운반, 거치 및 시공성을 고려하여 분할 제작하는 것을 원칙으로 하되, 이음개소를 최소화하고 부재 상호간은 견고한 이음이 되도록 설계하여야 한다. 특히, 구조적으로 불리한 위치에서의 이음은 가능한 한 피하도록 하여야 한다. (2) 팽창성 지반 등과 같이 내공변위가 크게 발생하는 지역에서는 강지보재의 이음을 가축 변형이 허용되는 조인트구조로 할 수 있다. (3) 강지보재의 설치간격은 지반특성, 사용 목적, 시공법 등을 고려하여 정하여야 한다. (4) 상반과 하반으로 나누어 굴착하는 경우 지반 조건에 따라 상부 강지보재의 수직지지점 확보가 가능하도록 조치한 후 하반의 강지보재를 일부 생략할 수 있다.	208.3. Lattice girders 1. Lattice girders shall consist of three primary bars, connected by stiffening elements to the manufacturer's design or as shown on the Drawings. They shall be designed so as to : (a) facilitate sprayed concrete penetration into and behind the girder, thereby minimising the creation of projection shadows and/or voids (b) provide good-quality bonding between the steel and sprayed concrete, to form a composite structure arching as a continuous reinforced concrete lining (c) make allowance for the specified tolerances including convergence. 2. Stiffening elements. A minimum 5% of the total moment of inertia shall be provided by the stiffening elements. This percentage is calculated as an average along the repeatable lengths of the lattice girder. To ensure stability against buckling, the maximum spacing between the stiffening elements shall be less than three times the cross-sectional height of girder.

구분	터널설계기준 (2007)	Specification for tunnelling (영국, 2010)
록볼트, 강지보재	5.2.5 강지보재의 간격재와 바닥판 받침은 다음 사항을 따라야 한다. (1) 숏크리트에 의하여 강지보재가 고정되기 전까지 전도를 방지하기 위하여 강지보재 사이에 적절한 크기의 강재 간격재를 일정 간격으로 설치하여야 한다. 이때 간격재의 형상은 숏크리트의 일체화에 저해되는 형상을 사용하여서는 안 되며, 그 설치간격은 1.5~2.0m를 표준으로 함을 원칙으로 한다. (2) 강지보재 하단에는 바닥판을 붙이고 필요에 따라 받침을 설치하여 충분한 지지력을 확보할 수 있도록 하여야 한다. (3) 강지보재 바닥판 받침에는 목재, 철근콘크리트 블록, 강판 등을 사용할 수 있으며 강지보재에 작용하는 하중이 큰 경우는 필요에 따라 바닥보강 콘크리트를 사용하여야 한다. 5.4 록볼트 5.4.1 록볼트의 설계 시 다음 사항을 고려하여야 한다. (1) 록볼트의 설계 시에는 록볼트 소재와 록볼트 자체의 항복하중과 정착방법을 면밀히 검토하여야 한다. (2) 록볼트의 설계에 있어서는 지반 상태, 불연속면의 분포, 용출수 등을 고려하여 다음에 언급한 효과가 사용 목적에 적합하게 발휘되도록 설계하여야 한다. ① 봉합작용 : ② 보형성작용 : ③ 내압작용 : ④ 아치형성작용 : ⑤ 지반보강작용 :	3. Dimensions and tolerances. The lattice girders shall be fabricated to meet minimum clearances and tolerances shown under consideration of accuracy of placement during construction, manufacturing tolerances, and of lining deflection following installation. Prior to installation, each girder shall be inspected as specified below and all measurements taken shall be recorded along with any comments. Any changes in the inspection frequency must be authorised by the Designer's SCL Engineer following a review of previous inspection results. 4. Each girder inspection shall check the following criteria : (a) ~ (d) 5. When inspecting weld quality, the following criteria shall be used : (a) ~ (c) 6. The chord length shall be checked by measuring ~ 7. The chord height shall be checked by placing ~ 8. lattice girders shall also comply with the following tolerances : (a) ~ (b) 9. Fabrication. Each of the primary bars of the lattice girder segment shall be composed of ~

구분	터널설계기준 (2007)	Specification for tunnelling (영국, 2010)
록볼트, 강지보재	(3) 록볼트의 작용효과 중 특히 봉합작용이 강조되어 인장력이 발생되는 경우는 소요의 인발내력에 대하여 충분한 안전율을 갖는 재질과 형상의 록볼트를 채택하여야 한다. (4) 록볼트의 재질, 지압판, 정착형식 및 정착재료 등을 선정할 경우에는 그 시공성을 고려하여야 한다. (5) 굴착으로 인한 응력해방에 따라 내공변위가 크게 발생하는 경우에는 선단정착형 또는 혼합형의 록볼트 형식으로 프리스트레스를 도입할 수 있다. 프리스트레스를 도입하는 경우에는 도입된 프리스 트레스가 지속적으로 유지될 수 있는 지반조건이어야 하며, 프리스트레싱에 의한 록볼트의 응력이 항복강도의 80% 이내가 되도록 하여야 한다. (6) 대단면 터널, 터널 교차부 등과 같이 8m 이상의 긴 록볼트를 설치할 필요가 있는 경우에는 시공성 등을 고려하여 짧은 록볼트와 함께 긴 케이블볼트를 조합하여 설계할 수 있다. 이때, 사용하는 케이블볼트의 재질 및 형상은 원지반 조건 및 사용 목적에 따라 정하여야 하며, 배치 및 길이 선정은 록볼트의 설계기준을 준용하되 충전재 미채움으로 인한 공극을 고려하여 록볼트 설계기준에 준하여 결정된 길이에 최소 2m를 추가하여야 한다.	10. The connection elements at the end of the girder segments shall be constructed of flat or angle steel to BS EN 10025:2004, grade s275JR. Connections between lattice girder segments shall be bolted as shown on the Frawings; welded connections between segments shall not be permitted. Nuts and bolts supplied are to be grade 8.8 or higher. 11. All welding shall be carried out in accordance with BS EN 1011-1:2009, with welding ~ 209. Spiles, dowels and rockbolts 209.3. Rockbolts 1. Rockbolts are typically passive (non-tensioned) installations. In specialist circumstances they may be active (stressed, with a debonded free length), to provide immediate support and prevent further unravelling. The bolt may be one of the following : (a) solid steel bar (deformed) to BS4440, or threaded bar of steel grades 500/600 N/mm2 or 670/800 N/mm2 (b) hollow steel bar of the self-drilling type, grade 500/600 N/mm2

<table>
<tr><th>구분</th><th>터널설계기준 (2007)</th><th>Specification for tunnelling (영국, 2010)</th></tr>
<tr><td>록볼트, 강지보재</td><td>5.4.2 록볼트 재질 및 형상은 다음 사항을 따라야 한다.
(1) 록볼트는 소요의 강도 이상을 가지는 이형봉강으로 제작하는 것을 원칙으로 하나 강관, 팽창성 강관 또는 이와 동일한 강도와 기능을 가지는 섬유보강 플라스틱(FRP) 등 기타 소재의 록볼트도 사용할 수 있으며, 재질 및 강도는 한국산업규격(KS)에 적합한 것이어야 한다.
(2) 록볼트의 재질은 원지반 조건 및 사용 목적을 고려하여 정하여야 하며, 영구지보재로 사용하는 경우는 장기 내구성이 우수한 것이어야 한다. 일반적으로 SD 350 이상의 강재로서 재질 인장강도 및 연신율이 큰 것이어야 한다. KS E 3132 및 KS D 3504에 제정되어 있는 봉강의 기계적 성질은 <표 5.4.1>과 같다.

〈표 5.4.1〉 록볼트로 사용되는 봉강의 기계적 성질
<table><tr><th rowspan="2">종류</th><th rowspan="2">재질기호</th><th colspan="3">기계적 성질</th></tr><tr><th>항복점 (MPa)</th><th>인장강도 (MPa)</th><th>연신율(%) (시험편 2호 기준)</th></tr><tr><td rowspan="2">이형봉강</td><td>SD 350</td><td>350 이상</td><td>490 이상</td><td>18 이상</td></tr><tr><td>SD 400</td><td>400 이상</td><td>560 이상</td><td>16 이상</td></tr></table>(3) 케이블볼트의 재질 및 형상은 원지반 조건 및 사용 목적에 따라 정하여야 하며, 일반적으로 재질은 공칭지름 12.7mm 이상의 7연선으로 인장강도 및 연신율이 큰 것이어야 하고, 1본의 케이블볼트가 지탱하는 소요 강도에 따라 다양한 형상의 케이블볼트를 사용할 수 있다.</td><td>(c) slit steel tube with a tapered distal end, or folded steel tube which is expanded upon installation using high-pressure water injection
(d) glass-fibre-reinforced resin rods, solid or hollow.

Only item (a) can be debonded effectively for active support applications.
Alternative materials shall be subject to agreement with the Engineer.

2. Where required, the bar and components shall have corrosion protection and the threaded end shall be sealed by an end cap.
3. Rockbolts shall have face plates which shall be of a dish shape in steel to the appropriate standard and shall have a hemispherical seating with centralised slot to suit the dimensions of the rockbolts.
4. Cement for grout for rockbolts where required shall conform to the requirements of British Standards as detailed in BS 8500-2 Table 1 as appropriate to the circumstances. Cement grout shall have a water/cement ratio commensurate</td></tr>
</table>

구분	터널설계기준 (2007)	Specification for tunnelling (영국, 2010)
록볼트, 강지보재	(4) 지압판은 록볼트와 숏크리트를 일체화시키는 역할을 담당하며, 예상되는 응력에 대하여 충분한 면적과 강도를 갖는 것이어야 한다. 지압판 두께는 6mm를 표준으로 하되 팽창성 지반의 경우는 9mm 이상을 사용하여야 한다. 5.4.3 록볼트 정착방법의 선정 시에는 다음 사항을 따라야 한다. (1) 록볼트의 정착방법으로는 선단정착형, 전면접착형, 혼합형 등이 있으며 사용 목적, 지반 조건, 시공성 등을 고려하여 정착방법을 선정하여야 한다. (2) 정착재료는 시멘트계와 수지계를 현장여건에 따라 사용할 수 있다. 설치위치에 따라 정착재료의 흘러내림을 최대한 방지하도록 조치하여야 한다. (3) 지반이 연약하여 록볼트 천공의 자립이 어려운 경우에는 자천공형 록볼트를 사용할 수 있다. (4) 긴급한 록볼트 기능 도입이 요구되는 경우에는 마찰력을 즉시 발휘시킬 수 있는 구조의 록볼트를 사용하여야 한다. (5) 록볼트의 정착재료는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 사용하는 모래는 최대 직경이 2mm 이하의 입도가 양호한 모래를 사용하여야 한다. 5.4.4 록볼트의 배치 및 길이 선정은 다음 사항을 따라야 한다. (1) 록볼트는 원칙적으로 굴착에 의하여 영향을 받는 영역을 보강하도록 배치 (2) 록볼트의 배치 및 길이는 그 사용 목적, 지반 조건, 터널단면의 크기 및 형상, 굴착공법, 절리의 간격 등을 고려하여 결정	with the product, either thixotropic grouts or pumpable grouts and shall achive the characteristic strength as descrived in Section 304. Admixtures containing chlorides shall not be used. Other admixtures including plasticisers and expanding agents to BS EN 480 shall be used only with the Engineer's agreement. 5. Full details of resin-based grouts where required shall be submitted to the Engineer for his approval. Resin grouts shall be tested in accordance with BS 6319.

구분	터널설계기준 (2007)	Specification for tunnelling (영국, 2010)
록볼트, 강지보재	(3) 록볼트를 일정한 간격으로 배치할 필요가 있는 경우에는 터널단면의 방사선 방향으로 굴착면에 직각으로 타설하는 것을 원칙으로 하고, 절리가 발달하였으나 암질이 양호한 불연속면을 관통하는 경우에는 절리면을 고려한 방향으로 록볼트를 설치하여야 하며, 인접한 록볼트 간에는 상호작용 발휘가 가능하도록 록볼트를 배치하여야 한다. 단, 록볼트를 조기에 타설할 필요가 있는 경우에는 터널진행방향으로 경사진 경사록볼트 배치형식을 적용할 수 있다. (4) 록볼트의 길이는 굴착단면의 크기와 이완영역의 발달깊이에 따라 조정하여야 하며, 설치간격의 2배 정도를 표준으로 함을 원칙으로 하고, 1회 굴진장 및 암반의 절리 상태에 따라 조정하여야 하며, 지반 자체의 지보능력을 원활히 발휘할 수 있는 간격으로 배치하여야 한다. (5) 록볼트의 직경은 1본의 록볼트가 지탱하는 암괴의 중량 또는 지반에 필요한 전단보강력에 의하여 결정할 수 있으나 일반적으로 D25 규격을 표준 (6) 터널 상부에 강관보강공법이 적용된 구간에서 록볼트에 의한 보강효과를 얻을 수 없거나 매우 저감되는 경우에는 지반 조건을 면밀히 검토한 후 록볼트를 생략	

(3) 국내기준의 문제점 분석

터널설계기준 ‘5.1 설계일반’ 의 내용은 개념적인 내용으로서 굳이 설계기준에 포함될 필요가 없는 내용이다. 설계기준은 설계자가 준수하여야 하는 최소한의 기준만 정의하는 것이 바람직하다. 필요하다면 현재 집필되어 있는 ‘설계편람’ 에 충분히 숙록하면 될 것이다. 설계기준에 기술된 내용 중 많은 부분이 표준시방서의 내용과 중복되고 있다. 설계기준에는 재료 및 강도기준 등 최소한의 기준만 정의하는 것이 바람직하고 대부분의 내용은 표준시방서를 참조할 수 있도록 하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. ‘강지보재’ 나 ‘록볼트’ 관련 내용에서 그 역할이나 기능을 설명하는 부분은 불필요한 것으로 판단된다. 터널 설계자라면 모두가 알고 있는 사실이며 필요하다면 ‘편람’ 에 수록하면 될 것이다. 터널설계기준 <표 5.4.1>에서 록볼트의 기계적 성질을 나타내고 있는데 이러한 값은 KS에 규정한 후 인용하는 것이 바람직하다. 또는 ‘강구조설계기준’ 에 모든 강재에 대한 기준을 정의한 후 기타 기준에서 인용하도록 하는 것이 바람직하다.

(4) 선진화 방안

록볼트나 강지보에서 가장 중요한 부분은 재질, 강도, 형상 등이다. 이러한 재질 및 강도는 KS와 같은 code화된 standard에 정의한 후 인용하는 방식으로 작성하고, KS code화 하기 어려운 부분은 ‘강구조설계기준’ 과 같은 공통된 기준서에 정의한 후 인용하는 방식도 생각해 볼 수 있다. 또한, 시공이나 제작에 유의해야 할 사항에 대해서는 표준시방서에 집중적으로 수록하는 것이 바람직하다. 록볼트의 경우 현재 설계기준에는 다양한 재질과 형상의 볼트를 적용할 수 있도록 규정하고 있으나 지나치게 엄격한 기준을 정의함으로써 이형봉강록볼트 이외의 볼트는 거의 적용하지 못하는 것이 현실이다. 따라서, 다양한 볼트의 비교연구를 통하여 터널 안정성 확보에 큰 영향을 미치지 않는다면 다양한 록볼트가 적용될 수 있도록 설계기준을 완화하는 것이 바람직하다. 다양한 지보재나 공법을 적용함으로써 보다 진보적인 기술을 개발하고 이러한 기술을 바탕으로 선진국과 경쟁할 수 있을 것이다.

결론적으로 성능중심으로 KS를 기준으로 code화 하되 설계에서 지켜야할 최소한의 항목만을 정의하고, 기타 시공이나 제작과 관련된 사항은 표준시방서에 정의하는 것이 바람직하다. 이 경우 설계자는 설계기준과 표준시방서를 모두 참조해야 하는 불편이 따를 수 있다. 이러한 문제점의 대안으로는 영국이나 일본과 같이 설계기준과 표준시방서를 통합하는 방법도 생각해 볼 수 있겠다. ‘터널설계 및 시방기준’ 과 같은 이름으로 통합하고 ‘제1편 설계기준’ 과 ‘제2편 시방기준’ 으로 구분하는 것도 한 방법이다.

(5) 추가 소요 연구

강지보재의 경우 현재 국내에서는 대부분 수치해석이나 안정성 검토에 고려하지 않고 있어 동일한 암반등급에 대한 지보패턴에 적용되는 강지보재의 규격이 설계자에 따라, 발주처에 따라 다양하게 적용되고 있는 것이 현실이다. 이러한 문제점으로 인하여 지반하중에 적절히 대응하지 못하고 굴진면 후방변위를 제어하지 못해 재굴착하는 사례가 매우 많은 문제점이 있다. 국내 재굴착 사례조사 등을 통하여 지반조건에 적합한 강지보재의 규격, 형상, 재질 등에 대한 연구가 필요하다.

(6) 결언

최근 국내 터널현장이 증가함에 따라 단층대나 연약대에서 지보재의 지보압 부족으로 내공변위가 부족한 경우가 적지 않게 발생하고 있다. 국외의 경우 이러한 과대변위가 예상되는 경우 예상되는 내공변위를 고려하여 터널단면(강지보 반경)을 크게 굴착하도록 설계기준에 명시하고 있고 이에 대한 공사비도 지급하고 있으나 국내의 경우 이러한 부분에 대한 규정이 마련되지 않아 과대변위 발생시 재굴착으로 인한 문제가 발생하는 경우가 있다.

설계기준이나 시방서 개정시에는 이러한 문제점들을 종합적으로 분석하고 합리적인 방안을 수립하여 관련기준에 반영하는 것이 진정한 선진화의 개념에 부합하는 것으로 판단된다. 간편하고 합리적이어야 하고 결과적으로 기술자의 창의적인 아이디어가 도출될 수 있도록 유도하여 국외 선진국에 앞선 기술을 개발할 수 있도록 하는 것이 선진화의 핵심으로 판단된다.

11) 갱구부 보강 기준

(1) 국내 기준 현황

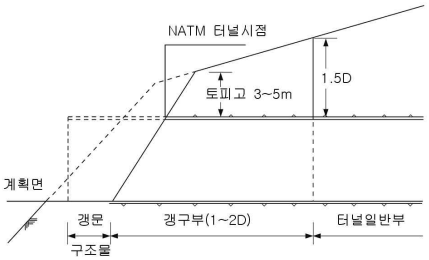
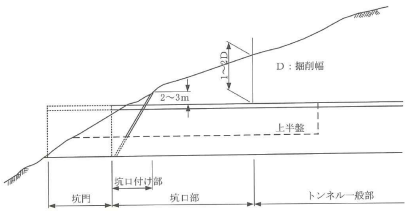
갱구부에 대한 국내 건설기준 중 터널설계기준에는 제10장 갱부부편에 10.1 설계일반, 10.2 갱구부의 설계와 같이 2개의 절로 구성되어 있으며, 갱구부의 정의, 설계시 고려사항, 보강공법적용검토, 하중 및 기상조건에 따른 영향, 지진에 대한영향 등에 관해서 기술하고 있다.

또한 터널표준시방서(2009)에는 제4장 터널의 굴착편에 터널갱구 및 접근로에 대하여 시공중 유의사항위주로 간략하게 기술하고 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

본 내용은 국내 터널설계기준상에 있는 갱구부 기준과 일본터널표준시방서 동해설(2006)의 내용을 비교한 것이다.

【표 2.62】 일본 기준과의 비교

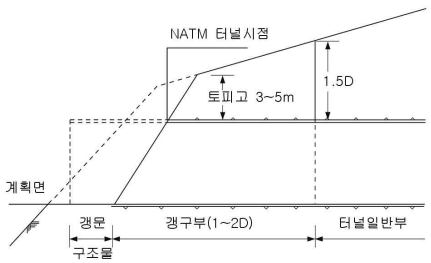
터널설계기준 (2007)	터널표준시방서(일본토목학회,2006)
10.1 설계일반 10.1.1 갱구부는 일반적으로 갱문구조물 배면으로부터 터널길이의 방향으로 터널직경의 1~2배 정도의 범위 또는 터널직경 1.5배 이상의 토피가 확보되는 범위까지로 정의함을 원칙으로 한다. 단, 원지반 조건이 양호한 암반층 또는 붕적층, 충적층 등의 미고결층에서는 별도의 구간을 갱구 범위로 정의할 수 있다.  10.1.2 갱구부는 일반부와는 달리 지형, 기상, 입지 조건, 근접시설물 등의 외적조건 등을 고려하여 구조 및 시공방법을 선정하여야 한다. 10.1.3 갱구부설계 시에는 다음 사항들을 검토하여 안정성을 확보하고 환경훼손 을 최소화할 수 있도록 하여야 한다. (1) 갱구의 위치 및 설치방법. (2) 갱구부로 시공되는 범위. (3) 갱구부의 굴착공법, 지보구조, 보조공법과 콘크리트라이닝의 구조. (4) 갱구비탈면의 안정검토와 필요한 비탈면 보호 및 안정공법. (5) 갱구비탈면의 지표수 및 지하수 배수대책. (6) 기상재해의 가능성과 필요한 대책공법. (7) 지표 침하 등 갱구주변의 구조물에 미치는 영향.	제 7 장 갱구부 및 갱문의 설계 제72조 갱구부 및 갱문일반 갱구부 및 갱문은 지반조건, 단면의 크기, 입지조건, 주변 환경에 주는 영향, 경관 및 시공방법등을 충분히 고려한 설계를 해야 한다.  <해설> 통상 갱구부는 그림에 표시한 대로 그라운드 아치의 형성되는 토피가 굴진폭의 1~2배까지의 범위를 기준으로 한다. 단 각각의 터널의 지반조건을 고려하여 개별적으로 범위를 정할 필요가 있다. <해설> 갱구부는 터널의 출구근처로 토피가 작고 그라운드아치가 형성되기 어려운 범위이다. 갱구가 되는 범위는 일반적으로 지질이 연약한 층이 존재하는 경우가 많고 이 약층을 따라 침식이 진행되어 복잡한 지형이 발달해 있는 경우가 많다. 이 때문에 터널 굴착 및 갱구부근의 편절등에 의해 사면붕괴를 일으키기 쉽다. 공용중에도 낙석, 폭설, 지진등 자연피해 등 기상재해를 받기 쉽고, 공용후에 상재하중 이나 편압의 영향을 받는다. 갱구부에 예상되는 문제점 및 설계상 유의점에 대하여 기술.

터널설계기준 (2007)	터널표준시방서(일본토목학회,2006)
10.2 갱구부의 설계 10.2.1 갱구부의 위치는 지형이나 기상의 영향을 크게 받으므로 지형과 터널 중심축선과의 위치 관계에서 다음 특성을 고려하여야 한다. (1) 터널 중심축선은 지형 경사면과 가급적 직교하도록 하여야 하며, 이 경우 경사면 하단보다 상부 지역에 갱구부가 계획될 때에는 공사용 진입로를 확보하도록 하여야 하고, 인접 구조물과의 관계 등도 고려하여야 한다. (2) 갱구부는 갱구부 깎기 최소화를 위하여 특수한 지형 및 지질 조건을 제외하고는 갱구부 상단 토피 3~5m 또는 암토피고 1~2m 확보되는 지점 에 갱구부를 형성하는 것을 표준으로 한다. (3) 터널 중심축선이 지형 비탈면에 대하여 사각으로 진입하는 경우에는 비대칭의 깎기 비탈면이나 갱문이 형성되게 되므로 횡방향 토피 확보 여부와 편압에 대한 검토를 하여야 한다. (4) 터널 중심축선과 지형경사면이 평행한 경우는 가급적 피해야 하며, 골짜기 쪽의 토피가 극단적으로 얇아질 경우가 있으므로 전구간에 걸쳐 편압에 대한 검토와 이에 대한 대책을 수립하여야 한다. (5) 골짜기에는 일반적으로 지질구조대가 발달하여 있고 지표수 유입과 지하수위가 높을 경우가 많으므로 터널 중심축선이 골짜기로 진입하는 경우는 최대한 피하여야 한다. 부득이하게 계획되었을 경우는 수리·수문학적인 검토를 하여 지표수와 갱문 배면의 침투수가 원할하게 배수처리 되도록 하여야 하며, 낙석, 산사태, 눈사태 등의 자연재해 발생가능성에 대비하여야 한다.	제 73 조 갱구부의 설계 (1) 갱구부의 설계에 있어서 갱구사면의 영향, 주변경관과의 조화, 시공방법과 장래 개발계획과 주변 토지이용 등의 변화를 고려해야 한다. (2) 갱구부의 지보공 및 복공은 갱구부 특유의 지반조건을 고려해서 설계해야 한다. (3) 터널의 건설에 따라 예상되는 제문제에 대해 적절한 대책공법을 선정해서 설계해야 한다.

터널설계기준 (2007)	터널표준시방서(일본토목학회,2006)
0.2.2 갱구의 위치는 깎기 비탈면의 안정과 자연지형 보존을 위하여 깎기를 최소화할 수 있는 위치로 선정하여야 하며, 갱구 위치별 깎기량에 대한 경제성, 시공성, 경관성, 환경영향 등을 비교 검토하여야 한다. 10.2.3 갱구부의 설계에 있어서는 비탈면의 안정성, 지반의 지내력, 터널 중심축선과 비탈면의 관계, 갱구비탈면 깎기 및 터널의 안정성 등을 검토하여야 한다. 10.2.4 갱구비탈면의 기울기는 지반 조건에 따라 적절히 선정하여야 하며, 필요시 비탈면 안정성 확보를 위하여 표면 보호공법과 활동 방지대책 등의 적절한 보강공법을 적용하여야 한다. 10.2.5 갱구부는 일반적으로 지반의 강도와 고결도가 낮은 경우가 많고 암반층에서도 균열 발달이 심한 경우가 많으므로 지반의 자체 지보력 확보를 위하여 보다 적극적인 보강공법을 적용하여야 하며, 동일 지반 조건에서의 일반구간보다 안전한 굴착공법과 지보패턴의 작용을 검토하여야 한다. 10.2.6 토피가 얇고, 지반 자체의 지보력 형성이 어려울 것으로 예상되는 경우에는 상재된 전토피 하중이 지보재로의 작용 여부를 검토하여야 한다. 10.2.7 갱구부는 누수, 결빙 등이 발생하기 쉽기 때문에 적절한 방수 및 배수조치를 하여야 하며, 갱구부에 작용하는 하중 및 기상 조건에 따른 영향을 고려하여 콘크리트라이닝의 철근 보강 여부, 동상방지층, 제설 시스템 및 방설시설의 적용 여부를 검토하여야 한다. 10.2.8 갱구부에서는 지진영향에 대한 거동특성이 일반구간과는 다를 수 있으므로 지진하중에 의한 영향을 검토하여야 한다.	

터널설계기준 (2007)	터널표준시방서(일본토목학회,2006)
10.2.9 갱구부 시공 시 지반이완과 비탈면 붕괴가 발생할 위험이 있는 경우에는 터널굴착에 앞서 낙석방지와 비탈면 안정대책을 수립하여야 한다. 10.2.10 터널 중심축선과 비탈면의 위치 관계에서 3차원 거동이 예상되거나 편압이 작용되는 경우에는 터널안정성 해석 시 이에 대한 검토를 하여야 하며, 안정성이 확보되지 않는 경우에는 압성토와 깎기로서 지반압의 균형을 맞추도록 하거나 불균형의 응력 발생에 대비한 보강대책을 제시하여야 한다. 10.2.11 갱구부는 지표부에 과다한 침하와 지표 함몰의 가능성이 있으므로 지표부에 침하의 제한이 필요한 시설물이 있는 경우에는 이에 대한 충분한 대책을 검토하여야 하며, 필요에 따라 보강공법을 제시하여야 한다.	

【표 2.63】 노르웨이 기준과의 비교

터널설계기준 (2007)	Road Tunnels(Norwegian Public Roads Administration, 2003.04)
10.1 설계일반 10.1.1 갱구부는 일반적으로 갱문구조물 배면으로부터 터널길이의 방향으로 터널직경의 1~2배 정도의 범위 또는 터널직경 1.5배 이상의 토피가 확보되는 범위까지로 정의함을 원칙으로 한다. 단, 원지반 조건이 양호한 암반층 또는 붕적층, 충적층 등의 미고결층에서는 별도의 구간을 갱구 범위로 정의할 수 있다.  10.1.2 갱구부는 일반부와는 달리 지형, 기상, 입지 조건, 근접시설물 등의 외적조건 등을 고려하여 구조 및 시공방법을 선정하여야 한다. 10.1.3 갱구부설계 시에는 다음 사항들을 검토하여 안정성을 확보하고 환경훼손 을 최소화할 수 있도록 하여야 한다. (1) 갱구의 위치 및 설치방법. (2) 갱구부로 시공되는 범위. (3) 갱구부의 굴착공법, 지보구조, 보조공법과 콘크리트라이닝의 구조. (4) 갱구비탈면의 안정검토와 필요한 비탈면 보호 및 안정공법. (5) 갱구비탈면의 지표수 및 지하수 배수대책. (6) 기상재해의 가능성과 필요한 대책공법. (7) 지표 침하 등 갱구주변의 구조물에 미치는 영향.	5. 터널의 미학설계 502. 터널 갱구부 502.1 일반 터널 갱구부는 굴착에 영향을 받는 전체지역으로 구성되며, 토사나 암반의 절취면, 식생, 터널입구, 갱문 및 벽체 등이 포함한다. 갱구부는 쾌적한 운행에 기여 할 수 있는 장소에 위치시키야 한다. 일반적으로 토공부(open road)에 적용된 동일한 원칙이 터널 갱구부 설계 및 정의에도 적용된다. 터널 갱구부를 토공부와 구별하여 생각하는 경우 갱문이 자연경관을 훼손시킬 수 있다. 터널막장은 지층훼손이 최소가 되는 곳에 위치시켜야 하며 터널막장을 불량한 곳에 위치시키므로 해서 발생되는 경관의 훼손은 적절한 방법을 이용하여 보완되어야 한다. 터널 갱구부는 2가지 원칙에 따라서 위치를 정하고 설계할 수 있다. ●현재의 자연경관에 융합될 수 있는 시공. ●자연경관과 긍정적인 시각대비를 줄 수 있어야 함. 대체로 '긍정적인 대비(positive contrast)'란 터널갱구부의 자연경관이 2차적이거나 위장되지 않으면서 자연경관과 긍정적인 대비를 이루는 건축학적인 주제에 기초하여 설계되거나 간주되는 것을 의미한다. 갱문시공 또는 갱구부 토공은 다음을 준수하여야 한다. ●훌륭한 조형물 ●훌륭한 장인정신 ●시간이 흘러도 품질을 유지할 수 있는 재료

터널설계기준 (2007)	Road Tunnels(Norwegian Public Roads Administration, 2003.04)
10.2 갱구부의 설계 10.2.1 갱구부의 위치는 지형이나 기상의 영향을 크게 받으므로 지형과 터널 중심축선과의 위치 관계에서 다음 특성을 고려하여야 한다. (1) 터널 중심축선은 지형 경사면과 가급적 직교하도록 하여야 하며, 이 경우 경사면 하단보다 상부 지역에 갱구부가 계획될 때에는 공사용 진입로를 확보하도록 하여야 하고, 인접 구조물과의 관계 등도 고려하여야 한다. (2) 갱구부는 갱구부 깎기 최소화를 위하여 특수한 지형 및 지질 조건을 제외하고는 갱구부 상단 토피 3~5m 또는 암토피고 1~2m 확보되는 지점 에 갱구부를 형성하는 것을 표준으로 한다. (3) 터널 중심축선이 지형 비탈면에 대하여 사각으로 진입하는 경우에는 비대칭의 깎기 비탈면이나 갱문이 형성되게 되므로 횡방향 토피 확보 여부와 편압에 대한 검토를 하여야 한다. (4) 터널 중심축선과 지형경사면이 평행한 경우는 가급적 피해야 하며, 골짜기 쪽의 토피가 극단적으로 얇아질 경우가 있으므로 전구간에 걸쳐 편압에 대한 검토와 이에 대한 대책을 수립하여야 한다. (5) 골짜기에는 일반적으로 지질구조대가 발달하여 있고 지표수 유입과 지하수위가 높을 경우가 많으므로 터널 중심축선이 골짜기로 진입하는 경우는 최대한 피하여야 한다. 부득이하게 계획되었을 경우는 수리·수문학적인 검토를 하여 지표수와 갱문 배면의 침투수가 원활하게 배수처리 되도록 하여야 하며, 낙석, 산사태, 눈사태 등의 자연재해 발생가능성에 대비하여야 한다.	502.2 Location 가능한 한 터널 갱구부는 자연경관과 조화되는 곳에 위치시켜야 하며, 갱구막장은 경사진 암반면에 위치시켜야 한다. 갱구위치는 비교적 완만한 지형에서 갑작스럽게 급경사 지형으로 바뀌는 위치가 가장 적합하다. 완만한 경사의 지형에서는 긴 절토면이 자연경관을 훼손하므로 피하는 것이 좋다. 이 경우 연장이 긴 갱문, 측면 비탈면 또는 토공 등에 많은 공사비가 소요된다. 가능한 한 터널 갱구부는 다음과 같은 곳에 위치시켜야 한다. •터널갱구 방향이 자연지형경관과 조화되는 위치 •터널 시점이 시점부의 자연 암반면과 직교하는 곳 •토사나 암반사면 절취가 최소가 되는 지점 계곡부에서의 긴 절취는 상당한 노출이 불가피하므로 피하는 것이 좋다. 계곡부를 따라 큰 절취가 필요한 곳에 불가피하게 갱구가 계획된다면, 절취 최소화를 위한 특별한 검토가 필요하다. 도심지에서는 도심에서 보이지 않는 지역에 갱구부를 설치토록 하여야 하며, 이러한 위치에서의 갱구 계획이 불가한 경우에는 가능한 한 갱문이 주변건물 및 거리와 일체가 되도록 설계하여야 한다. 도심지에서의 갱구부 계획은 가급적 피하는 것이 좋다.

터널설계기준 (2007)	Road Tunnels(Norwegian Public Roads Administration, 2003.04)
0.2.2 갱구의 위치는 깎기 비탈면의 안정과 자연지형 보존을 위하여 깎기를 최소화할 수 있는 위치로 선정하여야 하며, 갱구 위치별 깎기량에 대한 경제성, 시공성, 경관성, 환경영향 등을 비교 검토하여야 한다. 10.2.3 갱구부의 설계에 있어서는 비탈면의 안정성, 지반의 지내력, 터널 중심축선과 비탈면의 관계, 갱구비탈면 깎기 및 터널의 안정성 등을 검토하여야 한다. 10.2.4 갱구비탈면의 기울기는 지반 조건에 따라 적절히 선정하여야 하며, 필요시 비탈면 안정성 확보를 위하여 표면 보호공법과 활동 방지대책 등의 적절한 보강공법을 적용하여야 한다. 10.2.5 갱구부는 일반적으로 지반의 강도와 고결도가 낮은 경우가 많고 암반층에서도 균열 발달이 심한 경우가 많으므로 지반의 자체 지보력 확보를 위하여 보다 적극적인 보강공법을 적용하여야 하며, 동일 지반 조건에서의 일반구간보다 안전한 굴착공법과 지보패턴의 작용을 검토하여야 한다. 10.2.6 토피가 얇고, 지반 자체의 지보력 형성이 어려울 것으로 예상되는 경우에는 상재된 전토피 하중이 지보재로의 작용 여부를 검토하여야 한다. 10.2.7 갱구부는 누수, 결빙 등이 발생하기 쉽기 때문에 적절한 방수 및 배수조치를 하여야 하며, 갱구부에 작용하는 하중 및 기상 조건에 따른 영향을 고려하여 콘크리트라이닝의 철근보강 여부, 동상방지층, 제설 시스템 및 방설시설의 적용 여부를 검토하여야 한다. 10.2.8 갱구부에서는 지진영향에 대한 거동특성이 일반구간과는 다를 수 있으므로 지진하중에 의한 영향을 검토하여야 한다.	502.3 설계 502.31 지형과 구조물 터널 갱문을 포함한 갱구부는 지역적인 주변환경 특성을 고려하여 설계하여야 한다. 다시 말해서, 현재 경관이 좋은 장소를 선택하며, 이러한 대비는 결과적으로 긍정적인 시각효과를 주게 된다. 지형과 갱문 및 갱문관련 구조물은 자연경관을 해치지 않고 조화를 이룰 수 있도록 건축학적인 모티브에 따라 신중히 설계 되어야 한다. 계곡부에 갱구부가 위치한다면, 경관적으로 특별한 고려 필요하며, 다수 사례에서 경관적으로 특별한 고려가 반영된 설계는 계곡부에서 긍정적인 대비를 가져다 준다. 자연경관에 기초하여 갱구부를 설계할 때, 갱구부는 자연의 일부처럼 보이게 된다. 경관기초설계는 다음을 포함한다. •터널입구의 위치 •갱문의 연장 •갱문으로 진입하는 측면의 개방지역 •갱문의 시공 종단곡선에서 터널을 계획하지 않아야 하며, 일반적으로 터널 입구부는 가능한 초기점에서 시작해야 한다. 이러한 많은 경우에서 특별한 안전대책을 필요로 한다. 터널입구로 향하는 측면지역은 자연광관과 조화되게 설계되어야 한다. 특히, 교통량이 많은 곳에서는, 경관측면에서 다양성을 제공하기 위해 조경과 조림이 필요하다.

터널설계기준 (2007)	Road Tunnels(Norwegian Public Roads Administration, 2003.04)
10.2.9 갱구부 시공 시 지반이완과 비탈면 붕괴가 발생할 위험이 있는 경우에는 터널굴착에 앞서 낙석방지와 비탈면 안정대책을 수립하여야 한다. 10.2.10 터널 중심축선과 비탈면의 위치 관계에서 3차원 거동이 예상되거나 편압이 작용되는 경우에는 터널안정성 해석 시 이에 대한 검토를 하여야 하며, 안정성이 확보되지 않는 경우에는 압성토와 깎기로서 지반압의 균형을 맞추도록 하거나 불균형의 응력 발생에 대비한 보강대책을 제시하여야 한다. 10.2.11 갱구부는 지표부에 과다한 침하와 지표 함몰의 가능성이 있으므로 지표부에 침하의 제한이 필요한 시설물이 있는 경우에는 이에 대한 충분한 대책을 검토하여야 하며, 필요에 따라 보강공법을 제시하여야 한다.	바람직한 조경은 •터널갱구부에 개방감을 주어야 한다. •암반노출면이 잘 보이지 않게 해야 한다. 상대적으로 완만한 지형에서 갑작스레 급한 지형으로 바뀌는 지형이 갱구에 좋은 위치이며, 이는 결과적으로 환경성을 만족하는 토공설계를 가능케 해 준다. 상대적으로 완만한 지형에서의 갱구부 계획은 운전자의 주행성을 확보하기 위해 상당히 많은 대책을 필요로 한다. 502.32 현존 식생과 새로운 식생 터널 갱구부를 시공함에 있어, 현존하는 식생을 보존하는 것이 매우 중요하다. 갱문부를 위해 시각적으로 중요한 나무를 토지소유자가 벌목하지 못하도록 식생지역을 보호해야 한다. 식생지역을 보호하기 위해 그 땅을 매입하거나, 토지소유자에 동의서를 받아야한다. 새로운 식생 또한 고려되어야 한다. 새로운 식생은 자연경관과의 조화를 위해 고려가 가능하다. 일반적으로 새로운 식생은 자생하는 식물보다 우세한 종을 반영하여야 한다. 나무는 차단막으로 사용되기도 한다 식생은 도로사용자에게 만족스런 영향을 가져다준다. 식생을 위한 일반적인 원칙은 매뉴얼 017에 나온다. 식생은 자연경관 훼손을 완화시키고, 조화시키는데 기여할 수 있는 갱문부에 특히 중요하다. 의도적인 식생의 적용은 갱구부에 설치되는 인위적인 시설물 영향을 감소시키는 역할을 한다. 많은 종류의 표지판, 시설물 등이 설치되어 있는 갱구부에서의 조경은 시각적인 혼란을 완화시켜 주는 역할을 한다. 예를 들어, 조경은 표지판과 다른 시설물의 배경으로 활용되기도 한다.

터널설계기준 (2007)	Road Tunnels(Norwegian Public Roads Administration, 2003.04)
	조경은 심리적 측면에서 단기와 장기적인 목적으로 계획되어야 한다. 예를 들어, 현재의 식생을 제거하기 전에 새로운 식생이 그 지역에 자생이 가능한지 확인하여야 한다. 터널입구에서는 가뭄과 기류변화가 종종 발생하게 된다. 지역적인 환경에 적응할 수 있는 식재의 선택이 중요하다. 502.33 터널갱문과 다른 건축물 터널갱문의 실질적인 기능은 낙석과 산사태뿐만 아니라 얼음덩어리, 눈, 빗물로부터 도로를 보호하는 역할을 한다. 원칙적으로 터널은 암반면이 건조하고 안정되어 지표수에 의한 문제가 없는 곳에서 콘크리트 갱문을 사용하지 않고 건설되어야 한다. 터널갱문의 미학적인 기능은 토공구간과 터널의 점이지역을 인식시키는 것이다. 갱문의 설계는 주변자연 경관과 조화를 이루어야 하고, 터널 단면과도 조화를 이뤄야 한다. 일반적으로 자연경관 측면에서는, 점진적인 변화가 선호된다. 배면으로 경사가 지고, 깔때기 모양으로 설계된 갱문은 개방된 터널 느낌을 준다. 갱문은 미학적인 측면과 교통안전을 동시에 고려할 수 있도록 계획되어야 한다. 일반적으로, 갱문은 터널 입구 내·외측에 가이드레일이 필요치 않게 설계되어야 한다. 갱문은 지형상태에 따라 직선형태 혹은 경사진 형태로 설계하여야 한다. 일반적으로 경사면 형태의 갱문은 되메우기가 적용된 갱문형식에 적합하다. 되메우기 경사는 그 지역의 지형에 따라 결정되며, 가장 바람직한 결과는 되메우기 경사가 새로운 지형과 일치할 때 얻어진다.

터널설계기준 (2007)	Road Tunnels(Norwegian Public Roads Administration, 2003.04)
	자연경관측면에서 컬러는 자연적인 색감과 조화를 이룰수 있도로 선택되어야 한다. 도심지에서는 인접 건물이 컬러의 선택에 결정적인 영향을 미친다. 도심지에서 갱문은 대개 그 지역과 조화를 이룰 수 있도록 의도적인 건축물로 설계되어야 한다. 현존하는 건물이나, 계획된 건물은 갱문설계를 위한 대전제를 제공해 주기도 한다. 도로로 이어지는 측벽은 보행자가 도심지를 인식 할 수 있도록 1m이상 높지 않아야 한다. 딱딱한 콘크리트 벽체보다는 지역적인 건축미와 색감에 맞도록 설계된 난간이 더 효과적이다. 터널 갱구부 인근에 교량이나 다른 구조물의 계획은 피하는 것이 좋으나 불가피한 경우 이런 구조물들은 터널 갱문의 설계 및 시공에 조화를 이루어야 한다. 게다가, 시공방향이 터널 갱문과 부합되어야 한다. 갱문의 앞 또는 뒤를 횡단하는 도로에 의해 발생하는 경사면은 또한 가급적 피해야 한다. 만일, 터널갱문과 인접하여 도로의 횡단이 필요하다면, 갱문 앞에 직접적인 설치보다는 갱문 상단을 횡단하는 것이 좋다. 갱문은 갱문과 도로 간의 시각적인 화면을 제공할 수 있도록 충분히 길게 건설하는 것이 좋다. 이러한 시각적인 화면은 토공이나 식생 또는 이들의 조합에 의해 달성될 수 있다. 701. 토공 및 터널 갱구 일반적으로 암질은 터널부보다 터널 갱구부에서 불량한 경우가 많다. 터널 갱구 부근의 연약대는 특별한 주의가 필요로 한다. 개착부와 갱구부의 상세설계시 경사와 방향을 고려하여 암반의 구조대에 유의하여야 한다.

터널설계기준 (2007)	Road Tunnels(Norwegian Public Roads Administration, 2003.04)
	암석발파는 불안정한 굴착에 의해 야기되는 평면 활동에 의한 불안정화를 피하도록 해야 한다. 터널 갱구부를 위해 특별한 발파와 지보계획이 필요하다. 일반적으로, 터널 갱구부를 위한 초기발파로 전단면 발파는 지양되며, 대개 첫 번째 굴진장은 안정된 갱구위치가 나올 때까지 감소시킨다. 전단면 발파의 대안으로, 초기 선진도갱을 하거나, 사전에 횡단면의 일부를 굴착 후 전체 단면으로 확장시키는 방법을 사용한다. 갱구부 안전을 확보하기 위해서는 전통적인 방법뿐만 아니라 진보된 예방대책 등이 필요하다. 이런 방법으로는 포어폴링, 숏크리트, 케스트콘크리트 등을 포함한다. 낙석, 눈사태, 얼음덩어리와 터널 갱문으로부터 도로 노면으로 낙수를 방지하기 위하여 입구부에 갱문을 설치하여야 한다. 갱문은 암석이나 얼음 조각 등을 막기 위해 충분히 길게 계획하여야 한다. 게다가, 갱문으로 유도되는 개착지는 사면으로부터 떨어지는 암편 등에 대비하기 위해 충분히 넓은 폭을 가져야 한다. 터널 갱문과 갱구부는 미학적인 설계가 꼭 필요하다. 만약 쌍굴터널이 굴착될 예정이라면, 이들 사이의 최소 폭은 10m이상 되어야한다. 10m보다 더 가까이 갱구부를 계획 할 경우, 안정성 검토, 개착부 범위, 미관 등의 고려가 필요함. 708 갱문(Portal) 현장타설 콘크리트, 공장제작 콘크리트 부재 및 현장타설 콘크리트+공장제작 콘크리트 부재 등으로 갱문을 시공할 수 있다. 갱문의 길이는 지역적인 환경에 지배를 받는다.

(3) 국내기준의 문제점 분석

국내 터널갱구부의 정의에서 갱구부의 수평적 위치를 갱구에서 1D~2D로 표현한 것은 일반화될 수 없으므로 적절치 않다.

국내터널기준의 갱구일반 및 설계기준은 시방서와 중간적인 내용을 기술하고 있으며 시방서에는 기술하고 있지 않다.

갱구부는 지형, 지질조건 및 현황 등이 터널이 건설되는 위치별로 다양하므로 설계기준상에서 갱구로서의 필요한 여건을 제시할 수 없다.

최적의 갱구위치는 설계단계에서 제반여건을 고려하여 안전성과 환경훼손 최소화의 측면에서 최적의 갱구위치를 선정해야 한다.

설계기준에서는 사면안정측면에서 바람직한 조건, 터널갱구로서의 기능을 갖추기 위한 조건, 경관측면에서 고려해야 하는 조건 등을 제시하고 설계시 비교검토 하도록 기술하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

(4) 선진화 방안

해외기준을 살펴본 결과 일본과 노르웨이에서만 갱구의 조건 및 경관을 위해 고려해야할 사항을 기술하고 있으며 다른나라에서는 기준으로 제시하고 있지 않음.

(5) 추가 소요 연구

(가) 갱구부 경관설계를 위한 기준정립

12) 라이닝 하중 기준

(1) 국내 기준 현황

라이닝 하중에 관한 국내의 설계기준 중 터널설계기준(2007)에는 6장 6.4절 설계하중에서 적용하중 항목이 간략하게 기술되어 있다. 도로설계편람 제6편 터널편에서는 607.2 콘크리트 라이닝 해석 2.3.1 설계하중에서 항목 및 하중이 상세하게 기술되어 있고 예제도 첨부되어 있다. 철도설계편람 노반편 7권 터널 106.1절 (2) 설계하중의 산정과 적용에서 적용 하중항목과 하중조합이 기술되어 있다. 다음은 라이닝 하중에 관한 기준별 항목들이다.

【표 2.64】 라이닝 하중에 관한 기준별 항목

터널설계기준 (2007)	도로설계기준 (터널, 2005)	도로설계편람 제6편 터널편 (2010)	철도설계기준 노반편 (터널, 2011)	철도설계편람 노반편 7권 (터널, 2011)
제6장 콘크리트 라이닝 6.4 설계하중	8.4.5 콘크리트 라이닝 설계	607 콘크리트 라이닝 607.2 콘크리트 라이닝 해석 2.3.1 설계하중	12.6 콘크리트라이닝	106 콘크리트 라이닝 106.1 (2) 설계하중의 산정과 적용
항목정도 간략 서술	하중관련 내용 없음	항목 상세 기술 하중조합 설계 예제	하중관련 내용 없음	하중항목 하중조합

(2) 해외 기준과의 비교

본 내용은 국내 터널설계기준상에 있는 라이닝 설계하중 기준과 관련 해외기준 내용을 비교한 것이다.

【표 2.65】 기준별 라이닝 설계하중

설계기준	라이닝 적용 하중
터널설계기준 (2007)	터널 라이닝에 적용하는 하중에 대하여 터널설계기준 6.4 설계하중 6.4.1에 다음 항목만 기술. -고정하중, 활하중, 토압하중, 지반이완하중, 수압, 온도하중, 지진하중, 터널 내 설비하중 및 기타 콘크리트라이닝에 영향을 미치는 하중 등. -적정한 하중조합 및 배수체계를 고려하도록 간략하게 기술.
FHWA, Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels Civil Elements (2009)	CHAPTER 10 - TUNNEL LINING 10.2 Design Consideration에서 라이닝 설계시 고려사항으로 라이닝 강도 및 변위, 시공현장에서 고려요소 (부재종류, 터널내 환경, 화재 등), 고강도 콘크리트 적용, 부식 방지 등에 대해 소개하는 내용으로 기술. 일반 터널굴착에서 라이닝에 적용하는 하중에 대하여 10.3 STRUCTURAL DESIGN 10.3.1 Loads에 다음과 같이 도로터널에서 발생할 수 있는 여러 하중에 대한 항목 및 내용을 기술

설계기준	라이닝 적용 하중
FHWA, Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels Civil Elements (2009)	-고정하중, 토압, 크리프, 충돌하중, 지진하중, 터널상부지표 활하중, 활하중, 건조수축, 온도하중, 수압, 동결하중, 지반변화에 의한 추가하중, 풍하중 10.3.2 Load Combinations에서는 AASHTO 기준을 준용하여 하중조합을 적용하도록 기술. 10.3.3 Design Criteria에서는 라이닝 구조해석에 방법에 대하여 일반적인 다음 3가지 방법에 대해 기술. -사용하중 또는 허용응력 설계법. -하중계수 설계법. -LRFD 설계법. 4가지 라이닝 종류에 따라 고려사항, 부재특성 등을 기술. 10.4 CAST-PLACE CONCRETE 10.5 PRECAST SEGMENTAL LINING 10.6 STEEL PLATE LINING 10.7 SHOTCRETE LINING
Recommendations by DAUB, December 2000 (DAUB: Deutscher Ausschuss fü r unterirdisches Bauen e.V.)	Concrete Linings for Tunnel built by underground Construction 2. Function and Design of the Tunnel Lining에서 터널 라이닝 적용하중에 대한 항목 및 내용 기술. -토압 (지반하중, 이완하중, 크리프, 지반팽창 등에 의한 하중), 지반붕괴 및 침식, 지진하중, 수압, 지반함유물 또는 지하수에 의한 화학적 반응, 시공하중, 건조수축, 뒤채움 공동, 온도하중, 교통하중, 화재하중. 라이닝은 다음 3가지 종류로 구분하여 설계 해석 재료 시공 등의 내용이 기술. 3. Tunnel Lining made of Shell Concrete 4. Tunnel Lining made of Shotcrete 5. Reinforced Concrete Segments

<table>
<tr><th>설계기준</th><th>라이닝 적용 하중</th></tr>
<tr><td>STANDARD SPECIFICATIONS FOR TUNNELING (2006)</td><td>일본터널시방서는 Mountain Tunnel, Cut-and-Cover Tunnels 및 Shield Tunnels로 터널 형식별로 구분.
Mountain Tunnels
일반적인 산악터널의 경우 적용하중은 따로 기술되어있지 않고, 도심지 터널의 경우 6.2.3 Design에서 다음 표와 같이 3가지 토압 조합 중 적절한 토압을 적용하고, 이외의 작용하중에 대하여 구조적 안정성을 확보하도록 기술.
<table>
<tr><td>구분</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>전 토피 토압</td><td>부분 토압</td><td>토압 없음</td></tr>
<tr><td>적용 토압</td><td>전 토압 라이닝으로 전이</td><td>일정 토압 라이닝으로 전이</td><td>지보재에서 라이닝으로 토압 전이 없음</td></tr>
</table>
-사하중, 토압, 수압, 상재하중 (인접구조물), 지진하중, 기타하중.
Shield Tunnels
2.2 Loads에서는 적용하중으로 다음 항목들이 자세히 기술.
-토압, 수압, 사하중, 상재하중, 시공하중, 지진하중, 인접구조물, 지반침하, 내부하중, 기타하중.</td></tr>
</table>

(3) 국내기준의 문제점 분석

국내 터널설계기준의 경우 터널 라이닝에 적용하는 하중 항목만이 제시되어 있으며, 제시된 항목도 일반적인 내용만이 기술되어, 다양한 시공조건에서 설계가 이루어지는 현재 터널설계 상황을 반영하고 있지 못하고 있다. 또한 라이닝 적용 개념에 있어서도 구조체로서의 역학적 기능을 명시하여 NTM공법과 같은 싱글쉘 터널 공법을 고려하지 않고 있다.

현재 터널은 대단면 초장대화가 되는 경향이 나타나고 있고, 하저 및 해저터널들도 활발히 시공되고 있어, 기존 터널보다 높은 터널 안정성을 요구되고 있다. 유럽 터널 기준들의 경우, 장대터널에서 화재 등으로 인한 여러 대형 참사들을 경험하였고, 이를 바탕으로 콘크리트 라이닝에 화재강도를 적용하도록 명시하고 있고, 이 밖에도 여러 하저 및 해저터널 시공이 활발하여, 염해 등 화학적 물질을 고려하도록 기술하고 있다.

일본시방서의 경우 산악지 터널의 경우 라이닝에 대한 구조적 항목이 따로 명시되어 있지 않고, 도심지 터널의 경우에만 구조체로서 안정성을 고려하고, 이 경우에도 지보재에서 라이닝으로 하중전이 정도를 분류하여 다양한 터널공법 적용에 대한 여지를 남겨두었다.

(4) 선진화 방안

현재 다양한 터널공법들이 적용되고 있는 상황을 반영하여, 해외의 터널기준에서와 같이 현장타설 콘크리트 라이닝 외에도 숏크리트 라이닝, 스틸 플레이트 라이닝 및 프리케스트 세그먼트 라이닝에 대한 내용이 보강되어야 한다.

또한 해외 초장대 터널사업 시장으로의 진출을 고려하여, 국내에서 미흡하게 다뤄지고 있는 내화성능 등에 대한 항목을 추가하여 화재시 터널의 구조적 안정성을 설계에서 고려하도록 하여야한다.

(5) 추가 소요 연구

(가)해외 터널 관련법규 및 설계기준 분석 연구.

(나)화재강도에 따른 라이닝 강도 특성 분석 연구.

(다)기존 시공된 터널사례를 통하여 염해 및 부식에 의한 라이닝 강도 변화 분석 및 설계내구연한 타당성 검토.

(6) 결언

일반적인 터널공법에 있어서 콘크리트 라이닝은 터널 내장재 및 지하수 유입을 차단하고 일정부분 구조체로 역할을 하는 2차 구조물로 여겨지고 있으나, 실제 설계에서는 지보재에 적용되는 전 하중을 라이닝이 받도록 보수적으로 설계되고 있다. 이를 개선하기 위하여 설계기준에 라이닝에 대한 구조체 기능을 공법별로 기술하여 다양한 터널공법을 적용되도록 제시되어야 한다.

현재 터널시장은 대단면 및 초장대화 되고 있고, 하저 및 해저터널들도 계획되고 있어 기존 터널보다 높은 안정성이 요구되고 있다. 해외에서는 대형 터널화재 사건 경험을 바탕으로 내화규정을 마련하고 있으며, 라이닝에 대해서도 화재하중을 적용하도록 명시하고 있다. 국내 터널의 경우 화재하중에 관한 명확한 기준이 정립되어 있지 않고, 이외에도 터널의 특성 및 등급에 따라 차량의 충돌, 폭발 등의 하중도 고려되지 않고 있어, 현재 해외 터널시장으로 진출이 활발한 상황에서 국제 설계기준 수준에 맞는 설계기준 마련이 시급하다.

따라서 향후 설계기준은 다양한 터널공법을 고려하도록 해외설계기준과 비교하여 미흡한 부분을 보완하고, 연구를 통하여 국내 및 해외현장 설계에 적용이 가능하여, 국내 설계수준을 향상시킬 수 있는 성능 중심의 설계기준이 되어야 한다.

13) 배수구 기준

(1) 국내 기준 현황

(가) 터널설계기준(2007)

(나) 터널표준시방서(2009)

(다) 도로설계편람(2010)

(라) 도로배수시설 유지관리 지침(2003)

(마) 도로설계요령(2009)

(2) 조사된 해외 기준 현황

(가) 일본 : 터널표준시방서 산악공법•동해설(2006년)

(나) 영국 : Specification for tunnelling(2000, BTS, ICE)

(다) 미국 : FHWA Road Tunnel Design Guidelines(2004)

(라) 노르웨이 : Road Tunnels(2004)

(2) 해외 기준과의 비교

【표 2.66】 해외 기준과의 비교

국내기준	해외기준
1. 터널설계기준(2007) 1)지하수의 처리방법에 따라 배수형 방수형식과 비배수형 방수형식으로 구분 2)배수형식의 선정 조건, 고려사항 3)배수형식과 수압과의 관계 4)배수시스템의 최소배수경사(0.2%) 5)배수방법의 세부사항 -측방배수관의 최소 규격과 재질 -주배수관의 최소 규격과 재질 6)통수능력 저하 방지대책 개요 7)기타 세부사항 -측방배수관:100mm 이상 유공관 -주배수관은 콘크리트관, 아연도 강관, THP관 등을 사용 -주배수관의 직경은 200mm 이상	1.터널표준시방서산악공법•동해설(일본,2006년) 1)제71조 배수공에 “용수의 적절한 유도에 의하여 원할한 배수가 이루어지도록 한다.” 라고 선언적인 내용이 기술되어 있음. 2. Specification for tunnelling(,BTS, ICE) 1)배수관련된 기술 내용 없슴 3. Road Tunnel Design Guidelines(FHWA) 1) 4-14 Drainage Systems에 내용이 기술되어 있음 2) 세부설계 사항은 Tunnel Engineering Handbook(1996, Bickel, Kuesel and King) 참조하는 것으로 기술되어 있으나 터널의 배수와 관련한 특별한 기술내용 없슴 3) 맨홀의 최소설치간격, 필터층의 두께 등이 기술되어 있음

국내기준	해외기준
2. 터널표준시방서(2009) 1) 배수관 설치와 관련한 시방기준 제시 -부직포인 겹이음 80mm 이상 -주배수관은 직경 200mm 이상 -재질:콘크리트 흄관, 아연도강관 -외력 및 화재에 대한위험성을 판단하여 유연성이 좋은 THP관 적용 -측방향 배수관: 100mm 이상 유공관 3. 터널설계편람(2010) 1) 관경과 청소구 간격 제시 -100m이하의 간격으로 청소구를 설치 -주배수관 직경 200mm이상 -측방 유공배수관 직경 100mm 이상 -청소구의 간격은 50m 이하 4. 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침(2003) 1) 배수관 규격, 재질, 맨홀뚜껑 규격 제시 -청소구(맨홀) 간격 : 50m 이하 -주배수관 직경 : 300mm이상 -배수관 재질 : 콘크리트관,아연도 강관 -측방배수관 직경 : 150mm이상 -청소구(맨홀) 뚜껑 : 600x800 이상 5. 도로설계요령(2009, 한국도로공사) 1) 배수관 규격, 재질 제시 -종배수관 관경 : 300mm 표준(연장 2km이하 터널) -맹암거유공관 : 연장 1km 이내의 2~3차로 터널은 직경 150mm, 기타 조건 터널의 경우는 직경 200mm를 표준 -측방배수관 : 고밀도 파형 폴리에틸렌	4. Road Tunnels(노르웨이, 2004) 1) Drainage편에 기술되어 있음 2) 혹한기 기후와 해저터널의 건설이 많은 특징으로 인하여 배수관의 최소직경, 동결심도를 고려한 배수관의 묻힘 깊이 등이 기술되어 있음

(3) 국내기준의 문제점 분석

국내 터널설계기준(2007)외 관련된 기관의 배수와 관련한 기준은 배수관의 최소 규격과 재질에 관한 내용이 주로 되어 있으며 유지관리를 위한 청소용 맨홀의 최대 설치간격을 규정함으로서 터널의 유지관리적인 측면을 고려하고 있다.

반면 해외기준을 살펴보면 이와 관련한 해외기준 적용 예가 많지 않으며 일본의 경우처럼 “원할한 배수처리가 되도록 해야 한다.” 라는 선언적인 내용에 그치고 있다. 미국이나 유럽의 기준을 종합해보면 터널에서 배출되는 배출수를 터널 배면에서 유입되는 지하수와 노면에서 유입되는 노면 유입수(청소수, 소방수 등) 까지도 배수설계의 범주에 포함시키고 있다.

또한 혹한기 지역인 노르웨이 기준의 경우 동절기 동파에 대한 배수구의 기능 유지를 위하여 배수구가 동결되지 않도록 최소 설치 깊이를 지역별로 적산온도 개념에 따라 지정하고 있다.

상기 내용을 종합하면 국내의 터널설계기준 선진화 연구에 있어 시사하는 점이 몇가지 있다.

터널의 배수는 중요한 설계사항임에도 불구하고 설계자의 판단을 우선적으로 중요시하고 있으며 필요한 기준을 최소화 하고 있다. 아울러 배수의 개념에 노면에서 유입되는 세정수나 소화용수 등을 포함시켜 이에 대한 처리를 배수영역에서 담당하는 것을 기준으로 하고 있다.

국내에서는 한국도로공사를 중심으로 터널발생수를 지하수유입수와 청소수로 구분하여 이에 대하여 분리배수 및 오염수의 처리기준을 지정하고 있는 실정이며 타 상위기준에서는 이에 대한 기준이 마련되어 있지 않은 실정이다.

또한 어느 기준에도 터널에서 발생하는 지하수의 규모 산정에 대한 기준이 제시되어 있지 않다. 이는 시공중 측정된 지하수량에 의하여 배수관의 관경을 결정하여야 하는 지극히 자연스러운 판단에서 기인한 것으로 예견되나 국내의 경우 발주기관마다 터널발생수량의 산정기준을 별도로 제시하고 있어 이에 대한 객관적인 기준 마련이 필요할 것으로 판단된다.

(4) 선진화 방안

아래의 그림은 2007년 한국도로공사에서 공용중 유출수를 처리하기 위한 대책을 수립하는 과정에서 고속도로 터널의 유출수 현황을 조사한 자료이다. 현행 고속도로 터널의 설계에서는 배수관경의 결정은 3m3/km/min./tube를 기준으로 하고 있으며 시공중

오탁수와 공용중 배출수의 처리를 위한 배출량은 0.3m3/km/min./tube로 이원하여 적용하고 있다.

또한 지하철 5호선 터널구간의 유출량 조사결과 하천구간과 일반구간에서의 유출량 차이가 현저하게 나타나고 있어 이를 고려한 배수구의 성능화 중심의 설계가 필요한 것으로 판단된다.

다음은 배출량 기준외 향후 배수구 설계시 필요한 성능화가 필요한 부분이다.

(가) 배수시스템의 원할한 유지관리를 위한 맨홀 등의 최소설치 기준

(나) 터널발생수의 처리기준(지하수, 노면청소수)

(다) 터널발생수의 합리적인 예측, 설계시 발생수 산정기준

(라) 배수구의 동결피해 방지를 위한 동결심도와 연계한 보온시설 설치 방안

(5) 추가 소요 연구

(가) 터널내 배출 지하수의 산정방법(설계단계에서의 과대설계 방지대책)

(나) 이상기후로 인한 배수구 동결방지 대책(동결심도, 적산온도, 동결처리구간 산정)

(다) 터널배출수의 효과적인 활용방안

(6) 결언

현행 배수구 설계기준은 발주기관마다 과거 터널공사가 일반화 되기 이전에 설정된 관리기준에 의하여 제정된 각종 배출기준에 의하여 과대설계되고 있는 것이 누구나 인지하고 있는 사실이다. 배수구와 관련한 성능중심의 선진화는 기준의 상향 조정보다는 현재 적용하고 있는 기준의 합리적인 판단근거를 제시하여 최소의 기준을 설정하여야 한다.

또한 배수관의 막힘이나 동결 등 유지관리적인 측면에서의 기능상실은 소중한 사회간접자본의 효과적인 역할을 저해하는 중요한 요소가 될 수 있으므로 향후 일반화될 것으로 예견되고 있는 무인화 청소 또는 세척 등의 요소 강화, 맨홀설치간격의 증대 등은 상향 조정 관리해야할 것으로 판단된다.

14) 소음·진동 기준

(1) 국내 기준 현황

현재 우리나라에서 규정하고 있는 발파소음 및 진동에 대한 규제기준은 크게 환경부의 소음·진동 규제법, 환경분쟁 피해배상액 산정기준(2008) 및 국토교통부의 터널설계기준으로 나눌 수 있으며, 발주주체에 따라 철도설계기준, 도로설계기준, 지하철 설계기준, 한국토지공사 시방기준, 노동부 고시 등이 있다. 이에 따라 주민에 대한 생활공해방지 및 가축영향 등을 위한 소음 및 진동규제기준은 환경부의 “소음·진동 규제법” 및 환경분쟁

피해배상액 산정기준을 준용하고 있다.

시설물이나 구조물들에 대한 기준은 국토교통부 또는 발주주체에서 제시한 기준이나 중앙 환경분쟁 조정위원회의 조정사례 등을 적용하고 있으나, 발주처별로 다소 상이하며, 독일 DIN-4150 기준 등은 참고기준으로 활용되고 있다.

(가) 환경부「소음 · 진동 관리법」

진동으로 인한 인체의 피해를 우선으로 하는 진동레벨 단위로 하고 있으며, 표 2와 같이 생활 진동 규제기준(생활소음・진동의 규제기준 제20조 제3항 관련, 소음・진동 관리법 개정 2010. 6. 30)은 1일 작업시간에 따라 규제 기준이 달라지며 발파진동의 경우 주간에 한하여 대상지역에 따라 75~80 dB(V)로 규제하고 있다.

【표 2.67】 생활·진동 규제기준(소음・진동 규제법 (제20조 3항 관련) 단위 :dB(V)

대상지역 / 시 간 별	주 간 (06:00-22:00)	심 야 (22:00-06:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구・주거개발진흥지구 및 관광・휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그밖의 지역에 소재한 학교・병원 ・공공도서관	65이하	60이하
기 타 지 역	70이하	65이하

1. 진동의 측정 및 평가기준은 환경분야 시험・검사 등에 관한 법률 제6조 제1항 제2호에 해당하는 분야에 대한 환경오염고염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 의한다.
3. 규제기준치는 생활진동의 영향이 미치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 공사장의 진동규제기준은 주간의 경우 특정공사의 사전신고대상 기계・장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간 이하일 때는 +10dB을, 2시간초과 4시간이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
5. 발파진동의 경우 주간에 한하여 규제기준치에 +10dB을 보정한다.

【표 2.68】 건설 · 생활 소음 규제기준 [Unit : Leq. dB(A)]

대 상 지 역	시 간 별 / 대상소음		아침, 저녁 (05:00~07:00, 18:00~22:00)	낮 (07:00~18:00)	밤 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그 밖의 지역에 있는 학교, 병원, 공공도서관	확성기	옥외설치	60이하	65이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	50이하	55이하	45이하
	공장		50이하	55이하	45이하
	사업장	동일건물	45이하	50이하	40이하
		기타	50이하	55이하	45이하
	공사장		**60이하**	**65이하**	**50이하**
그 밖의 지역	확성기	옥외설치	65이하	70이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60이하	65이하	55이하
	공 장		60이하	65이하	55이하
	사업장	동일건물	50이하	55이하	45이하
		기타	60이하	65이하	55이하
	공사장		65이하	70이하	50이하

1. 소음의 측정방법과 평가단위는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항 제2호에 따른 환경오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한다.
3. 규제기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 옥외에 설치한 확성기의 사용은 1회 3분 이내로 하여야 하고, 15분 이상의 간격을 두어야 한다.
5. 공사장의 소음규제기준은 주간의 경우 특정공사의 사전신고대상 기계·장비를 사용하는 작업시간이 1일 3시간 이하일 때는 +10dB을, 3시간 초과 6시간 이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
6. 발파소음의 경우 주간에만 규제기준치(광산의 경우 사업장 규제기준)에 +10dB을 보정한다.
7. 2010년 12월 31일까지는 발파작업 및 브레이커·항타기·항발기·천공기·굴삭기(브레이커 작업에 한한다)를 사용하는 공사작업이 있는 공사장에 대하여는 주간에만 규제기준치(발파소음의 경우 비고 제6호에 따라 보정된 규제기준치)에 +3dB을 보정한다.
8. 공사장의 규제기준 중 다음 지역은 공휴일에만 −5dB을 규제기준치에 보정한다.
 가. 주거지역
 나. 의료법」에 따른 종합병원, 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교 및 「도서관법」에 따른 공공도서관의 부지경계로 부터 직선거리 50m 이내의 지역
9. “동일건물”이란 「건축법」 제2조에 따른 건축물로서 지붕과 기둥 또는 벽이 일체로 되어 있는 건물을 말하며, 동일 건물에 대한 생활소음 규제기준은 다음 각 목에 해당하는 영업을 행하는 사업장에만 적용한다.
 가) 「체육시설의 설치·이용에 관한 법률」 제10조에 따른 체력단련장업·체육도장업·무도학원업·무도장업
 나) 「학원의 설립·운영 및 과외교습에 관한 법률」 제2조에 따른 음악교습을 위한 학원·교습소
 다) 「식품위생법 시행령」 제7조에 따른 단란주점영업·유흥주점영업
 라) 「음악산업진흥에 관한 법률」 제2조에 따른 노래연습장업

(나) 국내 발주기관별 발파진동 허용기준

국내의 발파진동 허용기준은 국토교통부의 터널설계기준 및 터널시방서가 있으며, 발주주체별로 허용기준이 별도로 명기되어 있다.

【표 2.69】 터널설계기준(2007), 철도기준(2011), 터널표준시방서(2009, 국토교통부)

단위 : cm/sec

구 분	진동 예민 구조물	조적식 (벽돌,석재 등) 벽체와 목제로 된 천장을 가진 구조물	지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물	철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물	철근콘크리트 또는 철골조 및 슬래브를 갖는 대형 건축물
	문화재 등	재래가옥 저층일반 가옥 등	저층 양옥, 연립주택 등	중, 저층아파트, 중소 상가 및 공장	내진구조물 (고층아파트, 대형건물 등)
터널설계기준 철도설계기준 철도건설공사 전문시방서	0.3	1.0	2.0	3.0	5.0
표준시방서	0.2~0.3	1.0	2.0	3.0	5.0

【표 2.70】 한국도로공사 시방서(2009)

구 분	가축류 등	문화재 및 진동예민구조물	가옥(조적)	가옥(RC조)	공업용 건물	철골구조
진동치(cm/sec)	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0

【표 2.71】 국내 공공기관의 발파진동 규제기준 [단위 : cm/sec]

구 분	진동속도에 따른 규제기준	
	건물의 종류	허용진동속도
서울시 지하철 시방기준	문화재, 정밀기기 설치건물	0.2
	주택, 아파트	0.5
	상가, 사무실, 공공건물	1.0
	RC, 철골조 공장	4.0
노동부 (노동부고시94-26호)	문화재, 컴퓨터 등 정밀기기	0.2
	결함 또는 균열이 있는 건물	0.5
	균열이 있고 결함이 없는 빌딩	1.0
	회벽이 없는 공업용 콘크리트 구조물	1.0~4.0
한국토지공사 시방기준	가축(소, 돼지, 닭 등)	0.09
	문화재, 진동예민 시설물	0.2
	주택, 아파트	0.5
	상가건물	1.0
	철근 콘크리트 건물	1.0~4.0
국토교통부 암발파 설계요령 (2003)	가축	0.1
	유적, 문화재, 컴퓨터시설물	0.2
	상가	1.0
	철근콘크리트 건물 및 공장	1.0~5.0
한국철도시설공단 철도설계편람 (2004)	진동예민구조(벽동, 석재 등)벽체와 목재로 된 천정을 가진구조물(재래가옥, 저층 일반가옥)	1.0
	지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 중소형 건축물 (저층 양옥, 연립주택)	2.0
	철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물 (중·저층 아파트, 중소상가 및 공장)	3.0
	철근콘크리트, 철근골조 및 슬래브를 갖는 대형 건축물 (내진구조물, 고층아파트, 대형건물 등)	5.0

(다) 중앙환경분쟁조정위원회 진동 관리 기준

중앙환경분쟁조정위원회에서는 "진동으로 인한 건축물 피해 평가에 관한 연구, 2002.4" 을 제안하였으며, DIN 4150 (1986) 을 기초로 하여 주파수에 따른 건물의 공진 피해, 진동의 지속시간, 구조물 기초 및 형식이 고려된 기준이다.

【표 2.72】 진동피해 인과관계 검토 기준(안) (그룹 II의 경우)

건축물 분 류	건 축 물 형 식	주파수별 허용 진동속도 (cm/sec)		
		10Hz 이하	10Hz~50Hz	50Hz~100Hz
A	철근콘크리트, 철골조의 고층 건축물, 아파트 및 이와 유사한 형식의 건축물 (동적 하중에 대하여 설계된 건축물)	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0
B	철근콘크리트, 철골조로서 상기 A항에 해당되지 않는 건축물(동적 하중에 대하여 설계되지 않은 건물)	1.5	1.5~2.0	2.0~3.0
C	조적조 형식의 주거용 건축물 및 부속 건축물(저층 건축물) 또는 이와 유사한 형식의 건축물, 단층의 주거용 목조 건축물	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0
D	진동에 예민한 건축물, 취약건축물, 특별한 보존가치가 있는 건축물(문화재 등)	0.3	0.3~0.8	0.8~1.0

1) 100Hz 이상의 진동에서는 100Hz에 준한 값을 기준값으로 함.

2) 측정점은 최저층의 외측 벽체 또는 바닥슬래브를 기준으로 하고, 측정값은 직교하는 3축 방향의 성분들 중 최대값을 기준으로 함.

【표 2.73】 진동원, 진동경로 및 건축물의 상태에 따른 구분

구 분	그룹 I	그룹 II
건 축 물 상 태	피해부위를 지니고 있는 오래된 건축물, 보수·보강되거나 증축된 건축물	무손상 건축물 구조적 변경사항 없음
재료와 건축물의 구조	조적조, 콘크리트조, 석조로서 잘 구축되지 않은 건축물, 기초의 부실, 타이보의 부족, 바닥 처짐, 큰 개구부 또는 불규칙 개구부를 갖는 벽체	잘 지어진 조적조 또는 철근콘크리트 건축물, 타이 보를 지닌 벽체와 일체로 연결된 강한 바닥슬래브
지반과 기초의 종류	낮은 강성의 지반(느슨한 모래, 매립층), 불연속기초	강성이 큰 토양(단단한 토양) 시공이 양호한 기초
진동의 작용시간	장시간 또는 영구적인 진동	단시간의 진동
가 중 치	0.7	1.0

(2) 국외 기준 현황

(가) 독일의 진동기준

독일은 1970년대 German Standard인 DIN 4150 Part 3(1971)에서 발파와 같은 충격진동에 대한 건축물의 허용 수준을 설정하였고, 1986년 기존의 규격을 보완하여 주파수 특성을 고려한 수정안을 마련하였다.

【표 2.74】 DIN 4150 (1970년)

등 급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
건축물 형 태	문화재 등 (역사적으로 매우 오래된 건축물)	주택,아파트,상가 (작은 균열을 지닌 건축물)	주택,아파트,상가 (균열이 없는 양호한 건축물)	산업시설용 공장 (철근콘크리트로 보강된 건축물)
진동속도 (cm/s)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

* 충격진동에 관한 규정이며, 연속진동인 경우는 1/3으로 한다.

【표 2.75】 1986년 개정본 DIN 4150 - part3(short-term structual vibration)

건축물 등 급	건축물 형식	주파수별 허용진동속도 VR(cm/sec)			
		구조물 전체			
		기초			최상층 바닥면
		구조물의 반응주파수대			전 주파수 영역
		10Hz 이하	10 ~ 50Hz	50 ~ 100Hz	
Ⅰ	상업 또는 산업용 건물 및 이와 유사한 형식의 건축물	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0	4.0
Ⅱ	주거용 건축물(연립주택, 단독주택, 아파트) 및 부속 건축물과 활용면에서 이와 유사한 건축물	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0	1.5
Ⅲ	진동에 예민한 구조물, 취약한 건축물, 특별한 보존가치가 있는 건축물(문화재 등)	0.3	0.3~0.8	0.8~1.0	0.8

* 100Hz 이상의 진동에서는 100Hz에 준한 값을 기준값으로 한다.

*1 : 발생빈도에 있어 피로피해(fatigue), 또는 발생시간 간격(interval) 측면에서 공진현상(resonance)을 일으킬 우려가 없는 진동을 말한다.

*2 : 직교 3축 방향(수평:x.y, 수직:z)의 성분을 동시에 측정한 성과 중에서 성분 구별 없이 가장 큰 것을 기준치로 한다. 수평성분의 어느 하나(x 또는 y)는 건물 외곽선과 평행한 방향을 택한다.

*3 : 측정점은 지하층 최외측 벽체를 기준으로 하고, 벽체 하단의 기초나 벽체 내부 또는 벽체의 우묵한 곳을 택한다. 지하실이 없는 경우는 건축물 외곽 벽체의 지면에 가까운 하단부를 기준으로 하되, 지표면에서 50cm 이상 떨어지지 않은 지점을 선정하여야 한다.

(나) 일본의 진동기준

일본기준은 구조물에 대한 피해보다는 인체피해를 대상으로 한 규제이며 인체는 진동에 노출된 시간에 따라 피해를 입을 수 있음으로 국내 환경법처럼 작업시간대와 진동 발생 총량 기준으로 규제하고 있다.

【표 2.76】 특정 건설작업의 진동권고기준(일본)

진동레벨	작업시간		1일 작업시간		최대작업 일수	일요일, 공휴일 작업
	제1호구역	제2호구역	제1호구역	제2호구역		
75dB(V)	오후7시 – 오전7시 작업금지	오후10시 – 오전6시 작업금지	10시간 이하	14시간 이하	연속 6일 초과 못함	금지

※ 비고

1 데시벨이란 계량법(1992년 법률 제51호) 별표 2에 규정하는 진동가속도레벨의 계량단위를 말한다.

2. 진동의 측정은 계량법 제71조의 조건에 합격한 진동레벨계를 사용하여 연직방향으로 시행한다. 이 경우 감각보정회로는 연직진동특성을 이용하는 것으로 한다.

3. 진동 피크업의 설치장소는 아래와 같이 한다.

가. 완충물이 없고 또한 충분한 다짐 등이 시행된 단단한 장소

나. 경사 및 요철이 없는 수평면을 확보할 수 있는 장소

다. 온도, 전기, 자기 등의 외부조건의 영향을 받지 않는 장소

1. 진동의 크기는 특정작업장소의 부지경계선에서 측정한 값이다.

2. 진동측정방법은 JIS C1510 에 의한다.

3. 지역구분은 아래와 같다.

– 제1호구역은 도시계획법상 용도지역구분으로서 제1종 주거전용지역 ,제2종 주거전용지역, 주거지역, 근린상업 상업 준공업지역으로서 상당수의 주거가 집합된 구역, 학교·병원 등으로부터 주위 80m 에 해당지역이다.

– 제2호 구역은 제1호 구역이외 지정구역이다.

4. 75dB(V)를 초과하는 특정건설작업에 있어서는 개선권고명령을 행사한다.

5. 재해발생 지역일 때는 적용에서 제외한다.

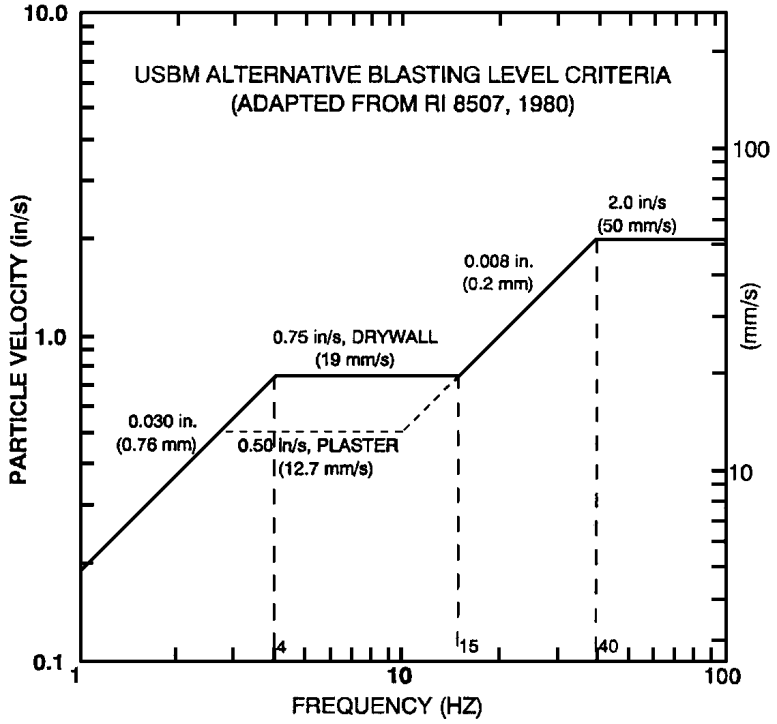
(다) 미국의 진동기준

미국의 경우 발파진동에 대한 연구가 주로 미광무국(USBM)을 중심으로 이루어졌는데, 1971년 미광무국에서 자체 연구결과와 함께, 여러 다른 연구자들의 연구결과를 통계적 방법을 도입하여 해석하였으며, 건축물 피해와 관련하여 최대 진동속도 5.0cm/s는 안전한계(damage criterion), 13.8cm/s는 경미한 한계(minor damage), 19.4cm/s는 상당한 한계(major damage)로 정의하였다. 1980년에 Siskind 등에 의한 보고서에서는 진동속도에 대한 주파수의 영향을 고려하여, 40Hz 이상의 진동수를 갖는 발파진동에 대해서는 5.0cm/s를 허용치로 적용할 수 있으나, 40Hz 이하의 주파수를 갖는 발파진동에 대해서는 1.2cm/s로 낮추어야 할 것으로 제안하였다.

상기 결과에 근거하여 USBM에서 제안된 주거용 구조물에 대한 발파진동의 안전 수준은 최대진동속도 1.2cm/s에서 5.0cm/s이다. 주택에 전달되는 진동은 주파수와 구조물 형식에 영향을 받으며, 특히 연약지반에 낮은 주파수의 진동이 작용할 경우 그 영향이 큰 것으로 지적하였다.

한편, USBM에서 제안된 기준은 주로 단층 목조주택를 대상으로 한 결과로서 외벽의 회벽 모르터 등에서 발생하는 결함을 기준으로 평가하였다.

【표 2.77】 USBM 발파 피해수준에 대한 기준



(라) 국외 소음기준

【표 2.78】 국외 소음기준

구 분		일 본		독 일		영 국		미 국 시카고
		낮	밤	낮	밤	낮	밤	낮
일반지역	전용주거지역	55	45	45	35	50	40	-
	일반주거지역	55	45	50~50	35~40	55~60	45~50	55
	상업지역	60	50	60~65	45~50	65	55	61
	공업지역	60	50	70	70	70	60	-
도로변지역	주거지역	60~65	55~60	65	55	-	-	-
	상업지역	65	60	70	60	-	-	-
	공업지역	65	60	75	65	-	-	-

(3) 소음·진동에 대한 국내 기준의 문제점 분석

(가) 구조물에 대한 진동 허용기준

시설물이나 구조물들에 대한 기준은 외국의 기준에 비하여 엄격하고 발주기관별로 상이한 기준들이 제시되어 있어 정상적인 발파 공사를 방해할 뿐만 아니라 선진국과 국내에서 지극히 정상적으로 발파 공사를 수행하고 있는 공법까지도 발파진동허용기준에 저촉되는 문제점들이 발생하고 있다.

특히, 건물이 갖는 고유진동수는 일반적으로 저주파대역(5~20Hz)에서 형성되며, 지반진동주파수와 건물고유진동수가 일치될 경우 공명현상이 발생하여 건물에 피해를 유발할 수 있다. 그러므로 발파진동에 의해 구조물 피해가 저주파 대역에서 더 크게 발생하는 특성을 감안하여, 고주파와 저주파 대역으로 구분하여 허용치를 차등적으로 적용하는 방안이 타당하다.

(나) 인체 피해에 대한 진동 허용기준

인체 피해에 대한 허용기준은 환경법에 따라 사용 장비 및 측정 방법, 평가 방식 또한 법률로서 규제되나 현재 철도 시공현장의 경우는 환경영향 평가가 선행되어 민가의 경우, 0.2 cm/s으로 설계되고 있으나 카인(cm/sec)은 인체 피해를 평가할 수 없는 단위이며 통상적으로 발파에서 발생되는 주파수 영역대가 30Hz에서 70 Hz이며 이는 인체가 민감하게 감지하는 주파수 영역이 아님으로 카인에 의한 설계는 예산 낭비를 초래하는 과잉 설계가 될 수 있다고 판단된다.

또한, 설계에서 환경부 규제기준을 적용할 경우에는 이격거리별 진동치 산정이 어려워 DB(V)를 kine으로 환산하는 환산식을 적용해야 되나, 적용하는 환산식들에 의한 산정결

과의 차이가 커서 적용시 혼란이 발생하고 있다.

(다) 발파소음레벨 허용기준의 타당성 문제

우리나라 환경부「소음 · 진동 관리법」에서 주거지역 등의 경우 주간시간대의 생활소음진동규제기준치에 +10dB을 보정하도록 하여 발파에 대한 허용기준은 소음레벨은 75dB(A)이다. 이와 같이 작업시간에 따라 허용기준을 보정하는 것은 인체는 소음에 노출된 시간에 따라 피해를 입기 때문이다.

1회 발파에서 소음의 최대 지속시간은 10초 이내이며 터널내 발파의 경우 최대 2발파/일이 일반적으로 최대 1일 100초를 초과하기 어렵다.

아래는 발파와 같은 단발성 충격소음에 대한 권고 기준안을 설정하기 위한 ISO/R 1996 표준에 기초한 보정표이다. 일본 화약공업회는 발파 소음은 10초 이내이고, 지속시간이 3시간당 시간발생률은 0.2%이하임으로 허용기준을 30dB까지 낮게 평가 할 수 있다고 하였다.

【표 2.79】 간헐성소음의 시간발생률에 의한 보정

発生時間率 注5	補正量(dB)
100～56	0
56～18	-5
18～6	-10
6～1.8	-15
1.8～0.6	-20
0.6～0.2	-25
0.2 以下	-30

이와 같은 보정율을 적용하면 국내 기준은 8시간 기준으로 건설현장 소음 허용기준이 65dB이고 1회 발파는 지속시간이 최대 10초 이하로서 0.2%에 해당함으로 생활소음 기준 65dB에서 30dB를 보정한 95dB로부터 발파 횟수 보정하는 방식이 타당하다.

(4) 선진화 방안

구조물은 진동의 크기뿐 아니라 저주파수에 의한 공진 및 진동 지속시간에 따른 피로에 의하여 더욱 중요하게 평가되여야 하며 현재의 설계 기준인 진동 최대입자속도(Peak Particle Velocity)가 아닌 독일 및 미국 표준과 같이 주파수가 고려된 입자속도(particle Velocity)가 합리적인 방식으로서 또한 발파와 같은 충격진동과 연속진동의 허

용기준을 구분하여 관리하는 것이 합리적이다.

또한 현재 방식의 진동 크기에 대한 허용기준은 선진국 기준에 비하여 매우 엄격함에 따라 합리적으로 조정되어야 할 것으로 판단된다.

인체 또한 진동의 크기뿐 아니라 주파수 및 지속시간에 따라 피해를 입기 때문에 현재와 같은 카인(cm/sec) 단위에 의한 허용기준은 인체 피해를 평가할 수 없음으로 환경법에 규정된 방식에 의하여 관리하는 것이 타당하며, 설계시에는 DB(V)를 kine으로 환산하는 환산식에 대하여 국내현황에 적합한 환산식 적용이 요구된다.

발파소음의 경우에는 1회 발파에서 소음의 최대 지속시간은 10초 이내이며 터널내 발파의 경우 터널시공특성상 일반적으로 1일 2발파 이상 적용이 곤란하여 최대 1일 100초를 초과하기 어렵다. 따라서 국외기준과 같이 단발상 충격소음에 대한 보정율 기준 확립이 요구된다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 진동 크기와 주파수 및 지속시간이 고려된 허용기준 분석 연구

(나) 환경진동을 설계 단계에서 적용하기 위한 회귀 분석법 연구

(다) 저주파수 발생 방지를 위한 암질에 따른 주파수 대역 연구

(인체 및 구조물은 저주파에 의한 매우 민감하며 주파수는 암질의 영향이 큼)

(라) 단발상 충격소음에 대한 보정율 기준에 대한 연구

(6) 결언

발파진동·소음허용기준은 발파공법의 규모를 제한하여 원가에 미치는 영향이 크므로 철저한 시험과 공학적 검증절차를 거쳐 합리적으로 설정되어야 한다. 동일한 진동속도에서도 진동의 주파수에 따라 응답스펙트럼이 다르게 나타나고, 보호대상물의 상태에 따라 진동에 적응하는 능력이 크게 차이가 있으므로 건물이나 구조물에 대한 발파진동허용 기준은 보호대상물의 환경과 조건에 적합하도록 설정하여야 한다.

국내에서 발파진동 허용 기준치를 설정하고 있는 관련 기관의 설정은 구조물의 형식 또는 구조물의 종류만으로 정하고 있는 반면, 해외의 발파진동 허용기준값은 앞서 살펴본 바와 같이 구조물의 형태와 더불어 주파수 대역별로 기준치를 구분하고 있다. 따라서 주파수 대역별로 기준치를 제시하는 것은 발파진동이 구조물에 미치는 영향을 합리적으로 반영한 것이라 할 수 있다.

또한, 인체 또한 진동의 크기뿐 아니라 주파수 및 지속시간에 따라 피해를 입기 때문에 현재와 같은 카인(cm/sec) 단위에 의한 허용기준은 인체 피해를 평가할 수 없음으로

환경법에 규정된 방식에 의하여 관리하는 것이 타당하며, 설계시에는 DB(V)를 kine으로 환산하는 환산식에 대하여 국내현황에 적합한 환산식 적용이 요구된다.

따라서 진동·소음에 대한 합리적인 기준설정은 추가의 기본적인 연구를 통하여 공사인접구간 지장물에 대한 민원사전예방에 대한 방법을 창의적으로 제시 할 수 있는 성능 중심의 건설기준이 되어야한다.

15) 조명 성능 기준

(1) 국내 기준 현황

터널 조명에 관한 기준은 터널설계기준(2007)에 제14장 환기, 조명, 방재 설비 중 14.3 조명설비 절에서 도로터널 및 도시철도 터널, 철도터널, 기타터널(통신구, 전력구 등)의 조명설비에 대해 기술하고 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

본 내용은 국내 터널설계기준 상에 있는 조명설비 기준과 미국 FHWA의 TECHNICAL MANUAL FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROAD TUNNELS(2009, 이하 Road Tunnel Manual) 중 2.4 CROSS SECTION ELEMENTS에서 2.4.6 Lighting Requirements 내용을 비교한 것이다. 해외 기준상에서 조명시설을 언급한 사례는 거의 없고, 단지 FHWA의 Road Tunnel Manual의 도로터널 조명시설에 대해 단면 구성요소로 간단히 언급하고 있으며, 미국 FHWA의 Road tunnel design guidelines은 도로 조명설비에 대해 자세히 언급하고 있으나, 터널설계기준으로는 너무 세부적인 내용으로 비교가 곤란하였다.

【표 2.80】 국내와 국외 조명기준 비교

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
14.3 조명설비 14.3.1 도로터널의 조명설비는 한국산업규격(KS A 3703) 및 건교부의 “도로터널조명시설의 설계기준”에서 정한 바에 만족하여야 하고, 다음의 기준을 따라야 한다. (1) 터널조명은 기본부조명, 입구부조명 및 출구부조명으로 구분하여 계획하여야 한다. 터널 내부 또는 외부로의 차량주행 시 운전자 시각의	2.4.6 조명 규정 터널 조명은 터널 내에서 운전자가 위험물이나 고장 차량을 인지하고 반응하거나 정지할 수 있는 충분한 안전 거리를 확보하기 위한 것이다. 일반적으로 한낮에 도로터널 진입시 “블랙홀 효과”를 줄이기위해 터널 입구부에는 높은 조도(입구 조명)가 필요하다. 이러한 높은 조도는 낮에만 필요할 것이다.

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
평형 상태를 유지하기 위하여 터널 입구부의 야외휘도 상황에 따른 입구부의 경계부 휘도 설정과 이행부, 완화부의 노면휘도를 터널 입구로부터 진입하는 거리에 따라 감소시켜 기본부의 노면휘도 값으로 원활하게 접속하도록 한다. (2) 100m 이상인 터널에는 설계속도에 따른 기본조명을, 길이가 100m 미만인 터널에는 구조 등 여건에 따라 조명시설을 설치하여야 한다. (3) 야간에 터널 접속도로에는 터널 입구부 부근의 도로폭 변화를 알기 위하여 입구부에 가로등을 설치하고, 터널 내에서 접속도로의 상황을 파악하도록 출구부에 가로등을 설치하여야 한다. (4) 터널 내를 주행하는 중 갑자기 정전을 당하면 터널 내부가 갑자기 어두워져 주행하는 자동차가 매우 위험한 상황에 처하게 되므로 이를 방지하기 위하여 비상조명을 설치하여야 한다. (5) 50m 이상의 터널이 둘 이상 연속하여 존재하고 앞에 통과하는 터널의 출구로부터 후속하는 터널 입구까지의 거리가 설계속도에 대응한 시인거리보다 짧은 경우 후속하는 터널 입구부조명의 설계치를 갱구간거리에 따라서 감소시킬 수 있다. (6) 터널 내부휘도의 적정화와 조명의 경제적 운영을 목적으로 터널 외부 주광조도(또는 휘도)의 변동과 타이머에 의하여 터널 입구부 완화조명과 기본부조명을 단계별로 자동적으로 변경시켜 터널조명을 제어하여야 한다. (7) 터널 진출입부에 별도의 조도순응시설을 계획할 경우에는 내부 터널조명과의 조도순응에 대하여 계절별·시간대별로 시설의 적정성을 검토하여야 한다.	터널 조명기구는 보통 천장이나 벽면 상부에 설치된다. 터널 조명의 위치 및 크기, 형식, 개수는 터널의 형상에 영향을 미치므로 고려되어야 한다. 터널 조명은 IESNA (ANSI / IESNA RP-22 터널 조명의 추천 예시)와 CIE (CIE-88 도로터널 및 지하차도의 조명에 대한 가이드)에 기술되어 있다. AASHTO 도로 조명 설계 가이드에도 도로터널에 대한 몇가지 항목이 있다. 화재 시 안전성 향상을 위해 탈출로를 식별할 수 있는 섬광조명을 설치하는 것이 좋다. 탈출문 주변에 설치하여야 하며, 특히 되도록 연기보다 낮은 위치에 설치한다. 섬광 조명은 화재시에만 작동하도록 한다. 배선방법과 기타 지침을 포함한 터널내 비상조명은 NFPA 502 “도로터널 및 교량, 기타 전용고속도로에 관한 기준” 과 PIARC "도로터널의 화재와 연기 제어", FHWA/AASHTO 유럽 Scan Tour 결과보고서에 기술되어 있다.

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
14.3.2 도시철도 터널의 조명설비계획 시에는 건설교통부의 “도시철도건설규칙”에 따르는 것을 원칙으로 한다. (1) 터널 중간의 기본부조명은 차량운전자가 전방의 장애물을 확인하는 데 필요한 조명으로 바닥기준 5~10lx를 유지할 수 있도록 조명배치를 하여야 한다. (2) 터널의 입구 및 출구부는 터널 내부 또는 외부로 이어지는 부분으로 조도의 변화가 극심하며 이로 인한 차량요원의 시각장애를 유발할 수 있다. 따라서 조도의 변화를 완화시킬 수 있도록 조명계획을 하여야 한다. (3) 터널의 입구 및 출구부 조명의 밝기는 정거장 승강장의 조도가 200~250lx, 터널의 기본조명은 5~10lx이므로 정거장 전방 및 후방 100m 구간은 바닥기준 10lx 정도를 유지할 수 있도록 하여야 한다. 터널의 지상 입출구부는 100lx, 전철기 설치부는 50lx가 되도록 한다. (4) 터널의 비상조명등은 정전 시 60분 용량의 축전지 내장형의 유도등 기능을 겸한 복합표시등을 50~60m 간격으로 바닥으로부터 1m 이상 1.5m 이하의 높이에 설치하고 바닥의 평균 조도가 1lx 이상이 되도록 한다.	
14.3.3 철도터널의 조명설비계획 시에는 건설교통부의 “철도건설규칙”에서 정한 바에 만족하여야 하고, 다음 내용을 따라야 한다. (1) 다음 <표 14.3.1>에 해당하는 터널 내에는 터널조명을 하여야 한다. (2) 조명기구의 시설위치는 신호기의 투시에 지장을 주지 않는 개소로 다음과 같이 하여야 한다. ① 단선터널은 대피소가 있는 한쪽에, 복선터널은 양쪽에 지그재그로 설치하여야 한다. ② 조명기구의 설치높이는 바닥에서 2.5m를 표준으로 하되 형광등기구는 1.8m로 하여야 한다. ③ 조명기구의 설치간격은 터널의 입출구에서 70m까지는 7m 간격, 70m 이상은 10m 간격으로 하여야 한다.	

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
(3) 전반조명의 소요평균 조도는 궤도 수평면에서 10lx가 되도록 하여야 한다. (4) 전반조명은 백색 형광램프 32W, 또는 터널등(나트륨, 메탈할라이드 램프등)을 사용하고, 조명기구는 열차 통과에 의한 진동 및 풍압과 함께 산, 알카리, 수분 등에 충분히 견디는 터널용을 사용하여야 한다. (5) 대피소의 조명은 전반조명과 같이 백색 형광램프 32W를 사용하여야 하고, 중·소형 대피소는 1등, 대형 대피소는 2등으로 하여야 한다. 조명기구에 단독 점멸기는 설치하지 않는다. (6) 변압기 굴의 조명은 전반조명과 같이 백색 형광램프 32W 2개를 사용하여야 하며, 조명기구는 저압간선에 직접 접속하고 맨홀 입구 부근에 배선용 차단기를 설치하여야 한다. (7) 터널 안에는 비상시 승객의 안전한 대피를 위하여 비상조명등을 설치하여야 한다. ① 비상조명등은 항상 켜져 있도록 비상조명등에 전원을 공급하는 장치는 이중으로 설계하여야 한다. 단, 이중전원 확보가 곤란한 단선철도 등에서는 무정전전원장치 또는 축전지 등 적절한 설비를 갖추도록 하여야 한다. ② 비상조명등은 단선터널의 경우에는 한쪽에, 복선터널의 경우에는 양쪽 벽에 20m 이내의 간격으로 가능한 한 낮게 설치하여야 한다. ③ 비상조명등은 대피로 바닥의 평균 조도가 10lx 이상이 되도록 설치하여야 한다.	
14.3.4 기타 터널(통신구, 전력구 등)의 조명설비계획 시에는 다음 기준을 따라야 한다. (1) 일반용 조명설비는 천장 슬라브 하면에 방진·방수 구조로 하며 내부식성 20W 형광등기구를 작업 및 보행 등에 지장이 없는 높이에 설치하여야 하고, 작업보도가 2열인 경우에는 조명기구 설치위치를 서로 엇갈리게 설치하여야 하며, 조도는 바닥면에서 평균 15lx 이상이 되도록 하여야 한다.	

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
단, 출입구 계단 등 특수부에서는 현지에 맞게 추가하며 평균 조도는 약 40lx로 하여야 한다. (2) 공동구 내에 정전이 되었을 때 작업자를 안전하고 신속하게 밖으로 유도해 낼 수 있도록 최소한의 비상용 조명설비를 설치하여야 한다.	

(3) 국내기준의 문제점 분석

국내 터널설계기준의 경우 도로터널 및 도시철도 터널, 철도터널, 기타 터널 등 터널 종류에 따라 조명설비의 설치위치, 조도, 조명기구 종류 등에 대한 각각의 지침사항을 비교적 상세히 기술하고 있는데 비해, 외국의 대부분 터널설계기준에서는 조명설비에 대한 언급이 없으며, FHWA의 도로터널 설계 지침이나 가이드라인에 상세하게 기술되어 있다.

각 터널 종류에 따른 조명설비의 성능은 사용처, 즉 도로, 도시철도, 철도 등에 대한 기준 또는 지침, 편람 내에 각 용도별 터널에 필요한 조명에 대해 상세히 기술되어 있는 바, 터널 설계기준에서 상세히 언급된 내용은 중복되며, 서로 상충될 위험이 있다.

(4) 선진화 방안

조명설비는 터널의 건설 후 최종 사용자(또는 운영주체)의 구체적인 성능 요구조건에 따라 설치되어야 하므로, 조명설비에 대한 기준은 도로 및 도시철도, 철도 기준에서 명확히 기술하고, 터널설계 기준에서는 각 기준에 따라 조명설계가 될 수 있도록 간략히 언급하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

14.4절의 방재설비의 경우 터널 종류에 따른 조명설계에 필요한 참조기준을 제시하고, 내용은 포괄적으로 서술하고 있는 바, 조명설비 역시 이와 같이 기술하여야 할 것으로 보인다.

(5) 추가 소요 연구

공사중 조명에 대하여는 조도 밝기등에 대한 현장 실사 후에 설계 기준을 정하는 것이 바람직 함.

(6) 결언

국내 터널설계기준에는 터널 종류별로 조명설비에 대한 상세한 내용이 기술되어 있으나, 이는 도로, 철도, 도시철도 등의 기준과 중복, 상충된다.

따라서 조명설비에 대한 기준은 도로, 철도, 도시철도의 기준을 따르도록 제시하고, 설

계에 필요한 내용은 포괄적으로 기술하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

16) 환기 기준

(1) 국내 기준 현황

도로터널 환기설계 기준은 국토교통부의 도로설계편람(2011)(제6편 터널, 617 환기시설) 및 한국도로공사의 고속도로 터널 환기시설 설계기준(2011)이 통용되고 있으며, 철도 및 지하철 터널 환기설계 기준은 국토교통부의 철도설계편람(2011)(제10장 터널, 10.14 환기,조명시설)이 마련되어 운영중이다.

(가) 도로터널

관 리 주 체	해 당 기 준	비 고
국토교통부	도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(2009)	예규 제100호
한국도로공사	고속도로터널 환기시설 설계기준(2011)	

(나) 철도터널

관 리 주 체	해 당 기 준	비 고
국토교통부	철도설계편람(2011)	

(2) 해외 기준과의 비교

다음 내용은 대다수의 해외 터널환기 관련 기준들을 포괄하고 있는 FIT(Fire In Tunnels, 2005) 보고서와 터널 목적별 국내 대표기준 목차와의 비교 자료이다. 기준 항목들의 세부 내용을 일일이 비교하기에는 너무 내용이 방대하므로 목차에 기준하여 비교하였다.

도로터널의 환기 관련하여서는 해외 각 국가별로 자국 기준을 제정하고 있는 경우가 많았으며, 국내에서는 일반도로 터널과 고속도로 터널에 대해 기준을 각각 마련되어 있다.

철도(및 지하철)터널의 경우 대부분 자연환기의 가능성이 아주 높으므로 별도의 환기기준을 채택하고 있는 국가는 거의 드물었으며, 터널방재기준 내 스모크 제어(Smoke control)와 비상구 및 구조접근로 환기 부분에 관련 내용을 규정하고 있는 국가들이 대다수이다.

【표 2.81】 FIT과 국내기준의 목차분석(환기)

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	국내 기준
▶Road Tunnel(도로 터널)	▶도로설계편람(十) ▶고속도로 터널환기시설 설계기준
2.2 안전설비	
E1 스모크 제어 환기	5 환기방식(十)
E11 수직갱 자연환기	5.2 자연환기방식
E12 종류식	5.3~5.8.3 종류식, 반횡류식
E13 횡류식	5.8.4 횡류식
E14 환기제어센서	7.계측기
-Opacity,CO,NOx	-오염물질농도 계측기
-풍속계	-풍향풍속계
-갱구부 외부압 측정	-기타 터널 내외부 계측기
E2 비상구 및 구조접근로 환기	
▶Rail & Metro Tunnel(철도 & 지하철 터널)	▶철도설계편람
2.3 안전설비	
E1 스모크 제어 환기	10.14 환기,조명시설
E11 자연환기	④ 자연환기검토
E12 강제환기	⑥ 환기방식의 선정
E2 비상구 및 구조접근로 환기	
E21 비상구 및 구조접근로 환기	

(3) 국내기준의 문제점 분석

도로터널과 철도(및 지하철)터널을 비교해 보면, 환기방식별로 자연환기, 기계환기를 기준으로 환기시스템을 선정하도록 되어 있으며, 도로터널은 보다 상세히 기계환기방식(종류식, 횡류식 등)을 규정하고 있다. 반면 철도(및 지하철)터널 환기방식의 특수성으로 인해 구체적인 언급이 부족한 실정이다.

또한 도로터널은 유지관리 측면에서 환기방식별 제어포이터(존별제어) 개념을 도입하여 환기제어센서를 설치하고 있으나, 상대적으로 철도터널은 이에 대한 규정이 마련되어 있지 않다. 이는 국외 철도터널과 비교해 보면 비슷한 실정이나 향후 이에 대한 보안이 필요해 보인다.

(4) 선진화 방안

유지관리 측면에서 계획된 환기설비의 원활한 운영 및 제어를 위해서는 제어포인터에 대한 개념의 도입이 필요한 것으로 보이며, 이에 따른 환경계측기에 대한 환기방식별 제어위치, 성능 등에 대한 규정이 필요하다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 환기방식에 대한 종합적인 성능 평가시스템 개발

(나) 운영중 환경제어센서 성능평가 규정 및 효율적인 관리방안

(6) 결언

도로터널의 환기기준은 국내외적으로 기준상의 차이는 없으며 잘 정리 되어 있다. 반면, 철도터널은 비상구 등의 개념 및 원활한 운영관점에서 다소 부족한 부분이 있는 것으로 분석된다. 특히 국내 철도(및 지하철)터널의 경우는 향후 이에 대한 추가 규정이 필요해 보인다.

또한 유지관리 측면에서, 환기방식의 효율적 운영을 위해서는 종합적 성능평가의 도입이 필요해 보이며, 특히 환경제어센서의 선능평가 규정이 향후 도입될 필요가 있어 보인다.

17) 방재 기준

(1) 국내 기준 현황

국내에서는 터널방재 관련하여 터널 목적별(도로, 철도, 지하철) 그리고 정부 관리주체별(국토교통부, 소방방재청)로 법령 또는 고시를 통해 기준들이 관리되고 있는데, 도로, 철도 및 지하철 터널에 대한 방재기준 현황은 다음 표와 같다. 관련 기준들은 일본, 미국, 유럽 등 선진기술국 또는 관련분야 전문단체(PIARC, UIC, NFPA 등)에서 제시한 가이드라인 내용들과 시대적 요구조건 등을 참고하여 주기적으로 개정이 이루어지고 있다.

(가) 도로터널

관 리 주 체	해 당 기 준	비 고
소방방재청	도로터널의 화재안전기준(NFSC 603) (2012)	고시 제2012-139호
국토교통부	도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(2009)	예규 제100호

(나) 철도터널

관 리 주 체	해 당 기 준	비 고
국토교통부	철도시설 안전기준에 관한 규칙(2011)	국토교통부령 제356호
국토교통부	철도시설 안전세부기준(2011)	고시 제2011-414호

(다) 지하철터널

관 리 주 체	해 당 기 준	비 고
소방방재청	소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 별표5(2013)	대통령령 제24304호
국토교통부	도시철도시설 안전기준에 관한 규칙(2009)	국토교통부령 제152호

(2) 해외 기준과의 비교

다음 내용은 대다수의 해외 터널방재 관련 기준들을 포괄하고 있는 FIT(Fire In Tunnels, 2005) 보고서와 터널 목적별 국내 대표기준 목차와의 비교 자료이다. 기준 항목들의 세부 내용을 일일이 비교하기에는 너무 내용이 방대하므로 목차에 기준하여 비교하였다.

【표 2.82】 FIT과 국내기준의 목차분석(방재)

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	국내 기준
▶Road Tunnel(도로 터널)	▶도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 ▶도로터널의 화재안전기준(†)
2.1 안전 관련 구조적 수단	
S1 비상 탈출구	5.3 피난대피시설
S11 피난대피터널	-피난대피터널
S12 피난연결통로	-피난연결통로
S13 쉘터	-피난대피소
S14 보행자용 비상구	
S2 구조대 긴급 접근로	
S21 긴급차량용 분리 갱도	
S22 차량용 피난연결통로	-차량용 피난연결통로
S23 비상 차선	-비상주차대
S24 보행자용 직접 접근로	
S25 회차 지역	-회차로
S27 갱구부 긴급구조 스테이션	
S3 인화물 배수	
S31 터널 경사	
S32 분리 배수시스템	
S33 배수조	
S34 비다공성 지표층	
S4 기타	
2.2 안전설비	
E1 스모크 제어 환기	6.1 제연설비(†)
E11 수직갱 자연환기	-수직갱 환기
E12 종류식	-종류식
E13 횡류식	-횡류식
E14 환기제어센서	
-Opacity,CO,NOx	
-풍속계	
-갱구부 외부압 측정	

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	국내 기준
E2 비상구 및 구조접근로 환기	
E3 조명	
E31 터널비상조명	5.1 비상조명등(†)
E32 자동식별표식	-유도표지등
E33 비상구 및 구조접근로 조명	
E4 정보표지판	4.7 정보표지판
E41 터널외부 교통표지 및 신호	-터널입구정보표지판
E42 터널내부 교통표지 및 신호	-차로이용규제신호등
E43 출구 보행자 표지	5.2 유도표지등
E44 구조 보행자 표지	
E5 통신 및 경보 시스템	
E51 긴급전화	4.4 긴급전화
E52 알람푸쉬버튼(수동식 화재경보)	4.1 비상경보설비(†)
E53 설비 자동경보	
E54 자동사고감지	4.1 비상경보설비
E55 화재/스모크 감지	4.9 영상유고감지설비
E56 라디오재방송설비	4.2 자동화재탐지설비(†)
E57 확성기(터널내, 쉘터내)	4.6 라디오재방송설비
	4.3 비상(확성)방송설비
	6.2 무선통신보조설비(†)
E6 교통규정-감시설비	
E61 차속 및 차량밀도 감시	
E63 CCTV	4.5 CCTV
E64 원격제어 진입차단설비	4.8 터널진입차단설비
E66 갱구부 열감지기(트럭)	
E7 전원공급	
	7.1 무정전전원(UPS)설비
	6.4 비상콘센트설비(†)
	7.2 비상발전설비
E8 화재진압(진압장비)	
E81 화재진압 초기대응 매뉴얼(소화기, 호스릴, 기타)	3.1 수동식소화기(†)
	3.2 옥내소화전설비(†)
E82 화재진압수단	6.3 연결송수관설비(†)
E84 고정식화재진압시스템	3.3 물분무설비(†)

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	국내 기준
E9 기타	
2.3 구조물 및 장비 내화	
R1 화재 대응 R2 구조물 내화 R3 장비 내화	 -환기시설 온도저항
▶Rail Tunnel(철도 터널)	▶철도시설 안전세부기준 ▶철도시설 안전기준에 관한 규칙(ㅔ)
2.2 안전 관련 구조적 수단	
S1 비상 탈출구 S11 대피용 서비스 터널 S12 피난연결통로(거리) S13 안전지대 S14 대피로 S15 수직출구/구조용 수직갱 S16 측면출구/대피터널	 제33조 대피통로(ㅔ) 제31조 대피로의 설치(ㅔ) 제34조 연직갱(ㅔ) 제35조 경사갱(ㅔ)
S2 구조대 긴급 접근로 S21 차량용 접근로 S22 구조대 긴급차량(열차 등)	제39조 터널 출입구의 진입로(ㅔ)
S3 인화물 배수 S31 터널 경사 S32 트랙배수시스템	
S4 개방지역 S41 구난지역	 제40조 방재구난지역
2.3 안전설비	
E1 스모크 제어 환기 E11 자연환기 E12 강제환기	제29조 제연·배연 설비(ㅔ)
E2 비상구 및 구조접근로 환기 E21 비상구 및 구조접근로 환기	
E3 조명시스템 E31 터널비상조명 E32 비상구 및 구조접근로 조명	 제37조 비상조명등(ㅔ)

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	국내 기준
E4 정보표지판	제22조 터널안의 표지판(ㅏ)
E41 보행자 출구 표지	-탈출구 표시 표지판
E42 기타	
E5 통신 및 경보 시스템	제20조 비상통신장비(ㅏ)
E51 긴급전화	-비상연락 유선전화기
E52 알람푸쉬버튼	
E53 화재/스모크 감지	
E54 라디오재방송설비	
E55 확성기	
E6 운영 및 교통관제	
E61 차속 및 차량밀도 감시	
E62 교통 체계 및 규정	
E63 터널진입전 열차주행상태	
E7 전원공급	
E71 전원공급	제42조 콘센트 설비
E8 화재진압	
E81 초기조치 및 화재진압	
E82 소화시스템(기계실 등)	제41조 연결송수관 설비(ㅏ)
	제27조 소화기
E9 일반적 안전 설비	
E91 일반안전설비(본선 터널)	
E92 일반안전설비(피난연결통로)	제36조 교차통로
	제18조 분기기의 배치(ㅏ)
	제21조 안전스위치(ㅏ)
	제28조 방연문 등
	제32조 안전손잡이(ㅏ)
	제38조 단전 및 접지기구 설치
2.4 구조물 및 장비 내화	
R1 화재 대응	
R11 화재 대응	
R12 구조물 내화 요구조건	제24조 터널구조물의 보호
R13 장비 내화 요구조건	제29조 제연 · 배연 설비
	제19조 터널의 출입구
	제25조 전기시설물의 보호
	제26조 방재를 위한 터널의 형태
	제30조 대피통로 접속부의 안전기준

FIT(Fire In Tunnels, 2005)	국내 기준
▶Metro Tunnel(지하철 터널)	▶도시철도시설 안전기준에 관한 규칙 ▶소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령(+)
3.1 안전 관련 구조적 수단	
S1 보행자용 비상구	제15조 교차통로의 설치
S2 구조대 긴급 접근로	
S3 배수	제18조 터널내 배수설비
S4 기타	제13조 비상시 대피
3.2 안전설비	
E1 스모크 제어 환기	제17조 터널내 환기설비
E3 조명	제19조 터널내 조명설비 제47조 비상조명등
E4 정보표지판(영구/가변)	제19조 터널내 조명설비 제15조 교차통로의 설치
E5 통신 및 경보 시스템	자동화재탐지설비(+) 무선통신보조설비(+)
E6 교통규정-감시설비	
E7 전원공급	비상콘센트설비(+)
E8 화재진압(진압장비)	제16조 터널내 소방설비
E9 기타	제12조 터널의 일반기준 제14조 탈선대책 비상경보설비(+)
3.3 구조물 및 장비 내화	
R1 화재 대응 R2 구조물 내화 R3 장비 내화	

(3) 국내기준의 문제점 분석

터널 목적별(도로, 철도, 지하철) 기준이 각각 별도 제정, 운영되고 있지만, 도로 및 지하철 터널에 있어서는 관리주체별(국토교통부 및 소방방재청) 개별 기준이 존재하고 있어 상하위 체계 개선이 필요한 것으로 분석되었다. 또한 각 기준의 일부 항목에 대한 용어 불일치 부분이 있었으므로 이에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

도로터널 기준에 있어서는 비상전원, 고정식화재진압시스템 항목의 경우 관리주체별 기준간 내용이 상이하였고, 구조물 내화 항목에서는 관련 기준 검토가 필요한 것으로 나타났다. 한편, 철도터널 기준에 있어서는 기준 항목의 용어 통일(예, 수직갱, 연직갱)이 필요한 것으로 나타났다.

국외 기준들과 비교해 볼 경우, 도로터널 기준에 있어서는 세부 항목들이 비교적 모두 잘 정립되어 있었으나 인화물 배수 및 내화 기준에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된

다. 국내 철도 및 지하철 터널 기준은 도로터널 기준 및 국외 기준과는 확연한 차이를 보였으며, 특히 인화물 배수, 경보 시스템, 비상구 환기 그리고 송풍기 내화 기준 등에 대한 고려가 필요한 것으로 판단되었다.

(4) 선진화 방안

현행 국토교통부의 기준과 소방방재청의 기준이 이원화된 방재기준은 향후 일원화로 통합관리될 필요가 있다.

또한 구조물의 내화규정과 관련하여, 지속적인 연구가 필요한 부분이나 국내 방재기준에는 기본적인 가이드라인만 제시하고 있는 수준이다. 향후 기계설비적 관점과 토목구조적 관점에서의 종합적인 내화기준에 대한 대책이 필요해 보인다.

더불어 방재시스템에 대한 종합적인 성능평가가 없으므로 향후 이에 대한 기준정립이 필요해 보인다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 국내 방재기준의 일원화 대책수립 방안

(나) 설비 및 토목구조적 관점 모두를 고려한 종합적인 내화기준 마련 필요

(다) 방재시스템에 대한 종합적인 성능 평가시스템 개발

(6) 결언

국외 기준들과 비교해 볼 경우, 도로터널 기준에 있어서는 세부 항목들이 비교적 모두 잘 정립되어 있었으나 인화물 배수 및 내화 기준에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다. 또한 국내 철도 및 지하철 터널 기준은 도로터널 기준 및 국외 기준과는 확연한 차이를 보였으며, 특히 인화물 배수, 경보 시스템, 비상구 환기 그리고 송풍기 내화 기준 등에 대한 고려가 필요한 것으로 판단되었다.

향후 터널내 방재시설에 대한 유지관리비의 절약을 위해서는 각종 시설에 대한 일상점검, 작동유무 등에 대한 기초적인 유지관리가 필요할 뿐만아니라, 비상시 원활한 성능확보를 위해서는 주기적인 방재시스템에 대한 종합적인 성능 평가방안에 대한 기준마련이 필요해 보인다.

18) 동해방지 기준

(1) 국내 기준 현황

동해방지에 관한 국내의 건설기준 중 터널설계기준(2007)에는 제10장 갱구부 편의 10.2갱구부의 설계 10.2.7절에 일부 기술되어 있으며 그 내용은 “갱구부는 누수, 결빙

등이 발생하기 쉽기 때문에 적절한 방수 및 배수 조치를 하여야 하며, 갱구부에 작용하는 하중 및 기상 조건에 따른 영향을 고려하여 콘크리트라이닝의 철근보강 여부, 동상방지층, 제설 시스템 및 방설시설의 적용 여부를 검토하여야 한다" 이다.

또한 건설교통부에서 발간한 터널내 포장설계 지침(2005)에는 제2장 터널내 포장단면 설계 편의 2.5 동상방지층 설치에 다음과 같이 "터널내 포장의 동상방지층 설치는 갱구 입구부로부터 50m까지 설치하고, 출구부는 기후환경 여건을 고려하여 동상방지층을 설치하지 않을 수 있다. 단, 상하행이 분리되지 않은 터널의 경우 양쪽 갱구부 모두 동상방지층을 설치한다." 라고 기술되어 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

해외의 경우 노르웨이의 도로터널 핸드북(Handbook 021 Vegtunneler, 2010), 노르웨이 도로터널 표준(Road tunnels, 2004) 및 터널의 유출수와 동해방지 핸드북(Vann- og frostsikring i tunneler, 2006)에 동해방지 설계 및 대책에 관하여 별도의 장으로 자세하게 기술하고 있다.

하기의 내용은 노르웨이의 도로터널 핸드북(Handbook 021 Vegtunneler, 2010), 노르웨이 도로터널 표준(Road tunnels, 2004) 및 터널의 유출수와 동해방지 핸드북(Vann- og frostsikring i tunneler, 2006)에 있는 관련 항목의 목차를 정리한 것이다.

【표 2.83】 해외 기준과의 비교

도로터널 핸드북	도로터널 표준	터널의 유출수와 동해방지 핸드북
7. 안전, 안정성, 지하수 및 동해방지 7.5 터널에서의 동상침투 7.5.1 개요 7.5.2 동상침투 7.6 유출수와 동상 방지 7.6.1 일반 7.6.2 시공법의 선정 7.6.3 동상방지층 하부의 조사장치 배열	7. 막장, 지보, 지하수 및 동해방지 705 터널에서의 동상침투 705.1 일반 705.2 동상침투 706 유출수와 동상 방지 706.1 일반 706.2 시공법의 선정 707 보온성 도어에 의한 동상방지	4. 동해방지 설계 4.1 일반 4.2 수분 흡수에 대한 요구사항 4.3 절연체 두께의 계산 4.4 특정 법칙 4.5 동상층

(3) 국내기준의 문제점 분석

국내 터널설계기준(2007)의 경우 동해방지와 관련한 별도의 기준이 정립되어 있지 않으며 다만, 갱구부에 기상 조건에 따른 영향을 고려하여 동상방지층의 적용 여부를 검토하여야 한다 라고만 기술되어 있다. 또한 건설교통부에서 발간한 터널내 포장설계 지침(2005)에는 터널내 포장의 동상방지층 설치는 갱구 입구부로부터 50m까지 설치하고, 출구부는 기후환경 여건을 고려하여 동상방지층을 설치하지 않을 수 있으며 상하행이 분리되지 않은 터널의 경우 양쪽 갱구부 모두 동상방지층을 설치한다라고 기술되어 동해방지가 터널 내 포장의 세부항목으로 적용되어 있다.

반면에 유럽의 노르웨이의 경우 도로터널 표준(2004)이나 핸드북(2010)에 별도의 장으로 동해방지에 관련한 내용이 기술되어 있는데, 이는 노르웨이의 기후적인 특성에 기인한 것으로 판단되며, 노르웨이 이외의 국가의 기준에서는 동해방지의 내용을 발견할 수 는 없었다.

(4) 선진화 방안

국내 터널설계기준(2007)의 경우 동상방지층의 적용 여부에 대한 구체적이고 명확한 기준이 없으며, 동결 깊이 추정을 위한 식이나 조사공 설치를 통한 실측자료를 이용한 설계 등의 기준이 없다. 따라서 건설교통부의 터널내 포장설계 지침(2005) 등과 같은 국내의 여러 기준과 지침, 국내의 지역적 환경 및 여건을 고려한 종합적이고 체계적인 동해방지 기준이 마련되어야 할 것이다.

특히 국내의 경우 지역별로 동결심도 및 기온 변화의 편차가 크기 때문에 지역별 동해 사례의 조사가 필요하다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 지역별 터널 동해사례 조사 및 방지대책 기준

(6) 결언

동해방지 관련 기준은 현재 설계기준이나 시방서에 명시되어 있지 않으며, 향후 개정 시 국내의 지역적 환경 및 여건을 고려한 종합적이고 체계적인 기준을 고려할 필요가 있을 것으로 여겨지며, 국내의 경우 동해에 의한 피해사례가 지역별로 크게 차이가 있으므로, 동해에 의한 터널의 피해사례를 정리하여 이를 바탕으로 지역별 동해방지 대책 수립에 중점을 두는 것이 중요하다.

19) 터널내 포장 기준

(1) 국내 기준 현황

터널내 포장에 대한 부분만을 언급한 것으로는 건설교통부(2005.9)에서 발간한 “터널내 포장설계 지침”이 유일한 것으로 판단되며, 해당 지침은 터널내 포장설계시 토공부포장과는 다른 환경적, 구조적 특성을 반영하여 터널내부의 기후환경과 구조 및 교통여건에 적합한 포장설계를 하기 위한 것이며, 본 지침에 규정되어 있지 않은 사항은 「도로공사 표준시방서」 및 「도로포장설계 · 시공지침」에 따른다고 언급되어 있다.

건설교통부(2005.9)에서 발간한 “터널내 포장설계 지침”에는 제2장 터널내 포장단면 설계에서 6개절로 구성되어 있으며, 일반사항, 터널내 포장구성, 단면설계, 요철층의 보정, 동상방지층 설치, 터널 입출구부의 결빙보완대책에 관하여 기술하고 있으며, 제3장 포장재료에서 5개절로 구성되어 있으며, 일반사항, 아스팔트 혼합물, 콘크리트 슬래브, 필터층, 시멘트 안정처리 필터층에 관하여 기술하고 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

본 내용은 국내의 “터널내 포장설계 지침(건설교통부, 2005.09)”과 노르웨이의 “Road Tunnels(2004, Norwegian Public Roads Administration)의 Chapter. 9의 Sub-base and pavement를 비교한 것이다.

【표 2.84】 노르웨이 포장기준과의 비교

구분	터널내 포장설계 지침	Road Tunnels, Ch. 9(Norway)
일반사항	2.1 일반사항 터널내 포장은 터널 전후 토공부 포장과의 연속성, 유지관리, 시공성, 소음특성, 조명효과 등을 고려하여 적절한 형식을 선정한다. - 터널내 포장은 콘크리트 포장을 원칙으로 함. - 터널연장이 500m이하인 경우 터널 전후구간의 동일한 형식 가능(지역여건, 시공성 고려)	* General The choice of construction of the sub-base determines the thickness of the combined road surface materials and thereby the theoretical level for the excavation cross -section(the formation level). Costs of excavation and removal Need for frost protection Consequences for trench depth and installation of drainage system Consequences for conduits, size of manholes etc. Foundation for the selected construction method for water and frost protection

구분	터널내 포장설계 지침	Road Tunnels, Ch. 9(Norway)
터널 내 포장 구성	2.2 터널내 포장구성 콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브 표층과 하부층에 시멘트 안정처리 필터층, 필터층을 적용할 수 있다. 아스팔트 포장은 아스팔트 혼합물로 이루어진 표층과 기층을 본선과 동일하게 시공하며, 하부층에 필터층을 적용한다. -터널은 노상이 주로 암으로 이루어지므로, 보조기층을 생략하고 필터층을 적용 -불투수층 기층 적용시 하부 필터층 반드시 설치	*Pavement without frost protection Using Cg as a upper base slab course, only one filter layer of 100 mm is laid. * Frost protected pavement Frost protection of the pavement is achieved either by constructing a frost protection layer or by using insulation material
단면 설계	2.3 단면설계 터널내 포장의 단면설계시 콘크리트 포장의 경우, 슬래브의 두께는 본선포장과 동일하게 적용한다. 아스팔트 포장의 경우, 아스팔트 혼합물층의 두께는 본선포장과 동일하게 적용하며 보조기층대신 투수를 위한 필터층을 설치한다. 필터층의 최소두께 : 15cm(용수량에 따라 필터층 두께 달라짐)	*Pavement without frost protection Lower base course ≥ 250mm, Upper base course ≥ 120mm, Blinder course/Wearing course ≥ 90mm * Frost protected pavement -frost protection layer Crushed rock ≥ 300mm, Lower base course ≥ 250mm, Upper base course ≥ 120mm, Blinder course/Wearing course ≥ 90mm -Insulation Drainage layer ≥ 100mm, Insulation ≥ 50mm, Upper base course ≥ 250mm, Blinder course/Wearing course ≥ 90mm

구분	터널내 포장설계 지침	Road Tunnels, Ch. 9(Norway)
요철층의 보정	2.4 요철층의 보정 터널 굴착시 여굴에 따른 노상의 요철은 빈배합콘크리트, 시멘트 안정처리 필터층 등으로 보정한다.	-
동상방지층	2.5 동상방지층 설치 터널내 포장의 동상방지층 설치는 갱구 입구부로부터 50m까지 설치하고, 출구부는 기후환경 여건을 고려하여 동상방지층을 설치하지 않을 수 있다. 단, 상하행이 분리되지 않은 터널의 경우 양쪽 갱구부 모두 동상방지층을 설치한다.	*Frost protection layer The frost protection layer is constructed by lowering the formation level which is then filled with crushed stone up to the base of the lower base course.
결빙보완대책	2.6 터널 입출구부의 결빙보완대책 터널 입출구부에서 일조량이 적어 결빙 등이 발생하는 경우는 보완대책을 검토하여야 한다. -년간 적설일수 25일 이상이면 일영분석 등을 통하여 결빙 보완대책 설치여부 검토 그루빙, 전기 절연선, 융설액, 열배관, 기상정보시스템 등을 적용	In areas experiencing heavy frost, special attention should be given to frost protection at the entrance of the tunnel.

구분	터널내 포장설계 지침	Road Tunnels, Ch. 9(Norway)
재료 일반사항	3. 포장재료 3.1 일반사항 터널내 포장은 용출수에 의한 습윤상태가 되기 쉬우므로 표층에 위치하는 포장재료는 내수성을 갖추어야 하며, 하부층에 놓이는 포장재료는 투수성을 갖추어야 한다. 아스팔트 포장 보다는 콘크리트 포장이 내수성 우수	-
아스팔트 혼합물	3.2 아스팔트 혼합물 터널내 포장용 아스팔트 혼합물은 수분에 대한 민감성이 적어야 하며, 수침잔류안정도가 75%이하일 경우 골재를 개선하거나 박리방지제 등을 첨가하여야 한다. 아스팔트 혼합물에 사용되는 굵은 골재는 안정성 시험을 실시하여 안정성이 12%이하를 만족하여야 한다.	-
콘크리트 슬래브	3.3 콘크리트 슬래브 터널내에서는 유지관리가 어려우므로 콘크리트 슬래브와 줄눈재료는 공용기간동안 받게되는 교통하중과 환경영향에 의한 손상을 충분히 지지할 수 있는 강도와 내구성을 가져야 한다. -콘크리트 슬래브의 휨강도 기준 : 재령 28일 강도 -아스팔트계열 줄눈재료 : ASTM D6690 기준 적용 -실리콘 계열 줄눈재료 : ASTM D5893 기준 적용 -성형줄눈재 : TL Fug-StB01 기준 적용	-

<table>
<tr><th>구분</th><th>터널내 포장설계 지침</th><th>Road Tunnels, Ch. 9(Norway)</th></tr>
<tr><td>필터층</td><td>3.4 필터층
터널내 노상에서 침투한 용수를 배수하기 위한 필터층의 설치가 요구되며, 필터층의 입도는 다음을 만족하여야 한다. 필터층의 다짐은 최대건조밀도의 95%이상 다짐을 해야 한다.
<table>
<tr><th>호칭치수(mm)</th><th>체통과중량 백분율(%)</th></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>40</td><td>80~100</td></tr>
<tr><td>20</td><td>55~90</td></tr>
<tr><td>5</td><td>30~65</td></tr>
<tr><td>2</td><td>20~50</td></tr>
<tr><td>0.4</td><td>5~25</td></tr>
<tr><td>0.08</td><td>0~4</td></tr>
</table></td><td>-</td></tr>
<tr><td>시멘트 안정처리 필터층</td><td>3.5 시멘트 안정처리 필터층
시멘트 안정처리 필터층의 일축압축강도는 30kg/cm2이상이어야 하고, 입도는 필터층의 입도와 동일하다. 터널내 용출수에 의해 필터층의 펌핑과 침식을 방지할 목적으로 시멘트 안정처리 필터층을 사용하며, 배합설계방법은 도로공사 표준시방서상의 시멘트 안정처리기층과 동일하게 적용한다.</td><td>-</td></tr>
</table>

(3) 국내기준의 문제점 분석

국내 터널의 기후환경 및 지지력 특성에 맞는 터널내 포장의 설계지침을 제정, 기존 터널내 콘크리트포장에서 린 콘크리트층과 선택층을 같이 사용하여 왔으나, 제정된 포장지침은 두 개의 층을 별도로 두지 않고 하나의 시멘트 안정처리 필터층을 사용하였으며, 아스팔트포장에서는 보조기층을 생략하고 필터층을 설치함으로써 경제적이고 시공의 효율성을 가질 수 있게 하였다. 그러나 아직까지 콘크리트 포장을 적용함에 있어서 소음측면에서 불리한 것을 극복할 수 있는 기준 및 방안이 부족하다. 또한, 국내의 환경 및 여

건을 고려한 지역별 맞춤형 결빙보완대책이 미흡하여 여러 가지 방식이 혼용되면서 확립되지 못하고 있다.

(4) 선진화 방안

터널내 포장에 대한 선진화 방안은 타 분야와 다르게 국내의 지침이 해외의 지침 및 설계기준보다 조금 더 자세히 기술되어 있는 실정이다. 따라서, 본 분야의 경우에는 설계지침, 설계기준에 대한 개선 보다는 해당분야에 대한 기술개발이 선행되어야 할 것으로 판단되며, 구체적인 기술개발 사항은 다음 절의 추가소요 연구에 나열하였다.

(5) 추가 소요 연구

(가) 터널내 적용을 위한 저소음 친환경 콘크리트 포장 기술개발

(나) 지역특성에 맞는 결빙보완대책 연구

(6) 결언

터널에 있어서 포장은 터널공사와 직접적인 연관성은 떨어지지만, 차량의 운행에 있어서 가장 직접적으로 영향을 줄 수 있는 사항으로써 이용자의 주관적인 판단에 의하여 그 품질이 좌우 될 수 있는 분야이다.

국내의 설계지침은 터널내 포장부분을 별도로 작성하여 체계적으로 되어 있으나, 해외의 경우는 터널내 포장이 아닌 일반도로의 포장에 대한 부분을 참고하는 것으로 되어 있다. 이에 터널건설 기술의 선진화를 위해서 터널내 포장부분은 설계기준 및 지침에 대한 개선보다는 국내에서 필요한 포장기술 개발에 중점을 두는 것이 중요하다.

20) 경사갱 기준

(1) 국내 기준 현황

경사갱에 관한 국내의 건설기준 중 터널설계기준(2007)에는 제12장 연직갱 및 경사갱 편에서 연직갱과 경사갱 각각에 대해 단면, 굴착, 지보재, 라이닝, 터널바닥설비 등에 관해서 기술하고 있다.

또한 터널표준시방서(2009)에는 제10장 연직갱 및 경사갱 편에서 연직갱과 경사갱 각각에 대해 일반사항, 재료, 시공사항으로 분류하여 기술하고 있다.

(2) 해외 기준과의 비교

본 내용은 국내 터널설계기준 상에 있는 연직갱 및 경사갱 기준과 일본 표준시방서(2006) 내용 중 시공내용을 제외한 설계내용을 비교한 것이다. 해외 기준상에서 연직갱과 경사갱을 언급한 사례는 없고, 단지 일본의 경우가 표준시방서에서 연직갱 및 경사갱

에 대해 수록하고 있고 영국 BTS의 Specification for tunnelling과 미국 FHWA의 Road tunnel design guidelines는 연직갱에 대한 내용만 간략하게 기술하고 있다.

【표 2.85】 경사갱에 대한 해외기준과의 비교

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
12.1 설계일반 12.1.1 연직갱 설계는 수직이거나 수직에 가까운 터널에 적용 12.1.2 경사갱 설계는 경사진 터널에 적용 12.1.3 연직갱 및 경사갱의 설계 시 고려 사항 (1) 연직갱 및 경사갱의 설계시 사전에 충분한 지반조사 실시 (2) 연직갱에서는 특수한 작업기계를 사용하게 되므로 지형 및 지반 조건에 적합한 장비 선정, 지하수 유입에 대비하여 안정성, 시공성 고려한 계획 수립. 특히, 동절기 시공 중 낙하물에 대한 안전대책 강구 (3) 연직갱을 작업용 외에 타목적으로 전용하지 않는 경우 보강, 폐쇄, 매립등의 적절한 방안 제시 (4) 경사갱 설계시 용도, 지반 조건, 버력 및 기자재의 반출입, 터널 내부설비, 측량, 시공, 유지보수, 점검 시의 안정성 등을 충분히 고려하여 위치, 유효단면, 기울기, 수평부의 연장, 수평분기점의 위치, 본 터널과의 교차각도 등 결정 (5) 경사갱 수평부의 연장은 터널 내부설비 외에 측량의 정도, 버력설비, 차량의 교체작업 등을 고려하여 결정 (6) 경사갱과 본 터널과의 교차각도는 직각 표준으로 하되 연결부의 구조, 시공성, 차량의 선회반경 등 운행 조건을 고려하여 교차각도를 별도 결정	제1장 통칙 제216조 입갱 및 사갱 일반 입갱 사갱의 설계 및 시공에 있어 그 특수성을 십분 감안하여, 위치 선정, 지보공 및 복공 설계, 시공법 선정, 안전대책 등에 대해 십분 고려해야 한다.

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
(7) 연직갱 및 경사갱의 위치는 용도, 지반 및 지형 조건, 유입 지하수, 연장 및 유지관리를 고려하여 경제적으로 유리한 장소 선정. 유지 관리하여야 할 연직갱의 경우에는 인력 및 장비수송용 승강기를 연직갱 내에 설치하여야 하며, 심도에 따른 안전대책 수립 (8) 연직갱 및 경사갱을 작업용으로 사용하는 경우에는 본 터널과 연결되는 갱저설비의 배치, 측량, 완성 후의 처리 등을 고려하여 위치 선정 (9) 연직갱 및 경사갱을 환기, 배수, 비상용 통로 등 본 설비로 사용하는 경우에는 향후 지하시설의 확장에 대비하여 위치를 선정하여야 하며, 갱에서 배출되는 오염물질이 주변 환경에 미치는 영향 검토 (10) 연직갱 및 경사갱의 굴착대상인 지층에 대수층이 있거나 유입 지하수가 많을 것으로 예상되는 경우에는 지하수위 저하, 지수, 지반 강화 등의 보조공법 계획	
12.2 연직갱의 설계 12.2.1 연직갱의 단면 결정 (1) 연직갱의 단면은 용도에 따른 소요 내공단면, 시공방법, 연직갱 내에 설치될 모든 설비의 배치, 반입기자재의 크기, 지반 조건 등을 종합적으로 고려하여 크기와 형상 결정 (2) 도로터널의 환기용 연직갱은 터널 내의 소요 환기량을 충분히 확보할 수 있는 단면적 확보. 연직갱의 단면은 연직갱 내 풍속이 20m/sec 이하로 되는 단면 결정 (3) 도로, 철도터널 등의 작업용 연직갱의 설계시 케이지(cage), 스킵(skip) 등의 버력처리설비 및 배수관, 환기관, 급기관, 각종 배선류, 비상계단 등의 설치와 반입 기자재의 크기 등을 종합적으로 검토하여 단면 결정	제2장 입갱 제1절 입갱 설계 제217조 단면형상 입갱의 단면형상은 필요한 내공단면, 시공방법, 입갱내에 설치되는 제설비의 배치, 지반조건을 종합적으로 감안하여 크기, 형상을 정하여야 한다.

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
(4) 지보설치 후의 연직갱 유효단면은 지하시설 건설공사를 가장 경제적으로 수행하기 위한 시간당 버력, 인원, 소요 자재 운반량과 반입될 장비, 설비의 크기, 시간당 환기량과 각종 설비, 지반조건을 고려하여 결정 12.2.2 연직갱의 굴착설계 (1) 연직갱의 굴착공법은 전단면 하향굴착, 전단면 상향굴착, 선진도갱 확대굴착으로 구분되며 연직갱의 용도, 심도, 단면크기, 지반 조건, 입지조건, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법 등을 선정 (2) 굴착방법으로서 인력 또는 발파방법 외에 기계굴착방법도 고려 가능 (3) 연직갱 내 발파계획 시 지반 조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 수립 12.2.3 연직갱 지보재 설계. (1) 연직갱지보재는 지반 조건, 함수대 유무, 단면형태, 심도, 시공법, 라이닝의 시기 등 고려 (2) 강지보재의 크기와 간격 결정 시 연직갱단면의 크기 및 지반 조건 등을 고려하여야 하며, 지반이 양호한 경우에는 강지보재를 록볼트와 숏크리트로 대체가능 (3) 연직갱지보재의 설계는 제5장 터널지보재 편에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하며, 지반의 급격한 변화, 지하수의 유동성 등을 감안하여 안전측으로 설계 (4) 숏크리트의 탈락방지를 위하여 철망이나 섬유보강 숏크리트 사용 12.2.4 연직갱 라이닝설계 (1) 라이닝에 사용되는 재료는 터널의 사용 목적에 적합한 것이어야 하며, 일반적으로 콘크리트 사용을 기본으로 하고 지반 조건에 따라 콘크리트블록(concrete block), 세그먼트(segment), 라이너플레이트(liner plate)등 사용 가능	제218조 지보공 설계 지보공은, 시공방법, 지반조건 등을 고려하여, 입갱의 굴착후에 주변 지반을 지지하여, 안전하고 능률적으로 갱내작업이 수행되도록 설계하여야 한다. 제219조 복공 설계 (1) 복공 설계는 입갱의 시공방법, 사용목적, 시공시기, 지반조건 등을 고려하여 수행되어야 한다. (2) 설계 두께는 그 목적에 적합한, 단면 크기와 형상, 지반특성, 작용하중, 복공재료 및 시공성 등을 고려하여 결정하여야 한다. (3) 콘크리트 배합은, 소요 강도, 내구성 및 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 정하여야 한다.

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
(2) 라이닝의 길이 및 두께의 설계 시에는 연직갱의 용도에 적합한 단면의 크기 및 형상, 지반특성, 심도, 작용하중, 라이닝 재료, 시공법, 시공성, 기존 시공실적 등을 고려 (3) 지질구조가 복잡하지 않은 경우 적용하중이 균등하게 작용하는 것으로 간주하여 설계. 그러나 지질구조의 변화가 급격히 변하거나 지형 및 지반 특성상 현저하게 비대칭인 경우 편하중이 작용하는 것으로 설계 (4) 내리막굴착 시 굴착, 발파, 버력처리 후 즉시 측벽을 라이닝으로 유지하는 경우에는 라이닝이 지반압을 받는 것으로 설계하여야 하며, 불량한 지반의 경우에는 측벽붕괴를 방지하기 위하여 라이닝길이를 짧게 하고 강지보재를 추가하는 등 대책 강구 (5) 굴착과 라이닝을 20~30m 정도로 교대로 시공하는 경우에는 굴착 후 지반변형을 숏크리트 등으로 억제하고, 지반 상태에 따라 일정 구간 일시에 라이닝을 시공하는 것으로 설계. 라이닝의 설계 시 지반압은 라이닝이 받는 것으로 설계 (6) 숏크리트와 록볼트를 시공하는 경우 콘크리트라이닝의 두께는 시공성, 단면의 크기 등을 고려하여 설계하고, 단면의 증감을 고려하여 두께도 증감 (7) 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성 및 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 설계 12.2.5 연직갱 터널바닥설비 (1) 연직갱의 터널바닥설비에는 배수설비와 버력처리설비가 있으며 지반 조건, 본선 터널의 시공법, 연직갱의 운반방법, 굴진공정 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 결정	제4장 입갱 및 사갱의 갱저설비 제234조 갱저설비 (1) 버력처리 설비 및 콘크리트 적체 설비는 본갱의 단면, 시공연장, 공기 및 운반능력 등을 고려하여, 그 규모와 배치 등을 정하여야 한다. (2) 양수설비는 예상용수량, 이상출수, 정전 및 펌프설비의 보수 등을 고려하여, 그 설비용량을 정하여야 한다.

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
(2) 공사 중 배수설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙 (3) 배수설비설계 시 침전조, 저수조, 배수펌프, 터널 내 배수관, 펌프장, 배전실 및 충전실, 재료적치장 등에 대하여 검토 (4) 연직갱 본체에 설치할 각종 부대시설 등은 지반 조건, 운반방법 등을 고려하여 그 규모와 배치 결정 (5) 안전설비로서 전화, 점멸장치, 사이렌 등의 비상용 경보장치와 소화기의 설치, 비상용 자재로서 가스마스크 등 계획 12.2.6 연직갱 터널외부설비 (1) 공사 중 발전설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙 (2) 연직갱 내 과도한 지하수 유입으로 인하여 배수설비가 침수되는 경우에 대비하여, 인원탈출을 위한 케이지 권양기와 배수펌프의 전선을 별도계통으로 나누어 배선	
12.3 경사갱의 설계 12.3.1 경사갱의 기울기 및 단면 결정 (1) 경사갱의 기울기는 용도, 연장, 본 터널과의 위치 관계, 지반 조건, 시공법, 공기, 운반방법의 특성, 환기방법, 경제성 등에 대하여 검토를 하고 정하여야 하며, 버력반출용 경사갱의 경우에는 장비의 등판능력 고려 (2) 경사갱에서는 설치하는 설비의 반출입, 설치의 용이성, 유지보수, 점검시의 안전성 등을 충분히 고려하여 기울기 및 연장을 결정 (3) 경사갱의 단면은 용도, 시공을 위한 운반설비, 작업용 통로 및 공사용 제설비의 배치 등을 종합적으로 고려	제3장 사갱 제1절 사갱 설계 제226조 구배와 단면형상 (1) 사갱의 구배 설정에 있어서는, 용도, 연장, 본갱과 위치관계 외에 지반조건, 시공방법, 공기, 시공 안전 등도 고려하여 검토하여야 한다. (2) 사갱의 단면은 용도, 시공에 필요한 운반설비, 작업용 통로, 공사용 제설비의 배치 등을 종합적으로 감안하여, 크기 및 형상을 정하여야 한다.

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
(4) 작업용 경사갱의 단면은 버력반출설비, 배수관, 환기관, 급기관, 각종 배선류와 반입 기자재의 크기 등 종합적으로 검토 (5) 배수관은 지하수의 유입 상태에 따라 증설의 필요성이 발생하므로 여유를 갖는 배치가 되도록 내공단면 확보 12.3.2 경사갱 굴착방법설계 (1) 기울기 및 유효단면에 적합한 굴착, 보강, 운반, 환기, 배수방법 등을 확립 (2) 경사갱의 굴착공법은 전단면내리막굴착, 전단면오르막굴착, 분할굴착, 선진도갱확대굴착 등으로 구분되며, 경사갱의 용도, 연장, 기울기, 단면의 형태 및 크기, 지반 조건, 입지 조건, 굴착방향, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토 (3) 굴착방법으로서 인력 또는 발파방법 외에 기계굴착 고려 가능 (4) 경사갱 내 발파계획은 지반 조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려 12.3.3 경사갱 지보재설계 (1) 지보재는 시공법, 지반 조건 등을 고려하여 굴착 후 지반의 자체 지보능력이 발휘될 수 있도록 설계 (2) 강지보재는 경사갱의 직각방향, 연직방향, 직각방향과 연직방향의 중간방향으로 설치할 수 있으며 초기응력 및 지반 상태를 고려 (3) 지보재와 지보패턴은 수평터널의 경우에 준하여 설계하여야 하며, 경사갱의 특수성을 감안하여 수평터널의 지보재보다 안전측으로 설계 가능	제227조 지보공 설계 사갱의 지보공은, 시공방법, 지반조건등을 고려하여, 주변 지반의 지지능력이 십분 발휘됨으로써 지반을 지지하여 안전하고 능률적인 갱내 작업이 수행되도록 설계하여야 한다.

국내 터널설계기준	일본 터널표준시방서
12.3.4 경사갱 라이닝설계 (1) 라이닝설계는 용도, 기울기, 지반 조건, 시공법, 시공시기 등을 고려 (2) 라이닝설계는 수평터널의 설계에 준하지만 기울기가 급한 경사갱이나 수압관로의 라이닝은 주변 지반의 상태 혹은 수압 크기 및 형태에 따라 적절한 두께와 구조 확보 (3) 라이닝두께는 단면의 형태와 크기, 라이닝에 작용하는 하중, 지반 조건, 라이닝재료, 시공성 등을 고려 (4) 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성, 양호한 품질과 시공성을 얻을 수 있도록 설계	제228조 복공 설계 (1) 복공 설계는 사갱의 용도, 구배, 지반조건, 시공방법, 시공시기 등을 고려하여 수행되어야 한다. (2) 복공의 설계 두께는 그 목적에 적합한, 단면 크기와 형상, 지반조건, 복공재료 및 시공성 등을 고려하여 결정하여야 한다. (3) 복공에 사용되는 콘크리트 배합은, 소요 강도, 내구성 및 양호한 품질을 얻을 수 있도록 정하여야 한다.
12.3.5 경사갱 터널바닥설비설계 (1) 경사갱 내부의 터널바닥설비는 배수설비와 버력처리설비 등이 있으며 지반 조건, 본선 터널의 시공법, 경사갱의 운반방법 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등 결정 (2) 버력처리설비는 기울기, 연장, 접속터널의 운반방법, 안전성, 능률 등을 고려하여 선정 (3) 공사 중 배수설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙 (4) 공사 중 배수설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙 (5) 공사 중 발전설비는 14.5 공사 중 설비에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙	제4장 입갱 및 사갱의 갱저설비 제234조 갱저설비 (1) 버력처리 설비 및 콘크리트 적체 설비는 본갱의 단면, 시공연장, 공기 및 운반능력 등을 고려하여, 그 규모와 배치 등을 정하여야 한다. (2) 양수설비는 예상용수량, 이상출수, 정전 및 펌프설비의 보수 등을 고려하여, 그 설비용량을 정하여야 한다.
12.3.6 경사갱을 화재 시 배연통로로 이용할 경우 별도의 대피통로계획을 수립	

(3) 국내기준의 문제점 분석

국내 터널설계기준의 경우 연직갱과 경사갱에 대해 단면, 굴착, 지보, 라이닝등 상세히 기술되어 있는데 비해 유럽 및 미국의 설계가이드의 경우 경사갱에 대한 항목은 기술하고 있지 않고 연직갱에 대해서도 굴착, 안전사항등에 대해 포괄적인 내용들만 간략하게 기술되어 있다. 이는 경사갱 굴착, 지보등의 개념이 수평터널과 큰 차이가 없다고 간주되기 때문이라 볼 수 있다. 따라서 경사갱에 대해 기술된 내용들이 4장 설계일반, 5장 터널지보재, 6장 콘크리트라이닝, 9장 굴착 및 계측 등과 중복되어 기술되었다고 볼 수 있다.

또한 연직갱 및 경사갱 모두 설계기준의 내용, 조건등이 상세하게 기술되어 있어 설계자의 창의적인 설계를 제한하는 결과를 초래하고 있다고 본다.

(4) 선진화 방안

경사갱은 작업용 통로, 버력반출, 환기 및 대피통로등 본선터널의 보조역할을 하는 터널로 수평터널과 시공방법에서 큰 차이를 보이지 않으므로 설계기준에서 별도의 항목으로 기술하는 것 보다는 일반적인 사항은 터널계획, 설계일반, 굴착편 등에서, 방재측면의 기능에 대해서는 방재편에서 언급하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

추가로 연직갱 설계기준의 내용을 구체적으로 제시하는 것보다 포괄적으로 제시하여 창의적인 설계를 도모하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

(5) 결언

경사갱은 작업용 통로, 버력반출, 환기 및 대피통로등 본선터널의 보조역할을 하는 터널로 수평터널인 본선터널과 기능적인 측면에서는 차이를 보이지만 시공적 측면에서는 유사하다고 볼 수 있다.

그러나 기존의 국내 설계기준에는 경사갱에 대해 단면, 굴착, 지보재, 라이닝, 터널바닥설비 등에 관해서 기술되어 있어 수평터널의 기준들과 상당부분 중복되고 있다.

따라서 별도의 항목으로 기술하는 것 보다는 일반적인 사항은 터널계획, 설계일반, 굴착편 등에서, 방재측면의 기능에 대해서는 방재편에서 언급하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

추가로 연직갱 설계기준의 내용을 구체적으로 제시하는 것보다 포괄적으로 제시하여 창의적인 설계를 도모하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

3.4.8 결론

현재 성능기반 설계기준의 개발을 위한 연구는 국제적 연구개발 추세에 발맞추어 공종별로 수행되고 있으나, 아직까지 국내에서는 체계적으로 수행되지는 않고 있다. 본 연구에서는 터널의 설계와 시공과 관련하여 해외 성능기준 현황 및 개발 동향을 조사(19개 항목), 분석함으로써 터널 구조물의 성능기반 설계 개념 및 특성을 정립하였다. 터널의 성능기반 설계기준의 개발 대상 및 범위를 설정하여 성능기반 설계기준의 개발 및 접근 방법을 제시하고 성능중심의 건설기술기준 개발 위한 작성지침을 개발함으로써 향후 성능중심의 건설기술기준을 개발하는 데에 기초지식을 제공하고, 편의를 제공하는 등 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 이를 통해 향후 터널 구조물의 설계 및 시방 기준에 적용할 성능중심의 건설기술기준을 개발함으로써 터널구조물의 성능향상을 도모하고, 설계 및 시공자의 기술개발을 유도하며, 터널의 유지관리 비용을 포함한 생애주기비용(LCC)을 절감시키는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

3.5 IT 및 BIM 기반 미래기술 접목 방안

3.5.1 개요

1)기술 현황

현재 우리의 건설산업은 기존의 기술적, 제도적 비효율성과 비창조적인 설계 및 시방기준의 틀에 사로잡혀 앞으로 나아가지 못하고 있는데, 이 위기를 극복하기 위해서는 정부와 민간이 힘을 합쳐 새로운 건설기준을 정립하고 새로운 로드맵을 제시하여야 한다. 이러한 관점에서 세계적으로 경쟁력이 있는 국내의 IT기술과 BIM기술을 터널설계에 적극 활용한다면 세계 터널 시장을 선도하는 새로운 기회가 될 수 있을 것으로 기대한다.

터널 건설현장이 대형화되고 공종이 복잡해지면서 효율적인 건설관리의 필요성이 대두되고 있다. 건설 프로젝트의 주요 관리 요소인 도면, 인력, 원가, 자재, 장비, 문서, 일정정보 등의 자원의 효율적인 관리를 위해서는 세계적으로 이미 경쟁력을 갖춘 국내 IT 기술과 BIM 기술을 터널 분야에 확대 적용하는 하이브리드 모바일 기반의 유기적인 통합 프로세스의 혁신이 필요하다.

건설 IT 기술인 다이내믹 3차원 지형 과 오브젝트의 모델링 및 렌더링 기술을 건설 BIM과 융합하여 객체모델의 형상과 정보를 동시에 통합관리 할 수 있는 통합관리체계를 구축하게 되면 다음과 같이 터널건설관리의 생산성을 제고할 수 있다.

(1)터널 건설현장의 공정 및 자원의 실시간 정보를 멀티 매트릭스의 셀과 3D 객체모델과 연동함으로서 건설공사 5D관리의 실용적 구현을 통해 공정관리의 생산성을 극대화시킨다.

(2)그래픽 요소와 데이터베이스 요소의 통합 관리방안을 제공하며 신속한 의사결정을 위하여 물량, 비용, 일정, 자원의 정보를 모바일을 통하여 현장에 실시간으로 제공하고 신속한 데이터분석을 가능하게 한다.

2) 기술 개발의 필요성

(1) 기술개발 배경

(가) 현재 터널 설계는 3D에 대한 관심이 증대되고 있는 반면, 터널분야에서의 BIM 3D기술은 아직까지 개발 초기의 모습을 보이고 있다. 3D 구현 속도가 느리다는 기술적인 한계를 원인으로 들지만 그 보다는 사용자의 요구를 충족시켜주지 못한 점이 더 큰 요인이라고 생각된다. 또한 다양한 플랫폼(IOS, Android등)에서 동시에 구동되는 방향으로 개발이 되지 못하고 있다.

(나) 기존에 개발된 상용 BIM 관련 제품들은 대부분 외국에서 개발된 외산엔진이

대부분이기에 중요한 핵심기술이 외국에 종속될 가능성을 내포하고 있다. 또한 광범위의 지역과 다량의 데이터를 다루어야 할 터널분야의 성격으로 볼 때 기존의 상용제품들은 적용하기에는 무리가 있다.

(다) 멀티 매트릭스 기법을 통하여 수량, 공정, 공사비의 프로세스를 통합하고 액티비티에 해당되는 자원, 인력, 비용, 사용자, 도면, 문서, 3D 모델링, 진도, 사진, 시방서, 안정관리, 구조해석, 시공일지 정보 등의 요소들을 매트릭스의 공종분류체계와 시설분류체계의 교차점인 셀을 통하여 관리되도록 한다면 공정관리의 혁신적인 시스템이 될 것이다.

(라) 터널과 IT를 융합하여 관련 정보를 3차원 형태로 모델링하고 시뮬레이션하여 통합 관리하는 것은 가장 중요한 국가적 기술 요소 중에 하나이다.

(2) 기술개발의 필요성

(가) IT의 핵심 요소 기술인 3D 객체모델과 위치정보의 동기화, 구조물 형상의 획득 및 처리, 시각화 및 시뮬레이션, 3D 요소기반 공정관리 기술들은 IT+건설 융합을 위한 새로운 패러다임의 도입을 의미하며 건설 신문화 창출의 효시가 될 것이다.

(나) 오늘날 터널건설의 3차원 시뮬레이션은 비주얼라이제이션(Visualization)과 사실성을 추구한다. 비주얼라이제이션은 비주얼 리얼리티와 인포메이션 데이터 리얼리티의 구성이며, 시뮬레이션의 완성을 위해서는 인포메이션 리얼리티와 비주얼 리얼리티의 커뮤니케이션이 요구된다.

(다) 하이브리드 모바일 3D를 통한 작업은 리소스의 재사용, 협업, 가벼운 3D 시스템 등을 제공하며 비용절감, 작업의 간소화, 업무의 효율성 등 프로젝트의 질적 상승효과를 극대화시킨다.

(라) 3D 객체모델 기반의 가상환경과 건설 자원의 위치정보를 통한 실제 환경과의 융합은 건설공사의 정보화와 첨단화를 구현함으로서 터널 건설관리의 효율성을 증진시키게 될 것이다.

(마) 대단위 작업과 대규모의 데이터가 생성 · 관리되는 터널건설 분야에서는 일반적인 3D 기술뿐만 아니라 모바일 환경에서의 다단계 LOD를 지원하는 3차원 모델링 및 렌더링 기술의 필요성이 크게 대두되고 있다.

(바) 신 개념의 그린 S/W 기술인 하이브리드 모바일 기반의 멀티 매트릭스 기법을 통한 효율적인 프로젝트 공정 관리 기법이 필요하다.

(사) 매트릭스 기법을 건설 프로젝트에 적용하면 프로젝트 기본 요소인 작업과 자원을 효과적으로 빠르게 구축할 수 있다. 건설 프로젝트의 매트릭스는 작업의 흐름을 시각적으로 정확히 검토할 수 있을 뿐만 아니라 일정과 비용을 통합 관리

할 수 있는 효과적인 방법을 제공한다.

(아) 매트릭스 기법을 통하여 인력, 자재, 장비 등의 자원에 관한 정보를 적시에 파악함으로써 효율적인 시공관리를 통해 공기단축과 원가절감 효과 및 품질과 안전의 확보를 달성할 수 있다.

(자) 매트릭스 기법을 건설현장에서 활용하면 복잡한 방식의 공정 작업관리에 대해 벡터 그래픽 방식의 형태로 한눈에 알아보기 쉽게 구성하여 즉각적인 작업이 생성될 수 있도록 도움을 주어 사용자는 빠른 속도로 필요한 정보와 자료를 시시각각 활용할 수 있게 되는 장점이 있다.

3.5.2 IT 및 BIM 관련기술 현황

1) 국내·외 관련기술의 현황

(1) 국내 관련기술 현황

(가) 국내 건설 IT와 BIM의 적용은 주로 건축부분에 일부 적용되고 있으며, 토목 관련 부분은 걸음마 단계로 기존 솔루션에서 작성 된 데이터를 기반으로 활용할 수 있는 기술 개발이 진행되고 있다. 국내 건설IT와 3D BIM 관련 솔루션은 설계, 구조해석 등에서 대부분 외산인, Revit, AchiCAD, MicroStation 등을 사용하고 있다.

(나) 터널 분야의 IT 활용은 매우 낮은 수준이며, 3D BIM 부분은 AutoCAD Civil 3D를 중심으로 도입을 검토하거나 시범 적용을 진행하고 있다. 국내 기술은 대부분 원가산출, 견적, 공정관리 등에 치우쳐 있으며, 또한 대부분 서버 및 PC 기반의 제품만 있으며, 모바일 적용은 공정관리 내에 극히 일부분만 활용되고 있는 것으로 파악된다.

(다) 해외 사업을 위해 기업에서 사용되고 있는 일반적인 BIM 관련 업무는 현재 SI 위주의 단일 프로젝트의 성격으로 주로 진행되고 있다. 외국에서 패키지 형태로 출시되어있는 제품과는 달리 국내에서는 주로 연구과제나 시공성 측면에서 프레젠테이션 레이어 단계의 모델링용 BIM이 주로 활용이 되고 있는 실정이다.

(라) 산악지형이 많은 국내 여건상 어떠한 지형지물 위에서도 터널 건설 관리용 BIM의 적용이 원활하고 정확히 구현되기 위해서는 정확한 연구와 투자가 필요한 실정이다.

(2) 해외 관련기술 현황

(가) Autodesk와 벤틀리시스템즈코리아는 Civil BIM 솔루션 개발을 통하여 최근 발전하는 글로벌 설계추세에 부합하는 설계 양식과 콘텐츠를 개발하고 있으며

토목구조물의 3차원 배근과 BIM 적용 관련 시현을 하고 있다. 토목 BIM 구현 기술은 기본설계 대비 콘크리트 및 철근 수량을 약 10% 감소시키며, 사전간섭 체크를 통해 시공 오류를 감소시킬 수 있음을 강조하고 있다.

(나) 미국 연방도로국(FHWA)은 이미 설계안에 따른 도로의 안전성을 자동으로 평가하는 IHSDM(Interactive Highway Safety Design Model) 프로젝트를 수행하고 있다.

(다) BIM 기술을 기반으로 도로의 안전성을 평가하기 위해 개발된 프로그램으로는 RDV Systems사가 개발한 Rapid Road Safety Analyzer(RRSA)가 있다.

【표 2.86】 해외 관련기술 현황

세부기술	업체명(국가)	보유 기술(제품) 특징	기술 수준	비고
Civil 설계	AutoDesk (USA)	제품명 : AutoCAD Civil 3D 설계 변경 시 동적 업데이트가 이루어지도록 객체들 간의 상호 연관관계 구성 측량 및 데이터 수집, 지표면 모델링 유연성 있는 오브젝트	100 %	세계적 선도 수준을 100으로 간주
Parametric model 기반 3D 모델링 설계 영역	Graphisoft (FIN) Nemetschek (GER)	제품명 : 아키캐드(ArchiCAD) parametric object tech.를 이용한 library 구축 기존의 Object 일람을 선택하여 커스터마이징 가능 평면도, 입면도, 단면도 및 3차원 표현을 쉽게 생성하며, 모델의 일부를 확대하여 2차원 사세도 작성 가능 DWG, DXF, IFC, DGN, #DS, SketchUp 데이터 포맷 지원	100 %	세계적 선도 수준을 100으로 간주
	Bentley (USA)	제품명 : 마이크로스테이션(MicroStation) BIM 구현용 parametric 기술구축 개념부터 건설까지 전단RP 설계 지원 실사 베이스의 고도의 렌더링과 애니메이션 구현 DGN, DWG, SDNF, CIM, STEP, STL 데이터 포맷 지원	100 %	
	Autodesk (USA)	제품명 : Revit 계열 AutoCAD 기반 3D 프로그램 개발 간섭확인, 이미지 처리, 애니메이션 기능 제공 팀의 공동작업 및 협업 환경 제공 마크로 및 외부 명령을 작성할 수 있는 개발툴 제공 IES VE, Ellite S/W, EC-CAD의 API와 gbXML 등 타 소프트웨어 및 포맷으로 연결 용이	95%	

세부기술	업체명(국적)	보유 기술(제품) 특징	기술 수준	비고
3D 객체모델 기반 구조해석 S/W	Tekla Str. (FIN)	BIM 기반 구조해석 기능제공 *.IFC, *.DGN, *.DWG 포맷 호환 AutoDeak와 데이터 호환 포맷 공동 개발	100 %	
	Autodesk (USA)	3D 기반 Structural Steel 구조해석 가능 (Revit Str.)	95%	해석결과의 일부 왜곡 발생
3D 모델기반 시공관리 S/W	Vico Software (FIN)	시공 시뮬레이션 기능 제공 work sequence 시각화에 의한 시공성 검토 기능 구현	100 %	
3D 모델기반 estimation S/W	Nemetschek (GER)	3D 객체모델 기반의 견적 산출기능 제공 설계, 구조해석, 건설 단계까지 지원 가능한 Allplan S/W 구현	100 %	

3.5.3 기술 개발 효과 및 활용방안

1) 기술개발 효과

(1) 기술적 파급 효과

(가) IT와 건설의 공유영역을 기반으로 건설과 IT의 통합을 통한 조화를 이루어 낸다면 여러 가지 시너지 효과를 기대할 수 있다.

(나) BIM을 통한 3D 객체모델의 활용성은 원래의 목적인 시공관리를 통한 원가절감, 건설 산업의 안전성 확보, 유지보수의 학습 등에 유익한 툴이 되며, 건설공사 완료 이후에도 3D 객체모델은 컴퓨터 안의 가상공간에 필드와 똑같은 공사 목적물을 남길 수 있게 될 것이다.

(다) 건설 산업으로의 BIM 기반의 3D 객체모델 기반 설계, 시공 및 유지관리의 웹 및 모바일의 도입은 전통적 건설 산업과 기초원천 과학기술이 만나는 첫 마당이 될 수 있다.

(라) 시공과정에서 이루어지는 건설 프로세스 정보화 및 응용기술의 개발로 인해 시공 단계에 걸친 건설 기술의 획기적인 발전을 이룰 수 있으며, 선진화된 국내 IT산업과의 연계를 통한 건설에 특화된 정보화기술의 개발로 인해 세계적인 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

(마) 현장의 많은 정보들을 효율적으로 관리하고 통합할 수 있는 데이터베이스의 구축 및 이를 기반으로 하는 프로젝트 의사 결정 시스템 구축을 위한 데이터마이

닝 기술을 개발함으로서 건설 데이터베이스 관련 기술을 확보하게 될 것이다.

(바) 건설현장의 공정 및 자원의 실시간 정보를 3D 객체모델과 연동함으로서 건설 공사 관리의 실용적 구현을 통해 생산성을 향상 시킬 수 있을 것이다.

(사) 설계와 시공 프로세스의 융합 프로그램의 개발로 근로자 혹은 기술자의 작업 준비 부족이나 선행 작업의 자연, 품질 검사자의 검사 지연 등의 문제를 해결하여 근로시간의 손실을 방지함으로써 공기단축 및 비용절감을 이룰 수 있을 것으로 기대 된다.

(아) 세계적 수준에 있는 국내 정보화 산업과의 연계 및 정보화 기술의 적용 및 응용을 통해 노동집약적인 건설 산업을 기술집약적인 산업으로 바꿀 수 있는 기반이며 이를 통해 국제 경쟁력 강화 및 국내 자원의 효율적 사용이 가능할 것이다.

(자) IT 와 토목이 웹 및 모바일의 정보 분야로 융합되는 첫 번째 시도로서, 이를 계기로 다양한 산업분야와의 융합을 통한 기술의 선도적 응용 사례로 전파될 수 있다.

(차) 입찰・수주단계에서는 주요 부분을 3D(3차원)로 모델링해 도면 간섭 및 시공성을 검토하고 공정시뮬레이션을 만드는 데 활용되며, 시공단계에서는 보다 구체적인 3D 모델링 작업을 통해 설계오류를 검토하고 단계적인 시공도면을 만들어 작업자의 도면정보 공유와 재시공 방지에 기여할 수 있을 것이다.

(카) 서버를 통해 수집된 각종 자원들(인력, 장비, 자재)의 현황 및 공사 프로젝트 진척 상황 관련 데이터와 WBS(공종)와 CBS(비용) 분류체계의 연관된 Activity를 도출해내는 작업은 현장의 상황을 신속하게 반영하기 위한 작업에 해당한다.

(타) 최근 컴퓨터 하드웨어 성능 향상 및 가격인하의 영향으로 가상 현실(Virtual Reality, VR) 기술의 건설 분야에서의 활용 사례가 점차 증대되고 있다. 또한 VR 기술은 효과적인 인터페이스를 제공하면서 실시간으로 다양한 4D 공정 시뮬레이션을 가능케 하므로 공정 시뮬레이션 과정에서 적극 도입할 경우 사용자에게 프로세스 시뮬레이션을 효과적으로 제공함은 물론, 오프라인이나 웹을 통해 시뮬레이션을 제공할 수 있다.

(2) 경제적 파급 효과

(가) 3D 객체모델 기반의 가상 환경과 건설 자원의 위치정보를 통한 실제 환경과의 융합기술은 터널 건설공사의 정보화와 첨단화를 구현하여 터널건설의 생산성을 증진할 것이다.

(나) 시공 각 단계에서 발생하는 현장의 실정을 모바일을 통한 시각적 구현, 구조환경 측정에 의한 시뮬레이션에 의한 다각적 관리로 발생 가능한 공기 지연, 재해 재난, 민원 발생, 안전 사고 등을 미연에 방지할 수 있어 사회비용 저감효

과를 기대할 수 있을 것이다.

(다) 모바일 환경에서 입찰·수주단계에서 3D 모델링을 통한 도면 간섭 및 시공성 검토, 실시간 비용 산출 등의 견적과 공정관리, 관련 법규 검토, 시방서 자동생성이 이루어지면 통합 관리 비용의 절감이 가능 할 것이다.

(라) 모바일을 통한 BIM기술의 도입은 신속한 의사결정을 돕기 위해 물량, 비용, 일정 및 자재 목록에 관한 정보를 제공할 뿐만 아니라, 구조 및 환경을 고려한 데이터 분석을 가능하게 할 것이다.

(마) 건설 프로젝트에 있어서 기존의 PERT/CPM으로 공정을 관리하는 방식보다 매트릭스 형태의 관리 기법은 사용자에게 보다 편리하고 쉬운 인터페이스를 제공하여 보다 효과적인 맵핑 방법을 제공할 것이다.

(바) 공정 상황을 매트릭스 기법으로 관리하기 위하여 활동별 완성 설계도를 3D-CAD로 작성한 후 해당 공정의 일정별로 비용과 인력, 자재 장비 등의 프로세스로 통합하여, 일정진행에 따른 3D-CAD의 연계작업을 표현 한다. 4D 공정 시각화 프로세스는 이러한 완성도를 시간대비 3차원 동화상으로 제공할 수 있으므로, 발주자, 설계자, 시공자를 포함한 공사참여자들에게는 공사상의 하자사항을 사전 발견이 가능하도록 할 수 있고, 설계 의도대로 공사가 완료될 수 있는가를 사전 파악할 수 있을 것이다.

(사) 건설 프로젝트를 진행하면서 가상공간에서 여러 가지 시뮬레이션을 실험하여 현실에서 경제적, 사회적, 환경적 문제로 실행이 어려운 활동이나 불가능한 사항 등을 미리 구현함으로서, 비용과 시간을 상당 부분 절감할 수 있는 효과를 기대할 수 있을 것이다.

(3) 사회·문화적 파급 효과

(가) 터널 건설 프로젝트의 공정 관리 및 시각화 기술에 있어서 IT와 BIM기법을 이용하는 것은 터널 건설 분야에 있어서 업무 혁신이라 할 수 있다.

(나) 건설 현장의 상황을 센서를 통해 수집되는 방대한 양의 이벤트 데이터를 실시간으로 시각화 하는 것은 사용자가 직관적으로 인지할 수 있는 기술이다.

(다) 체계화된 공정 시각화 관련 프로그램 및 알고리즘은 비숙련자 및 업무 관련 경험이 없는 사람도 쉽게 업무에 적용할 수 있는 전문가 시스템을 제공 한다.

2) 개발기술 활용방안

(1) 터널의 설계와 시공 과정에서 획득한 건설정보를 기반으로 다양한 수량, 공정, 공사비 프로세스 정보화의 구현이 가능 하다. 시공 각 단계에서 발생하는 현장의 모델을 BIM 정보 모델링에 기초하여 연계하고 모델링에 의한 그래피컬한 3D 시각적 구현, 구조 환경 측정에 의한 5D 공정 시뮬레이션 등의 다각적 관리, 발생 가

능한 공기지연, 민원발생, 안전사고 등을 미연에 방지할 수 있으므로 터널건설의 정보화를 통하여 터널건설의 정밀시공이 가능하다.

(2) 건설정보를 이용한 멀티 매트릭스 시스템은 건설현장의 자원 (자재, 인력, 장비) 등의 상황을 실시간으로 그래픽스 화면을 통하여 파악이 가능케 함으로서 기존의 인력과 시간이 많이 소요되던 현장 자재관리 및 공정관리를 빠르고 정확하게 하며 PMIS (Project Management Information System)와 연결하여 공급사슬관리 (Supply Chain Management)의 구축이 가능하다.

3) 기대성과 및 파급효과

(1) 기술적 성과

(가) 터널 시공과정에서 이루어지는 건설 프로세스 정보화 및 응용기술의 개발로 인해 전 시공 단계에 걸친 건설 기술의 획기적인 발전을 도모할 수 있으며, 선진화된 국내 IT산업과 연계된 터널 정보화기술의 개발을 통해 세계적인 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

(나) 최신의 모바일 매트릭스 기법을 통한 건설정보를 활용하여 효율적인 현장관리를 위한 공정관리 시스템을 개발하여 현장관리 소프트웨어 관련 기술을 확보할 수 있다.

(다) 현장의 정보들을 효율적으로 관리하고 통합할 수 있는 데이터베이스의 구축 과이를 기반으로 하는 프로젝트 의사 결정 시스템 구축 기술을 개발하여 적용함으로서 건설 데이터베이스 관련 기술을 확보할 수 있다.

(라) 터널 건설 산업과 IT등의 타 산업의 첨단기술들을 융합함으로서 터널건설의 품질 향상, 노동력 절감과 같은 효과를 기대할 수 있다.

(마) 3D BIM 객체모델 기반의 가상환경과 건설 자원의 위치정보를 통한 실제 환경과의 융합기술은 터널공사의 정보화와 첨단화를 구현할 수 있다.

(바) 터널 건설현장의 공정 및 자원의 실시간 정보를 모바일 3D 객체모델과 연동함으로서 공사 관리의 실용적 구현을 통해 생산성을 극대화 시킬 수 있다.

(2) 경제적 성과

(가) 건설정보화 관련 기술의 경우 외국 선진국에서는 핵심 건설기술의 보호를 위해 국제 특허 취득 등 적극적으로 기술의 국외 유출을 억제하고 있는 실정이므로 국내 대형 건설 및 엔지니어링 업체에 정보화를 지원할 수 있는 기술을 개발하여 보급함으로써 생산성 향상 및 비용절감을 이룰 수 있을 것으로 기대 된다.

(나) 미국 FIATECH(Fully Integrated Technology) 연구소에 의하면 건설 프로세스 정보화에 의한 경제적 효과는 건설 총 공사금액의 약 8%의 절감 효과. 프

로젝트 일정의 약 14%의 축소 효과, 건설물의 수리 보수비용의 약 5~15%의 절감 효과가 있을 것으로 예상한다. 2006년 국내 공공부문 건설수주금액이 29.5조임을 감안하면 연간 약 2.4조원의 경제적 효과를 창출해 낼 수 있다.

(다) 대형 프로젝트 공사의 진척율, 장비의 이동상황, 건설자재의 수량 및 이동상황, 현장인력상황 등의 정보를 빠르게 파악하고 프로젝트 관리 결정을 내림으로써 건설공기 지연 방지, 원가 절감의 효과를 기대할 수 있다.

(라) IT와 시공 프로세스의 융합 프로그램의 개발로 근로자 혹은 기술자의 작업 준비 부족이나 선행 작업의 지연, 품질 검사자의 검사 지연 등의 문제를 해결하여 근로시간의 손실을 방지함으로써 공기단축 및 비용절감을 이룰 수 있을 것으로 기대 된다.

(3) 사회적 기대효과

(가) 세계적 수준에 있는 국내 IT산업과의 연계 및 정보화 기술의 적용 및 응용을 통해 노동집약적인 건설 산업을 기술집약적인 산업으로 바꿀 수 있는 기반이며 이를 통해 국제 경쟁력 강화 및 국내 자원의 효율적 사용이 가능하게 될 것이다.

(나) 건설 사업 수행의 일관된 업무 프로세스의 구축 및 임의적인 업무수행의 최소화를 통하여 건설업무의 시스템화 기반을 제공하고, 건설정보 축적 및 재활용 환경을 구축함으로써 경험위주의 건설 산업 환경에서 정보화를 통한 지식 기반의 건설 사업관리 환경으로 전환하는 기반을 제공하게 될 것이다.

(다) 정확한 미래 예측을 통한 최선의 대안 선정 및 효율적인 작업계획이 가능하며 실시간 모니터링 및 의사결정 지원시스템을 통해 프로젝트 참여자들 간의 합의점 도출이 용이하며 이를 통해 건설 분쟁 감소 효과 및 시공 효율화 향상을 꾀할 수 있을 것이다.

3.5.4 결론

터널 건설과 IT 및 3D BIM 기술의 접목은 미국과 같은 선진국의 경우, 단순한 3D 객체모델 기반의 설계 S/W 뿐만 아니라 BIM 관련 기술을 통해 데이터 호환 등의 협업 기능을 제공하고 있으나, 국내의 경우는 도입단계로서 구조관련 시스템 개발 등의 일부 사례가 실험적으로 진행되었을 뿐 전반적으로 관련 기술 개발이 미흡한 실정이다.

IT와 3D BIM 기술과 터널 건설기술의 융합에 의한 터널 건설 관리 기술의 향상은 국내 터널건설의 이미지를 제고시키는 계기가 될 것이고 나아가 해외 대형 터널 건설수주의 증가를 가져올 수 있으며 이는 기업의 경쟁력 확대를 넘어서 정부의 경쟁력 우위를

결정하는데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

세계적으로 경쟁 우위에 있는 국내의 IT기술과 매트릭스를 통한 프로젝트 관리 방법은 우리나라가 해외 선진국과 비교하여 국제 경쟁력을 지니고 있으므로, 향후 건설 IT와 매트릭스 기법을 터널 건설에 도입하여 효율성과 생산성을 향상 시킨다면 명실 공히 국제적인 기술력을 확보한 국가 기반 기술로 자리 잡을 수 있을 것이며 기술의 해외수출에도 기여할 수 있을 것이다.

4. 설문조사

4.1 개 요

본 연구는 국내의 터널건설기술 선진화를 위한 시방기준 분석 연구로써, 국내 터널설계기준 및 터널표준시방서의 현장적용에 대한 문제점을 도출하고 단계별 표준화 개정 방향을 제시하여 선진화된 체계를 마련하기 위한 연구이다.

이에 본 연구에서는 터널의 설계, 시공, 감리 및 유지관리 등의 각계 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 다양한 의견을 수렴하여 국내 터널건설 기술의 발전과제를 도출하고, 기준서 개정 방향 설정의 기초 자료로 활용하고자 한다.

4.2 1차 설문조사 결과

설문조사는 2012년 2월 한 달여간 진행되었으며, (사)한국터널지하공간학회의 도움을 받아 각 설계사, 시공사 및 발주기관 등에 1500매를 배포하여 다양한 분야의 전문가 의견이 수렴될 수 있도록 노력하였다.

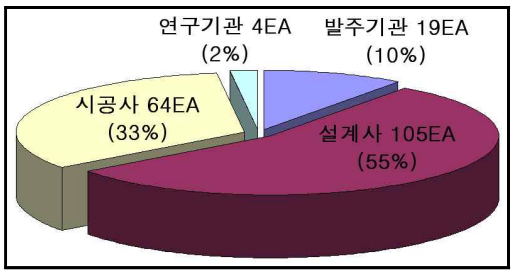
【표 2.87】 설문조사의 주요 내용

구 분	설문내용
공 통	•응답자의 소속기관 및 주된 업무 •담당업무의 근속기간 및 국내 기준서 숙지 여부 •국내 기준서의 적정 개정 시기
설 계	•설계시 활용하는 설계기준의 종류 •터널설계기준과 발주기관의 설계지침의 불일치 여부, 불일치 항목 •기준과 지침의 불 일치시 준용하는 도서 •터널설계기준의 문제점 •터널기술 선진화를 위해 터널설계기준에 우선적으로 반영해야할 사항 •기타 문제점 및 개선상항
시 공 및 감 리	•시공시 활용하는 도서의 종류 •터널표준시방서와 방주기관의 시방서 불일치 여부 •시방서간 불일치로 인한 설계변경의 경험 유무 •국내 터널시공 기술의 능력에 대한 평가 •해외 터널공사 수주시 문제점 •기타 문제점 및 개선사항

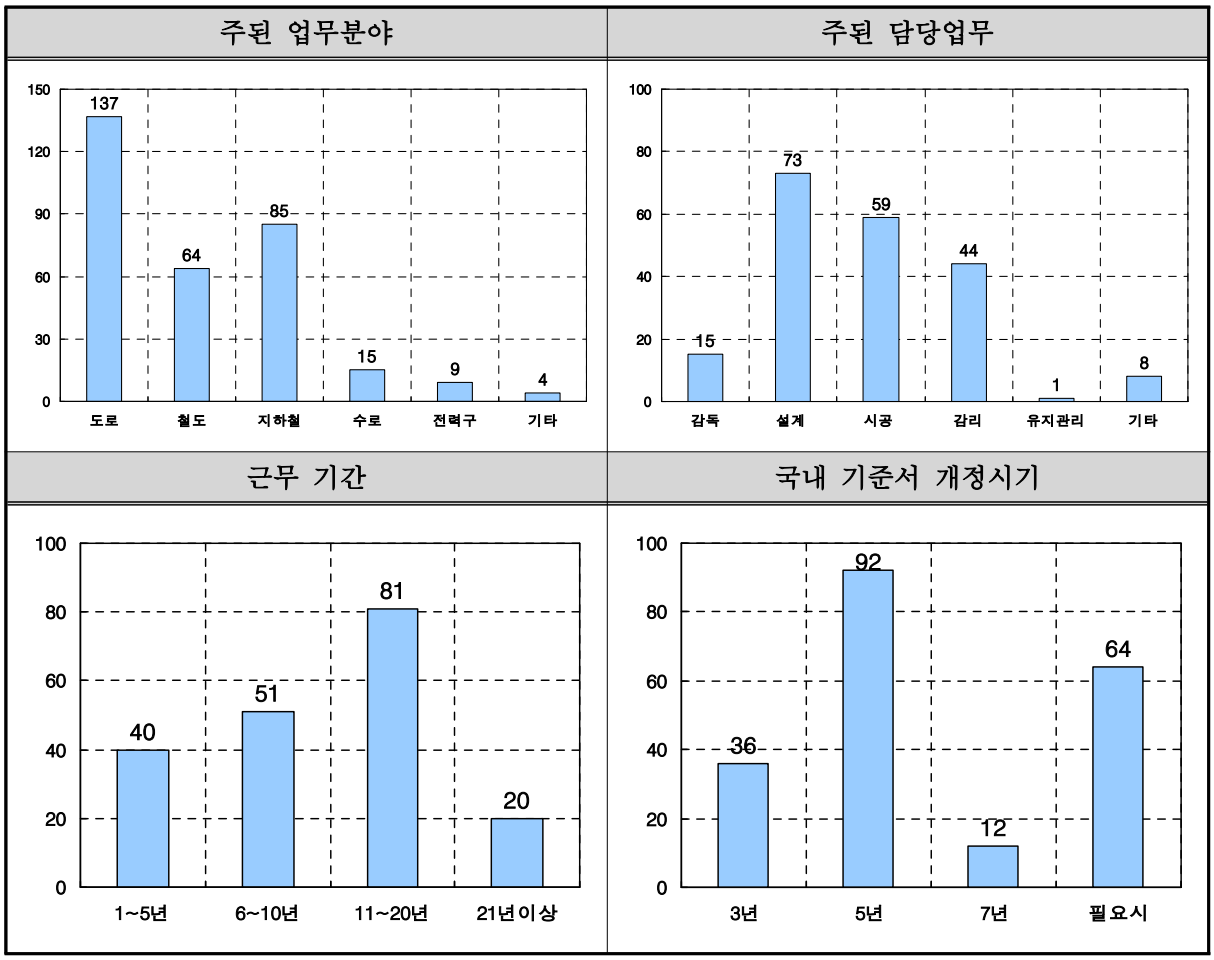
설문조사는 터널 시공, 설계, 발주기관 등의 전문가를 대상으로 실시하였으며, 192매의 설문지를 회수하였다. 회수된 응답지 분포를 살펴보면, 터널설계기준 및 터널표준시방서의 사용 빈도가 높은 설계사와 시공사의 응답이 가장 많았으며, 기타 발주기관 및 연구기관의 응답 순으로 설문에 응하였다.

【표 2.88】 설문조사 회답수

구 분	발주기관	설계사	시공사	연구기관	합계
회수 설문지 (EA)	19	105	64	4	192
비 율 (%)	10	55	33	2	100



【표 2.89】 공통분야 설문조사 결과



공통분야 설문조사 결과 응답자의 주된 업무분야는 도로, 지하철, 철도 순서로 나타났으며 응답자의 거의 대부분을 차지하는 비율이다. 본 설문 조사 응답자 비율은 전 분야에 걸쳐 골고루 나타났으며 그 중 설계 분야가 가장 많았다. 또한 근무 기간은 11~20년과 20년 이상이 55% 이상으로 본 설문조사의 신뢰성이 상당 수준에 있다는 것을 알 수 있게 해준다.

현재 터널 설계기준은 최근 1999년, 2004년, 2007년 각각 5년, 3년 주기로 개정되었으며 이를 반영한 듯 국내 기준서 개정 시기 설문 조사 결과 5년이 가장 이상적이라는 답변이 많았으며, 다음으로는 필요시 개정해야한다는 의견이 많았다.

【표 2.87】과 같이 설계분야와 시공・감리분야로 나누어 전문가(수요자)들의 응답내용을 분석하였고, 향후 설계기준 및 시방서 개정 시 이들의 의견을 적극 반영하도록 한다.

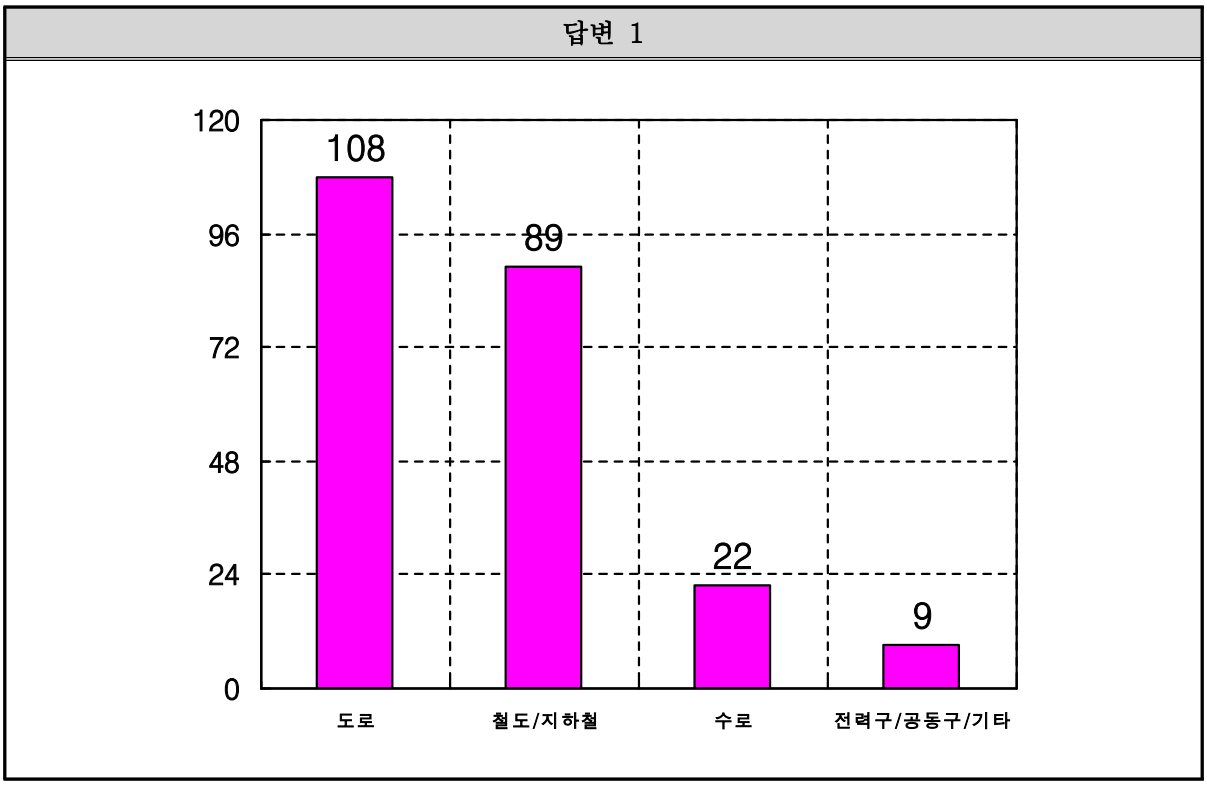
4.2.1 설계분야

1) 설문조사 분석-객관식질문

본 설문조사에서 실시한 터널설계분야 질문(객관식)은 다음과 같다.

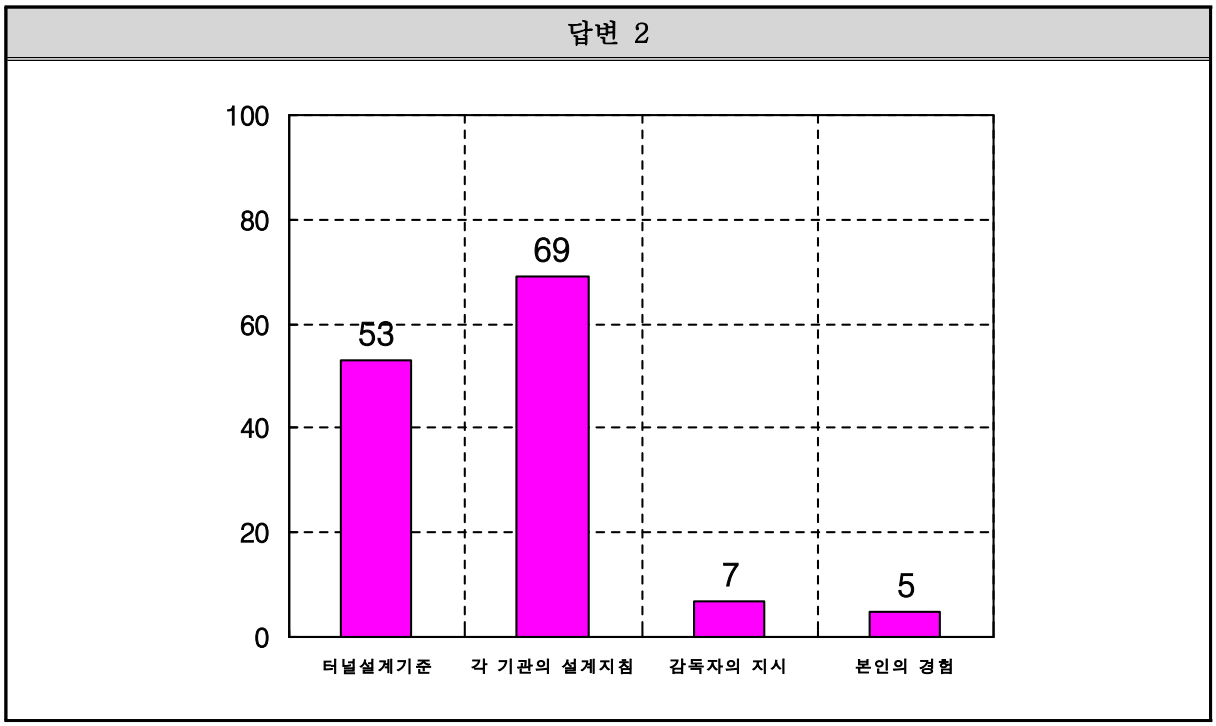
1. 귀하가 참여하는 설계분야는 어디입니까? (복수선택가능)
2. 터널 설계시 가장 활용빈도가 많은 설계기준은 무엇입니까?
3. 터널 설계시 터널설계기준과 발주기관의 설계지침이 상이한 적이 있으십니까?
4. 터널 설계시 터널설계기준과 발주기관의 설계지침이 상이했을 때는 무엇을 따릅니까?
6. 현재 터널 설계기준의 가장 심각한 문제점은 무엇이라고 생각하십니까?
7. 터널 건설기술 선진화를 위해서 국내 터널설계기준에 가장 우선 반영하여야 할 사항은 무엇입니까?

【표 2.90】 설계분야 답변 1



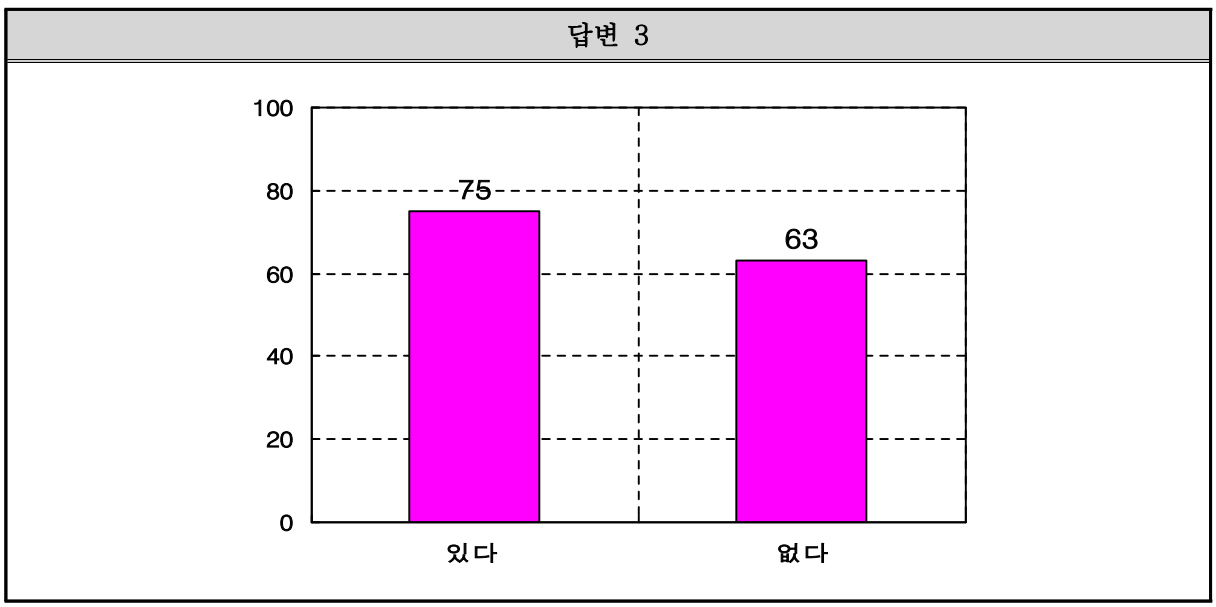
1번 문항 답변결과 특수 목적인 수로 및 전력구, 공동구보다 도로, 철도/지하철 공사에 종사하는 답변자가 월등히 많은 것으로 나타났다. 이러한 결과로 그간 도로망 확충 및 철도망 확충이 사회간접자본으로서 상대적으로 많은 발주가 나왔다는걸 알 수 있었다.

【표 2.91】 설계분야 답변 2



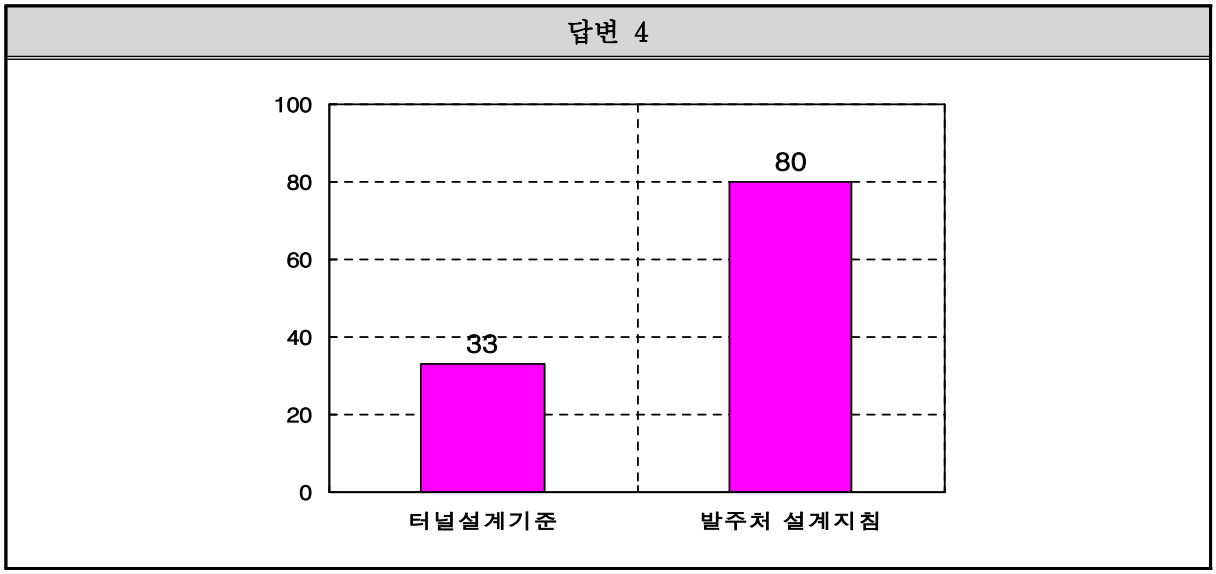
2번 문항 답변결과 터널 설계에 종사하는 기술자들은 설계시 각각의 발주기관 설계지침을 많이 따른다는 것을 알 수 있었다. 터널 설계시 터널설계기준보다 각 기관의 설계치침을 따른다는 답변이 많은 이유는 발주처 즉 고객의 needs를 반영한 설계가 우선순위가 된다는 것으로 판단된다.

【표 2.92】 설계분야 답변 3



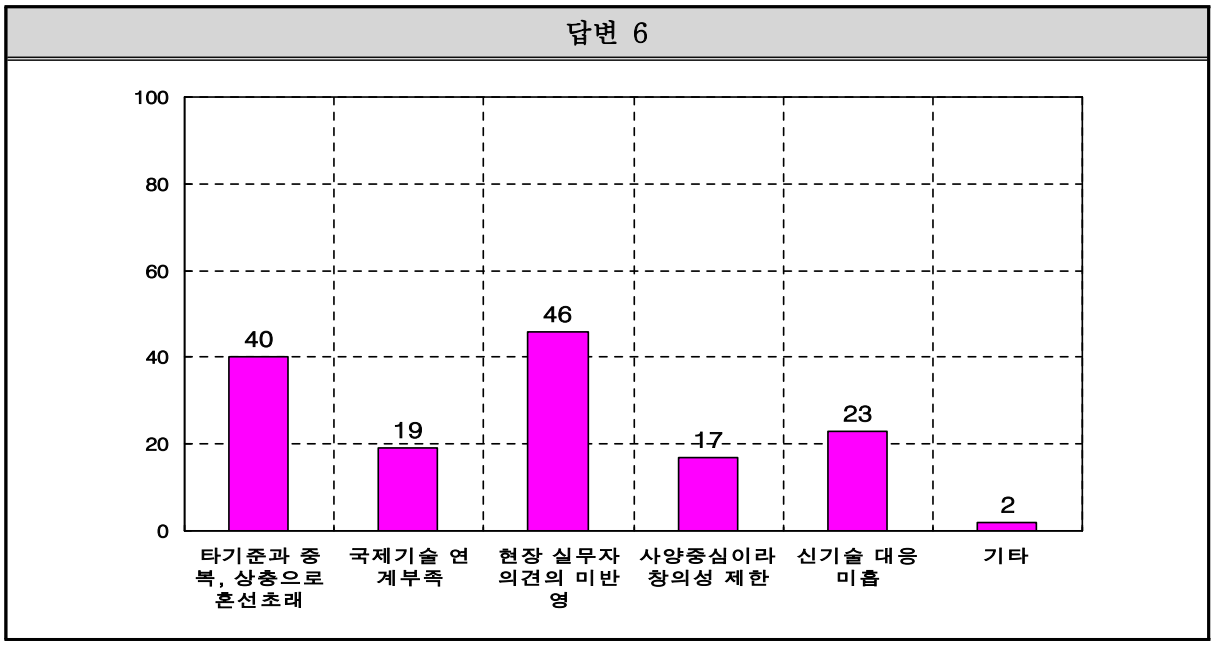
3번 문항 답변결과 터널 설계기준과 발주처설계지침과의 차이는 왕왕 존재하는 것으로 나타났다.

【표 2.93】 설계분야 답변 4



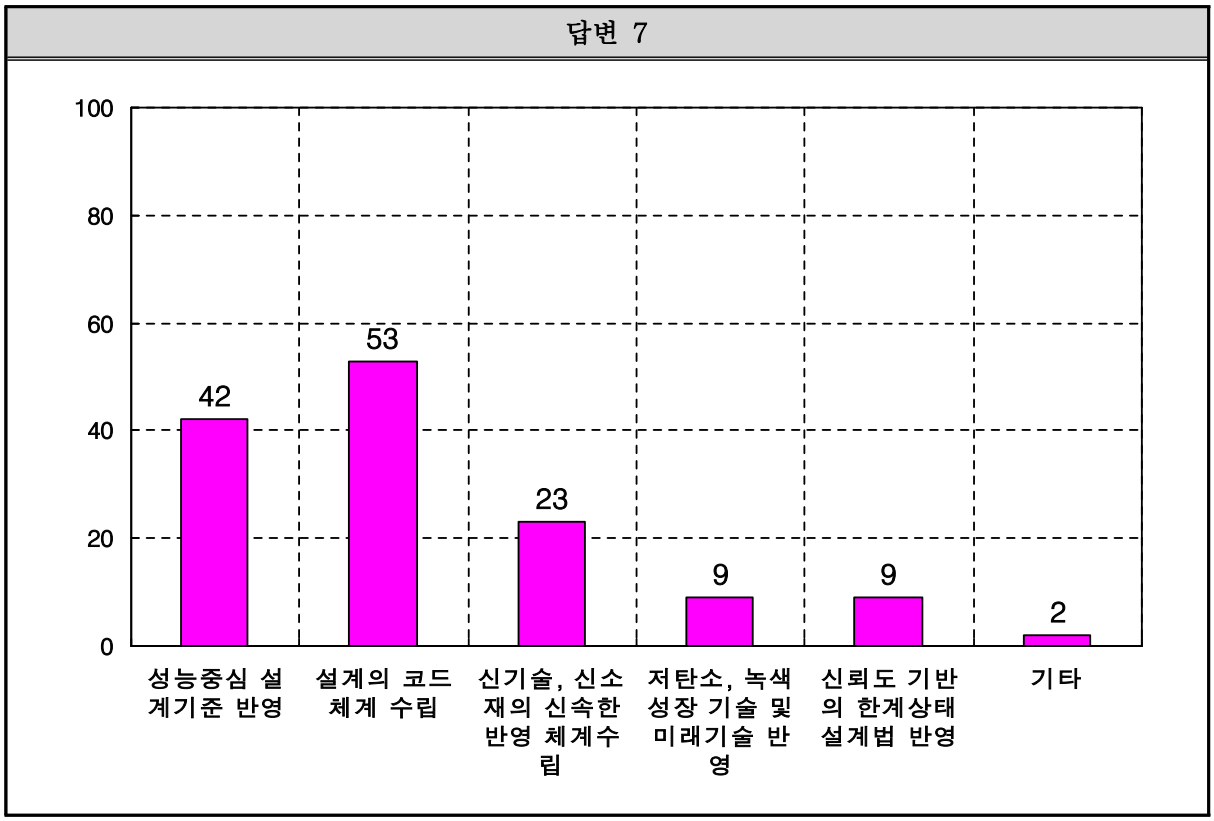
4번 문항 답변결과 터널설계기준과 발주처 설계지침이 상이할 경우 발주처의 설계지침을 따르는 경우가 우세하였다. 이는 2번 문항 답변결과와 일맥상통하는 의미로 발주처의 설계 요구가 설계시 많이 반영된다는 것을 알 수 있다.

【표 2.94】 설계분야 답변 5



6번 문항 답변결과 터널설계기준의 문제점은 다양한 의견을 보였다. 그 중 가장 큰 문제점으로는 “현장 실무자 의견의 미반영”으로 나타났으며 차 후 터널설계기준 제개정시 현장 기술자의 의견을 적극 반영하여야 한다는 것을 의미한다. 두 번째로 많은 답변으로는 “타 기준과 중복, 상충으로 혼선 초래”로서 이것은 문항 2번~4번까지 보이듯이 발주처와 터널설계기준과의 차이를 의미하는 것으로 판단된다.

【표 2.95】 설계분야 답변 6



7번 문항 답변결과 터널설계기준의 선진화 및 국제화를 위해서 는 설계의 코드 체계 수립을 가장 우선순위로 답했으며 다음으로 성능중심 설계기준 반영, 신기술 신소재의 신속한 반영 등으로 나타났다.

터널 설계분야 설문 조사 결과 가장 활용빈도가 높은 설계기준은 터널 설계기준이 아니라 발주기관 각각의 설계지침으로 나타났다(질문2). 발주 기관의 설계지침은 각 기관별 특성상, 서로 상이한 점이 있어 터널 설계 시 설계자의 혼선을 초래하는 경우가 빈번하다는 문제를 가지고 있다. 또한 발주기관과 터널 설계기준이 다를 경우 발주처의 설계지침을 따른다는 응답자가 약 70%로 나타났으며(질문4), 이것은 현재 발주처의 설계지

침이 터널 설계기준보다 암묵적인 상위에 위치한다는 것을 나타내고 있다. 이러한 현상으로 인하여 터널 설계기술자들은 터널 설계시 기준 중복 및 상충으로 인한 혼선이 빈번히 초래한다고 밝혔다. 설계기준 중복 및 상충의 해결방법으로는 현장 실무자의견을 반영한 설계기준 재개정 및 선진화된 설계코드화를 빠른 시간 내에 도입해야한다는 의견이 다수이다.

2) 설문조사 분석-서술형질문

터널 설계기준과 발주기관 설계지침의 상이한 설계지침, 문제점 및 개선사항은 다음 표와 같다.

질문 5.
터널 설계시 터널설계기준과 발주기관의 설계지침이 상이한 것은 어떤 것들이 있습니까? 구체적으로 기술해 주십시오.

답변.
지반조사시 시추공 간격 계측설계(계측기 종류, 설치간격 등), 유지관리계측 종류 표준지보패턴, 지보량 등에 대한 발주기관별 적용차이 : 표준화되지 않고 상충됨
발파 진동과 소음에 대한 기준이 상이한 경우가 있음
RQD, RMR 등을 이용한 설계 보강범위의 판단 등
본선구간별 보강범위 상이
갱구부 동상방지층 적용구간의 연장이 시`종점부에 따라 상이
발파진동 허용기준, 암반분류기준
발파진동 혀용 기준치, 서울시와 지반조사 분류(RMR) 차이
도심지터널과 산악터널의 터널표준단면, 표준지보패턴, 콘크리트 라이닝 설계조건등이 서로 명확치 않음
종단 구배에 대한 각 기준별 제시가 다르게 된 적을 본적이 있다.
도로공사의 경우 매년 발간되는 설계실무자료집을 우선하여 기준 적용
상위의 터널설계 기준과 설계지침이 다를 경우, 발주처에 보고 후 수정/적용 하였음
발주처의 설계지침 재개정 시기에 따라 구 설계기준이 반영되어 있는 경우가 있습니다.
시설한계 (ex : 측방여유폭, 비상주차대 설치에 대한 예외조항 등)
터널 단면중 공동구나 배수구의 높이, 규격

터널 표준시방서 p.66 거푸집 떼어내기 : 콘크리트의 강도가 3MPa 이상 발현된 후 제거 고속철도 공사 전문시방서(노반편) p.6-60 : 확대기초, 보옆, 기둥, 벽 등의 측벽부재 5MPa이상
터널표준시방서(2009)의 경우 콘크리트 강도가 3MPa 이상 발현된 후 거푸집을 제거하여야 한다고 명시되어 있으며, 콘크리트 표준시방서의 경우 5MPa 이상, 특히 내구성이 중요한 구조물에서는 10MPa 이상일 때 해체할 수 있다고 명시되어있음
콘크리트 라이닝 탈형 강도 경사갱의 종단경사 권장 사항(12.5%) : 철도공단에서는 17%까지 적용가능
여굴량(패턴별)의 정도 숏크리트량과 콘크리트량(여굴채움의 재료) 보조공법의 적용한계
발파진동 허용치, 강재거푸집 탈형 가능한 라이닝 압축강도, 터널 바닥부 여굴기준 등
지보패턴별 여굴량 기준, 터널내 포장두께 기준 등
터널 단면 제원
허용오차범위, 터널 지하수 유입관리 기준, 계측관리 기준, 암판정 기법 및 지보량 산정 및 기타 등
숏크리트 강섬유 혼입량 기준, TBM터널 관련 기준
구체적인 설계 적용 방법 모호
취약구간 설계시 기준보다 강화된 설계지침 필요
터널 설계기준은 광범위한 기준을 제시하고 있어 발주기관 및 다른 참고자료를 통해 설계에 반영한 적이 다수, 정확한 기준 제시가 필요하다고 생각함
폐기물처리(숏크리트) : 리바운드 된 숏크리트
상이한 내용보다는 적용할 수 있는 범위나 내용이 부족하다고 판단됨
발파진동 허용치
환기/방재기준 : 도로터널과 철도터널의 환기기준 및 방재기준이 상이함
콘크리트 라이닝 신축이음 및 지수판 설치기준이 불명확 콘크리트 라이닝 철근의 주철근 할증률 불명확(터널 라이닝 콘크리트 주철근) 콘크리트 라이닝 시공이음부 주철근 단절 및 연결 불명확
터널설계기준은 포괄적 개념이므로 발주기관의 설계지침과 크게 상이한 바는 없으나, 도로터널과 철도/지하철 터널은 단면을 형성하는 제원과 환기 및 방재 관련 시설물 설치기준이 상이하므로 발주기관의 설계지침을 준용하여 설계를 수행하게 됨

질문 8.
터널 설계를 위한 설계기준과 관련하여 문제점 및 개선사항 등 건의 하실 사항이 있으면 기술해 주십시오.

답변.
기술개발과 발전에 따른 설계기준의 갱신이 적절한 시기에 반영되지 못하므로 분야별 전문가 시스템 도입을 통해 신기술, 기술변천에 따라 전문가 시스템에 기술자가 설계기준 등의 변경, 정정요청을 기록하고 전문가시스템 심사관이 기술자의 의견을 심사하여 전문가 집단 심사를 거쳐 설계기준을 일정주기(5~6개월)로 개정등록하고 설계에 반영하도록 공지
현장여건에 적합한 표준패턴의 분류로 현장 변경 시공 용이하게 설계기준 마련 과다한 안전율 적용
발주기관 및 현장의 설계도면이 이전 시공경험이나 자료 등을 활용하여 반영토록 조치 요망
고의성 없는 허용범위 초과 여굴량은 설계 변경 등을 통해 인정하는 것이 합리적이라 생각합니다.
발주기관의 터널표준도가 설계기준과 100% 일치하지 않는 경우가 있으나 관련 연구 성과가 설계기준 개선에 피드백 되었으면 합니다.
시공사의 귀책사유가 아닌 기타 요인들에 의한 상황발생으로 인한 공사 지연을 보전해 주는 제도 건의
획일적인 여굴량을 현장에 따라 다르게 하자
개정 시기를 현재보다 줄여 최신 공법 등 신기술의 신속한 반영 필요 개정시 각 공정별 면밀한 인터페이스 협의를 통해 일관성 있는 기준 제시. 각종 법규, 기준, 지침 등의 개정 시기를 되도록 통일하여 전반적인 개정을 하여야 각 기준 간 상충되는 점을 최소화 할 수 있음
설계기준 선정시 획일화된 설계기준의 적용으로 다른 대안 공법(신기술 등)의 적용성이 모호하므로 설계기준은 가장 기본적인 것만을 선정하고 여러 대안을 설계자의 능력 및 경험에 의해 선정할 수 있도록 제시하는 것이 바람직 할 것으로 판단됨
각 기관별 지침과 터널 설계기준과 상이한 부분이 있으니, 통일 적용 토록 하여 설계시 혼돈발생을 줄였으면 함

터널 라이닝 시공이음, 신축이음 관련 : 시공조건을 고려한 현실적인 기준정립 필요(지수판, 지수재, 실런트 등) 사용빈도가 적은 사갱, 피난통로, 대피소 등의 無라이닝 적용여부(단, 토피고 확보, 암반등급이 양호한 경우) 무라이닝 적용 구간에 대해 락볼트, 숏크리트, 강지보재의 성능향상을 위한 기준 정립필요
신기술 혹은 신설계기법에 대한 신속한 대응이 필요함 ex)대심도 장대터널, 소형차 적용터널에 대한 설계기준/방재설계기준
설계 내용을 규정하는 법규화 실현 상세, 세부적인 설계기준, 기술적 추천 등 설계 최고 적용 법규화 현재 터널설계기준은 준용할 수 있는 상세 기술적 항목이 없음
리스크 평가 및 관리
최근 해외사업이 활성화되어 설계업무에도 해외 code를 이용하여 설계해야하는 경우가 빈번히 발생되나 국내의 터널기술자들이 해외 code에 취약하여 시행착오를 많이 겪고 있음
설계자들이 타 설계기준보다 먼저 찾아볼 수 있는 현실적 대안이 필요함
전반적으로 도로터널에 대한 기술이 주를 이루고 있으므로 철도, 지하철, 수로터널, 임시터널에 대한 내용의 추가가 필요할 듯함
터널 단면 규격을 표준화하여 라이닝 폼 재사용, 유지보수 용이
터널에서 작업하는 근로자들의 최소 작업여건 확보가 가능토록 설계기준에서 대기질 등 근로환경기준을 명확히 제시하면 좋겠음
터널설계기준 이외에 콘크리트 설계기준에 나와 있는 하중조합이 타 설계기준(철도설계기준 등)에 나와 있는 하중조합과 달라 구조물 설계시 혼선이 초래됨에 따라 통일하여 정리하는 것이 바람직하다고 생각됨 터널설계기준과 타 설계기준간의 용어통일이 안되어 있음 (ex. 연직갱vs수직갱, 경사갱vs사갱, 접속부vs분기부 등) 따라서 터널설계기준에 제시된 용어 명과 내용으로 통일하여 정리하는 것이 바람직하다고 생각됨 도로설계편람의 경우 갱구부 최소토피를 3~5m 확보하는 것으로 되어 있으나, 철도설계편람의 경우 갱구부 최소토피를 2~3m 확보하는 것으로 되어 있어 통일하여 정리하는 것이 바람직하다고 생각됨 이외에도 여러 가지 차이점이 있을 것으로 판단되므로 비교분석하여 내용을 통일하고 정리하는 것이 바람직
암반의 이완하중 산정 기준

설계기준에 대한 개정 작업시 여러 설계 기준간 협의가 원활하지 않아 개정에 따른 설계내용 및 내용의 반영시기에 대한 차이 등이 발생하여 실제 설계시 발생 기관별 각 설계기준 사전파악 및 비교 검토가 이루어지고 있는 실정임에 설계기준에 대한 일관성이 필요할 것으로 생각됨.
실제 시공과 설계의 차이점에서 발생하는 문제 해결을 위한 설계-시공간의 공동 협의를 통한 설계기준을 마련해 주셨으면 합니다.
터널 설계의 선진화를 위한 신기술, 신공법 및 신소재 등의 새롭고 다양한 정보의 반영과 이에 따른 설계기준의 체계적인 적립이 이루어지길 바랍니다.
터널설계기준은 터널을 설계하기 위한 기준서보다는 터널의 개념을 설명하는 지침서 경향이 강하다고 생각됩니다. 기준서 해석을 통한 보다 구체적인 터널설계기준 및 지침을 제시하는 것이 좋을 듯합니다.
발주기관별 설계기준과 터널설계기준이 상이하여 발주기관 기준이 강화되어 제시되어 있으면 발주기관 기준을 적용하고 있는 실정이므로 통일된 기준 적용에 대한 사항을 터널설계기준에 명시바람
터널 방재 관련한 항목 중 활용도를 조사/분석하여 활용도가 없는 항목에 대해 재정비가 필요함
시시각각으로 발전하고 있는 터널관련 신기술 및 신공법까지 터널설계기준에서 언급하기에는 현실적으로 불가능하다고 여기지만, 현장에서 발생하는 시공시 문제점 및 개선사항을 적극적으로 반영한 터널설계기준이 발간된다면 설계뿐만 아니라 현장에서도 많은 도움이 되는 책자로 사랑받을 것으로 판단됩니다.
터널설계기준이 최상위 기준으로써 여타기관의 기준을 모두 포용하고 만족해야하며 보편타당해야한다는 점은 당연한 사실임 그러나 너무 이를 중시하는 경향이 있어 오히려 최근에는 터널설계기준이 상징적 의미로 간주되는 경향도 있음 따라서, 이제는 터널설계기준이 기관별 설계지침 중 보편타당한 내용 중 일부를 구체적으로 포함할 것인지 아니면 공종에 따라 기관별 설계지침을 적용토록 고민을 할 필요가 있다고 판단됨 신기술, 신공법, 녹색성장, 저탄소 등은 시대의 흐름에 따라 지향하는 바와 변화할 수 있으며, 터널설계기준이 확고한 변화가 없다면 이러한 모든 흐름들은 터널설계기준을 만족하는 수준에서 이루어질 수 있을 것으로 판단되므로 굳이 이런 시대지향적인 내용들이 설계기준에 포함될 필요는 없다고 사료됨
설계 기술자 의견보다 현장 기술자의 시공 관련 의견을 충실히 반영하였으면 좋겠음. 설계만을 위한 설계기준이 되어서는 안 된다고 생각함
대부분 포괄적인 내용으로 도로, 철도, 지하철을 위한 표준화된 단면, 지보패턴, 콘크리트 라이닝 정립이 중요

터널설계기준이 개념적으로만 서술되어 있어 실제 설계시 적용하기에는 어려움
좀더 상세한 기준이 필요합니다. 계측데이터를 활용한 공사비 절감을 위한 터널설계기준입니다.
발파분야 : 이격거리/구조물 연도변/ 철근량/콘크리트 강도/사용목적/ 지반상태 등이 반영된 세부적인 진동관리 기준이 필요(가시설/영구시설도 포함) 방배수분야 : 설계와 시공이 가장 크게 상충되는 부분임 철근배근 : 시공성이 결여된 철근배근이 대부분임 가시설분야 : 장비 진입이 곤란한 가시설 부대배치 및 설계/시공순서 계측분야 : 관리기준을 책임기술자-기술사의 검토 하에 유동적으로 변경 가능하도록 해야함(관리자의 변경불가는 현장의 기술자를 범죄자로 양성하는 것과 같음) 지보재분야 : 국가공인 암판정 기술자 양성이 필요, 현재는 무경험자가 실제 작성함(기술자를 현장에 배치)
설계 창의성/개선 가능성을 저해하는 지나친 정량적 기준들을 배제하고 성능중심의 설계기준으로 전환필요 개정주기를 줄이고 코드화를 하여 빠른 기술변화에 대응 필요
설계기준에 대한 해석이 발주처, 시공자, 설계자 마다 다른 경우가 있어 설계기준의 적용에 대하여 명확하게 할 필요가 있음. 또한 설계자의 편의를 위해 제공되는 편람, 매뉴얼 등을 민원, 기술홍보 등으로 악용하는 사례가 있으므로 법적인 제한도 두어야 할 것임
설계기준 작성시 시공을 고려하여 작성 필요 : 기준의 구체성, 다양한 case언급, 해설집 발간 등
해설집 발간
특수구조물로 볼수 있는 터널에 대하여 일반적인 설계기준, 기관별 별도 설계기준 적용을 지양하고, 지반조사, 설계, 시공에 이르는 체계를 통합적으로 더 강화된 기준으로 적용할 필요가 있다고 생각함
설계기준을 보다 rough하게 변경
현재 터널 설계 기준은 우리나라에서 사용되는 기준인 것으로 알고 있습니다. 세계로 나아가는 우리나의 설계기술을 생각하여 볼 때 국제기술과 연계를 통한 표준화된 코드체계 수립으로 우리나라뿐만이 아닌 세계의 어느 곳에서도 적용이 가능한 기준을 제시하여야 한다고 생각합니다.
숏크리트의 적정 양생시기 : 시방기준 이해 안됨, 숏크리트 타설후 대략 8~12시간 후 다음막장 발파 실시됨
기반암 특성에 따른 설계기준 검토 필요

라이닝 숏크리트 타설시 숏크리트 반발율이 설계반발율 보다 크므로 시험시공에 의한 반발율을 섬계에 반영요함
터널 굴착시 실제 여굴량과 설계 여굴량의 차이가 많은데 실제 여굴량을 설계에 반영하던지 아니면 여굴량 감소를 위한 무장약공 추가 반영 등 탄력적 설계기준 수립을 요함
불필요하고 과다한 설계 가능성을 가진 기준 완화
현재 설계기준은 일반적인 내용들로서 현장여건에 따른 적용성이 부족하거나 검토후 반영해야 될 사항이 많은바 표준화 보다는 상황에 따른 검토할 내용을 보완하여 설계 시 활용도를 높일 수 있도록 건의합니다.
터널설계기준은 큰 틀에서 기준만 정립하고, 각 발주처별 차이가 있는 기준 정도만 통일화하는 방안으로 정리하고, 그 기준안에서 각 발주처별로 세분화하여 정량화하는 발주처 적용지침으로 가는 게 맞는 방법이라고 생각함. 또한 선진국 기준과의 상이점등은 학회차원에서 검증하고 추가 지침 정도로 매년 또는 3년 주기로 첨부가 가능하면 좋겠다고 생각함 또한 신기술등 새로이 개발 발전되는 기술에 맞출 수 있게 이것 역시 학회차원에서 검증하고 매년 추가 지침으로 반영되었으면 함

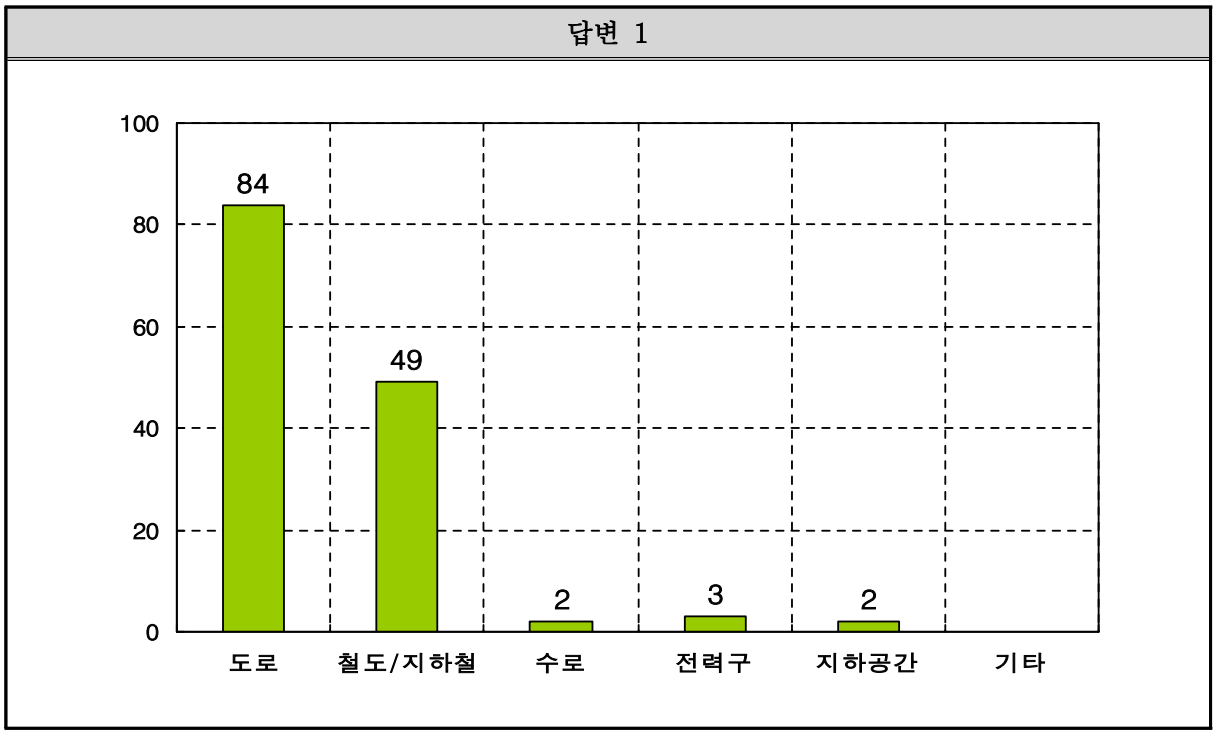
4.2.2 시공 및 감리분야

1) 설문조사 분석-객관식질문

본 설문조사에서 실시한 터널시공 및 감리분야 질문(객관식)은 다음과 같다.

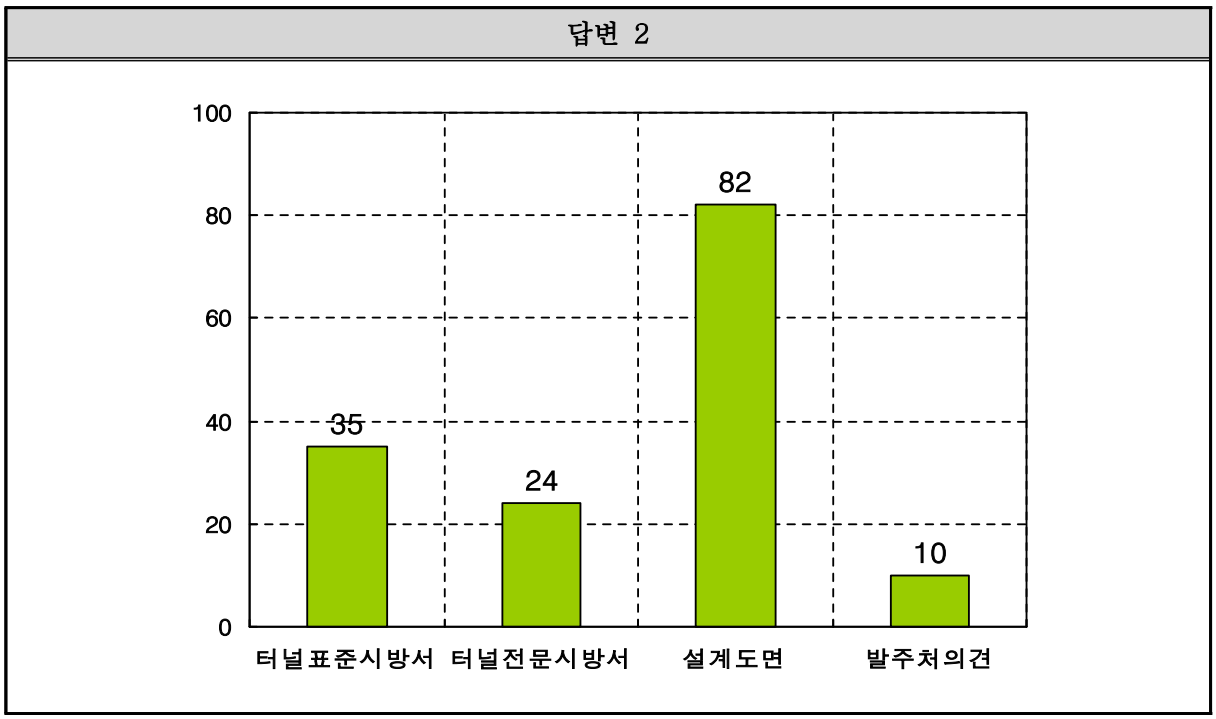
1. 귀하가 참여하는 터널 시공 및 감리분야는 다음 어디에 해당됩니까? (복수선택가능)
2. 터널 시공은 다음 중 무엇에 준하여 수행하십니까?
3. 터널표준시방서와 발주처 전문시방서의 내용이 상이하였을 경우에는 무엇에 따라 공사를 수행하십니까?
4. 터널 시공중 설계내용이 시방기준에 불일치하여 설계변경을 한 적이 있으십니까?
5. 국내의 터널 시공 능력은 해외 경쟁국들과 비교했을 때 어느 정도라고 생각하십니까?
6. 해외 터널공사 수주에 나섰을 때 걸림돌이 되는 사항이라고 생각되는 항목은 무엇입니까?

【표 2.96】 시공·감리분야 답변 1



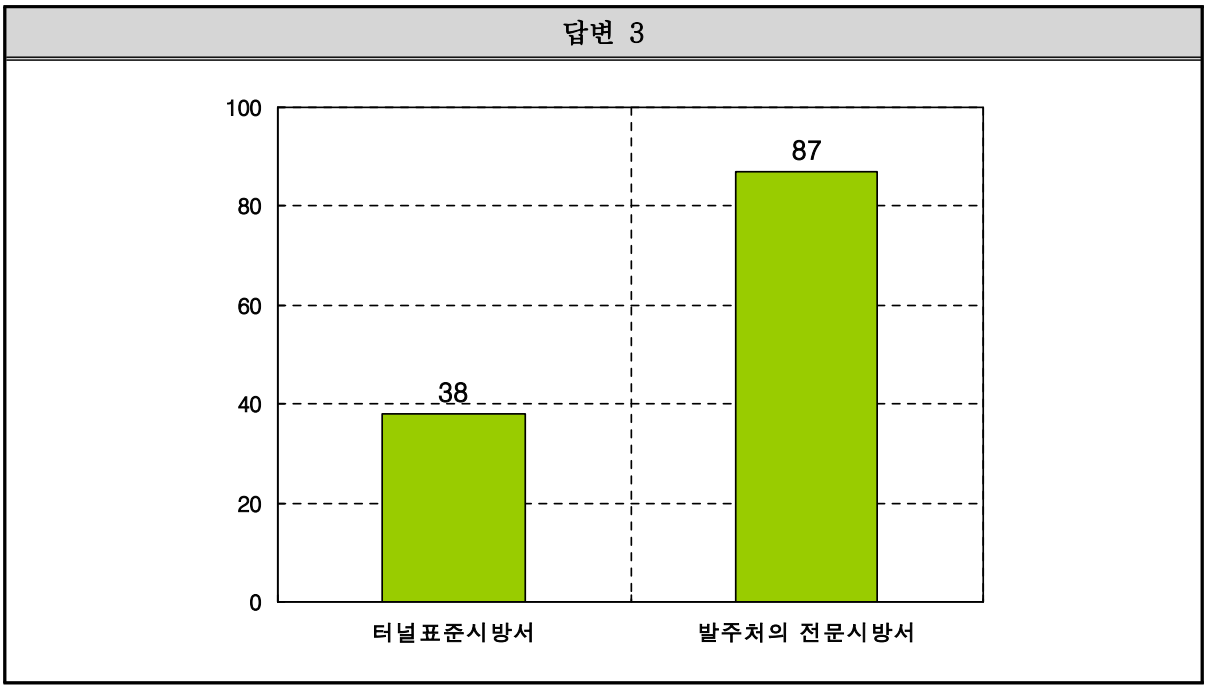
1번 문항 답변결과 도로터널 시공 및 감리 종사자가 대분분을 차지했으며 다음으로 철도/지하철 분야에 종사하는 답변자가 많은 것으로 나타났다.

【표 2.97】 시공·감리분야 답변 2



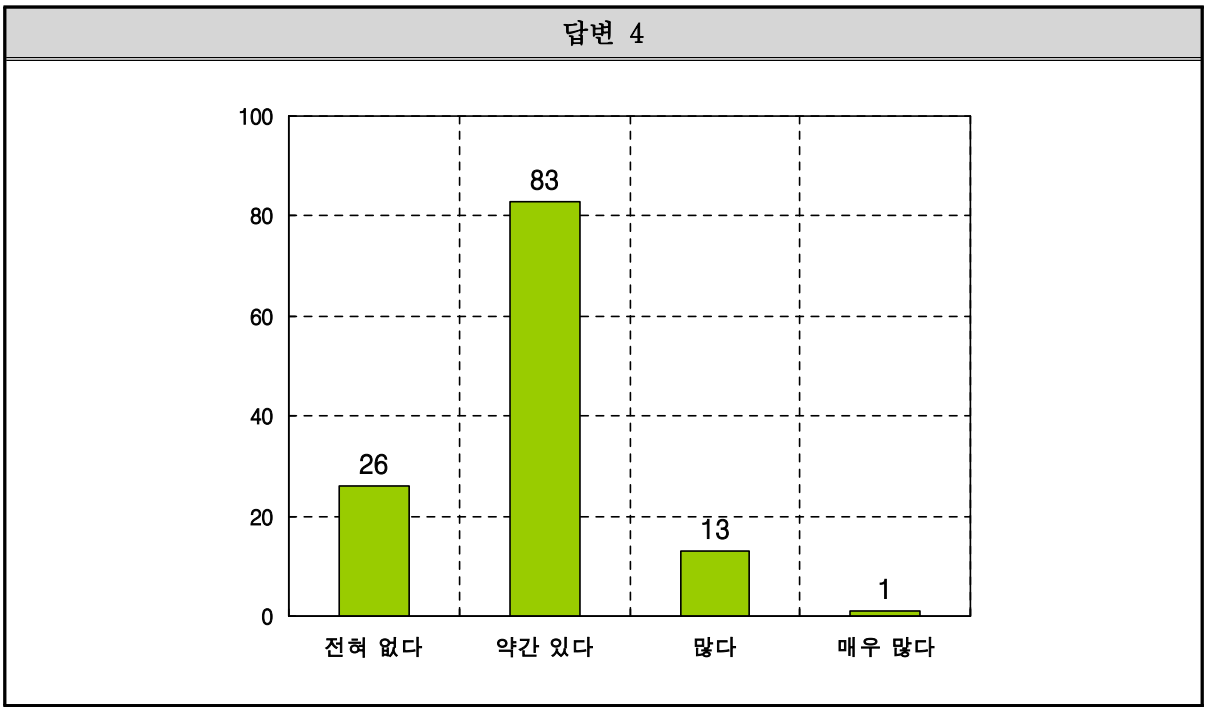
2번 문항 답변 결과 설계분야 설문조사와는 다른 양상을 보였다. 시공 및 감리 분야 답변자들은 주로 설계도면에 준하여 시공하는 것으로 나타났으며, 발주처의 의견으로 인한 시공은 거의 없는 것으로 답변했다. 발주처의 의견 및 설계지침이 반영된 설계도면을 사용함으로서 시공 및 감리분야는 다시 한번 발주처의 의견대로 시공하는 것이 아니라 이미 그 내용이 반영된 설계도면을 활용하는 것이라고 분석 가능하다.

【표 2.98】 시공·감리분야 답변 3



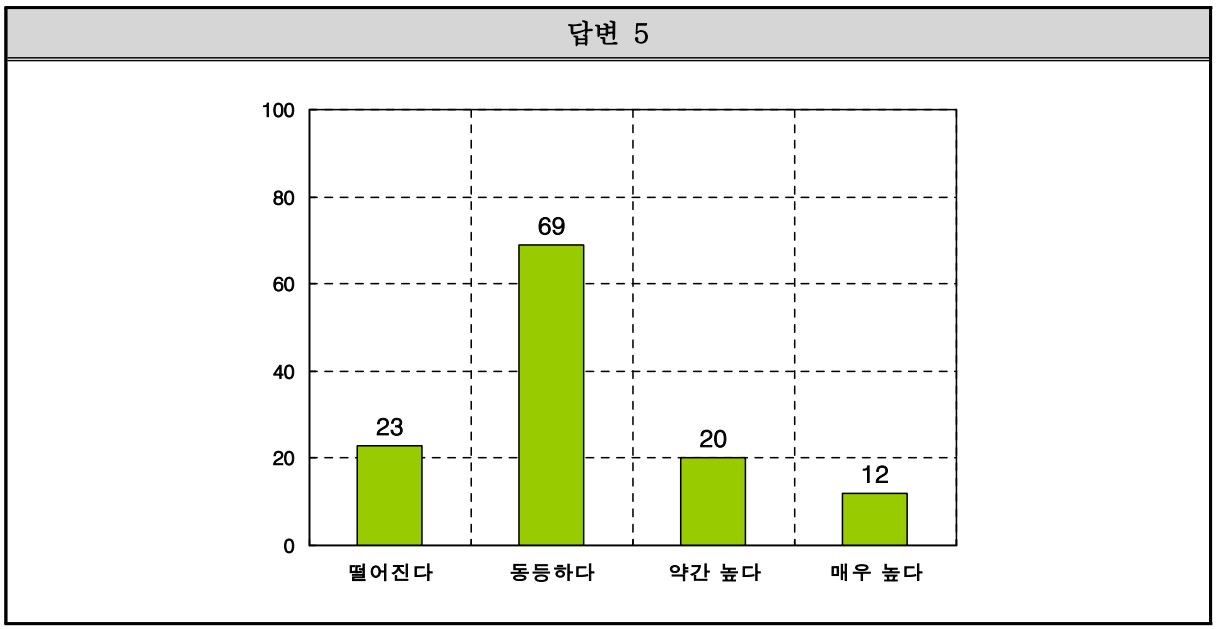
3번 문항 답변 결과 터널 표준시방서와 발주처의 전문시방서 간의 내용이 상이 할 경우 발주처의 전문시방서를 더 많이 참고하여 시공하는 것으로 나타났다. 발주처의 전문시방서는 해당 공사 공정에만 국한되는 좀 더 자세한 시방을 제시하고 있다는 기타의견들과 의미를 같이하는 설문 결과이다.

【표 2.99】 시공·감리분야 답변 4



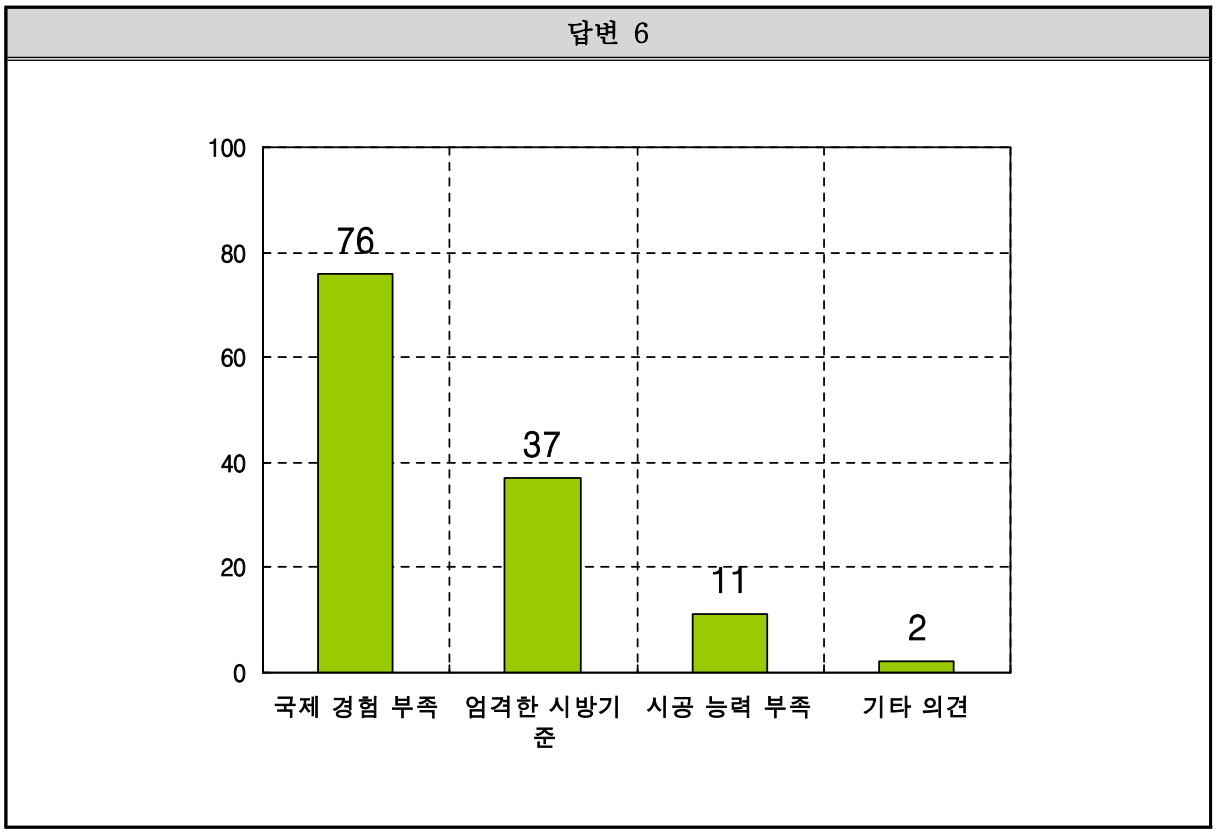
4번문항의 답변결과 설계사항을 시공시 일부 변경하여 시공하였다는 답변이 많았다. 이런 결과로 미루어 볼 때 설계시 현장시공기술자의 의견이 충분히 반영되지 못하였으며 또한 터널 설계기준 및 발주처 각종 설계기준 역시 현장 시공 기술자의 의견이 충분히 반영되지 못한 결과라고 판단된다.

【표 2.100】 시공·감리분야 답변 5



5번 문항 답변 결과 우리나라 시공 기술자들은 현재 국내시공능력이 해외시공능력과 동등 이상이라는 답변이 많았다. 이처럼 높은 시공능력을 충분히 발휘할 수 있도록 설계기준 및 시방서 재`계정시, 설계 및 시공 기술자의 의견 및 경험 등을 충분히 반영해야한다고 판단된다.

【표 2.101】 시공・감리분야 답변 6



6번 문항 답변 결과 우리나라 건설업체가 해외수주를 위해 가장 큰 걸림돌이 되는 것은 국제 경험 부족이라고 꼽았다. 국제 경험 부족은 여러 가지 애로사항이 많겠지만 특히나 국제화에 동떨어진 국내 설계기준도 그 이유 중에 하나라고 판단되며, 국내 설계기준 제`개정시 이러한 국제적인 상황도 염두에 둔 방향으로 제`개정을 해야 한다고 판단된다.

설문조사 분석 결과 터널 시공 및 감리 분야는 설계분야와 다른 양상을 나타냈다.

터널 시공시 참고하는 설계기준은 설계도면이 압도적으로 많았으며 발주처의 의견은 약 7%로 나타났다(질문2). 그러나 터널 전문 시방서와 발주처의 전문시방서의 내용이 상이할 경우 발주처의 전문시방서를 따르는 것으로 조사되었다.

터널 시공 및 감리 분야는 해외 터널 건설 수주 및 경쟁국과의 설계 기준 비교 항목

을 조사하였으며, 그 결과 시공능력은 해외 경쟁국과 비교하여 동등하다는 답변이 우세였다. 또한 해외 터널 공사 수주의 애로사항으로는 국제 경험 부족, 엄격한 시방기준 순서로 조사되었다.

2) 설문조사 분석-서술형질문

터널공사 및 감리 시 터널 시방서 문제점 및 개선사항은 다음 표와 같다.

질문 7.
현행 터널공사 또는 감리업무 수행 시 터널 시방서의 내용과 관련하여 문제점 및 개선 사항 등 건의하실 내용이 있으면 기술해 주십시오.

답변.
국내 터널의 경우 획일적인 시공지침으로 시공하고 있으나, 현장여건에 맞춰 개정하여 시공할 수 있도록 다변화가 필요함 시공사에서 우수한 자재, 장비 등을 통하여 시공성을 개선할 수 있도록 협의 창구 일원화가 필요함
Type 변경에 대한 명확한 기준 제공
계측업무강화, 전문가 투입 등으로 인한 비용의 현실화가 요구됩니다.
계측기 설치 후 발파 등으로 파손 우려가 있는 만큼 계측기 설치비용 증액 산정
통상적으로 발주관청과 전문시방서 모두 터널시방서 간의 상이한 부분 발생 시 이를 적용 및 응용할 수 있는 방안 마련이 필요함
계측기 설치 및 유지관리 비용 현실화
공사비 증액의 굴착 type변경 시 여려움으로 지반조사 철저요망 내공변위 계측기를 규정 시간내에 설치 시 파손되어 초기 계측 data 활용이 어려움으로 설치비용 증액 산정 요망
터널 공동구 시공과 관련하여, 배수 및 공동구를 암반위에 시공하여야하는지 아니면 지반다짐도 기준을 두어서 다짐시험을 실시하여 지반다짐도가 기준 이상이면 암반이 아니라도 괜찮다는 기준수립이 필요
라이닝 콘크리트 규격을 시공여건을 반영하여 변경요청 : slump를 150에서 210mm로
터널 굴착공사시 가설갱문, 방음커텐 공사가 굴착시 굴진 50~100m 진행중 설치 시공되므로 설치(공사경제성)효과가 미흡함 : 터널 굴착초기 가시설(낙석비산, 소음저감, 안전대책)설치가 적정할 것으로 사료됨(NATM공법시)
지하수(용수)차단으로 환경오염 저감 방안 필요 숏크리트 리바운드(강섬유포함) : 처리 적법화

갱구부 구간 : 현장조건(토질별 : 토사(붕적토, 매립층, 일반토사)에 따른 보강공법 적용방안 구체적으로 명기 요망 터널 굴착중 용수량 발생 측정방법 명기 요망
현장여건 또는 암질에 따라 설계시 수치해석 함은 물론이고 터널 입출구에 대한 정확하고 세밀한 설계가 필요함.
정형화돈 표준지보패턴에 따른 공사비 증액 : 암반 5등급에서 P5 + 강관다단보강 하는 경우 많음 강관다단보강 구간은 보강재 경사로 outlook 굴착함이 좋으나, 현장반영하기 어려움. 이는 숏크리트 수량이 그와 같이 반영될 수 있는 설계기준이 없기 때문
터널 시방서가 개념적으로만 서술되어 있어 실제 시공시 적용하기에는 어려움
시방서는 시공을 위한 method에 국한하여 기술되어야 함 설계도서와 시방서가 상충되는 경우, 설계자의 기술검토서를 첨부하여 시방서와 상이한 부분을 해소 해야함 전문시방서와 표준시방서가 상이할 경우, 책임기술자-기술사의 검토보고서를 첨부하여 상이한 부분을 해소 해야함 감리자, 감리사 기술부에서 현장 상황을 반영하여 기술제안을 할 수 있어야 함(현재는 감리자의 passive한 자세로 인해 공정이 지연되는 경우가 많음, 감리사의 책임기술자-기술사(현장상주)의 현장상태를 반영한 기술 지원시 공정지연 사례가 최소화됨, 공정지연은 품질저하와 상관성이 높음
설계기준과 시방서의 체계가 일부 상이한 부분이 있음.
시방서 변경시 내구성, 시공성 등을 우선시하고 공사비 절감은 차후에 감안하여 변경함이 타당할 것으로 판단됨
터널 표준시방서 또는 전문시방서, 방침, 지침 등 기준에 준하여 시공 시 협력업체가 기준을 따라가는데 어려움 발생(작업 및 공종 지연) 협력업체 시공절차 또는 기준의 인식부족으로 시공 시 안전 및 품질에 영향이 있을 수 있음
계측 및 Face mapping을 하는 기술자들의 기술력이 너무 떨어짐 : 1. 계측 및 현장상주 지질 및 토질기술자 비용이 너무 작게 책정됨, 비용의 현실화 필요, 고급 기술자의 상주 필요 2. 현장 지질 및 토질기술자에 의한 터널 type이 변경되는 것이 아니라 발주처나 감리원들에 의해 type이 변경됨, 터널 전문가 양성필요, 설계와 시공 경험을 두루 갖춘 토질기술자를 양성하여 터널 시공 시 현장상주를 하여 과대, 과소 시공이 되지 않게 관리 운영, 양질의 data base 구축 feed back 하여 설계 시 반영
실정에 맞는 보다 구체적이고 포괄적인 내용으로 서술하는 기준을 건의합니다.

터널관련 시방서 동일화(표준) 와 개정 시 공표(현장 업체 감리 등)
시방서의 각종 규정을 준수하기 위해서는 작업시간이 많이 소요되나 시간 추가 비용이 단가에 반영되지 않아 고가 조합장비의 원가절감을 위한 급속시공으로 안정성 저하 : 작업 사이클에 의한 단가산출을 지양하고 안전 및 시방규정을 반영하여 시공 할 수 있도록 공사비 산출
막장관찰일지 RMR 기록빈도과다 : 매막장 시 1일1회 또는 type별 3회 정도가 타당함 라이닝 콘크리트 탈형 시기를 현실성 있게 조정필요, 숏크리트 품질기준을 객관성 있게 조정 필요
계측(face mapping포함)에 종사하는 기술자의 기술력이 떨어짐 : 계측 및 현장상주 기술자 비용이 너무 작게 책정됨으로 비용의 현실화로 전문기술자의 현장상주 필요함
실제 공사 시 확실한 효과를 발휘하는 고가의 공법도 필요하겠지만 경제성도 고려해야한다. 절충안이 마련되기 위한 검토가 필요해 보인다.
터널 막장면 Mapping 결과의 즉각적인 시공반영 지연 감독원의 비상주로 행정처리 지연 문제 시공사의 기술능력 배양으로 즉각적인 시공대응이 가능하도록 유도

4.3 2차 설문조사 결과

2차 설문조사는 2013년 4월 한달여간 진행되었으며, (사)한국터널지하공간학회의 도움을 받아 각 설계사, 시공사 및 발주기관 등에 1200매를 배포하여 다양한 분야의 전문가 의견이 수렴될 수 있도록 노력하였다.

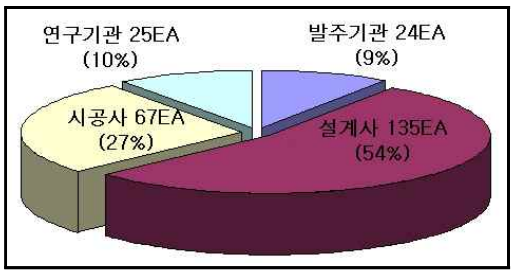
【표 2.102】 설문조사의 주요 내용

구 분	설문내용
일 반	•응답자의 소속기관 및 주된 업무 •담당업무의 근속기간 및 국내 기준서 숙지 여부 •BS코드, 유로코드, ISO 등의 해외코드 사용경험 유무
세 부 설 문	•설계기준의 코드화 개정시기 •터널 건설기준의 선진화를 위해 필요한 핵심 항목 •성능기반 설계법의 이해정도 •성능기반 설계법의 가장 중요한 핵심 •1차 지보재, 콘크리트 라이닝, 전기 및 기계설비의 적정 내구수명 •터널 건설기준의 별도 관리전담 대행기구의 필요성 및 소속 •터널 건설기준의 적정 개정시기 •터널 건설기준의 선진화에 걸림돌이 되는 가장 큰 문제점 •터널 건설기준의 선진화를 위해 가장 우선 반영하여야 할 사항

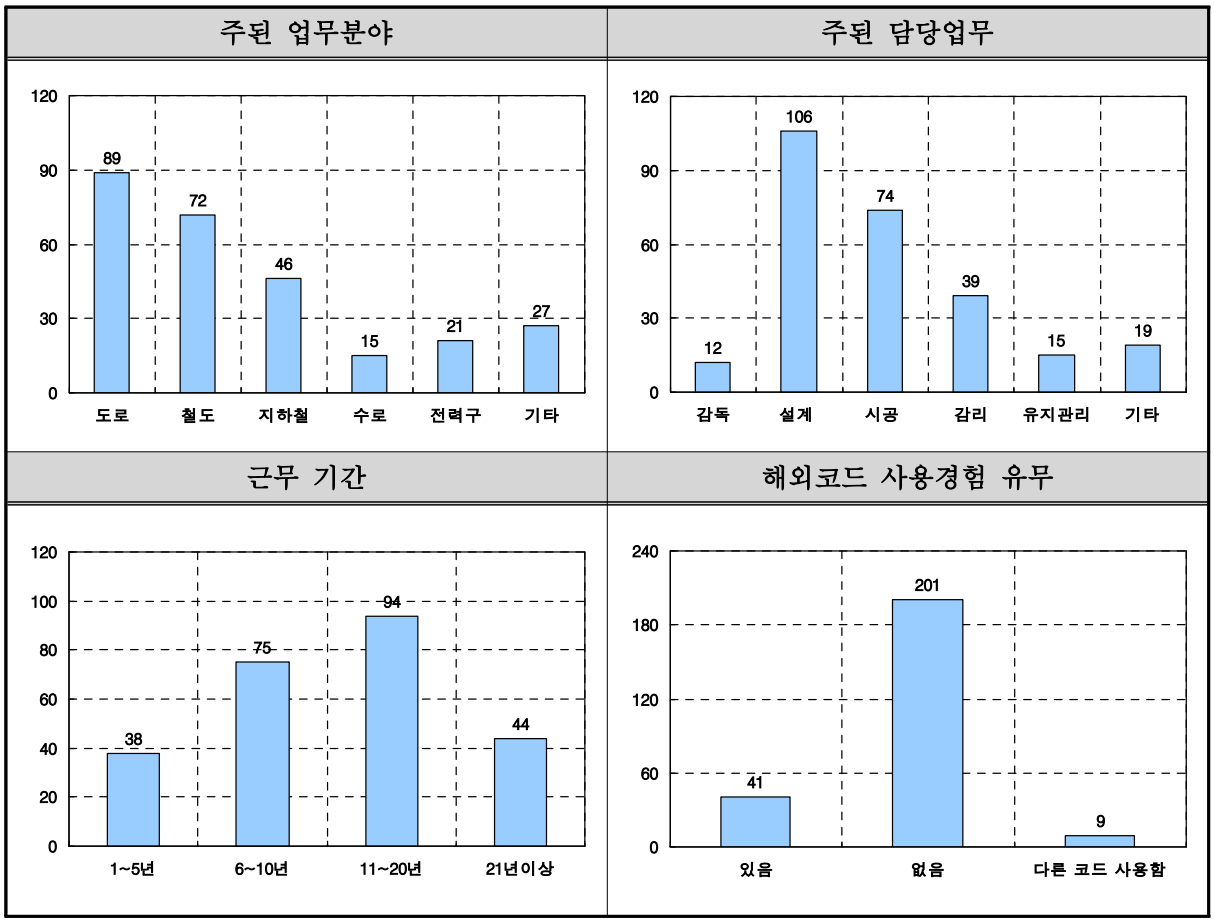
설문조사는 1차년도와 같이 시공, 설계, 발주기관 등의 전문가를 대상으로 실시하였으며, 251매의 설문지를 회수하였다. 회수된 응답지 분포를 살펴보면, 1차년도와 마찬가지로 설계사와 시공사의 응답이 가장 많았으며, 전년도에 비해 발주기관 및 연구기관의 응답률이 높아졌음을 알수있다.

【표 2.103】 설문조사 회답수

구 분	발주기관	설계사	시공사	연구기관	합계
회수 설문지 (EA)	24	135	67	25	251
비 율 (%)	9	54	27	10	100



【표 2.104】 공통분야 설문조사 결과



공통분야 설문조사 결과 응답자의 주된 업무분야는 도로, 철도, 지하철 순서로 나타났으며 응답자의 거의 대부분을 차지하는 비율이다. 응답자의 대부분은 설계, 시공, 감리 분야에서 6~20년간 근무하고 있는 전문가로써 터널건설기준의 주된 수요자층 이라 할수 있다.

터널 선진국의 경우 모든 터널 건설기준은 고유 명칭과 식별 번호를 갖추고 표준화된 코드체계로 구성되어있다. 이러한 실정에도 불구하고 설문결과 국내의 터널 전문가들은 BS코드나 유로코드와 같은 해외코드를 거의 사용해본 경험이 없다는 응답이 대부분이었다. 터널 건설기술의 국제경쟁력을 갖추기 위해서는 먼저 선진 외국의 설계코드를 숙지하고 적용할 줄 아는 노력이 선행되어야 할 것이다.

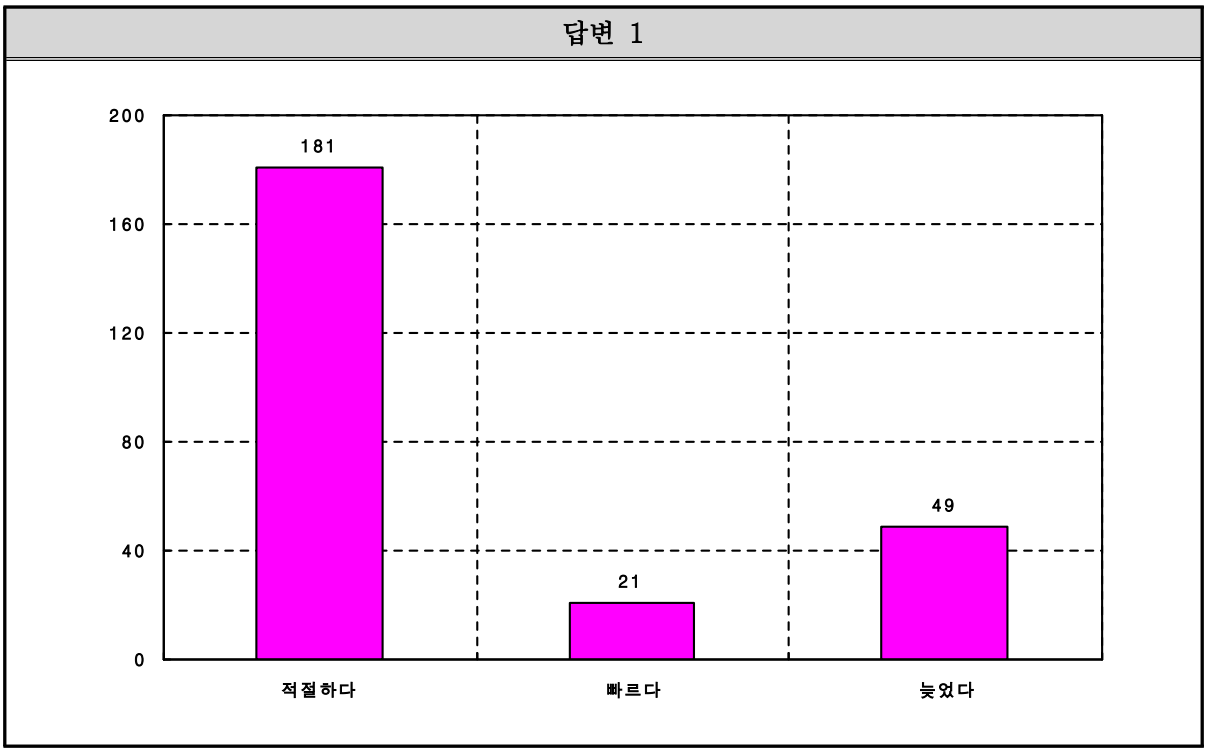
4.3.1 세부설문

1) 객관식질문

2차 설문조사에서 실시한 터널설계분야 질문(객관식)은 다음과 같다.

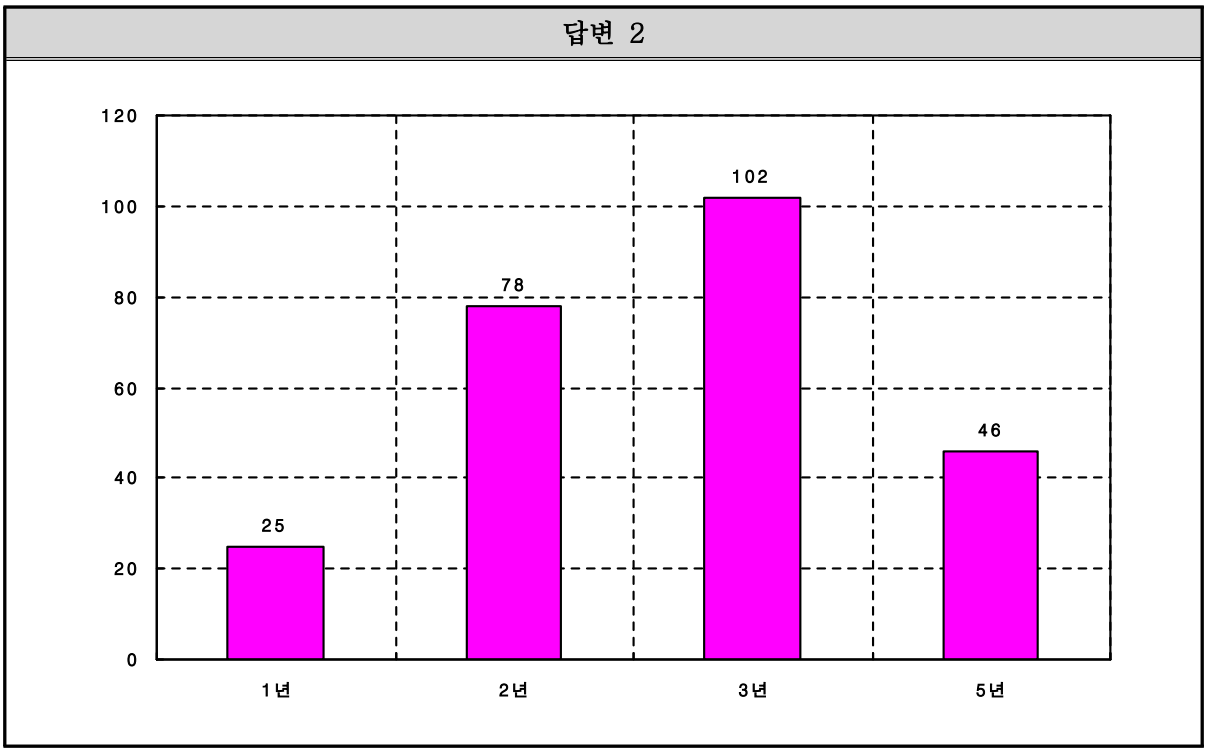
1. 2016년부터 국내의 모든 건설 관련 기준서들이 유로코드처럼 코드화될 계획입니다. 귀하가 생각하기에 시기가 적절하다고 생각하십니까?
2. 만약 적용시기의 유예기간이 필요하다면 얼마가 적절하다고 생각하십니까?
3. 터널 건설기준의 선진화를 위해서 필요한 가장 핵심 항목은 무엇이라고 생각하십니까?
4. 성능기반 설계법의 기본 개념을 이해하고 계십니까?
5. 성능기반 설계법으로 전환시 가장 중요한 핵심은 무엇이라고 생각하십니까?
6. 1차 지보재의 설계 내구 수명은 몇 년이 적합하다고 생각 하십니까?
7. 콘크리트 라이닝의 설계 내구 수명은 몇 년이 적합하다고 생각하십니까?
8. 터널내 전기, 기계 설비의 설계 내구 수명은 몇 년이 적합하다고 생각 하십니까?
9. 터널 건설기준의 관리주체는 국토교통부입니다. 별도의 상설 관리 전담 대행기구를 설립하는 것에 찬성하십니까?
10. 별도의 상설 전담기구를 둔다면 기존의 어느 기구 속에 두는 것이 바람직하다고 생각 하십니까?
11. 터널 건설기준의 적절한 개정시기는?
12. 현재 터널건설기준의 선진화를 하는데 가장 걸림돌이 될 것으로 생각되는 문제점은 무엇이라고 생각하십니까?
13. 터널 건설기술 선진화를 위해서 가장 우선하여 반영하여야 할 사항은 무엇입니까?

【표 2.105】 객관식 답변 1



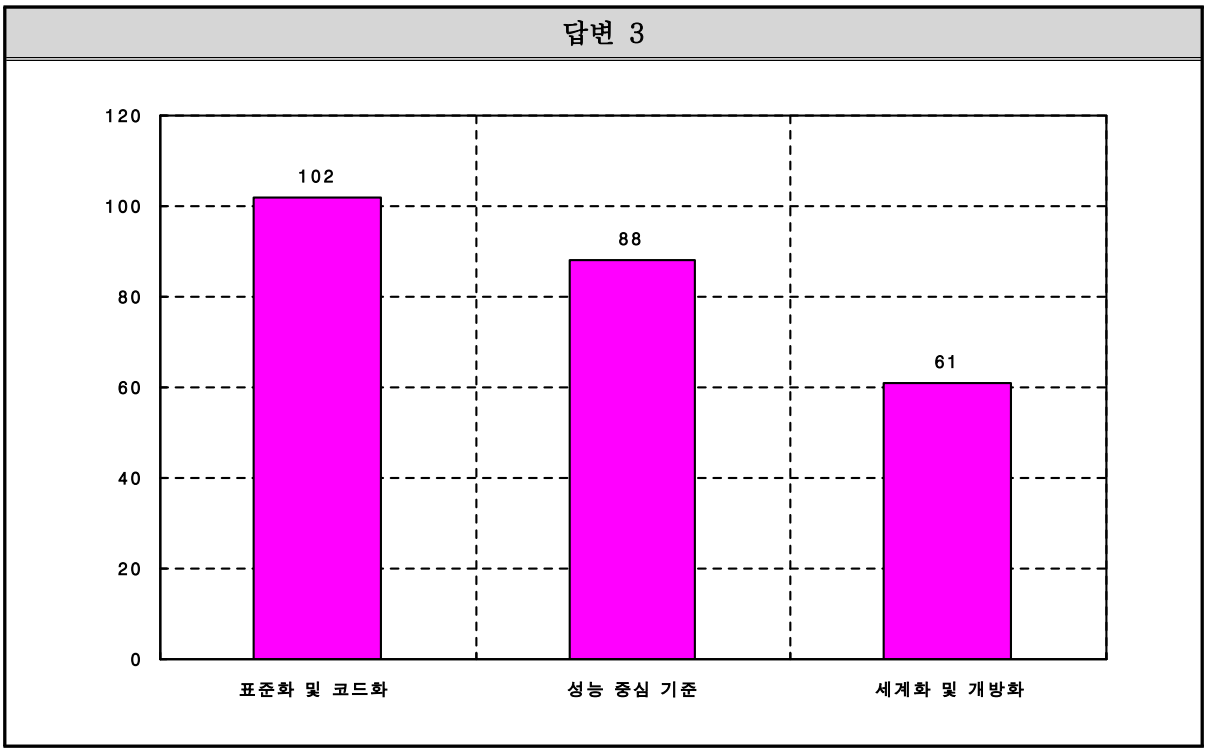
2016년부터 국내 모든 건설 관련 기준서들이 해외처럼 코드화될 계획이며, 그 시기와 관련하여 응답자중 91%가 적절 또는 이미 늦었다고 판단하고 있다. 이는 국내 터널건설 기준의 표준화 및 코드화가 조속히 이루어져야 한다는 기술자들의 바램을 보여준다.

【표 2.106】 객관식 답변 2



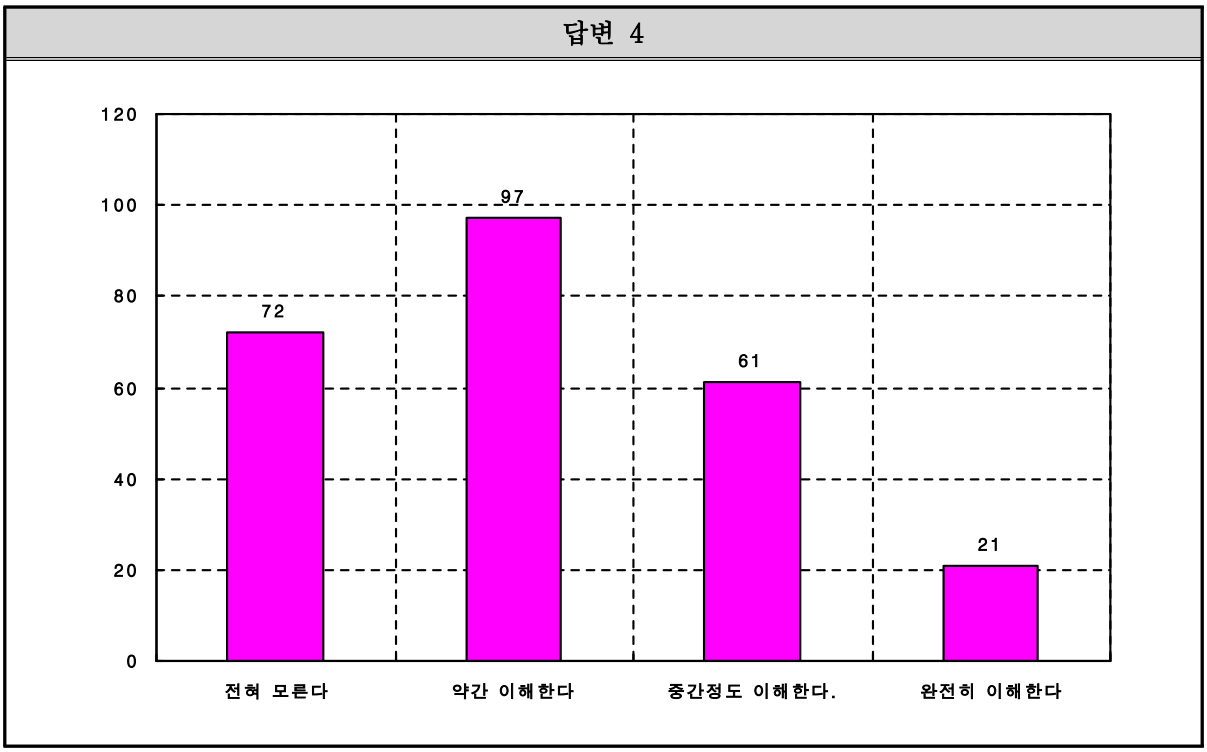
2번 문항 답변결과 터널건설기준의 코드화는 3년 정도의 유예기간을 두는것이 적절함을 알수 있다.

【표 2.107】 객관식 답변 3



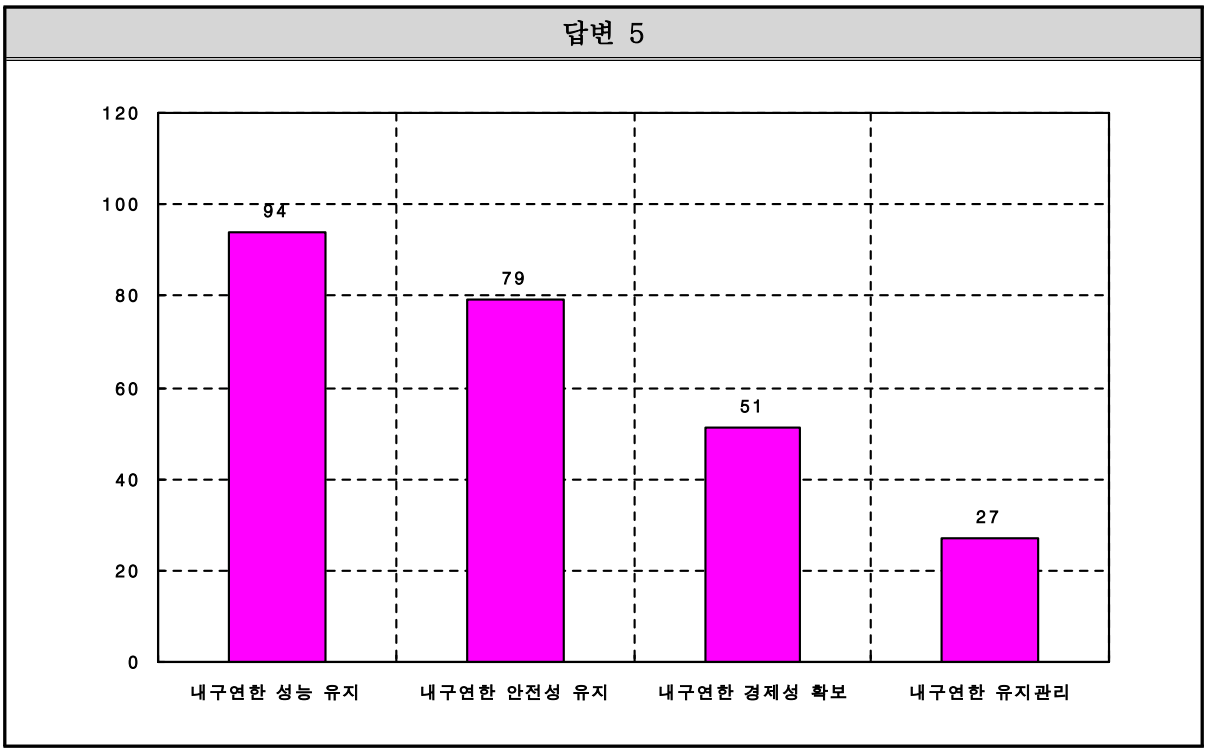
3번 문항 답변결과 터널건설기준 선진화를 위한 핵심항목은 표준화 및 코드화, 성능중심설계기준, 그리고 세계화 및 개방화 순으로 응답하였다.

【표 2.108】 객관식 답변 4



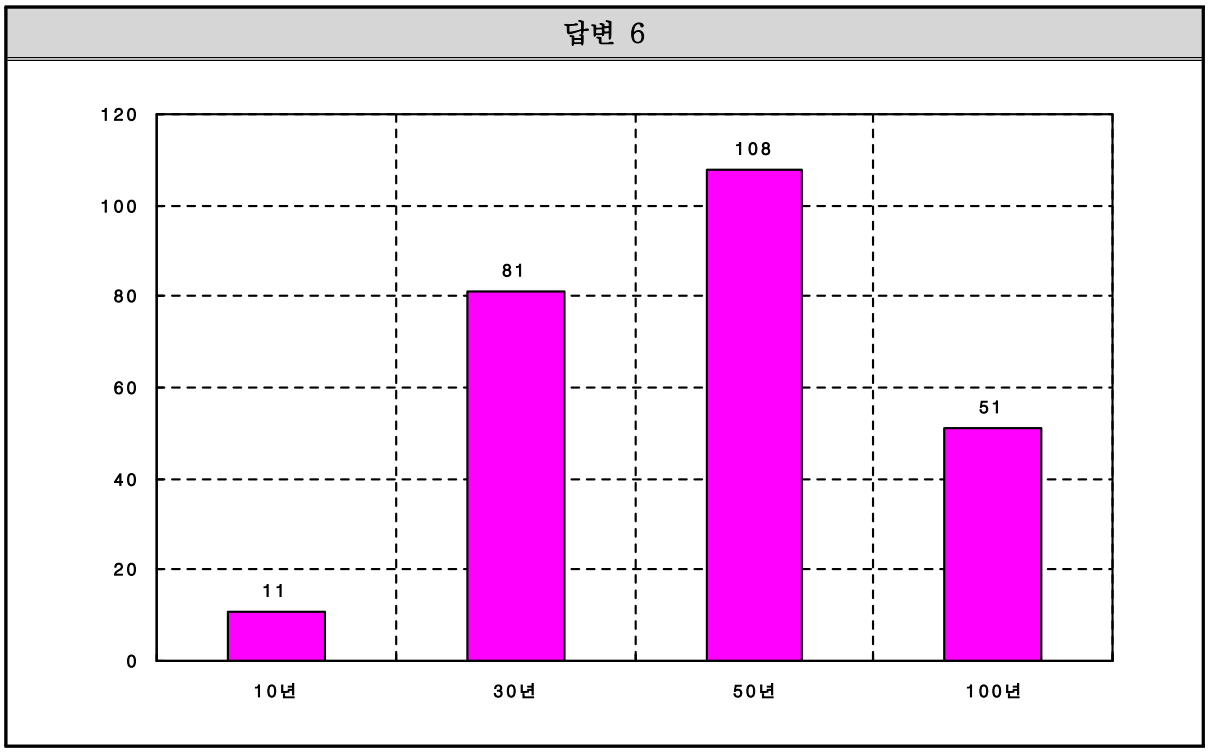
기존의 터널 건설기준서에서 적용하고 있는 설계기준은 재료, 방법, 수행절차를 기술하는 사양중심의 규정설계(PD: Prescribed Design)기준이다. 그러나 최근에 해외 터널 선진국에서는 목적 구조물의 요구 성능(강도, 내구성 등)을 만족하는 성능 기반 설계(PBD: Performance-based Design)로의 전환을 통한 사용자 중심의 창조적인 설계를 유도하고 있다. 응답자중 8%만이 이러한 성능기반 설계법을 완전히 이해하고 있었으며, 29%는 전혀 모르고 있었다. 나머지 63%는 약간 또는 중간정도 이해하고 있는 실정이다.

【표 2.109】 객관식 답변 5

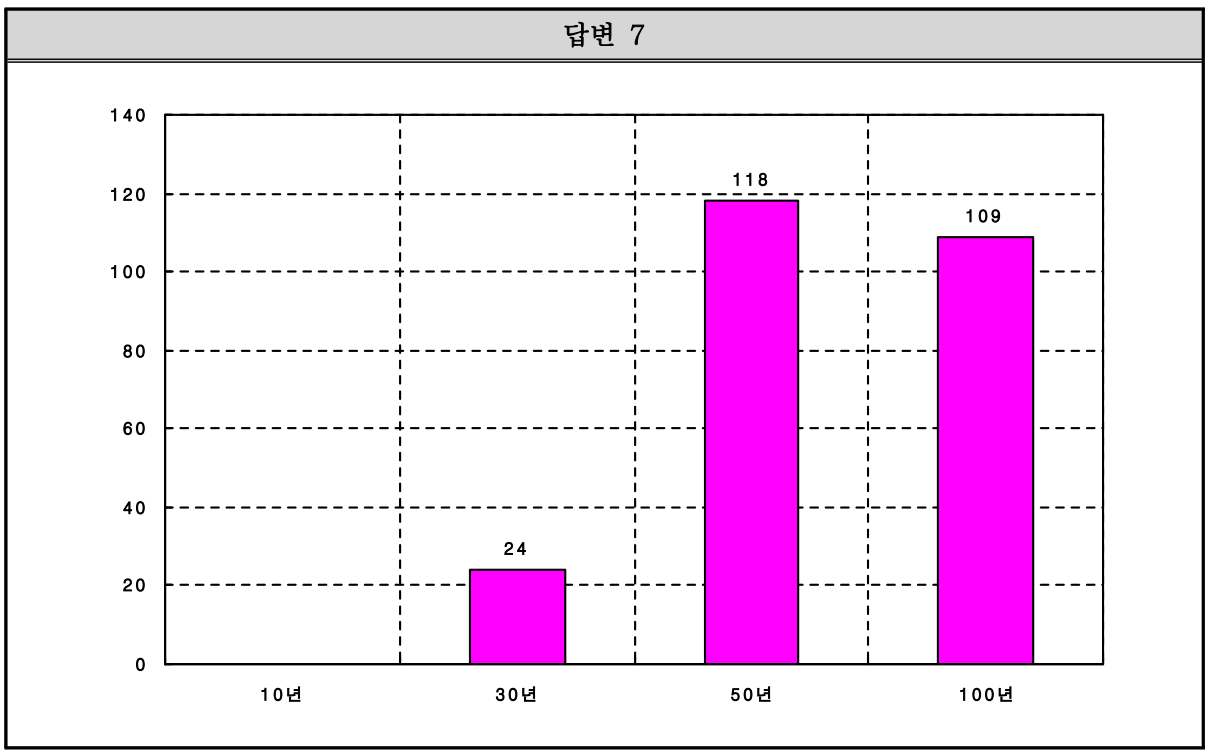


성능기반 설계법에서 가장 중요한 핵심은 목적구조물의 내구연한 동안의 성능유지가 가장 많은 지지를 받았으며, 성능유지를 위한 안전성, 경제성, 유지관리 순으로 중요도를 언급해 주었다.

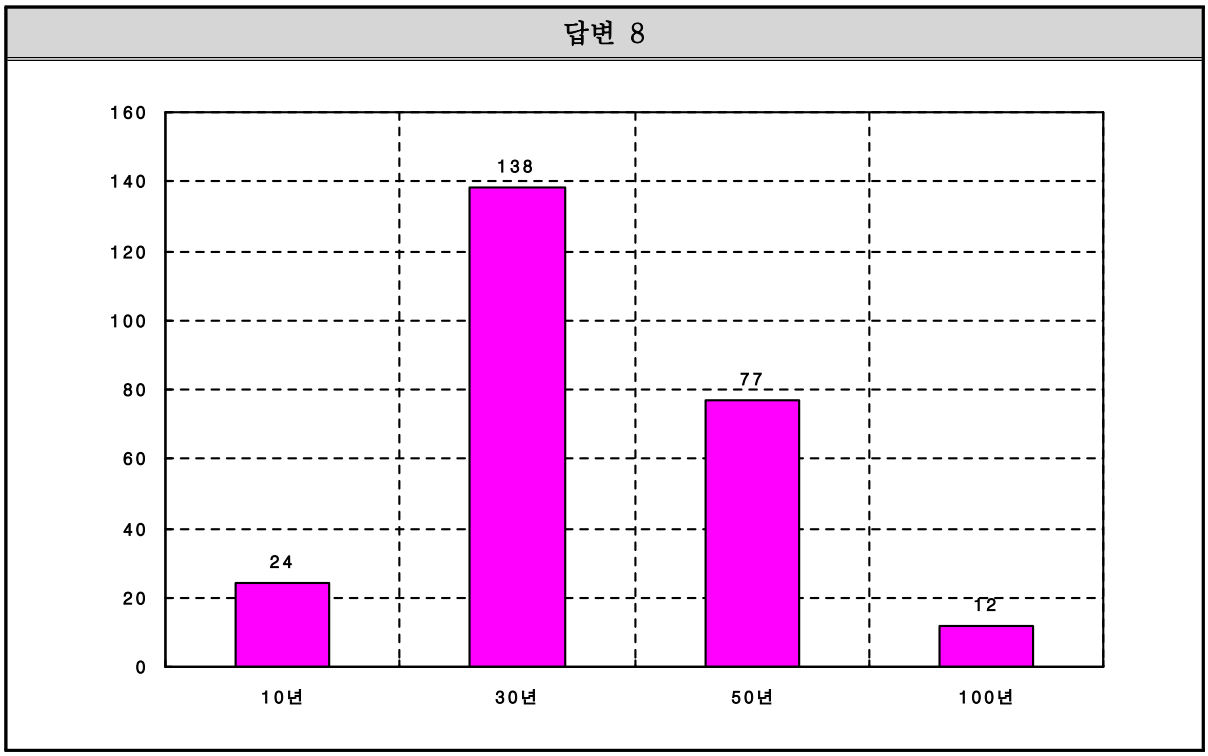
【표 2.110】 객관식 답변 6



【표 2.111】 객관식 답변 7

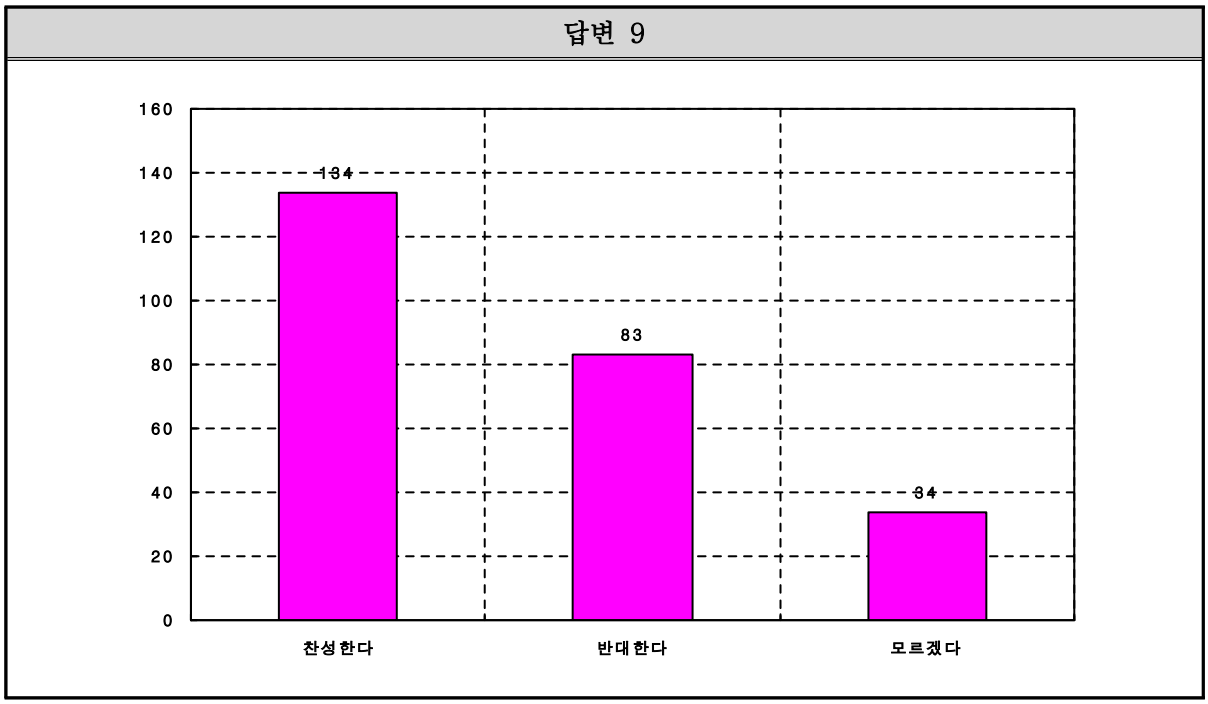


【표 2.112】 객관식 답변 8

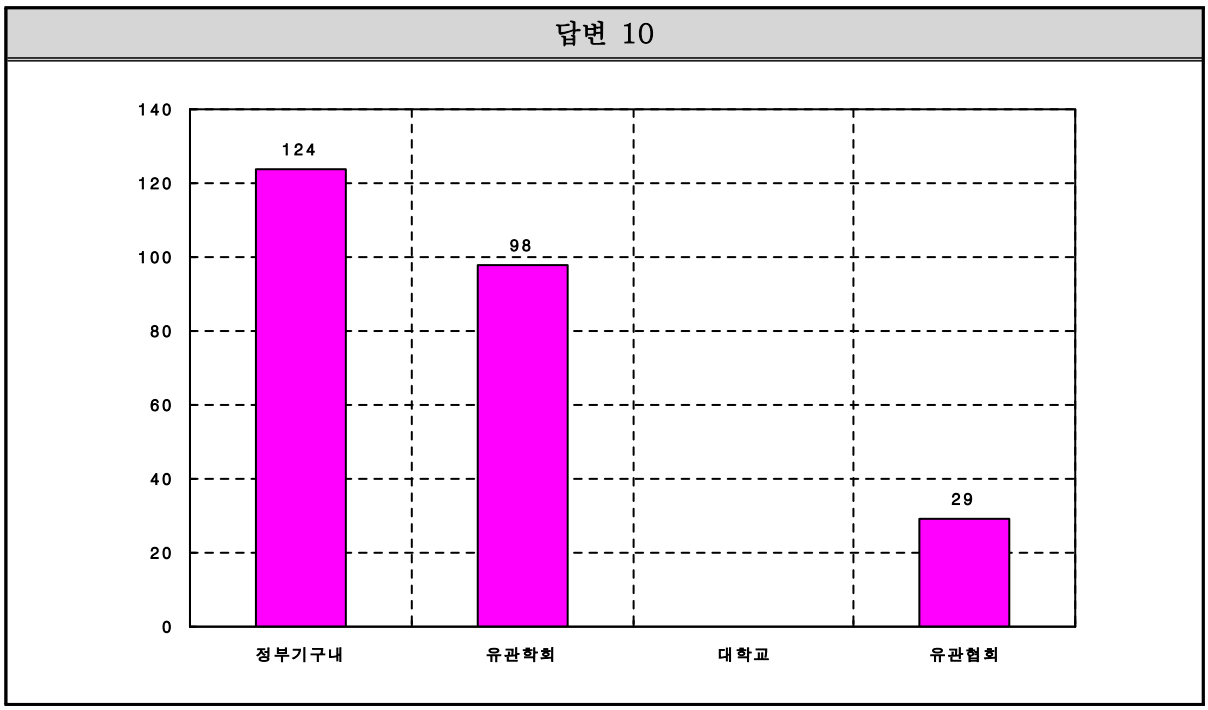


6, 7, 8번 문항은 성능기반 설계법으로 전환시 구조물의 적절한 내구수명에 대해 질문하였다. 응답결과 1차지보재와 콘크리트 라이닝의 내구연한을 50년으로 보아야 한다는 의견이 대부분 이었으며, 터널내 전기, 기계설비의 경우 30년으로 보아야 한다는 의견이 약 50%를 차지하였다. 이는 목적구조물 즉 터널의 요구성능을 만족하기 위해서는 구조물을 이루는 세부구조물의 특성(안전성, 용도)에 따라 내구수명을 차등하여 적용해야 한다는 의미로 해석할 수 있다.

【표 2.113】 객관식 답변 9

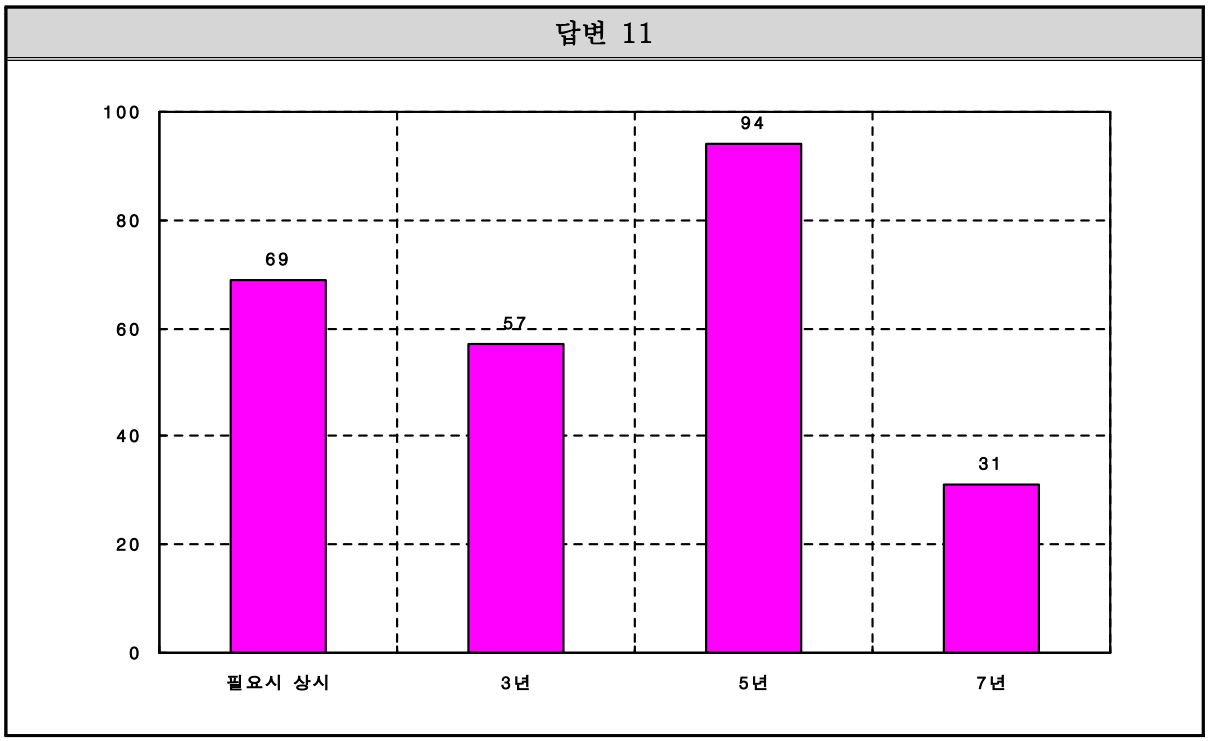


【표 2.114】 객관식 답변 10



터널건설기준의 별도의 상설관리 전담기구 설립에 대한 질문에 응답자의 54%가 찬성한다는 의견이었고, 만약 전담기구를 둔다면 기존의 어느 기구 안에 두어야 할지에 대한 질문에 응답자의 49%는 정부기구에, 39%는 유관학회에 설립해야 한다는 의견을 보였다.

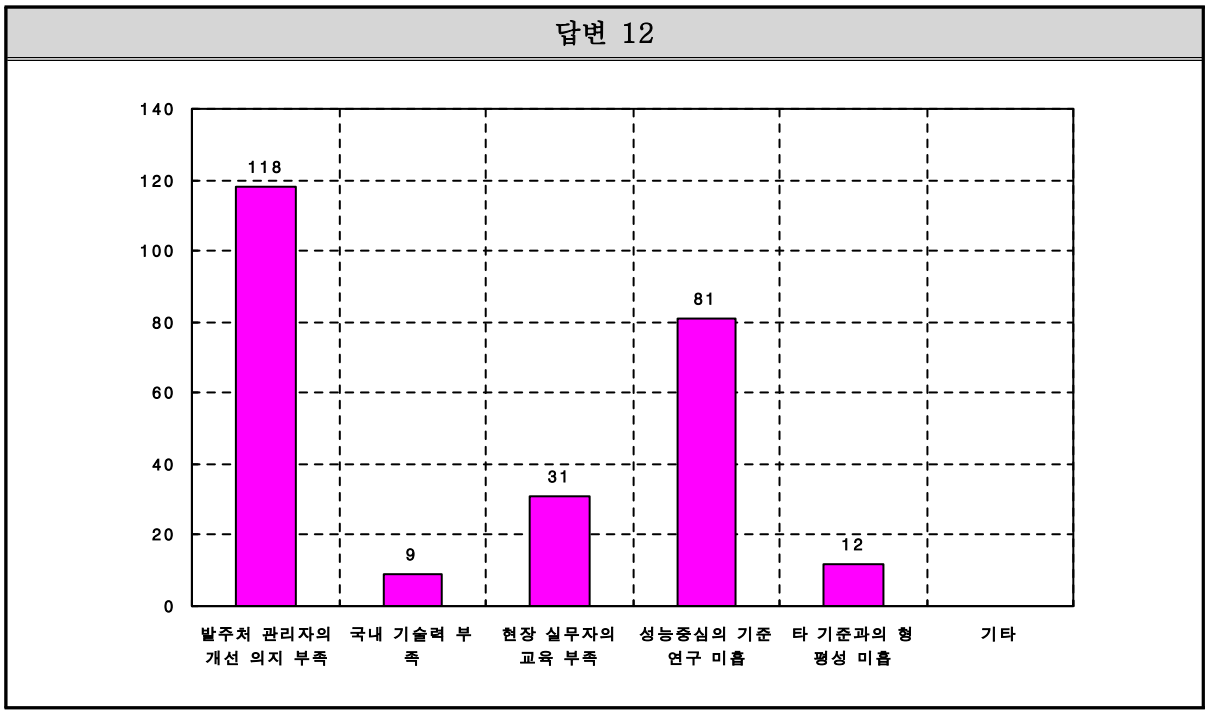
【표 2.115】 객관식 답변 11



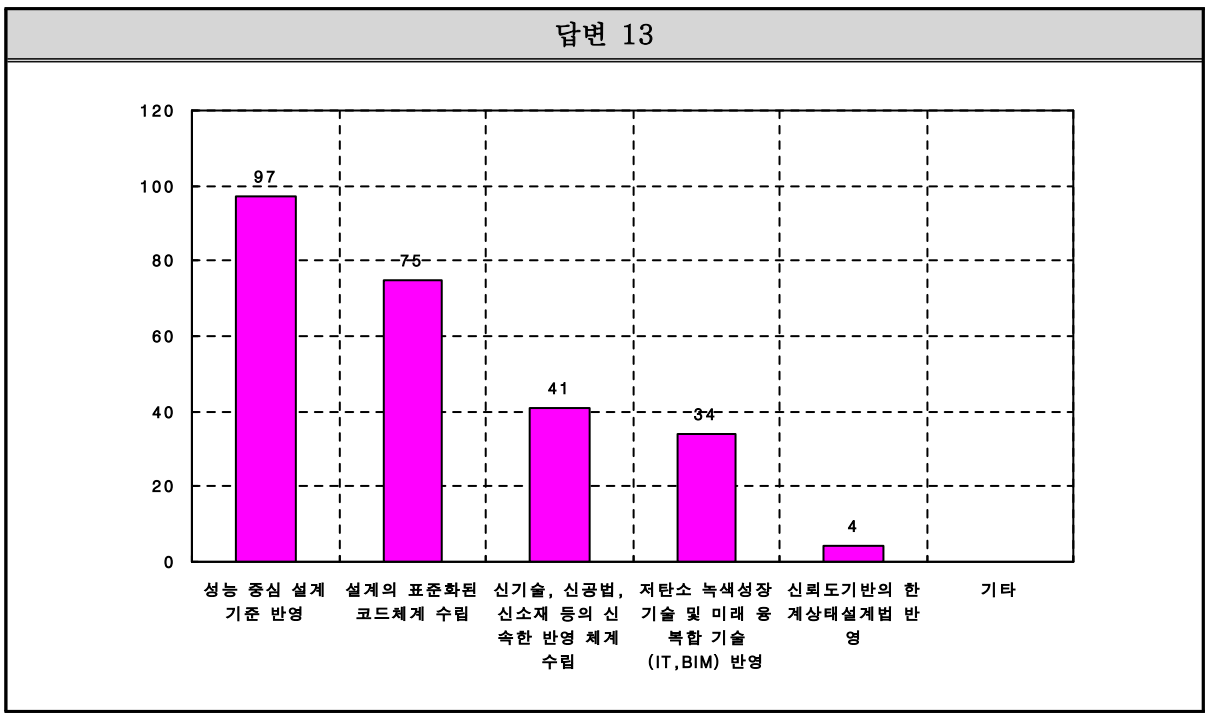
1차 설문조사와 마찬가지로 2차년도 설문 조사에서도 터널 건설기준의 적절한 개정 시기에 대해 질문하였다.

이에, 응답자의 37%가 5년을 적절한 개정시기로 답하였고, 27%가 필요시에 언제든지 개정하는 것이 합리적이라 답했다. 지금까지의 소극적인 설계기준 개정 노력을 개선해야 한다는 의미로 볼 수 있다.

【표 2.116】 객관식 답변 12



【표 2.117】 객관식 답변 13



터널건설기준의 선진화를 하는데 가장 걸림돌이 될 것으로 생각되는 문제점을 묻는 질문에 응답자의 47%는 발주처 관리자의 개선의지 부족으로 꼽았다. 또한 터널건설기술 선진화를 위해 우선 반영해야 할 사항으로 응답자의 39%는 성능중심 설계기준을 꼽았다.

2) 서술형질문

질문 14.
터널 건설기준의 선진화와 관련하여 문제점 및 개선 사항 등 건의하실 사항이 있으면 기술해 주십시오.

답변.
터널의 설계과정에서 너무 많은 부분을 사전조사의 불명확을 이유로 향후 시공 과정에 미루어 두어 체계적인 기술의 축적이 없음(예를 든다면 콘크리트 라이닝 설계시 지반조건의 예측, 그리고 과도한 안전율 등을 적용함에 따라 과도한 설계가 시행되고 향후 시공 과정에서의 기록으로도 남기지 않은 폐단 발생)
터널 건설기준의 선진화를 위해서는 설계, 시공, 유지관리 분야에 대해서 다양한 방향으로 선행 연구가 수행되어야 함. 특히, 미국에서는 기존 SOC시설물의 유지관리에서 많은 노력을 기울이고 있음. 이러한 관점에서 국내에서도 터널의 유지관리에 대한 기준 및 지속가능한 연구가 필요할 것으로 보임.
국내 발주방식과 심의제도의 선진화가 우선시 되어야 함.
개선된 기준, 신기술, 신소재 등에 대한 표준화 코드체계 수립과 터널 구조물의 목적과 성능에 부합하도록 신속한 반영 체계 수립이 필요함. 또한, 건설기준의 실무 및 전담업무는 유관 협회 및 학회를 중심으로 개정, 체계수립을 이루고 신속한 인증 및 세계화 등을 위한 정부기관의 유기적인 협조가 필수적임.
턴키 및 일반설계시 터널신기술, 신공법 등을 반영하여 설계 및 시공해야하는데 발주방식에 따라 신기술, 신공법 적용이 다소 차이가 많음. 특히, 최저가 입찰등의 설계에는 공사비 문제로 인해 적용하지 못하는 문제점 있음
현장 여건을 고려한 현 설계기준 변경 및 시공을 반영한 설계기준 확립
• 유로코드나 BS코드 등을 적용시키기 위한 사전 홍보와 교육의 철저 수행 • 해외공사 설계단계를 충분히 인식하는 발주처의 자세 필요 • 설계단계에서의 확정설계보다 시공중 설계사가 참여하여 현장 지반조건등을 고려한 신속한 공법의 선정 도모
터널 굴착시 설계자의 주관에 의한 패턴 설계를 표준화된 코드를 적용하여 안전한 터널 시공이 될수 있게 함, 아울러 친환경적으로 콘크리트 라이닝을 두께 최소 또는 라이닝 없는 터널 시공 적용
• 현장 실정에 맞도록 지보패턴 변경이 쉬워야 함. (너무 경제성 위주로 치우치고 있음) • 지보패턴에 따라 굴진장이 너무 길어 낙반 낙석 사고가 빈번히 발생하고 있음. (너무 경제성 논리 보다는 안정성이 더더욱 중요하다고 판단됨) • 현장 실정에 맞도록 지보패턴과 발파패턴은 분리해야 함. (특히 도심지 또는 민가 인접부는 무엇보다 중요함)

발주기관별로 설계기준상에 서로 상이한 부분들이 있음(통일필요), 현장의 시공여건을 반영한 설계기준 수립(여굴량, 숏크리트, 리바운드율등)
기준이란 목표한 성능을 만족시키기 위한 하나의 가이드라인이지 규제를 하기위한 도구는 아니다. 이러한 기준이 성능이 더 좋은 공법과 재료를 적용함에 있어 걸림돌이 되게 만들어서는 선진화는 어렵다고 본다.
표준설계기준, 표준시방서는 기본적으로 중요 사항 위주로 간략하게 만들거나, 새로운 각종신기술 등은 CODE 화 하여 Data File 화하고, 각 설계자는 각종 공사에 적합한 특별 시방서, 특별 설계기준을 매 사업 마다 설계 CODE등을 준비하여, 발주처의 승인을 받아 실제로 필요한 기준에 따라 설계하고, 적합한 시방에 따라 시공이 이뤄 지도록 하여야 한다. Design Code와 공업규격 CODE의 일원화가 필요하고, 원천적으로 정부가 나서서 표준설계 기준과 시방을 만들 필요는 없다. 각종 설계 기법과 시방 등을 CODE화 하여 Project 별로 알아서 사용하도록 한다. 세계적으로 CODE화 되어 있고, 표준 설계기준, 시방서를 제시하는 곳은 없다, 그러므로 정부가 매번 돈을 들여 새로 개정 할 것이 아니라, CODE화 하여 그 CODE에서 계속 Data File화 하여 새로운 기술도 쉽게 사용하도록 Base 만 깔아 주면 된다. 코드만 잘 관리하여 계속 논증된 신기술을 추가해 주어 Data File 화 해 주면 매년 돈을 들여 기존의 기준을 새로 개정할 필요가 없어 진다.
지속적인 설계기술/시방서 개선을 위해 관련 연구가 계속 이루어져야 하며, 해외 시장 진출을 위해 선진국의 기준/시방/코드를 적극 분석/적용해야 함
건설분야 모든 기준들이 일관성이 있고 지속가능한 유지관리가 되어야 하므로, 코드화는 시급한 상황이며, 한국실정에 맞는 선진화 기준 운영을 위해서는 국내 실정에 맞는 코드값 작성 및 지속적인 개정을 위한 ‘성능중심 설계기준’ 마련을 위한 연구 예산의 지속적인 투입이 필요함. 또한, 각 세부분야별 기준정비와 일관성 유지를 위해서 독립된 통합 건설기준 운영 관리 기관 설립이 필요하며, 일원화된 관리주체를 중심으로 유기적인 건설분야간 기준 상호 검토 및 정비/운영이 필요함.
현재 NATM 도입 이후 우리나라의 터널 설계 개념을 정립하고, 이를 토대로 부족한 내용은 보완하고, 전세계적인 흐름에 맞춰 성능중심의 터널 설계 개념이 도입되어야 함 아울러, 관리주체도 명확한 수요처를 고려하여 상시 답변이 가능하고 내용 보완이 가능하도록 수시 보완 방향이 옳을 것으로 판단됨
터널건설분야(도로,철도) 건설기준의 모호성 해소를 위한 주요기준 제시, 불명확한 기준에 대한 결정지원 단체필요
안정성 위주가 아닌 사용성 위주의 터널성능기준 확립이 필요하며, 설계기준들의 체계가 불명확하고 연계성이 낮은 수준으로 도입되지 않게 포괄적인 항목뿐만 아니라 세부적인 내용전달이 필요함.
비현실적인 설계기준 등을 보완하고 국내기술여건 및 선진화 기술의 파급효과 등을 고려하여 국외기술을 여과없이 답습하지 않도록 해야함

• 정확한 지질조사 및 국내 실험에 의한 지반별 설계 및 보강기준 수립 • 공종별 세부기준 수립 • 장대터널 및 3차로 이상 터널에 대한 별도기준 및 단가산출 재정비
• 발주처 및 공사담당자의 신기술 반영을 위한 노력 • 공기단축을 위한 노력만이 아닌 성능향상에 대한 기술자의 인식변화

4.4 결 론

연구기간 내 총2회의 수요자 설문조사를 실시하였다. 터널 건설기준의 실질적인 수요집단인 설계, 시공, 감리, 발주기관 및 연구기관 전문가 들에게 현재 사용되고 있는 터널관련 건설기준의 문제점들과 향후 개선사항 및 국내 터널 건설기술의 국제 경쟁력 확보를 위한 의견들을 수렴하기 위함이다.

본 설문 조사는 설계, 시공, 감리, 연구 분야에서 1차 총 192명, 2차 총 251명이 응하였으며, 답변자 소속 비율은 1,2차 합하여 설계사가 54%, 시공사가 30%, 발주기관이 10% 등으로 나타났다.

전체적인 설문조사의 내용을 요약하면 설계기관의 응답자는 터널 설계 시 터널 설계기준보다는 발주처의 설계지침에 의한 설계가 독보적인 우위를 보였으나, 시공 및 발주 기관의 경우 대체적으로 설계 도면을 기준으로 한 시공 및 감리가 우위를 보였다.

설계, 시공 및 감리 분야 모두 터널 설계기준과 발주기관 설계기준에 차이점 및 상의한 점이 생길 경우 발주처의 설계지침을 우선 순위에 둔다는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 터널 설계기준과 각 발주처별 설계기준의 내용 우위를 논하기 앞서 현재 설계 및 시공을 하는데 있어 발주처의 요구사항이 우위에 있음을 보여준다.

이렇게 발주기관의 요구사항이 최상위에 존재하는 국내 건설 시스템에서 발주처 관리자의 발주시스템 및 설계기준 개선의지 부족은 국내 터널건설기술의 선진화에 걸림돌이 될 수 있다.

각각의 발주기관별 설계지침도 터널 용도에 따라 그 설계지침이 서로 상충되는 부분이 존재한다. 따라서 설계자 및 시공자가 보다 효율적이고 객관적인 설계 및 시공을 하기 위하여 각 발주처의 설계지침과 터널 설계기준간의 분석 및 개정이 필요하다는 것을 확인할 수 있었으며, 터널설계기준이 기관별 설계지침 중 보편타당한 내용일부를 구체적으로 포함할 것인지 아니면 공종에 따라 기관별 설계지침을 적용 할지 고민 할 필요가 있다고 판단된다.

해외건설공사의 수주가 활발해 지고 이미 선진국들과 버금가는 기술력을 갖추고 있음에도 불구하고 해외의 설계코드를 접해보지 못한 경우가 대부분이며, 선진국에서 이미 활용되고 있는 성능기반 설계법도 국내 기술자들에겐 아직 생소하다.

2차년도 전문가 설문조사 결과 터널 건설기술의 선진화를 위해서는 설계기준의 코드화 및 표준화, 그리고 성능기반 설계법에 의한 설계기준을 마련하는 것이 가장 시급한 과제라 판단된다. 그 외에도 해외코드를 적용시키기 위한 사전홍보와 철저한 교육 수행, 해외건설의 설계단계를 충분히 인식하려는 발부처의 자세 및 국내 발주방식과 건설심의 제도의 선진화 또한 중요한 과제라 하겠다.

5. 연구수행 결과

5.1 국내외 터널 설계 및 시방기준 분석결과 요약

5.1.1 국내 터널설계기준의 특성분석 및 표준화 방안

1) 상위기준인 터널설계기준은 2007년에 개정되었다. 철도설계기준(2011), 철도설계편람(2011), 도로설계편람(2010)은 터널설계기준(2007)을 고려하여 개정을 완료하였고, 도로설계기준(2005)은 터널설계기준을 반영하여 개정중에 있다.
2) 국내 터널설계기준의 문제점을 분석하기 위해 상위기술기준 3종(「터널설계기준」, 「도로 설계기준(터널)」, 「철도 설계기준(노반편)」) 과 하위 기술기준 2종(「도로설계편람(터널)」,「철도설계편람(노반편, 터널)」)을 중심으로 총 5종 기술기준의 목차와 내용을 비교하였다.
3) 국내 터널설계기준중 상위기술기준의 목차는 전체적으로 유사하게 구정되어 있으나, 일부 상세목차가 상이한 것으로 파악 되었으므로 차후 개정 시에는 터널설계기준(2007)과 해외기준 등을 반영하여 수정 보완하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
4) 국내 터널설계기준의 내용을 분석하여 총 78개 항목에 대한 문제점을 도출하였고, 그 개선(표준화) 방안을 요약하면 다음과 같다.
   - 각 기준에 제시된 용어가 상이한 경우에는 터널설계기준(2007)을 참고하여 수정 및 보완이 요망됨
   - 각 기준에 제시된 정량적인 기준(강지보재 설치간격, 격자지보재 재질, 숏크리트 굵은골재, 강섬유보강, 숏크리트 휨 강도, 숏크리트 설계강도, 숏크리트 최소두께, 콘크리트라이닝 피복두께 등)도 터널설계기준(2007)을 참고하여 수정 요망됨 (단, 숏크리트 굵은골재(10mm)등은 터널 시공현장에서 반영하기 어려우므로, 현장적용 유예기간을 제시할 필요성이 있음)
   - 콘크리트라이닝은 설계법, 재료적 특징등에 대한 학술적, 경험적, 그리고 시공성 등을 고려한 재정립이 필요함

5.1.2 국내 터널시방서의 특성분석 및 표준화 방안

국내 시방기준의 문제점 분석 및 대책방안을 도출하기 위하여 터널표준시방서, 철조건설공사 전문시방서, 고속도로공사 전문시방서를 비교 검토하였으며, 검토결과 90개의 항목에 대한 문제점 및 개선(표준화) 방안을 도출하였고, 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 상위 분류 기술 수준인 터널표준시방서에서는 포괄적인 시방기준에 대하여 정립하고, 시방기준에 대한 상세 내용은 발주처와 공사의 특성을 고려하여 하위 분류 기준인 전문시방서에서 기술하는 것이 시방기준의 상이로 인한 혼돈을 방지하고, 체계적이며, 효율적일 것으로 사료됨
2) 국내에서 사용된 터널 시방서는 NATM 도입 당시 작성한 터널시방서와 설계와 시공법의 향상으로 추후에 기술된 터널시방서의 목차와 분류 방식 상이로 인한 설계, 시공관련 기술자들의 혼란을 초래하고 있으므로 체계적 재정비가 필요함
3) 터널관련 국내 시방서의 목차를 분석한 결과, 전체적인 목차는 유사하게 구성되어 있으나, 목차 구성과 그에 따른 내용이 발주처별로 다소 상이한 것으로 파악되었으므로 이에 대한 대책이 필요함
4) 타 시방서에 언급되어 있으나 터널표준시방서에 언급되지 않은 내용은 그 중요성을 고려하여 관련 내용의 추가나 필요 여부를 고려하는 것이 바람직 할 것으로 판단됨
5) 터널표준시방서에 계측의 빈도를 상세하게 기술하는 것이 필요한지 또는 설계 단계에서 지질 및 굴착조건에 따라 계측의 빈도를 결정하는 것이 필요한지에 대한 논의가 필요할 것임
6) 국토교통부 산하 기관의 기준서 이외에 소방방재청, 환경부, 경찰청 등의 타 부처의 기준서와 상충된 부분이 있을 경우, 시공시 현장 기술자들의 혼란 방지를 위하여 추가 분석과 해결 방안이 필요할 것으로 판단됨
7) 터널 지보재 중 숏크리트는 국내 시방서 비교분석 대상이 아니어서 누락되었으나, “콘크리트 표준시방서(2009)”에 관련 내용이 상세히 기술되어 있어 시방서 개정시 추가 검토가 필요할 것으로 사료됨
8) 따라서 각 시방서 특성을 고려하여 터널표준시방서의 목차에 따라 목차 구성을 수정하거나 추가하는 방안에 대하여 의견 수렴을 통하여 수정 보완하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

5.1.3 국외 각국의 터널시공 기준 특성분석

국내 터널관련 설계기준, 시방서 등의 상호분석 혹은 국내 · 외 관련기준의 상호분석에 대한 종합적이고 체계적인 표준화 연구가 전무한 실정에서 영국, 독일, 미국, 일본 등 해외 주요국가의 기준현황과 내용에 대한 분석을 실시하였으며, 향후 국내 설계기준의 표준화 개정 시 참고하거나 반영이 필요한 항목들을 아래와 같이 제안하였다.

1) 5년 내외의 일정한 개정 시기

- 개정시기가 길면 최신기술의 즉각적인 반영에 어려움이 있으나, 충분한 준비기간을 거쳐 완성도 높은 검증된 기준서 개정 가능

2) 터널관련 전문가 및 기관의 의견 수렴(설문조사)

- 터널과 관련하여 발주, 설계, 시공, 유지관리 및 학계, 연구기관 등 다양한 분야의 전문가에 대한 설문조사로, 실제 기준서 사용자의 의견 수렴이 필요함

3) 내용기술의 상세수준

- 최소한의 기준치 제시로 설계 및 시공시 제기술자의 창의적이고 능동적인 사고를 유도하여야 함

4) 국내 터널관련 기준서의 체계적인 표준화 연구

- 주무관청과 관련학회 및 학계의 기준서에 대한 체계적인 표준화 연구를 통해 국내 건설기술의 선진화 및 국제화 노력 필요

5) 지침, 편람, 추천서의 활용증대 및 내용기술의 상세화

- 향후 설계기준과 시방 개정 시에는 큰 틀에서만 관련 기준과 시방을 제시하고, 구체적이고 세부적인 사항들에 대해서는 하위의 지침, 편람, 추천서 등을 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단됨

6) 터널공사 입찰방법과 입찰서등의 표준화

- 유럽에서는 설계·시공 리스크를 고려한 터널 입찰방법에 대해서 중요하게 다루고 있으나, 우리나라에서는 발주처별로 상이한 입찰 및 기준·시방을 제시하고 있는 상황임. 또한, 국제적인 동향에 발맞추어 '지질 및 지반 보고서' 에 대한 지침을 제시할 필요가 있음

5.1.4 터널 방재관련 가이드라인 특성분석 및 표준화 방안

터널방재에 관련하여 분야별 국내 · 외 가이드라인 비교를 토대로 국내 가이드라인들의 누락항목 및 국내 가이드라인 간 내용 상이항목에 대한 내용분석 위주의 검토를 수행하여 다음과 같이 표준화를 위한 필요사항들을 제시 하였다.

1) 터널방재 가이드라인 상하위 체계 확립을 위한 필요사항

- 이원화된 가이드라인 체계에 대한 통폐합 검토(도로터널)
- 터널 분야별 산재된 가이드라인들의 통폐합 필요성 검토(도로, 철도, 지하철 등)

2) 국내 터널방재 가이드라인의 위상 제고를 위한 필요사항

- 가이드라인들 간 항목 용어 및 내용 통일
- 국내 관련기술 발전 및 사회적 요구사항 등을 고려한 주기적 가이드라인 보완
- 구체화된 가이드라인 항목 내용 제시(지하철 터널)

5.2 터널 건설기준 선진화 방안 연구 결과 요약

5.2.1 표준화 및 코드화

1)건설기준 구성체계 및 작성방법 표준화시 고려사항

(1)사용자의 편의성

(2)관리 운영의 용이성

(3)창조적인 발전기술의 포용성

2)터널 건설기준 구성체계의 표준화 방안

(1)구성체계의 표준화

-총칙 우선

-조사

-기존 체계 유지

-신기술 후순

(2)고유 코드번호 제시

-대분류 : 23 ; 터널 설계기준(KDS230000 : 2014)

-중분류 : 10 ; 일반사항(KDS231000 : 2014)

-소분류 : 15 ; 연직갱(KDS233015 : 2014)

4)터널 건설기준 표준 코드집 개발

(1)제시된 터널 건설기준 표준코드체계에 따라 터널 건설기준 표준 코드집 작성

(2)터널 건설기준에 따라 절 내용 구성

5)터널 건설기준 코드집 활용 매뉴얼 작성

(1)터널 건설기준의 표준 코드별 설명, 적용범위, 제외사항 등을 매뉴얼로 작성

5.2.2 성능중심 설계 표준화

본 연구에서는 터널의 설계와 시공과 관련하여 20건의 해외 성능기반 설계표준 현황 및 개발 동향을 조사, 분석함으로써 터널 구조물의 성능기반 설계 표준화 개념 및 특성

을 정립하였다. 터널의 성능기반 설계기준의 개발 대상 및 범위를 설정하여 성능기반 설계기준의 개발 및 접근 방법을 제시하고 성능중심의 건설기술기준 표준화를 위한 작성지침을 개발함으로써 향후 성능중심의 건설기술기준 표준화를 이루는 데에 기초지식을 제공하고, 편의를 제공하는 등 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 이를 통해 향후 터널 구조물의 설계 및 시방 기준에 적용할 성능중심의 건설기술기준을 개발함으로써 터널구조물의 성능향상을 도모하고, 설계 및 시공자의 기술개발을 유도하며, 터널의 유지관리 비용을 포함한 생애주기비용(LCC)을 절감시키는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

5.2.3 IT 및 BIM 기반 미래기술 접목

IT와 3D BIM 기술과 터널 건설기술의 융합에 의한 터널 건설 관리 기술의 향상은 국내 터널건설의 이미지를 제고시키는 계기가 될 것이고 나아가 해외 대형 터널 건설수주의 증가를 가져올 수 있으며 이는 기업의 경쟁력 확대를 넘어서 정부의 경쟁력 우위를 결정하는데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

세계적으로 경쟁 우위에 있는 국내의 IT기술과 매트릭스를 통한 프로젝트 관리 방법은 우리나라가 해외 선진국과 비교하여 국제 경쟁력을 지니고 있으므로, 향후 건설 IT와 매트릭스 기법을 터널 건설에 도입하여 효율성과 생산성을 향상 시킨다면 명실 공히 국제적인 기술력을 확보한 국가 기반 기술로 자리 잡을 수 있을 것이며 기술의 해외수출에도 기여할 수 있을 것이다.

5.3 설문조사 결과 요약

터널의 설계, 시공, 감리 및 유지관리 등의 각계 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 분석결과 설계기관의 응답자는 터널 설계시 터널 설계기준보다는 발주처의 설계지침에 의한 설계가 독보적인 우위를 보였으나, 시공 및 발주 기관의 경우 대체적으로 설계 도면을 기준으로 한 시공 및 감리가 우위를 보였다. 하지만 설계, 시공 및 감리 분야 모두 터널 설계기준과 발주기관 설계기준에 차이점 및 상의한 점이 생길 경우 발주처의 설계지침을 우선 순위에 둔다는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 터널 설계기준과 각 발주처별 설계기준의 내용 우위를 논하기 앞서 현재 설계 및 시공을 하는데 있어 발주처의 요구사항이 우위에 있음을 보여준다.

이렇게 발주기관의 요구사항이 최상위에 존재하는 국내 건설 시스템에서 발주처 관리자의 발

주시스템 및 설계기준 개선의지 부족은 국내 터널건설기술의 선진화에 걸림돌이 될 수 있다.

각각의 발주기관별 설계지침도 터널 용도에 따라 그 설계지침이 서로 상충되는 부분이 존재한다. 따라서 설계자 및 시공자가 보다 효율적이고 객관적인 설계 및 시공을 하기 위하여 각 발주처의 설계지침과 터널 설계기준간의 분석 및 개정이 필요하다는 것을 확인할 수 있었으며, 터널설계기준이 기관별 설계지침 중 보편타당한 내용일부를 구체적으로 포함할 것인지 아니면 공종에 따라 기관별 설계지침을 적용 할지 고민 할 필요가 있다고 판단된다.

해외건설공사의 수주가 활발해 지고 이미 선진국들과 버금가는 기술력을 갖추고 있음에도 불구하고 해외의 설계코드를 접해보지 못한 경우가 대부분이며, 선진국에서 이미 활용되고 있는 성능기반 설계법도 국내 기술자들에겐 아직 생소하다.

2차년도 전문가 설문조사 결과 터널 건설기술의 선진화를 위해서는 설계기준의 코드화 및 표준화, 그리고 성능기반 설계법에 의한 설계기준을 마련하는 것이 가장 시급한 과제라 판단된다. 그 외에도 해외코드를 적용시키기 위한 사전홍보와 철저한 교육 수행, 해외건설의 설계단계를 충분히 인식하려는 발부처의 자세 및 국내 발주방식과 건설심의 제도의 선진화 또한 중요한 과제라 하겠다.

5.4 결언

최근 선진국들은 세계 각국에서 발주되고 있는 터널 건설시장에서의 기술적, 전략적 우위를 확보하기 위해서 국제표준 또는 지역표준을 선점하기 위한 경쟁에 돌입하였다. 따라서 본 연구에서도 이와 같은 대내외적 환경변화에 능동적으로 대처하고, 새로운 터널 건설시장의 창출 및 터널 건설 시스템의 선진화와 경쟁력 강화를 위한 제도적 기반을 마련하기 위하여 국내 터널 건설기준의 현황분석, 문제점 분석 등을 실시하고 관계기관 및 전문가로부터 기술자문 및 의견 수렴을 실시하였다.

또한, 영국, 독일, 노르웨이, 오스트리아, 유럽연합, 미국, 일본 등 터널 선진국의 터널건설기준을 분석한 결과, 최근 유럽의 많은 국가들 사이에 가장 활용도가 높은 건설기준은 영국의 BS 코드를 기반으로 작성된 유로코드로 지반설계를 비롯하여 콘크리트 구조, 강구조, 합성구조 와 내진설계가 체계적으로 정립되어 있으나, 터널과 관련하여서는 직접적으로 별도의 코드로 분류되어 있지 않아, 실제로 터널 관련 건설기준들 중 세계적으로 통용되면서 체계화된 기준은 영국의 터널시방서, 노르웨이의 도로터널 설계가이드, 일본의 터널설계편람 등이었고, 이들의 특성을 분석하여 국내 터널 건설기준에 관한 제반 제도개선과 선진화를 위한 방안을 모색하게 된 것이다.

국내 터널 건설기준을 분석한 결과 설계기준 및 시방서들의 주요 문제점을 아래와 같이 정리할 수 있다.

○ 개별 기준 및 시방서간 중복·상이 및 사용자 불편 초래

- 설계기준 및 시방서가 복잡, 다양해지고 단편적, 산발적으로 개정되면서 기준간 불필요한 중복 및 상이한 내용이 병존
- 사용자가 설계서 작성시 여러 곳에 산재된 기준을 일일이 확인하여 작성해야 하는 번거로움 발생

○ 글로벌 스탠더드와의 연계성 및 녹색성장관련 기준 미흡

- 유로코드 및 ISO 기준의 적용성이 확대되고 있으나 국제기준과 연계 부족
- 단순 사양중심으로 기준이 설정되어 엔지니어의 창의적 설계·시공 활동(VE)에 한계
- 내구성, 안전율 등 공학적 기준 外 녹색성장에 부합하는 기준 미흡

○ 설계기준 관리・운영체계의 비효율성

- 기준 적용상 문제점·개선안에 대한 사용자 의견보다는 발주자 위주로 제·개정되고, 기존 기준정비협의회의 기능 불명확
- 설계기준 제·개정이력 등을 체계적으로 관리하는 DB시스템 부재로 심의위원 지적사항 및 이해관계자들의 민원 반복

이러한 국내 설계기준 및 시방서의 문제점을 보완하고, 추후 개정 시 개선방향을 아래와 같이 제안하였다.

○ 터널공사 설계기준 및 시방서 관리체계의 선진화로 건설ENG 경쟁력 강화의 발판 구축

- USER 중심의 표준화 : 개별 기준간 내용 중복, 상이로 인한 사용상 불편 및 운영상 비효율성 해소 필요
- 해외진출 기반 : 건설ENG의 해외진출 활성화에 도움이 되도록 ISO 등 국제표준을 적극 도입, 분야별 적용 확대 및 연계 필요
- 녹색성장 : 건설분야는 대표적인 온실가스 배출산업으로 설계단계부터 친환경적 개념 도입 필요

○ 터널공사 설계기준 및 시방서의 글로벌 스탠더드화를 위한 기준 정비가 필요함

- 표준 코드화 : EU, 영국, 미국 등 선진국은 시방기준 등을 표준화된 분류코드를 활용하여 관리
- 성능중심 기준: 국제표준화 기구(ISO)는 기술무역장벽을 낮추기 위해 모든 국제

표준을 성능중심 형으로 제정할 것을 권장(각국은 글로벌 스탠더드에 부합하는 새로운 기준을 개발하여 국제기준을 선점하려는 노력 경주)

기존의 국내 터널 건설기준에 적용 되었던 사양 중심의 규정 설계법은 고도 성장기와 같이 단기간에 많은 구조물의 건설이 요구되던 시기에는 일정 수준의 품질 관리를 위한 유용한 설계체계로 그 역할을 충실히 수행 하였다. 그러나 근래의 토목 구조물은 종래에 비해 보다 다양한 기능 수행을 요구 받고 있고, 구조물 축조에 있어서도 많은 사회적 제약이 따르게 되었다. 이러한 사회적 요구는 토목공학의 기술적 발전과 맞물려 토목 구조물이 복잡해지게 되고 이로 인해 획일적인 기준 적용이 어렵게 되었다.

이러한 문제를 해결하고 시대적 변화에 순응하기 위해서 성능 기반 설계의 도입은 필수적이라 할 수 있다. 최근 교통 터널 이외의 다양한 지하 공간 개발이 사회적으로 주목받고 있고 실제로 다양한 기능의 지하공간이 설계 · 시공 단계에 있다는 점을 감안하면 시기적으로 늦은 감도 있다. 하지만 성능 기반 설계법 도입을 위한 선결 과제도 산적해 있다. 이에 본 연구에서는 성능중심 설계법이 필요한 설계항목들을 도출하여 각각의 항목에 대한 목표성능 및 성능중심 설계기준의 개념을 제시하였다. 추후 성능중심 설계항목의 제시에만 그치지 않고, 구체적인 목표성능 및 설계기준을 만들기 위해 각 설계항목의 개별 연구가 필요하며, 지속적인 연구개발을 통해 성능중심 설계기준의 조속한 마련이 시급하다고 판단된다.

터널의 성능 기반 설계의 주 목적은 구조적, 사회적 측면 및 환경적 측면의 견지에서 설계의 자율성을 높이기 위해서 다양한 설계법을 쉽게 도입할 수 있도록 하는 것, 초기 투자비용과 유지관리비용을 종합한 생애주기비용(LCC)가 최소가 되도록 하기 위한 것이다. 이러한 목적을 실현하기 위해서는 우수한 설계법이나 신뢰할 수 있는 설계법의 확립과 정확한 평가시스템의 구축이 필요하다. 또한 시대의 진보와 사회적 인식의 변화에 따라 터널 성능의 내용을 구체화 시키고 다양한 영향 요인을 포괄한 시스템적 평가에 의해 성능 설계의 최적해를 구해야 할 것으로 사료된다.

결론적으로 말하면, 터널 건설기준 선진화를 위해서는 터널 선진국의 건설기준에서 적용하고 있는 표준화, 코드화, 성능중심화, 그리고 IT와 BIM 등의 융합이 반영된 건설기준의 개정이 이루어져야 하는데, 이를 위해서는 발주처인 정부와 실수요자인 설계사와 시공사의 의식전환, 제도개선, 실천의지 등이 일정한 기한을 두고 정해진 로드맵에 따라 단계적으로 적용되어야 한다고 판단된다. 따라서 터널 건설기준 선진화 작업이 성공적으로 완수되기 위해서는 이해 당사자간의 토론과 협의가 있어야하고, 새로운 연구를 통한 성능 규명이 있어야 하며, 이 기준을 일관되게 관리하는 발주부서의 관리감독이 이루어져서 수많은 시행착오를 거쳤을 때 드디어 이루어질 수 있을 것이다.

제3장 연구 목표 달성도 분석 및 연구결과 활용계획

1. 연구목표의 달성도

1.1 연구개발 수행 진도율

1.1.1 1차년도

연차	연구개발목표	개발내용	연 구 개 발 기 간											진도(%)
			9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	
1차년도	국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황분석	자료조사	·····	·····	·····									27
		분류				·····	·····	·····						27
		비교분석							·····	·····	·····	·····	·····	46
	진도율		———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	100
	국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석	자료조사	·····	·····	·····									27
		분류				·····	·····	·····						27
		비교분석							·····	·····	·····	·····	·····	46
	진도율		———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	100
	국내 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출	자료조사	·····	·····	·····									27
		분류				·····	·····	·····						27
		비교분석							·····	·····	·····	·····	·····	46
	진도율		———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	100

· · · · · · · · · · 당초계획

———————— 실 적

1.1.2 2차년도

연차	연구개발목표	개발내용	연 구 개 발 기 간												진도(%)
			8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	
2 차 년 도	국내 설계기준 및 시방서의 표준화 방안 제안	코드설계방안	·····	·····	·····	·····	·····	·····							50
		공법별 세분화 방안							·····	·····	·····	·····	·····	·····	50
	진도율		———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	100
	설계 표준화를 위한 작성지침 제시	표준화 항목 제시	·····	·····	·····	·····	·····								42
		추가 필요 항목 제시						·····	·····						16
		항목의 작성지침 제시								·····	·····	·····	·····	·····	42
	진도율		———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	100
	향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시	미래기술 접목방안	·····	·····	·····	·····									33
		선진 설계기준 적용방향					·····	·····	·····	·····	·····				42
		선진 시방서 적용방향										·····	·····	·····	25
	진도율		———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	100

· · · · · · · · · · 당초계획

———————— 실 적

1.2 연구개발 목표의 달성도

1.2.1 1차년도

연차	목 표	달 성 도 (%)	내 용
1 차 년 도	■ 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석	100	■ 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석 3건 ■ 기술동향 조사 42건
	■ 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석	100	■ 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석 3건 ■ 전문가 의견 반영 2건(설문조사) (설계분야 전문가 1건 + 시공 및 감리분야 전문가 1건)
	■ 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출	100	■ 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출 168건 ■ 수요자 요구반영 2건(설문조사) (설계분야 전문가 1건 + 시공 및 감리분야 전문가 1건) ■ 국내 학술회의 발표논문 1건

1.2.2 2차년도

연차	목 표	달 성 도 (%)	내 용
2 차 년 도	■ 국내 설계기준 및 시방서 등의 표준화 방안 제안	100	■ 국내 설계기준 및 시방서 등의 표준화 방안 제안 5건 -설계기준의 표준화, 시방서의 표준화, 해외기술표준과의 비교를 통한 표준화 방안, 방재가이드라인의 표준화, 성능기반 설계표준화 ■ 선진기술 도입건수 -해외 성능중심 기술표준 분석 19건
	■ 국내 설계기준 및 시방서 등의 표준화 작성지침 제시	100	■ 국내 설계기준 및 시방서 등의 표준화 작성지침 제시 1건 -터널 내부 라이닝의 성능기반 표준화 작성지침 ■ 수요자 만족도 -설문조사 1건 수행
	■ 터널 건설기술 선진화를 위한 추가 연구항목 및 방향 제시	100	■ 터널 건설기술 선진화를 위한 추가연구항목 및 방향 제시 -성능중심 설계항목별 추가 소요연구 17 + IT 및 BIM 기반 미래기술 접목방안 1건 = 18건 ■ 기술수준 향상 효과 -한국터널지하공간학회 내부자문단의 연구결과 검토 결과 기술수준 향상도 89% ■ 국내 학술지 게재논문 4건

2. 연구성과의 활용계획

○ 한국터널지하공간학회 임원진으로 구성된 내부자문회의를 통한 전문가 설문조사 결과 본 연구성과로 인해 현재 터널 건설기술 대비 약 80%의 기술수준 향상이 기대됨을 검증하였다.
⇒ 부록 E. “연구보고서 검토의견서(전문가 설문조사)” 참조)

○ 연구개발 결과는 향후 국가에서 주도하는 설계기준 및 시방서 개정시 결정적인 참고자료가 될 것임.
⇒ “2014년 터널표준시방서 개정”에 1차년도 중간보고서가 이미 활용되고 있음
(부록 C. “2014년 터널표준시방서 개정 의견 조회 및 제출 협조” 공문 참조)

○ 현재 각종 설계기준이 통일되지 않은 채 사용되고 있는 실정에서 실무를 수행하고 있는 필드의 일선 기술자들에게는 매우 유용한 자료로 활용될 것임.

○ 본 연구에서 제시된 성능평가 항목과 건설기술연구원에서 코드화 작업을 수행중인 항목간의 연계를 위하여, 본 연구성과를 공유하고, 일관된 코드화 및 선진화 연구가 완료될 수 있도록 지속적인 교류를 하여야 할 것임.

○ 해외 프로젝트를 추진하거나 수행하고 있는 국내의 터널 기술자들에게 다양한 해외 기준을 제공함으로써 효율적인 업무 추진 기회 제공.

○ 국내 설계기준간 상호 불일치 사항에 대한 비교분석 및 통일화 방안 제시는 향후 기준서 표준화 작업에서 가장 우선시 되어야 하는 작업이며, 다음 단계로 설계기준의 구성체계 및 위상체계의 표준화에 대한 좀더 구체적인 연구가 필요하므로, 금번 연구과제에서 제시된 표준화 방향에 맞추어 지속적인 연구수행이 필요함.

○ 국내기준에서 취약하거나 정립되지 않은 항목에 대해 국외 기준의 적용성을 검토하여 국내여건에 맞는 기준이 확립된다면 선진화된 터널건설기술 확보가 가능할 것으로 판단됨.

○ 연구개발 결과는 국내의 발주기관에서 계획된 각종 설계기준의 개정작업에 제공되어 설계업무를 수행하고 있는 기업에 대하여 기술자 교육, 기술 상담, 기술 지도, 기술 이전, 학술지 발표 등을 적극적으로 실시하여 새로운 일자리를 창출하고 업무의 생산성을 향상시켜 기업의 부가 가치를 높이는데 적극 활용 할 수 있도록 할 계획임.

○ 이미 건축분야에 활용되고 있는 BIM 기술의 터널분야 접목을 위해, 관련 전문업체 및 연구기관과 공동으로 연구를 수행 할수 있도록 기반을 마련할 계획임.

○ 현재 진행중인 건설기술연구원의 TBM핵심기술 개발연구 성과를 반영하여, 향후 이와 연계된 TBM 설계기준 연구를 위한 기반을 마련할 계획임.

부록 A. 1차년도 설문조사

터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구 관련 전문가 설문조사

안녕하십니까? 본 연구의 주관연구책임자 박광준입니다.

이번 설문은 한국건설기술평가원에서 발주한 “터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구” 와 관련하여 현재 **터널 설계, 시공, 감리 및 유지관리 등 전 분야에 걸쳐 관련된 터널설계기준 및 터널표준시방서 상의 문제점을 도출하고 그 개선방향**을 제시하기 위하여 현재 터널실무에 종사하고 계시는 전문가 분들의 의견을 수렴하고자 마련하였습니다.

평소 터널 설계, 시공, 감리 및 유지관리 등의 업무를 수행하면서 느끼신 터널설계기준이나 터널표준시방서 상의 문제점 및 개선사항 등에 대하여 답하여 주시면 감사하겠습니다.

본 설문에 대한 여러분의 답변은 향후 국내 터널설계 및 시방기준 개선을 위한 연구목적 달성에 중요한 자료로 활용될 것입니다.

바쁘신 중에도 본 조사를 위해 귀중한 시간을 할애해 주셔서 진심으로 감사드리며, 무궁한 발전을 기원합니다.

2012년 2월

(주)대정컨설턴트

주관연구책임자 박광준

▶ 다음은 설문응답자의 일반적 사항에 관한 질문입니다.

1. 귀하의 소속기관은 어디입니까?

① 발주기관 ( ) ② 설계사 ( ) ③ 시공사 ( ) ④ 연구기관 ( )

2. 귀하의 주된 업무분야는 무엇입니까? (복수선택가능)

① 도로 ( ) ② 철도 ( ) ③ 지하철 ( )
④ 수로 ( ) ⑤ 전력구 ( ) ⑥ 기타 ( )

3. 귀하의 주된 담당업무는 무엇입니까? (복수선택가능)

① 감독 ( ) ② 설계 ( ) ③ 시공 ( )
④ 감리 ( ) ⑤ 유지관리 ( ) ⑥ 기타 ( )

4. 귀하의 해당업무 근무 기간은 몇 년입니까?

① 1년~5년 ( ) ② 6년~10년 ( )
③ 11년~20년 ( ) ④ 21년 이상 ( )

5. 귀하는 최근에 개정된 터널설계기준(2007,국토해양부)이나 터널표준시방서(2009,국토해양부)를 읽어보신 적이 있읍니까?

① 읽었음 ( ) ② 안 읽었음 ( ) ③ 일부 읽었음 ( )

6. 국내의 터널설계기준과 표준시방서는 5~10년 간격으로 필요시 개정을 실시하고 있습니다. 귀하께서 생각하시는 적정 개정시기는 무엇입니까?

① 3년 ( ) ② 5년 ( ) ③ 7년 ( ) ④ 필요시 ( )

▶ 아래 질문에 대하여 해당 항목에 표시해 주시거나 기술해 주시면 감사하겠습니다.

< 터널 설계 분야 >

1. 귀하가 참여하는 터널설계분야는 어디입니까? (복수선택가능)

① 도로터널 ( ) ② 철도/지하철 터널 ( )
③ 수로터널 ( ) ④ 전력구/공동구/기타 터널 ( )

2. 터널 설계시 가장 활용빈도가 많은 설계기준은 무었입니까?

① 터널설계기준 ( ) ② 각 기관의 설계지침 ( )
③ 감독자의 지시 ( ) ④ 본인의 경험 ( )

3. 터널 설계시 터널설계기준과 발주기관의 설계지침이 상이한 적이 있으십니까?

① 있다 ( ) ② 없다 ( )

4. 터널 설계시 터널설계기준과 발주기관의 설계지침이 상이했을 때는 무엇을 따릅니까?

① 터널설계기준 ( ) ② 발주처의 설계지침 ( )

5. 터널 설계시 터널설계기준과 발주기관의 설계지침이 상이한 것은 어떤 것들이 있습니까? 구체적으로 기술해 주십시오.

(
)

6. 현재 터널설계기준의 가장 심각한 문제점은 무엇이라고 생각하십니까?

① 타 기준과 중복, 상충으로 혼선 초래 ( )
② 국제기술 연계 부족 ( )
③ 현장 실무자 의견의 미반영 ( )
④ 사양중심이라 창의성 제한 ( )
⑤ 신기술 대응 미흡 ( )
⑥ 기타 ( )

7. 터널 건설기술 선진화를 위해서 국내 터널설계기준에 가장 우선하여 반영하여야 할 사항은 무엇입니까?

① 성능 중심 설계기준 반영 ( )
② 설계의 표준화된 코드체계 수립 ( )
③ 신기술, 신소재의 신속한 반영 체계 수립 ( )
④ 저탄소, 녹색성장 기술 및 미래 기술(IT,BIM) 반영 ( )
⑤ 신뢰도기반의 한계상태설계법 반영 ( )
⑥ 기타 ( )

8. 터널 설계를 위한 설계기준과 관련하여 문제점 및 개선 사항 등 건의하실 사항이 있으면 기술해 주십시오.

( )

< 터널 시공 및 감리 분야 >

1. 귀하가 참여한 터널 시공 및 감리분야는 다음 어디에 해당됩니까?

① 도로터널 ( ) ② 철도/지하철터널 ( ) ③ 수로터널 ( )
④ 전력구 ( ) ⑤ 지하공간 ( ) ⑥ 기타 ( )

2. 터널 시공은 다음 중 무엇에 준하여 수행하십니까?

① 터널표준시방서 ( ) ② 터널전문시방서 ( )
③ 설계도면 ( ) ④ 발주처의견 ( )

3. 터널표준시방서와 발주처 전문시방서의 내용이 상이하였을 경우에는 무엇에 따라 공사를 수행하십니까?

① 터널표준시방서 ( )
② 발주처의 전문시방서 ( )

4. 터널 시공중 설계내용이 시방기준에 불일치하여 설계변경을 한 적이 있으십니까?

① 전혀 없다 ( ) ② 약간 있다 ( )
③ 많다 ( ) ④ 매우 많다 ( )

5. 국내의 터널 시공 능력은 해외 경쟁국들과 비교했을 때 어느 정도라고 생각하십니까?

① 떨어진다 ( ) ② 동등하다 ( )
③ 약간 높다 ( ) ④ 매우 높다 ( )

6. 해외 터널공사 수주에 나섰을 때 걸림돌이 되는 사항이라고 생각되는 항목은 무엇입니까?

① 국제 경험 부족 ( )
② 엄격한 시방기준 ( )
③ 시공 능력 부족 ( )
④ 기타 의견 ( )

7. 현행 터널공사 또는 감리업무 수행시 터널 시방서의 내용과 관련하여 문제점 및 개선 사항 등 건의하실 내용이 있으시면 기술해 주십시오.

(

)

- 설문에 응해주셔서 감사합니다. -

※ 작성하신 설문지는 2012년 2월 29일(수)까지 아래 주소로 우편, 팩스 또는 E-mail로 보내주시면 감사하겠습니다.

▷ 주소 : 경기도 안양시 동안구 평촌동 612-1
(주)대정컨설턴트 기술연구소
▷ Fax : 031-478-4350
▷ E-mail : fineten@djenc.co.kr
▷ 문의전화 : 031-478-4369 양호열 과장

부록 B. 2차년도 설문조사

터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구

제2차 전문가 설문조사

안녕하십니까? 본 연구의 주관연구책임자 박광준입니다.

이번 설문은 지난번 1차 설문조사에서 수행한 터널설계기준 및 터널표준시방서 상의 문제점 도출과 그 개선방향과 관련한 설문조사에 이어 현재 연구 중인 **터널건설기술 선진화를 위한 핵심 분야인 건설기준의 표준화와 코드화, 성능 중심의 기준, 그리고 세계화와 개방화** 등에 관하여 터널 실무에 종사하고 계시는 전문가 분들의 고견을 듣고자 합니다.

본 설문에 대한 여러분의 답변은 향후 국내 터널기술의 선진화를 위한 연구목적 달성에 중요한 자료로 활용될 것입니다.

바쁘신 중에도 본 조사를 위해 귀중한 시간을 할애해 주셔서 진심으로 감사드리며, 무궁한 발전을 기원합니다.

2013년 6월

(주)대정컨설턴트

주관연구책임자 박광준

▶ 다음은 설문응답자의 일반적 사항에 관한 질문입니다.

1. 귀하의 소속기관은 어디입니까?

①발주기관 ( ) ②설계사 ( ) ③시공사 ( ) ④연구기관 ( )

2. 귀하의 주된 업무분야는 무엇입니까?(복수선택가능)

①도로 ( ) ②철도 ( ) ③지하철 ( ) ④수로 ( )
⑤전력구 ( ) ⑥기타 ( )

3. 귀하의 주된 담당업무는 무엇입니까?(복수선택가능)

①감독 ( ) ②설계 ( ) ③시공 ( ) ④감리 ( )
⑤유지관리 ( ) ⑥기타 ( )

4. 귀하의 해당업무 근무 기간은 몇 년입니까?

①1년-5년 ( ) ②6년-10년 ( ) ③11년-20년 ( ) ④21년이상 ( )

5. 귀하는 최근에 해외공사에서 BS코드, 유로코드, ISO 등의 해외 코드를 사용한 경험이 있습니까?

①있음 ( ) ②없음 ( ) ③다른 코드 사용하였음 ( )

▶ 아래 질문에 대하여 해당 항목에 표시해 주시거나 기술해 주시면 감사하겠습니다.

1. 2016년부터 국내의 모든 건설 관련 기준서들이 유로코드처럼 코드화될 계획입니다. 귀하가 생각하기에 시기가 적절하다고 생각하십니까?

① 적절하다 ( ) ② 빠르다 ( )
③ 늦었다 ( )

2. 만약 적용시기의 유예기간이 필요하다면 얼마가 적절하다고 생각하십니까?

① 1년 ( ) ② 2년 ( )
③ 3년 ( ) ④ 5년 ( )

3. 터널 건설기준의 선진화를 위해서 필요한 가장 핵심 항목은 무엇이라고 생각하십니까?

① 표준화 및 코드화 ( ) ② 성능 중심 기준 ( )
③ 세계화 및 개방화 ( )

4. 성능기반 설계법의 기본 개념을 이해하고 계십니까?

① 전혀 모른다 ( ) ② 약간 이해한다 ( )
③ 중간정도 이해한다. ( ) ④ 완전히 이해한다 ( )

5. 성능기반 설계법으로 전환시 가장 중요한 핵심은 무엇이라고 생각하십니까?

① 내구연한 성능 유지 ( ) ② 내구연한 안전성 유지 ( )
③ 내구연한 경제성 확보 ( ) ④ 내구연한 유지관리 ( )

6. 1차 지보재의 설계 내구 수명은 몇 년이 적합하다고 생각 하십니까?

① 10년 ( ) ② 30년 ( )
③ 50년 ( ) ④ 100년 ( )

7. 콘크리트 라이닝의 설계 내구 수명은 몇 년이 적합하다고 생각하십니까?

① 10년 ( ) ② 30년 ( )
③ 50년 ( ) ④ 100년 ( )

8. 터널내 전기, 기계 설비의 설계 내구 수명은 몇 년이 적합하다고 생각 하십니까?

① 10년 ( ) ② 30년 ( )
③ 50년 ( ) ④ 100년 ( )

9. 터널 건설기준의 관리주체는 국토교통부입니다. 별도의 상설 관리 전담 대행기구를 설립하는 것에 찬성하십니까?

① 찬성한다. ( ) ② 반대한다. ( )
③ 모르겠다. ( )

10. 별도의 상설 전담기구를 둔다면 기존의 어느 기구 속에 두는 것이 바람직하다고 생각 하십니까?

① 정부기구내 ( ) ② 유관학회 ( )
③ 대학교 ( ) ④ 유관협회 ( )

11. 터널 건설기준의 적절한 개정시기는?

① 필요시 상시 ( ) ② 3년 ( )
③ 5년 ( ) ④ 7년 ( )

12. 현재 터널건설기준의 선진화를 하는데 가장 걸림돌이 될 것으로 생각되는 문제점은 무엇이라고 생각하십니까?

① 발주처 관리자의 개선 의지 부족 ( )
② 국내 기술력 부족 ( )
③ 현장 실무자의 교육 부족 ( )
④ 성능중심의 기준 연구 미흡 ( )
⑤ 타 기준과의 형평성 미흡 ( )
⑥ 기타 ( )

13. 터널 건설기술 선진화를 위해서 가장 우선하여 반영하여야 할 사항은 무엇입니까?

① 성능 중심 설계기준 반영 ( )
② 설계의 표준화된 코드체계 수립 ( )
③ 신기술, 신공법, 신소재 등의 신속한 반영 체계 수립 ( )
④ 저탄소 녹색성장 기술 및 미래 융복합 기술(IT,BIM) 반영 ( )
⑤ 신뢰도기반의 한계상태설계법 반영 ( )
⑥ 기타 ( )

14. 터널 건설기준의 선진화와 관련하여 문제점 및 개선 사항 등 건의하실 사항이 있으면 기술해 주십시오.

(

)

- 설문에 응해주셔서 감사합니다. -

※ 작성하신 설문지는 **2013년 4월 24일(월)**까지 아래 주소로 우편, 팩스 또는 E-mail로 보내주시면 감사하겠습니다.

▷ 주소 : 경기도 안양시 동안구 평촌동 126-1 두산벤처다임 603호
(주)대정컨설턴트 기술연구소
▷ Fax : 031-478-4350
▷ E-mail : tkdqjs@djenc.co.kr
▷ 문의전화 : 031-478-4369 윤경렬 과장

부록 C. “2014년 터널표준시방서 개정 의견 조회 및 제출 협조” 공문

사 단 법 인 한 국 터 널 지 하 공 간 학 회

137-728 / 서울시 서초구 서초동 1445-3 국제전자센터 1411호 /전화(02)3465-3663,3665/전송(02)3465-3666

문서번호 : 한터학 제 2013- 119호
시행일자 : 2013. 06. 26.
경 유 :
수 신 : ㈜대정컨설턴트 박광준 사장
참 조 :

선람			지시		
접수	일 자 시간		결재 . 공람		
	번호				
처리과					
담당자					

제 목 : 2014년 터널표준시방서 개정 의견 조회 및 제출 협조

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 한국터널지하공간학회에서 국토교통부로부터 위탁으로 수행중인 “2014년 터널표준시방서 개정”과 관련하여 귀 기관의 개정의견을 반영하고자 하오니 다음과 협조하여 주시기 바랍니다.

- 다 음 -

가. 목 적 : 2014년 터널표준시방서 개정(주관 : 국토교통부)시 반영
나. 의견제출 기간 : 2013년 6월 17일(월)~ 7월 19일(금)
다. 접수방법 : 이메일(krtna@chol.com)송부, 우편발송
라. 기타사항 : 터널표준시방서 개정완료 예정(2014년 5월)

붙임 : 개정의견 1부.끝.

사단법인 한국터널지하공간학회
회 장 이 상 덕

부록 D. 한국터널지하공간학회 내부자문회의 관련 공문

주식회사 대정컨설턴트

㉾ 431-070 경기도 안양시 동안구 평촌동 126-1번지 두산벤처다임 602호 / TEL:(031)478-4660 / FAX:(031)478-4667

문서번호 대정 제 013-107 호

시행일자 2013. 06. 20

수 신 한국터널지하공간학회장

참 조

선결			지시		
접수	일자 시간		결재·공람		
	번호				
처리과					
담당자					

제 목 R&D정책인프라사업(기술표준화분야) 내부자문위원 추천 요청

1. 귀 학회의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 본 사에서 주관연구기관으로 수행하고 있는 국토교통과학기술진흥원의 R&D정책인프라사업(기술표준화분야) 연구과제인 『터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구』와 관련하여 다음과 같이 내부자문위원을 위촉하고자 하오니 귀 학회의 전문가 추천을 요청합니다.

- 다 음 -

가. 터널의 설계 및 시공과 관련하여 산·학·연 각 분야의 전문가로 구성 요청 끝.

주식회사 대정컨설턴트 대표이사

사 단 법 인 한 국 터 널 지 하 공 간 학 회

우 137-728 / 서울시 서초구 서초동 1445-3 국제전자센터 1411호 /전화(02)3465-3663/3665/전송(02)3465-3666

문서번호 : 한터지학 제2013- 109호
시행일자 : 2013. 06. 20.
경 유 :
수 신 : ㈜대정컨설턴트 대표이사
참 조 :

선람			지시		
접수	일자 시간		결재 · 공람		
	번호				
처리과					
담당자					

제 목 : R&D정책인프라사업(기술표준화분야) 내부자문위원 추천 요청 회신

1. 귀 사의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 귀 사에서 요청하신 **"R&D정책인프라사업(기술표준화분야) 내부자문위원 추천 요청 (대전제013-107호, 2013.06.20.)"** 관련으로 아래와 같이 명단을 보내드리오니 참조하여 주시기 바랍니다.

- 아 래 -

소속기관	소속부서	직급	성명
호서대학교	토목공학과	교수	김상환
성균관대학교	사회환경시스템공학과	교수	유충식
건국대학교	토목공학과	교수	신종호
수원대학교	토목공학과	교수	유광호
한국건설기술연구원	GEO-인프라연구실	연구위원	이성원
한국철도기술연구원	신교통인프라연구실	책임연구원	사공명
서울특별시	도시철도설계부	과장	한동근
㈜대정컨설턴트		사장	최덕찬
㈜에스코컨설턴트		사장	황제돈
㈜단우기술단		사장	추석연

"끝"

사단법인 한국터널지하공간학회
회 장 이 상 덕

주식회사 대정컨설턴트

㉾ 431-070 경기도 안양시 동안구 평촌동 126-1번지 두산벤처다임 603호 / TEL:(031)478-4660 / FAX:(031)478-4667

문서번호 대정 제 013-110 호

시행일자 2013. 06. 21

수 신 수신자 참조

참 조

선결			지시		
접수	일자 시간		결재·공람		
	번호				
처리과					
담당자					

제 목 R&D정책인프라사업(기술표준화분야) 내부자문회의 협조 요청

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 본 사에서는 국토교통과학기술진흥원의 R&D정책인프라사업(기술표준화분야) 연구과제인 『터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구』를 주관연구기관으로써 수행하고 있습니다.

3. 이와 관련하여 본 과제의 내부자문위원으로 위촉하고자 하는 터널분야의 산·학·연 전문가를 한국터널지하공간학회에 요청하여 다음과 같이 귀 기관의 전문가들을 추천 받은 바(한터지학 제2013-109호, 2013.06.20), 본 과제의 성공적인 수행을 위하여 해당 전문가들의 내부자문위원 위촉을 승인하여 주시기 바랍니다.

4. 아울러 다음과 같이 자문회의를 개최 할 예정이오니 내부자문위원들의 참석을 승인하여 주시기 바랍니다.

- 다 음 -

가. 자문위원 명단

소속기관	소속부서	직 급	성 명
호서대학교	토목공학과	교수	김상환
성균관대학교	사회환경시스템공학과	교수	유충식
건국대학교	토목공학과	교수	신종호
수원대학교	토목공학과	교수	유광호
한국건설기술연구원	GEO-인프라연구실	연구위원	이성원
한국철도기술연구원	신교통인프라연구실	책임연구원	사공명
서울특별시	도시철도설계부	과장	한동근
(주)대정컨설턴트		사장	최덕찬
(주)에스코컨설턴트		사장	황제돈
(주)단우기술단		사장	추석연

주식회사 대정컨설턴트

㉾ 431-070 경기도 안양시 동안구 평촌동 126-1번지 두산벤처다임 603호 / TEL:(031)478-4660 / FAX:(031)478-4667

문서번호 대정 제 013-110 호

시행일자 2013. 06. 21

수 신 수신자 참조

참 조

선결			지시		
접수	일자 시간		결재·공람		
	번호				
처리과					
담당자					

제 목 R&D정책인프라사업(기술표준화분야) 내부자문회의 협조 요청

나. 자문회의 개최

1. 일시 : 2013년 7월 2일(화) 오후 5시
2. 장소 : 한국터널지하공간학회 회의실
3. 안건 : R&D정책인프라사업 최종보고서(안) 검토 및 향후 연구과제 도출

다. 붙 임 : 1. 내부자문위원 추천 요청 공문(대정 제013-107호, 2013.06.20)
2. 내부자문위원 추천 공문(한터지학 제2013-109호, 2013.06.20)

라. 수신자 : 호서대학교 토목공학과, 성균관대학교 사회환경시스템공학과, 건국대학교 토목공학과, 수원대학교 토목공학과, 한국건설기술연구원장, 한국철도기술연구원장, 서울특별시 도시기반시설본부장, (주)대정컨설턴트 대표이사, (주)에스코컨설턴트 대표이사, (주)단우기술단 대표이사

주식회사 대정컨설턴트 대표이사

부록 E. 연구보고서 검토의견서(전문가 설문조사)

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013 년 7월 2일		
성 명	신 종 호 (서명)		
소 속 기 관	건국대 토목과	직 급	교 수

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석

▸ **주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석**
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	**1) 국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석** 관련 자료조사가 충분하며 그간의 제, 계정현황을 항목별로 적절히 분석한 것으로 평가됨 **2) 국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석** 비교대상 해외기준 및 시방서의 수집 및 참고가 충분하였으며(약 8개국) 특히 기준의 근간이 되는 영국 및 북유럽자료를 충분히 분석하였음 외국에 비해 우리의 기준 및 시방에 대한 전체 Framework 방향을 어떻게 설정할 것인지에 대한 분명한 논점 강조 바람직. 기준 or 시방, 국가 vs 학회(또는 협회) 등의 주관 관점분석 바람직
세부목표 달성도(%)	99%

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석

▸ **주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증**
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	**1) 국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증** 구체적으로 항목비교분석을 하였음. 분석자체로가 훌륭함 **2) 관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석** 개별항목 비교를 통한 누락사항 분석 우수함 누락사항분석에 있어 정성적, 정량적 사항을 구분하여 세계적인 코드화의 추세를 기반으로 우리의 연구방향을 보완 설정할 필요가 있음.
세부목표 달성도(%)	98%

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ **주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석**
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	**1) 설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석** 이미 상위설계단계에서 검토확정된 것으로 인정하여 현실적으로 기준이나 시방이 현장에서 보편적으로 활용되고 있지 않으므로 기준과 시방이 현장의 활용도에 미치지 못함은 적절한 분석임 **2) 국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석** 항목비교, 누락상항 비교, 세계적 추세 등의 분석에 기반하여 검토하였으며 국내적용에 대한 문제점 분석은 적절함 현재의 기준과 시방을 최소한 압축하고 외국 시방서가 채택하고 있지 않는 내용은 과감한 축소가 필요하고, 우리가 도입하지 않은 정량기준은 인용하는 방안도 적극 검토할 필요가 있음
세부목표 달성도(%)	95%

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ **주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안**
-공법별 세분화 방안

검토 의견	**1) 설계의 CODE화 방안** 성능중심을 지향하는 것이 매우 타당하다고 판단됨. 성능기준이 세계적 추세임으로 해외시장 창출을 위해서라도 세계적 추세에 부응하고 창의적 기술활용이 가능하도록 하는 방향설정은 타당함 **2) 공법별 세분화 방안** 코드화를 할 경우 공법별 세분화가 당연할 것이나, 공법은 재료문제를 제외하고 기준이나 시방서보다는 이 이하의 수준으로 별도의 가이드라인을 운영하는 것이 코드화 취지에 부합함 코드화에 대한 반대 입장도 상당함을 고려할 때, 코드화를 하려면 구체성(일레로 정량기준)있게 하여야 하나, 코드화할 항목은 최소화하여 기술의 응용 및 확장가능성을 저해하지 않아야 함
세부목표 달성도(%)	96%

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시

▸ **주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시**
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	**1) 표준화(통일)가 필요한 항목 제시** 표준화항목비교 세부적으로 이루어 졌고, 항목선정이 적절함 **2) 추가 기술이 필요한 항목 제시** 다수의 기준 및 시방서의 분석으로부터 항목이 도출되어 적절하게 제시된 것으로 판단됨
세부목표 달성도(%)	98%

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시

▸ **주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안**
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	**1) IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안** 좋은 시도이나 규정하는 순간 신기술의 접목을 막는 걸림돌이 코드화의 문제이므로 그 파급형향을 충분히 조사하여 반영필요 **2) 선진 설계기준의 적용방향 제시** 항목별 문제점 도출 적정하며 개선방향도 충분한 검토를 통해 도출된 것으로 판단됨 기준과 시방서를 통해 기술선진화를 포괄적으로 이루어 갈 수는 없음. 시방과 기준은 어디까지나 안정성과 사용성에 기반한 일정수준의 품질확보에 있음. 따라서 건설기준의 선진화는 건설시스템을 선진국형으로 전환하는 노력, 예로 설계사의 현장 확정설계활동, 기술자 트레이닝 등의 시스템이 전제되어야 하므로 이 부분에 대한 포괄적 제안 검토
세부목표 달성도(%)	95%

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

터널기술의 원류인 유럽 및 북미의 자료를 충분히 분석 검토하여 방향을 설정하였고, 이에 기반하여 개별문제점 도출 및 연구방향과 향후 발전계획을 수립하였음. 따라서 연구의 전 과정에 걸쳐 절차, 방법, 결론 도출과정이 매우 우수한 것으로 평가되며, 특히 첨단기술의 시방기준 접목은 매우 창의적인 시도라 할 수 있음

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

본 기획연구에서 도출된 추가연구의 수행 및 기준과 시방의 개정은
- 기술적 측면에서는 새로운 기술의 창출하고, 해외시장 진출의 교두보를 마련한다는 의미가 있음
- 사회적으로는 안전과 품질이 강화되어 건설에 대한 신뢰를 증진시킴
- 경제적으로는 기술의 창의적 활용에 따른 경비절감과 사고감소 및 민원성 사회적 경비를 줄이는 효과를 거양할 것임

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(85)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013 년 7 월 2 일		
성 명	유 광 호 (서명)		
소 속 기 관	수원대학교	직 급	교 수

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석

▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	국내 터널표준시방서 및 터널설계기준의 제·개정 경위가 상세히 일목요연하게 정리되었음. 일본, 미국, 영국 등의 국외기준의 내용 및 현황도 잘 정리되었음. 또한 국내·외 설계기준 및 시방서의 활용분야 등이 상세히 서술되었음. 특히, 일본의 터널표준시방서의 경우도 우리나라와 비슷하게 발주자 보다 수주자가 더 많이 활용하고 있는 것으로 나타남.
세부목표 달성도(%)	80

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석

▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	국내설계기준들이 설계기준과 편람을 중심으로 하고, 터널, 도로 및 철도 시설물을 대상으로 하여 항목별로 잘 비교 정리되었고, 누락항목들이 꼼꼼히 제시되었음.
세부목표 달성도(%)	85

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ 주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	비교 검토를 통해 국내 터널설계기준의 경우는 78개 항목, 국내 시방서의 경우는 90개의 항목에 대한 문제점을 발견하고 개선방향을 도출하였음. 15건의 국외 기준 및 시방서가 비교 검토를 통해 주요 특징들이 정리되고, 국내 기준으로 도입 가능한 항목들이 도출되고 그 것의 타당성과 적용성이 검토되었음. 특히, 영국의 시방서 경우 현장여건에 따라 설계와 시공 방향을 엔지니어가 창의적이고 능동적으로 결정하도록 유도하고 있음. 또한, 독일 기준서의 경우는 터널공사 계약과 리스크 분배에 대한 권고사항을 포함하고 있어 엔지니어의 권익을 어느 정도 보호하고 있음. 따라서 이러한 취지를 국내 관련 기준서를 개정할 때 십분 반영하고, 계약 및 리스크 sharing 부분을 포함시켰으면 좋겠음.
세부목표 달성도(%)	80

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ 주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안
-공법별 세분화 방안

검토 의견	터널 건설기준 선진화를 위한 추진전략의 일환으로 터널 건설기준의 표준화 및 code화가 필수불가결한 사항임. 더불어 성능기반 설계로의 전환이 이루어지고 있음. 이를 위해 표준화 및 코드화의 연구추진방법, 추진전략 및 해외 표준화 현황 등이 소개됨. 하지만, 구체적인 표준화 방안이 제시되지는 못했음. 따라서 주무관청과 관련 학회 및 학계의 체계적인 표준화 연구(설계의 code화 연구 등)를 통해 터널 관련 기준을 지속적으로 국제화시킬 필요가 있음.
세부목표 달성도(%)	70

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시

▸ 주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	설계 표준화를 위한 작성지침 제시를 위해 성능기반 터널설계를 도입해야 한다는 데에는 전적으로 동의함. 성능기반 터널 건설기준 작성을 위해 성능기반 터널 설계의 정의, 평가지수, 설계 항목, 국내 터널 건설기준의 현황 및 개선방향을 제시하였음. 또한 국외 터널공사의 성능기준 현황을 조사하고, 19개의 성능중심 설계 항목을 선진화 방안과 함께 서술하였고, 예시로서 터널 내부 라이닝의 성능기반 설계 지침서를 예시하였음.
세부목표 달성도(%)	80

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시

▸ 주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향이 잘 정리되었으며, 선진화 기술 개발 방안으로 BIM 및 IT 기술의 개발이 요구된다고 한 점에 적극 동의함. 특히 BIM을 설계단계에서부터 적용하고, 가능하면 Reliablity based Design이 접목되도록 했으면 좋겠음. 예를 들면, 터널 의사결정체계인 DAT(Decision Aids for Tunneling) 등을 활용하면 좋을 것 같음. 또한, 굴진면 관찰(face mapping)이 시공중 매우 중요하나, 현실적으로 현장여건상 꼼꼼히 수행되기 어려운 점이 있으므로, 이를 대체할 수 있는 IT 기술 개발(예, 사진 측정을 통한 영상판독기술 등)이 필요할 것으로 판단됨.
세부목표 달성도(%)	85

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

국내외 터널 관련 기준 및 시방서를 꼼꼼히 비교 분석하고, 국제적인 개정 추이를 판단하였으며, 향 후 국내 기준서들의 개정 방향 및 추가해야 할 사항들을 객관적으로 도출하였음에 본 연구의 우수성이 높다고 판단됨.

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

직접적으로는 향 후 성능중심의 터널 관련 시방서 및 설계기준을 개정함에 있어 지대한 영향을 줄 것으로 기대고, 간접적으로는 향 후 건설 시장의 국제화에 발맞추어 국제 터널공사 수주에도 좋은 영향을 미칠 것으로 판단됨. 또한 터널 구조물의 성능향상을 도모하고, 터널 유지관리 비용을 포함한 생애주기비용을 절감시킬 수 있을 것으로 기대됨.

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(90)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013 년 7월 5 일		
성 명	한 동 근 (서명)		
소 속 기 관	서울시도시기반시설본부	직 급	시설5급

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석
‣ 주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	○ 터널분야 설계기준과 시방서는 그동안 시설물을 구축 또는 유지관리하는 기관에서 독자적으로 작성하여 사용함으로서 발주기관별로 다소 차이가 있으며, 설계자는 발주자에 따라 상이하게 기준을 적용하였으므로 원지반을 이용하여 시설물을 구축하는 터널에 대한 우리 실정에 적합한 기준마련이 필요함. ○ 국내 터널의 설계 실적 및 시공은 철도, 도로, 수자원 등 용도에 따라 기관별 특성에 적합한 기준, 시방서, 지침, 편람, 요령 및 매뉴얼을 작성하여 활용 하였음 ○ 다양한 기준과 시방서가 있으나 실제 활용도는 설계자를 제외 하고는 실제 적용하고 활용하여야 하는 발주처, 시공사와 현장 기능공은 설계 기준과 시방서에 대한 인지도가 낮은 실정임. ※ 외국의 경우 시방서를 즉시 활용할수 있도록 방수 포지의 포켓판으로 제작하여 작업복 상하의에 휴대 가능토록하여 현장에서도 활용하고 있음 ○ 정밀 시공과 도심지 굴착으로 인하여 기계화 시공이 세계적인 추세이나 대단면 터널을 구축함에 있어 기준이 미흡하므로 개정이 필요함
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석

‣ 주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	○ 터널 기술 선진화를 위하여 현행 설계기준과 시방 기준 분석을 하면서 많은 해외 사례를 비교 분석하여 각 설계기준과 시방서의 차이점을 기술한 것은 타당하다고 사료됨 - 그러나 실제 터널은 지상에서 약 100m 간격의 터널 인접 구간에서의 보링과 공사중 선진 보링에 대한 터널 굴진위한 지반 상태를 예측할수 있으나 불확실성이 많은 지반상황을 고려한 설계 시공을 하는 것은 불가능 하므로 기본계획과 설계, 시공단계에서 Risk를 분담할수 있는 방안을 설계 기준에 추가할 필요성이 있음 ○ 국내 도심지 터널은 대부분 지하수위 이하에 건설되므로 건설이후 발생되는 지하수위 감소 등에 대한 영향과 운영중 유지관리에 대한 기준이 다소 미흡 하므로 터널 하부와 측면에 설치되는 배수로에 대한 추가 분석 필요 - 특히 지하수 감소는 주민 실 생활 및 환경분야와 직접 연관되는 사안이므로 지하수위 감소를 최소화 할수 있는 설계 방안을 공사중에 데이터를 활용하여 최소화 할 수 있는 기준 보완 필요 ○ Face-Mapping은 관련 분야 전문가(지질분야등)가 하여야 함에도 경험없는 시공사 직원이 수행하고 그 결과에 대하여도 직접 관여하는 현장기술자가 없어 자료 관리 및 활용이 않되고 있는 실정이므로 - 발주 단계에서부터 Face-Mapping관리할 수 있는 경험있는 기술자가 상주하고 관리 할 수 있는 설계기준 및 시방서 보완 필요
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ 주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	○ 설계 기준에 개착터널편을 기술 하였는 바, 개착터널은 원지반 활용이 아닌 가시설에 의한 굴착후 콘크리트 설계 기준을 적용하므로 설계 접근 방식이 상이하여 자재, 시공방법, 관리방법 등이 완전히 상이하므로 원지반을 굴착하는 터널편만 기술하는 것이 타당할 것으로 사료됨 ○ 시설물 설치·관리 부서별로 다양한 설계기준과 시방서를 작성하고 있으나 실제 설계·시공을 하면서는 활용도가 저조하므로 설계기준을 현 분석 연구를 토대로 하면서 BS EURO CODE와 같이 최소한의 규정만 기술하고 사업별로 지반·지질에 적합한 공법과 공사중 계측을 활용한 상황별 대처가 가능하도록 하는 것이 타당할 것으로 사료 됨 ○ 그동안 수행한 분석 연구와 달리 많은 국외 설계기준 및 시방서를 비교분석 한 것은 연구진들의 노력으로 이루어진 것이므로 현 단계에서 차기에 Upgrade 방향만 제시하여 적용하는 것이 타당하다고 사료 됨
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ 주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안
-공법별 세분화 방안

검토 의견	○ 성능 중심의 설계기준과 시방서 도입을 위하여 설계 CODE化는 조기에 정착하여야 하며 개착터널과 터널(기계화 포함) 공법은 지반 조건과 지보조건, 재료 등이 상이하므로 구분 기술이 필요 함
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시
‣ 주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	○ 설계 표준화를 위하여 아래 사항에 대한 추가 기술 필요 - 현 설계기준과 시방서는 발파시의 소음 부분만 기술되어 있으나 실제 느끼는 영향은 진동이 더 크므로 진동에 대한 기술 필요 - 터널구간은 측벽 배수로에서 유지관리시에 배수관 막힘 현상이 발생하고 개착과 터널구간 접속부를 포함한 중앙 배수로의 관경 및 맨홀 등에 대한 설계기준 없이 발주 부서별 상이하게 적용하고 있으므로 보완 필요 - 라이닝 적용시에도 일정한 기준없이 무근과 철근을 설계시에 적용하고 있으므로 보완 필요
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시
‣ 주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	○ 터널 설계는 2D만으로 기술한 것은 한계가 있으므로 3D를 적용할수 있도록 조속한 시일내 적용방안 수립 필요 - 일부 국가에서는 발주시 BIM을 적용하여 사업제안서를 제출하도록 하고 있으므로 IT를 접목한 국내 표준화 필요 ○ 터널 시공시 많은 B-계측을 수행하고 있으나 B-계측 결과의 활용은 전혀 이루어지고 있지 않아 B-계측은 본래의 목적을 상실한 채 형식적인 계측으로 전락되어 있으므로 이에 대한 적극적인 활용없이는 터널 기술발전을 기대할 수 없으므로 B-계측의 설치, 측정, 분석 및 결과 활용 방안등 구체적인 절차와 이를 통한 설계검증방법 방안을 제시하여 국내 터널기술의 향상은 물론 형식적인 계측수행 방안을 지양하도록 유도
세부목표 달성도(%)	

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

설계기준과 시방서는 발주부서의 편의에 따라 그동안 국내 시방서만을 참고하여 작성하고 사용하였으나 방대한 국외 자료를 조사하여 비교 분석하고 앞으로의 방향을 제시한 것은 타당한 방안이라 생각함

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

IT를 접목한 BIM 설계, 시공은 토목 현장에서는 다소 도입이 늦으므로 현장에서도 노트북 또는 앱으로 현장 관리시 관리 와 인건비 절감 뿐만 아닌 최적화 설계, 시공이 가능할 것이며
사회 경제적으로는 해외 진출시 국제적인 수준에 맞는 제안서를 제출함으로서 동등 이상의 경쟁이 되므로 조속한 시일내 국내 표준화가 시급할 것으로 사료됨

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(30)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013 년 7 월 8 일		
성 명	이성원 (서명)		
소 속 기 관	한국건설기술연구원	직 급	연구위원

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	- 국내외 터널관련 기준서에 대해 총망라하여 정리와 분석이 잘되었음
세부목표 달성도(%)	100

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	- 국내 터널관련 기준서들간의 상호 불일치, 차이점, 문제점 등에 대하여 세밀하게 검토, 분석되었음. - 각 기준서(설계,시방,편람)들 간의 차이점 문제점 표에 대하여 개선안을 제안하였는데 이는 매우 중요한 연구결과라 할 수 있으므로 강조 또는 별도의 개선안 제안으로 부각시켰으면 함.
세부목표 달성도(%)	100

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ 주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	- 활용상 문제점 분석에 대해서는 기준서간의 차이점(문제점)분석을 통해 제시하였으나 별도로 활용상의 문제점만을 재정리하였으면 좋겠음 - 국외설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석은 국내기준서와 비교검토를 통해 잘 정리되었음.
세부목표 달성도(%)	90

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ 주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안
-공법별 세분화 방안

검토 의견	- 설계의 코드화 방안에 대해서는 잘 정리가 되어 있으나 공법별 세분화 방안은 미흡함 - 다만, 공법별 세분화 방안보다는 공정 또는 재료별로 세분화하는 방안을 제시한 것으로 판단되므로 이에 대한 이유가 보완되었으면 함.
세부목표 달성도(%)	90%

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시

▸ 주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	- 표준화 및 코드화에 대한 전략, 국외 현황과 성능기반 설계로의 지향과 관련되 내용은 잘 정리가 되어 있으나, 표준화(통일)가 필요한 항목이나 추가 기술이 필요한 항목이 일목요연하게 제시되어 있지않고 3.4.6절에 성능중심 설계항목으로 대치되어 있은 것으로 보임 - 세부목표에 맞도록 보완이 필요함 - 또한 3.4절 성능기반 터널 건설기준의 국내외 현황에서 국외기준과의 비교분석 부분은 2장의 내용과 중복이 많아 재 정리가 필요함.
세부목표 달성도(%)	90%

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시

▸ 주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	- IT 및 BIM 기반 미래기술 접목방안에서 BIM도 IT내에 포함되는 것이므로 굳이 BIM을 제목으로 같이 포함시키지 않아도 될것으로 보임 - 관련하여 많은 내용을 나열되어 있지만, 현재 기술의 현황과 그 수준에 대한 분석이 추가 되었으면 하며 이에 따른 연구가 필요로 하는 항목에 대한 정리, 우선순위 등으로 도출하였으면 함. - 선진 설계기준의 적용방향도 기대효과 수준으로 정리가 되어 있어 다른 분야 적용방향, 법적인 문제 등의 분석을 통해 제시하였으면 함
세부목표 달성도(%)	90%

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

- 본 연구는 그동안 국내 난립되어 있는 터널관련 기준서의 통합적인 정리와 분석을 통해 철도, 도로, 수로 NATM, TBM 등 각각의 관련 기준서의 내용을 비교하여 통일, 개선방안을 제시하는 등 과거에 수행하지 않았다는 점에서 독창성이 있음
- 또한 제안한 개선방안의 적용에 따라 그동안 발생한 기준간 차이로 인해 발생했던 문제를 최소화 할 수 있음.

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

- 기술적으로는 표준화, 성능기반의 선진화를 위한 연구개발 항목제시를 통해 연구개발의 필요성 인식과 실행에 따른 기술적 진보가 기대됨
- 사회적으로는 국제적인 표준화, 성능기반의 터널설계, 시방기준 마련에 따른 국내 건설의 글로벌화와 표준화를 통한 민원문제 최소화 등의 효과가 기대됨
- 성능기반의 설계기준의 적용에 따라 그동안 일부 과도하게 적용된 터널의 지보재 설치, 현장 운영의 어려움 등을 다소 극복하여 경제적 시공이 될 수 있을 것으로 판단되며, 특히 IT기술의 접목에 따른 설계와 시공상의 시행착오를 줄이면서 보다 경제적인 설계와 시공이 이루어질 것으로 예상됨.

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(150)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013년 7월 19일		
성 명	사공 명 (서명)		
소 속 기 관	한국철도기술연구원	직 급	책임연구원

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석

▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	- 국내외 설계기준 및 시방서에 대한 비교분석이 잘 정리되었음 - 설계기준 및 시방서의 활용분야에 대해서도 잘 정리가 되었음
세부목표 달성도(%)	100

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석

▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	- 국내외 설계기준, 시방서 지침간 상호 불일치 내용에 대한 비교분석 내용은 잘 정리가 되었음 - 국내 관련기준, 시방서, 지침상에서도 상호 비교를 통하여 상이한 운영주체에서 관리하는 기준간의 특성이 잘 비교되어 있음
세부목표 달성도(%)	100

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ 주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	- 국외 설계기준 및 시방서에 대한 분석 및 활용상의 문제점이 잘 기술되어 있음 - 국외 기준에 대한 국내 적용성도 잘 분석되어 있는데 국내 적용에 있어 가장 중요한 것이 기술항목과 기술의 상세 수준임. 일본 설계기준 및 시방서 비교 분석의 내용에서 "기준서에서 최소한의 기준치로 설계 및 시공시 제한사항을 규정하여 창조적인 설계기회를 박탈하고 ~" (157P)의 분석내용은 반드시 옳다고 할 수 없음. 다른 나라의 기준을 보더라도 구체적인 수치보다는 최소한의 기준치를 부과하여 창의적인 설계 및 시공이 될 수 있도록 하는 것이 전반적인 흐름임
세부목표 달성도(%)	95%

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ 주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안
-공법별 세분화 방안

검토 의견	- 설계기준 및 시방서의 Code화는 시기적절한 논의사항임 - 현재 건설연에서 연구중인 건설공사 전반적인 분야에서의 설계기준 및 시방서에 대한 code화 작업에 부응하여 진행되어야 함 - 코드화 됨에 따라 기존의 도로, 철도, 항만등에 편재되어 있던 부분들을 통일화하여 터널 설계기준 및 시방서에 코드화 하고 특수사항들만 해당 기준 및 시방에 수록하는 방향으로 정리되어야함 - 터널 설계기준 및 시방서상에서 대, 중, 소분류에 대한 명확한 내용을 향후 터널공학회가 중심으로 작성되어야 함
세부목표 달성도(%)	90%

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시

▸ 주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	- 본 보고서에서는 건설기준의 표준화에 대한 명확한 정의 및 방법론이 제시되어 있지 않음 - 이러한 사유는 설계 표준화는 터널에만 적용될 것이 아니라 여러 구조물 설계기준에 같은 요령으로 적용되어야 함 - 표준화는 상당히 광범위한 내용으로서 표준화를 위해서는 기술기준의 선진화가 동반되어야 하므로, 기술기준의 선진화 방안에 대한 상세한 분석 내용을 바탕으로 표준화에 대해서는 향후 추가 논의가 필요함
세부목표 달성도(%)	90%

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시

▸ 주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	- 설계기준 및 시방의 선진화를 위하여 각 세부 기술별 분석 및 향후 필요 연구내용에 대한 제안은 바람직함 - 성능중심의 설계기준 도출을 위해서는 터널에 적용되는 지보재 자체의 거동, 각 지보재의 설치단계시 터널의 거동에 대한 충분한 데이터가 확보되어야 함 - 이러한 측면에서 각 기술별 향후 추진 연구 내용은 잘 정리되었음 - IT기술의 개발에 따른 터널공사에 있어 IT의 적용 및 BIM의 도입은 향후 국내 터널 기술이 나아갈 방향으로 판단됨 - 이상의 기술 적용시 단순히 터널공사에 국한하지 말고 철도 및 도로전체 공사와 연계되어 적용될 수 있도록 기술개발이 되어야 함. 예를 들면 철도의 경우 터널공사 이후 수행되는 궤도공사까지 포함하여 적용 가능하도록 기술개발이 진행되어야 할 것임
세부목표 달성도(%)	100%

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

본 연구는 국내 터널설계기준 및 시방서에 대한 분석 및 다양한 국외사례를 비교분석하여 향후 개선 방향을 제시하고 있다. 이러한 작업이 터널 설계기준 및 시방서 개정이전에 이루어짐에 따라 터널 설계 기준 및 시방서에 대한 개정방향을 사전에 파악하는데 도움을 준다.
또한 설계기준 및 시방서의 선진화를 위하여 여러 항목들에 대한 연구를 제안하고 있는데 국내 터널기술 개발을 위한 기술 로드맵 작성의 기본 데이터로 활용할 수 있을 것이다.

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

본 연구를 통하여 국외 기준들과 비교하여 국내 터널설계기준 및 시방서의 기술적 위치가 어디인지 파악할 수 있었으며 향후 개정 방향 및 개정항목의 도출이 가능하였다. 따라서 현재 우리의 기술을 판단할 수 있는 소중한 연구결과이며 향후 개정이 필요한 항목에 대한 사회적 합의를 위하여 사전 파악하는 단계에서 우수한 연구결과라 할 수 있다.

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(100)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013 년 7 월 11 일		
성 명	이 재 성 (서명)		
소 속 기 관	(주) 단우기술단	직 급	전무이사

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	국내 설계기준, 시방서, 국외 설계기준 및 시방서 4가지 범주에 대하여 국내의 기준 및 시방서 간의 상하위 기술기준의 위상 및 제정, 개정 현황에 대하여 성실하게 분석하였으며, 국외 일본, 미국, 영국, 유럽 등 선진국들의 기준 및 시방에 대하여 현황 및 개정상황 등을 상호비교 분석하여 연구 목표를 성실히 수행하였다고 판단됨.
세부목표 달성도(%)	세부목표 달성도 100%

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	국내 터널 설계기준의 문제점 분석을 위하여 총 5개의 설계기준(터널설계기준, 도로설계기준(터널), 철도설계기준(터널), 도로설계편람, 철도설계편람)을 비교 분석하여 상호 불일치 항목 및 개선이 필요하다고 판단되는 총 78개의 항목을 도출하였고, 문제점 지적 및 향 후 설계기준 변경시를 고려한 개선방향을 상세하게 제안한 것으로 판단됨. 또한 터널표준시방서, 철도건설공사 전문시방서, 고속도로공사 전문시방서를 비교분석하여 총 90개의 개선이 필요한 항목을 도출하였으며, 개선방향을 성실하게 제안한 것으로 판단되며, 연구 목표를 성실히 수행하였다고 판단되나 일부 항목에서는 개선 사유에 대해 상세한 설명이 필요한 것으로 판단됨.
세부목표 달성도(%)	세부목표 달성도 100%

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ 주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	최근까지 국내외에서 발간된 터널과 관련된 설계기준과 각종 시방서를 상세히 비교 분석한 연구는 최초로 실시된 사항으로 국내외 발주방식과 사정 등을 고려할 때 직접적인 상호 비교를 통해 장단점을 분석하기는 어려운 실정으로 판단된다. 최근까지 국내 기준 및 시방서의 경우 시공 현실에 맞게 많은 개선이 있었으나 대부분 일본의 기준을 그대로 도입한 사례가 많은 실정으로 국내 실정에 맞는 개선점이 요구되는 시점에 일본, 미국, 영국, 독일, 프랑스, 오스트리아, 노르웨이 등 여러 나라의 관련 자료들을 국내 자료와 유사성을 검토하여 상호 비교 분석하고, 국내 적용성에 대한 의견을 제시한 것은 국제화 시대에 해외시장 진출에 도움이 될 수 있는 값진 연구 결과라고 판단되며, 연구 목표를 성실히 수행하였다고 판단됨.
세부목표 달성도(%)	세부목표 달성도 100%

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ 주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안
-공법별 세분화 방안

검토 의견	국제적으로 선진국들에서 표준화 및 코드화가 이루어지고 있으며, 우리도 선진화와 국제화에 발맞추어 국내 기준 및 시방서를 CODE가 절대적으로 필요한 시점이다. 이를 위하여 터널 선진국들의 표준화된 코드체계인 영국의 BS, 독일의 DIN, 유럽연합의 EN등, CODE화 현황을 분석하고 국내의 건설시장의 실정에 맞는 구성체계의 표준화와 고유 CODE 번호를 제시하고, 터널기준 표준 CODE집 개발 제안은 국내 터널 건설의 위상을 높일 수 있는 연구 결과라 판단되며, 연구 목표를 성실히 수행하였다고 판단됨.
세부목표 달성도(%)	세부목표 달성도 100%

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시
▸ 주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	설계 표준화를 위하여 구조물의 목적에 맞는 성능을 규정하고, 규정된 성능을 구조물의 공용기간동안 확보할 수 있도록 창의적인 설계를 할 수 있도록 표준화의 개선이 이루어져야 한다고 판단되며, 본 연구에서는 성능기반 중심의 표준화된 설계기준 정립을 위하여 필요한 세부 항목들을 제시하였으며, 기존 기준들 간의 중복 상충되는 내용들의 최소화를 위하여 터널 설계기준 현황과 비교 분석하였으며, 국외의 기준들과 비교 분석을 통하여 추가 기술이 필요한 항목들을 제시하므로써 연구 목표를 충실히 달성하였다고 판단됨. 또한 성능기반 중심의 표준화된 설계기준 정립을 위해 구제적인 설계기법 등을 도입하고 이를 평가할 수 있는 기본적인 전제조건 등이 이루어져야 할 것으로 사료됨.
세부목표 달성도(%)	세부목표 달성도 100%

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시
▸ 주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	현재 세계적으로 경쟁력있는 터널 건설기술을 확보하기 위해서는 IT기술과 BIM기술을 터널 기술과 접목하는 것이 매우 필요한 실정이다. 이를 위해 국내외 IT 및 BIM 관련 기술 현황을 분석하고 터널기술과의 접목 방안을 제시한 것은 국내 터널 기술의 이미지를 제고하는데 적절한 연구 결과라 판단된다. 특히 IT와 BIM 기술의 터널분야 접목은 초기 시작 단계 이므로, 전세계적으로 관련 기술 개발이 미흡한 실정이므로 터널 건설 뿐만 아니라 운영 및 관리기술까지의 접목을 통하여 국내 터널관련 기업들의 경쟁력을 확보하는데 절대적으로 필요한 기술이라 판단되며, 적절한 접목방안이 제시되었다고 판단된다. 특히 터널분야에서 BIM은 설계단계 뿐만 아니라 시공중 지질현황에 맞는 설계변경 과정 등을 표현할 수 있도록 유도하여 자료 축적을 통해 유지관리 편의성을 도모해야 할 것으로 판단됨.
세부목표 달성도(%)	세부목표 달성도 100%

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

본 연구는 국내 터널과 관련된 기준 및 시방서들에 대하여 서로 상충되거나 불일치하는 부분들에 대하여 비교 분석을 통하여 문제점들을 도출하고, 개선방향을 제시하므로써 국내 터널 기술의 향상에 매우 도움이 될 수 있는 우수한 연구라 생각된다.
또한 현재까지 국내와 국외의 설계기준 및 시방서의 내용을 비교한 분석한 연구는 처음 실시되는 사항이고, 국내와 국외의 사정을 고려할 때 직접인 상호 비교는 어려운 실정이다.
그러나 국내 뿐만 아니라 국외 일본, 미국, 영국, 독일, 프랑스, 오스트리아, 노르웨이 등 여러 나라의 관련 자료들을 국내 자료와 유사성을 검토하여 상호 비교 분석하고, 국내 적용성에 대한 의견을 제시한 것은 국제화 시대에 해외시장 진출에 도움이 될 수 있는 매우 값지고 창의적인 연구 결과라 판단된다.

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

본 연구 결과에서 제시한 터널 설계기준 및 시방서 분석 결과와 개선 방향 제안에 따라 추후 관련 기준 및 시방서 개정시 도움이 될 수 있는 연구 결과라 생각되며, 설계자와 시공자 상호간의 기준 불일치로 인한 혼돈 발생을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.
또한 터널 선진국들의 표준화된 코드체계에 맞춰, 국내의 건설시장의 실정에 맞는 구성체계의 표준화와 고유 CODE화를 통해 국내 터널 건설의 위상을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(100)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013 년 7 월 4 일		
성 명	유 충 식 (서명)		
소 속 기 관	성균관대학교	직 급	교 수

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석

▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	1. 국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정현황 분석 및 이를 토대로 한 활용분야 및 범위에 대한 분석은 체계적으로 수행된 것으로 판단됨. 2. 다만 국외 기준에 대한 내용을 상호 대비가 될 수 있도록 구성할 것을 제안함.
세부목표 달성도(%)	95%

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석

▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	1. 국내 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용에 대한 비교분석 내용은 구체적이고 종합적으로 수행된 것으로 판단됨. 2. 이에 비해 국외 설계기준, 시방서, 지침간 비교 내용은 다소 미흡한 것으로 판단되나 이는 각 기준간의 성격 및 범위가 상이한데서 비롯된 것으로 사료됨.
세부목표 달성도(%)	90%

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ 주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	1. 설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석은 충실이 수행된 것으로 판단됨. 2. 국외 설계기준 및 시방서의 국내 적용성 분석 내용은 직접적인 비교가 어려운 관계로 다소 미흡하다고 판단되나 제안 범위내에서는 충실히 수행한 것으로 검토됨.
세부목표 달성도(%)	90%

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ 주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안
-공법별 세분화 방안

검토 의견	1. 국내 설계기준, 시방서의 표준화 방안은 본 과업에서 가장 중요한 것으로 판단됨. 2. 설계의 CODE화 방안 및 공법별 세분화 방안은 현 수준에서 충실히 이루어 진 것으로 검토됨
세부목표 달성도(%)	90%

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시

▸ 주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	1. 설계 표준화를 위한 작성지침관련 해서는 현 단계에서 수집된 정보를 통해 충실이 이루어진 것으로 판단됨. 2. 다만 현재 진행중이 터널 시방서 개정 작업의 방향을 제시하는 부분이 추가 되면 바람직 할 것으로 판단됨.
세부목표 달성도(%)	95%

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시

▸ 주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	1. 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시에 있어 IT 기반 기술 및 BIM 등에 대한 기술 접목의 필요성이 잘 기술되어 있음. 2. 성능기반 설계를 위한 연구항목을 구체적으로 기술할 것을 제안함.
세부목표 달성도(%)	95%

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

1. 본 연구는 현재 터널분야가 당면한 설계기준의 표준화 작업을 위한 매우 좋은 연구내용을 제시하고 있어 매우 우수하다고 판단되며 연구내용에 있어 창의적인 측면이 돋보임.

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

1. 본 연구는 터널설계 기술 및 안전 시공을 위한 초석이 되는 연구라고 판단되며 이를 통해 안전하고 경제적인 설계가 될 수 있는 기반을 마련하였다고 판단됨.

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(60)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013 년 월 일		
성 명	황 제 돈 (서명)		
소 속 기 관	(주)에스코컨설턴트	직 급	사장

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	○현행의 발주방식에서는 발주처에서 규정하는 입찰안내서와 해당 기관에서 제정해 놓은 설계기준서, 지침서 및 전문시방서의 위치관계가 불명확하여 실무자의 판단이 어려울 수 있는 부분에 대한 정리가 필요함 ○따라서, 터널 설계와 시공에 활용되고 있는 다양한 설계기준서에 대한 위상도를 분석을 시작으로 각 기준서가 규정하는 내용의 비교분석은 매우 의미 있는 연구로 평가할 수 있음.
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	○터널건설 기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구의 일환으로 실시한 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용을 비교분석한 것은 타당함. ○분석에 있어서도 각 기준 및 시방서별 차이를 잘 지적하고 있고 내용 및 분석 항목은 충실한 것으로 사료됨 ○다만, 시방서 내용 분석에 있어서 각 항목에 따라 내구성, 성능중심, 사양중심 등으로 분석되어 있으나 분석방향의 통일성이 다소 부족하므로 이에 대한 보완이 요구됨
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ 주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	○국내외 터널 설계 기준 및 시방서를 비교분석하고, 각 기준별 차이점을 정리하고 있고, 개선 방향을 제시하고 있음. ○특히, 실무에 직접적으로 활용되는 시방서에 대해서는 터널표준시방서와 철도건설공사 전문시방서, 고속도로공사 전문시방서를 비교 분석 한 후 개선방향으로 터널표준시방서에 제시된 용어명과 내용으로 통일 할 것을 제시하였으나 그 이유를 추가해주면 좋겠음.
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ 주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안
-공법별 세분화 방안

검토 의견	○국내외 국내설계기준 및 시방서에 대한 비교 분석을 바탕으로, 성능기반 중심으로의 표준화 방안을 제시하고 있는 것은 타당한 것으로 판단됨 ○성능기반 중심을 표준화로 제정하는 과정에 있어서는 각 기관별로 진행 중인 연구과제 및 기준서 개정사업이 상충되지 않도록 사전에 협의 또는 조율하는 것이 좋겠음.
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시
▸ 주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	○성능기반 설계로 가기 위해서는 구조물의 생애주기 비용(LCC)에 대한 개념정립이 선행되어야 하며, 생애주기 비용 산정시 비용(cost) 중심으로 검토되고 있는 부분을 개선하기 위해서 고려 항목(Function)을 다양화하여 실질적인 생애주기 설계(LCD)가 될 수 있도록 하면 좋겠음.
세부목표 달성도(%)	

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시
▸ 주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	○실절적인 건설기술 선진화를 이루기 위해서는 현장 기술자의 역량 강화도 중요하지만 이와 더불어 발주처의 확고한 의지와 제도적 뒷받침이 있어야 함 ○성능기반 설계법의 토착화를 위해서는 국내 상황을 반영한 성능의 정량화가 우선되어야 하므로 향후 연구과제로 성능 정량화에 대한 연구 과제가 이루어지면 좋겠음.
세부목표 달성도(%)	

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

○현행의 성능중심의 규정 설계법을 개선하여 국제적인 표준화로 자리 매김하고 있는 성능기반 설계법을 도입하고자 하는 첫걸음으로의 연구 테마 선정은 시기적으로 매우 적절한 것으로 판단됨.
○또한 방대한 국내외의 설계기준서 및 시방서를 비교 분석한 작업은 많은 시간과 노력이 필요한 것으로 사료되며 향후 설계 표준화를 위한 세부항목 작성 시 유용한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료됨
○다만, 국내외의 기준서 분석에 치중하다보면 국내 실정 및 국내 지형특성을 반영한 독창적인 터널 구조물의 성능 규정을 놓칠 수도 있으므로 정리에 만전을 기하기 바람

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

○

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(100)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013 년 7 월 2 일		
성 명	김상환 (서명)		
소 속 기 관	호서대학교	직 급	교수

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	국내외 설계기준 및 시방서에 대한 일반적인 분석은 매우 양호하나 국내외 기준의 작성 개념에 있어 국내 건설발주 시스템과의 연계를 고려한 분석은 향후 필요할 것으로 판단됨.
세부목표 달성도(%)	95%

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	-내용분석은 매우 우수함. -분석내용 중 각기준별 포함되어야 할 필수사항에 대한 분석은 추후 필요할 것으로 판단됨.
세부목표 달성도(%)	95%

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ 주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	-문제점에 대하여 현장 적용성을 고려하여 분석내용이 우수함. -다만 발주처별 기준들의 내용에 대한 상호연계성에 대하여서는 보다 심도깊은 논의가 향후 요구될 수 있다고 판단됨.
세부목표 달성도(%)	95%

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ 주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안
-공법별 세분화 방안

검토 의견	-표준화의 구성체계 및 작성방안에 대하여서는 우수함. -코드화하기 위한 분류방법에 대하여서는 향후 논의가 필요할 것으로 판단됨.
세부목표 달성도(%)	95%

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시
▸ 주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	-작성지침내용은 우수함.
세부목표 달성도(%)	95%

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시
▸ 주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	-연구항목에 대한 방향제시는 우수함. -다만, 세계화를 위한 시장개방과 진출을 위한 연구와 기술개발항목도 추가로 요구됨.
세부목표 달성도(%)	95%

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

본연구는 국내터널기준과 시방서에 대하여 분석하고 적용성을 고려한 표준화 방향을 제시하는 매우 필수적인 연구로 결과가 매우 우수하다고 판단됨

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

본 연구결과를 근거로 보다 기술적이고 경제적인 기준 및 시방이 제시되고 개선될 것으로 기대됨

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(95)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

연구보고서 검토의견서

과 제 명	터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구		
날 짜	2013 년 7 월 2 일		
성 명	최 덕 찬 (서명)		
소 속 기 관	대정컨설턴트	직 급	사 장

1. 본 연구의 세부목표별 연구성과에 대한 검토의견을 제시하여 주십시오.

※세부목표 (1) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 활용현황 분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준 및 시방서 제정 및 개정 현황 분석
-국내외 설계기준 및 시방서의 활용분야, 범위 등 분석

검토 의견	국내외 터널관련 설계 및 시방기준의 제•개정 현황이 상세히 분석되었으며, 특히 선진 해외 기준서들의 활용현황이 설실히 분석되어 추후 설계기준 개정시 좋은 자료로 활용할 수 있음
세부목표 달성도(%)	100%

※세부목표 (2) : 국내외 터널설계기준 및 시방서 내용 비교분석
▸ 주요연구계획 : -국내외 설계기준, 시방서, 지침간 상호 불일치 내용 비교분석 및 검증
-관련 기준, 시방서, 지침의 누락항목 비교 분석

검토 의견	-설계항목별 구체적인 비교분석이 이루어져, 설계기준이나 시방서간의 불일치 항목에 대한 표준화 작업의 필요성을 강조시켜 줌 -마찬가지로 설계항목별 기준들간의 누락 항목을 손쉽게 파악할 수 있도록 자세히 분석되어 있다.
세부목표 달성도(%)	100%

※세부목표 (3) : 국내외 터널설계기준 및 시방서의 문제점 도출

▸ 주요연구계획 : -설계 및 시공단계에서 설계기준, 시방서의 활용상 문제점 분석
-국외 설계기준 및 시방서의 국내적용성 분석

검토 의견	-그동안 기술자들 사이에서 인지하고만 있던 설계기준 및 시방서의 활용상의 문제점들이 상세히 분석되어 있다. 또한 설문조사를 통해 일선 기술자들 뿐만 아니라 발주기관에 소속된 공무원까지도 기준 선진화에 대한 의견을 제시하고, 수렴할 수 있는점은 매우 우수한 성과임
세부목표 달성도(%)	100%

※세부목표 (4) : 국내 설계기준, 시방서 등의 표준화 방안 제안

▸ 주요연구계획 : -설계의 CODE화 방안
-공법별 세분화 방안

검토 의견	-설계기준, 시방서의 문제점 도출과 동시에 표준화(통일) 방안을 제시 함으로써, 현재 진행중인 터널표준시방서 개정작업에 주요한 자료로 활용될 수 있음. -CODE화의 구체적인 방안 보다는 그 필요성 및 해외 코드화 자료분석에 주안점을 두었음. 구체적인 CODE화 연구는 건기연에서 이미 진행중이나 본 연구에서 수행하였던 국내 기준서들의 상세 비교분석을 통한 문제점 도출 및 표준화 연구가 누락되어 있는 단순한 코드체계정리 작업이므로 본 연구성과를 기초자료로 활용하여 활용가치가 있는 CODE화 연구가 진행 되어야 함 -성능중심 설계표준으로 가기위한 요구성능의 세분화 예시(도로터널)는 아주 실용성 있는 성과임
세부목표 달성도(%)	100%

※세부목표 (5) : 설계 표준화를 위한 작성지침 제시

▸ 주요연구계획 : -표준화(통일)가 필요한 항목 제시
-추가 기술이 필요한 항목 제시

검토 의견	-설계표준화를 위한 작성지침으로 터널 내부 라이닝의 성능기반 표준화 작성지침을 제시하였다. 제시된 작성지침은 터널 라이닝의 내구성에 기인한 요구성능을 다각도로 분석하여, 해외 터널 라이닝 설계표준과 충분히 경쟁력이 있는 지침이었다. -성능중심 설계항목별 표준화 방안을 제시하면서, 각 항목별 추가 소요연구 과제를 제시하여, 연관된 추후 연구과제를 도출하였다.
세부목표 달성도(%)	100%

※세부목표 (6) : 향후 건설기술 선진화를 위한 연구항목 및 방향 제시

▸ 주요연구계획 : -IT 기반, BIM 기반 등 미래기술의 접목방안
-선진 설계기준의 적용방향 제시

검토 의견	-국내 건설시장에 가장 시급한 과제가 바로 IT기술 활용이라고 생각한다. 지금도 학계나 업계에서는 IT 기술을 활용한 우수한 조사기법과 설계 자동화 기법들이 개발되고 있지만 실제로 신기술에 대한 생소함과 경제성을 이유로 많은 기술들이 활용되고 있지 못하는 실정이다. BIM이나 IT 기반 조사기법들을 설계기준 및 시방서상에 기준화하여 그 활용도를 높일 수 있게 하고 나아가 건설발주 시스템을 개선하여 이러한 IT기반 건설기술을 접목할 수 있게 하여야 하겠다.
세부목표 달성도(%)	100%

2. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 우수성 또는 창의성은?

-국내 터널관련 설계기준, 시방서 등에 대한 상호분석 혹은 국내외 관련 기준 간 상호분석에 대한 종합적이고 체계적인 표준화 연구가 전무한 실정에서 국내의 주요 설계기준 및 시방서의 내용을 항목별로 구체적으로 비교하여 표준화 및 개선방안을 제시했다는 점에서 매우 독보적인 성과라 할수 있다.

3. 귀하께서 생각하시는 본 연구의 기대효과는?
(기술적, 사회적, 경제적)

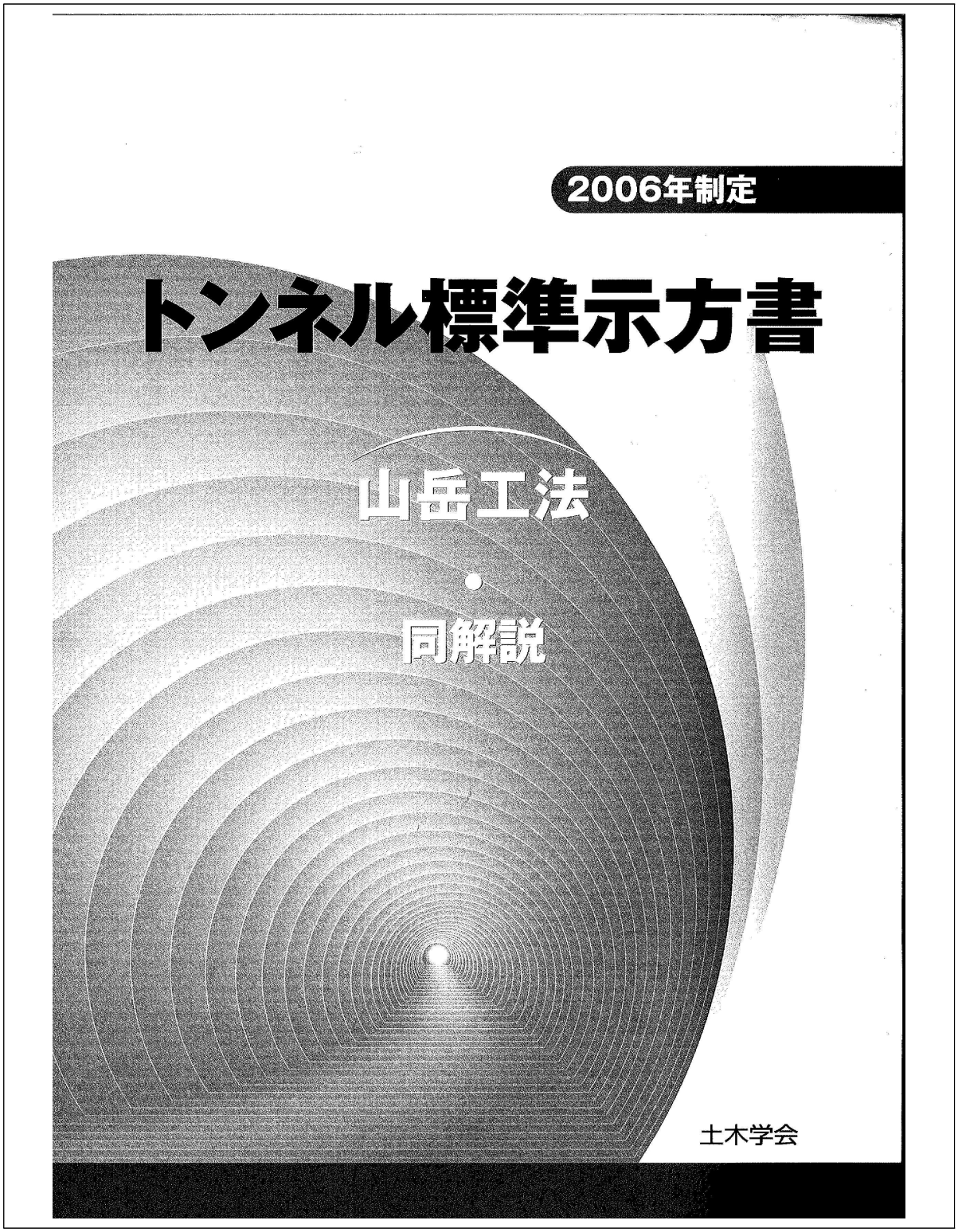
- 본 연구에서 제시하고 있는 성능기반의 설계기준이 제정되어 적용될 경우, 그동안 일부 과도하게 적용된 터널의 지보재 설치, 현장운영의 어려움 등을 다소 극복하여 경제적 시공이 될 수 있을 것으로 판단되며, 특히 IT기술의 접목에 따른 설계와 시공상의 시행착오를 줄이면서 보다 경제적인 설계와 시공이 이루어질 것으로 예상됨.

4. 본 연구결과로 인한 기술수준의 향상정도 및 향후 기술성장 효과를 정량적으로 본다면?

※ 본 연구결과를 반영한 설계기준 및 시방서의 개정이 이루어진다면, 현재의 터널건설기술 대비 약(80)% 의 기술수준 향상효과를 기대할 수 있을 것이다.

부록 F. 연구에 활용된 해외기술자료

1. 일본



2006年制定

トンネル標準示方書

シールド工法

・

同解説

土木学会

2006年制定

トンネル標準示方書

開削工法

・

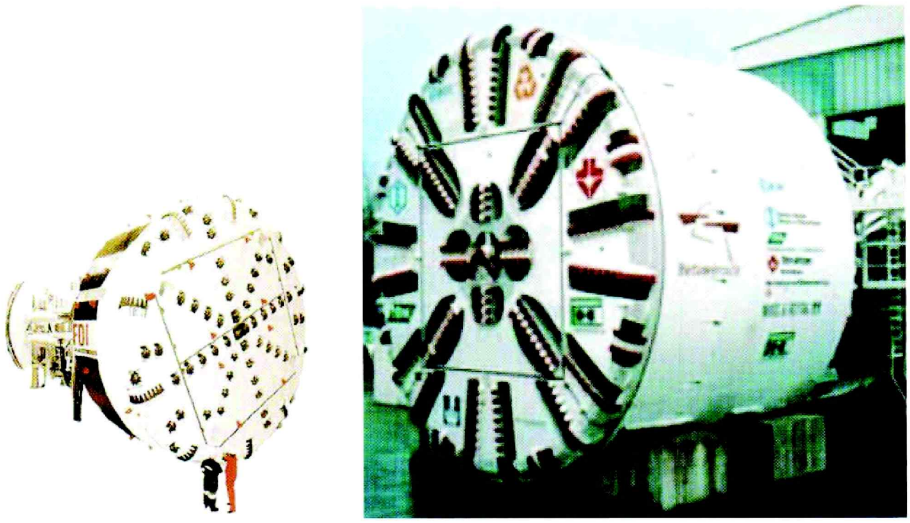
同解説

土木学会

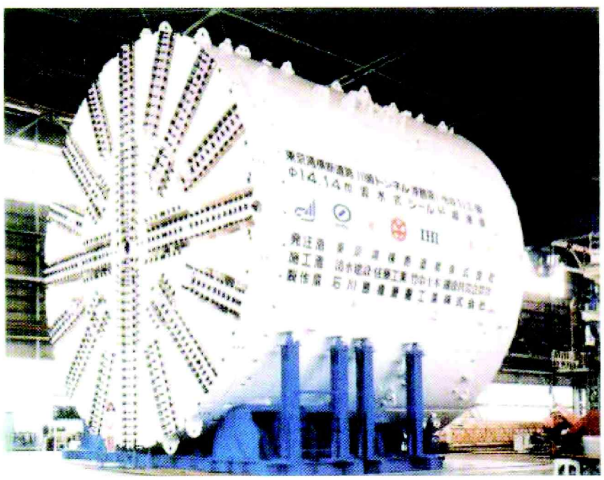
2. 미국

PB2006-100660

FHWA Road Tunnel



Design Guidelines



U.S.Department of Transportation
Federal Highway Administration



U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Publication No. FHWA-NHI-10-034
December 2009

Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels — Civil Elements



NATIONAL HIGHWAY INSTITUTE
Training Solutions for Transportation Excellence

3. EFNARC



'achieving the highest standards'

EUROPEAN SPECIFICATION
FOR
SPRAYED CONCRETE

CHECKLIST
FOR
SPECIFIERS AND CONTRACTORS

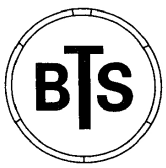
2002

EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey, GU9 7EN, UK
tel: +44 (0)1252 739147 fax: +44 (0)1252 739140 www.efnarc.org

4. 영국

Specification for tunnelling third edition

The British Tunnelling Society and
The Institution of Civil Engineers

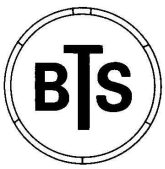






Tunnel lining design guide

The British Tunnelling Society and
The Institution of Civil Engineers





ThomasTelford

Concrete Linings for Tunnel built by underground Construction

Recommendations by DAUB, December 2000

Owing to the length of this article, the German text was published in Tunnel 3/2001. In this issue follows the English version.

1 Preliminary Remarks

These recommendations relate to the compilation of demands applicable to permanent concrete linings for tunnels with regard to their characteristics for use, their composition, the execution of construction and quality assurance. Regulations that are already available in Germany such as Guideline 853 [1], the ZTV-Tunnel [2, 3] and the corresponding Austrian guidelines [28] as well as findings obtained in conjunction with concrete linings are summarised and presented in relation to one another. In this way, recommendations for producing qualitatively high-grade tunnel linings will be provided, which assure serviceability over a life span of around 100 years with low maintenance costs. Static calculations are not included.

2 Function and Design of the Tunnel Lining

The final tunnel lining has to sustain a large number of influences. The main ones are:

Stemming from the ground:
- ground pressures of all kinds (dead load, relaxation pressures, creeping pressures, swelling pressures, etc.)
- landslips, earth subsidence
- earthquakes
- water pressures
- chemical actions resulting from aggressive water or aggressive subsoil components.

Resulting from construction activities:
- construction activities such as dead weight in fresh state, intermediate construction activities with part lining of the cross-section
- removal of the hydration heat, shrinking
- annular gap grouting, roof grouting
- transport activities for ready-made parts (segments, ready-made pipes)
- jacking forces, back-up loads.

Through utilisation:
- influences of temperature on the air or from sewage or the likes
- chemical attacks from gases, sewage, thawing salt and the likes
- traffic influences
- transportation of rubble or stones in the case of water pressure tunnels
- fire in the case of transport tunnels.

The permanent tunnel lining has to be dimensioned both in static and constructional terms to cope with these influences.

The lining's sealing effect can be attained either by ensuring that impermeable concrete is used or by attaching a membrane to the outside of the shell. Watertight concrete structures generally require greater expenditure on the concrete production often involving reworking (crack grouting). However, they possess the advantage that faults are normally easier to localise and seal. External membranes ensure that the concrete shell is protected against water and in turn, possible chemical influences but they are hard to redevelop.

The requirements posed on the sealing systems are dealt with in detail in the Ril 853 [1] for railway tunnels and in [2] and [3] for road tunnels.

The design and production of the final concrete lining come about through the interplay of tunnel cross-section, geological and hydrological conditions, driving length and length of tunnel.

The following forms of executing permanent tunnel linings will now be examined:
- shell concrete
- shotcrete
- reinforced concrete segments
- reinforce concrete pipes.

3 Tunnel Lining made of Shell Concrete

3.1 General

Tunnel linings made of shell concrete are usually produced using a formwork car. At the point when the permanent tunnel lining is installed, the drive has already been completed or the concreting work takes place far behind the actual face: The temporary support has been installed and ground deformations have long since ceased. The inside contour of the final lining can be chosen as required. It can be adapted to the subsequent use and the static requirements. Normally, the inner shell is created in 8 to 12 m blocks, which are separated from one another by expansion joints. Usually, the individual blocks are split up into two or even more concreting sections in the event

DAUB
GERMAN COMMITTEE FOR UNDERGROUND CONSTRUCTION INC.

The "Concrete inner Shells" working group of the German Committee for Underground Construction compiled the recommendations. The group consisted of:
Dr.-Ing. A. Städing (chairman)
Prof. H.-J. Bösch (former chairman of group)
Dr.-Ing. Breitenbücher, Dr. G. Brem, Dipl.-Ing. H. Bretz,
Dipl.-Ing. G. Denzer, Dipl.-Ing. Dietz,
Prof. H. Duddeck, Dipl.-Ing. Grüter,
Dipl.-Ing. K. Kreuzberger, Dr.-Ing. K. Kuhnhenn,
Prof. B. Maidl, Dipl.-Ing. M. Muncke,
Dipl.-Ing. H. Petruschke, Dipl.-Ing. D. Stephan

strebt er aber auch eine größere Klarheit in der Abfassung von Tunnelbauverträgen an.
Seine Überlegungen wollte der DAUB grundsätzlich auf eine breitere Basis stellen. Er hat deshalb die nationalen Tunnelbaukomitees der Länder Österreich und Schweiz zu einem gemeinsamen Gedankenaustausch zur Frage des Stands und der Grenzen der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise eingeladen. Das Treffen der drei deutschsprachigen Tunnelbaukomitees fand am 27. 11. 1986 in München statt. Trotz zum Teil divergierender Auffassungen haben dort die Experten ihre Auffassungen zu dem Thema in sachlicher und kollegialer Atmosphäre vorgetragen und erörtert. Mit den folgenden Beiträgen über diesen ersten Gedankenaustausch zwischen den drei Ländern soll der momentane Stand in der Terminologie des modernen Tunnelbaus wiedergegeben werden. Die Veröffentlichung der Diskussion soll zu einem gegenseitigen besseren Verständnis der jeweils nationalen Standpunkte beitragen. Letztendlich kann nur so eine erfolgreiche Weiterentwicklung der Tunnelbautechnik zum Nutzen unserer Völker gelingen.

Subsurface Construction (Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen – DAUB c/o STUVA, Cologne) set about producing a paper intended to shed more light on the concepts of modern tunnelling. In this connection, the DAUB is concerned with an improved delimitation of tunnelling methods on the one hand and their practical execution on the other. At the same time, however, it is anxious to attain greater clarity in the compilation of tunnelling contracts. The DAUB was keen to see its deliberations set on a wider basis. For this reason, it invited the national tunnelling committees from Austria and Switzerland to attend a joint exchange of views relating to the present level and limits of the NATM. The three German-speaking tunnelling committees met in Munich on Nov. 27th, 1986. In spite of in some cases, diverging views, the experts who attended put forward what they had to say on the subject in an objective and collegial manner. The following articles taken from this exchange of views – the first of the kind among the three countries – is intended to show the present level of terminology in modern tunnelling. The publication of the discussion is intended to contribute towards better understanding of the various national approaches. In this way, the successful further development of tunnelling techniques can benefit the nations involved.

STUVA
erhalten

Definition der Bauverfahren und Bauweisen in Bauverträgen des Untertagebaus
Definition of Construction Methods and their Applications in Construction Contracts for Subsurface Construction

Ausarbeitung des DAUB*, Köln

Draft by the DAUB*, Cologne

1 Vorbemerkungen

In der Vergangenheit haben sich verschiedentlich bei der Auslegung von Bauverträgen Schwierigkeiten ergeben, weil die Begriffe im Ingenieur-Tunnelbau – insbesondere soweit sie die Bauverfahren und Bauweisen sowie ihre gegenseitigen Abgrenzungen betreffen – nicht eindeutig definiert sind.
Um eine Klärung herbeizuführen, hat sich der Deutsche Ausschuß für unterirdisches Bauen – DAUB –, in dem Fachleute aus Behörden, Wissenschaft und Industrie vertreten sind, mit der Definition der Bauverfahren und Bauweisen in Bauverträgen des Untertagebaus befaßt. Das bisherige Ergebnis wird hiermit vorgelegt. Der DAUB ist sich über die mit derartigen Definitionen verbundenen Schwierigkeiten im klaren. Er betrachtet daher seine Ausarbeitung als Diskussionsgrundlage und möchte mit ihr den Anstoß für weitere Überlegungen geben. Zuschriften sind daher erwünscht.
Der Tunnelbau hat sich im Laufe der letzten Jahrzehnte von handwerklichen zum Ingenieurtunnelbau hin entwickelt. Deshalb ist es nicht mehr ausreichend, eine Bauweise im klassischen Sinne z. B. nur nach der Unterteilung im Querschnitt zu beschreiben. Viele andere technische Kriterien spielen heutzutage eine wesentliche Rolle.
Ebenso ist es nicht mehr damit getan, eine Bauweise mit nationalen oder regionalen Begriffen zu beschreiben, weil dann niemand erkennen kann, welche Vielfalt an technischen Details hinter diesen Bezeichnungen verborgen ist. Außerdem sind an den modernen Entwicklungen auch nicht nur Ingenieure eines Landes oder einer Region beteiligt gewesen.
Es ist deshalb an der Zeit, die Tunnelbauweisen von derartigen eher irreführenden Bezeichnungen zu lösen und technische Begriffsbestimmungen zu wählen, die der Vielfalt der möglichen Kombinationen gerechter werden.

2 Ordnung der Begriffe im Ingenieurtunnelbau

Die versuchte Begriffsbestimmung der Bauverfahren und Bauweisen im Ingenieurtunnelbau bezieht sich auf die Kriterien Ausbruch, Unterteilung der Orts-

* DAUB: Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen e. V., c/o STUVA, Köln.

1 Preliminary Remarks

In the past, there have been various difficulties caused by the interpreting of construction contracts because the terms used in tunnelling – particularly with regard to the construction methods and their application as well as their mutual limits – have not been clearly defined.
In order to clarify the matter, the German Committee for Subsurface Construction – DAUB – which is composed of experts from administrations, science and industry – turned its attention to the defining of contruction methods and their applications in construction contracts for subsurface projects. The outcome is tabled here. The DAUB is well aware of the difficulties associated with such definitions. As a result, it regard its draft as a basis for discussion – intended as providing the stimulus for further discussions. Comments are welcomed.
In the course of past few decades, tunnelling has developed from a manual task into one for precision engineering. For this reason, it no longer suffices to describe a

* see German original

Funktionale Leistungsbeschreibung für Verkehrstunnelbauwerke – Möglichkeiten und Grenzen für die Vergabe und Abrechnung

Functional Description for Transport Tunnels – Possibilities and Limits for Awarding and Accounting

Auf seiner 46. Sitzung hat der Deutsche Ausschuß für Unterirdisches Bauen e. V. (DAUB) im März 1997 eine Empfehlung zur „Funktionalen Leistungsbeschreibung von Verkehrstunnelbauwerken" verabschiedet. Diese wird hiermit der Fachwelt vorgestellt und soll als Anregung bei entsprechenden Aufgabenstellungen dienen. Zugleich ist der DAUB für kritische Bewertungen und Stellungnahmen dankbar.

In March 1997, at its 46th session, the Deutsche Ausschuß für Unterirdisches Bauen e. V. (German Committee for Subsurface Construction Inc. – DAUB) passed a recommendation on "Functional Description for Transport Tunnels". This recommendation is herewith presented to interested parties and is intended as a stimulation for tasks in this sector. At the same time DAUB welcomes critical assessments.

1 Allgemeines

Nach § 9 VOB/A kann die Beschreibung der Leistung entweder als „Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis" oder als „Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm" (Funktionale Leistungsbeschreibung) erfolgen. Eine Funktionale Leistungsbeschreibung sollte jedoch nur in Ausnahmefällen vorgesehen werden, nämlich wenn es nach Abwägung aller Umstände zweckmäßig ist, zusammen mit der Bauausführung auch den Entwurf für die Leistungen dem Wettbewerb zu unterstellen. Teilleistungen können dabei auch in Form von Leistungspositionen vorgegeben werden.

Der bei einer Funktionalen Leistungsbeschreibung gemäß VOB/A, § 9, Nr. 10 ff durchzuführende Wettbewerb für Bauausführung und Entwurf erfährt immer häufiger durch vorlaufende öffentlich rechtliche Genehmigungsverfahren Einschränkungen, in dem in diesen Genehmigungsverfahren nach heutiger Rechtsprechung zum Schutz der Umwelt und des privaten Eigentums weitgehende Festlegungen, z. B. zum Bauverfahren und zur Baudurchführung, zu treffen sind.

Funktionale Leistungsbeschreibungen werden heutzutage vorwiegend im weitestgehend standardisierten schlüsselfertigen Hochbau (Bauten des Massenbedarfs wie Wohnblocks, Krankenhäuser, Fabrikhallen usw.) angewandt. Hierbei kann die Funktionale Leistungsbeschrei-

DAUB
DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR UNTERIRDISCHES BAUEN E.V.

DAUB-Empfehlung „Funktionale Leistungsbeschreibung für Verkehrstunnelbauwerke"

DAUB Recommendation „Functional Description of Performances for Transport Tunnels"

Arbeitskreismitglieder/
The Members of the committee were:
LBD *Bielecki*, Baubehörde der Freien und Hansestadt Hamburg (Vorsitz)
Dir. Dipl.-Ing. *Becker*, Wayss & Freytag AG, Frankfurt/Main
Prof. *Bösch*, Universität München
Dir. Dipl.-Ing. *Dietz*, Ed. Züblin AG, Stuttgart
Dr. Dipl.-Ing. *Distelmeier*, Heilit & Woerner Bau AG, München
MR Dipl.-Ing. *Grüter*, Deutsche Bahn AG, Frankfurt/Main
Prof. Dr.-Ing. *Haack*, STUVA, Köln
Dr.-Ing. *Kuhnhenn*, BUNG Ingenieure, Heidelberg
o. Prof. Dr.-Ing. *Maidl*, Ruhr-Universität Bochum
BD Dipl.-Ing. *Naumann*, Bundesministerium für Verkehr, Bonn

1 General

According to § 9 VOB/A, the description of the performance can either follow as a "description of performance with list of performances" or as "description of performance with programme of performances" (Functional Description of Performances). A Functional Description of Performances should, however, only be foreseen in cases of exception, namely when, once all circumstances have been taken into consideration, it is advisable to open the draft for the performances to competition together with the execution of construction. Part-performances can, in this case, also be given in the form of performance positions.

The competition for execution of construction and draft to be carried out in keeping with the Functional Description of Performances in accordance with VOB/A, § 9, No. 10 ff increasingly experiences restrictions through ongoing public legal approval proceedings, in as much as in these approval proceedings according to current jurisdiction, far-reaching principles e.g. relating to the construction method and the execution of construction are determined in order to protect the environment and private property.

Functional Descriptions of Performances nowadays are mainly applied in largely standardised turn-key building construction (buildings for mass requirements, such as housing blocks, hospitals, factory halls, etc.). In this connection, the Functional Description of Performances can result in the various stages of the project development. As a result, there are Functional Descriptions of Performances, which in their programme of performances, by and large, only provide the necessary storey area, whereas other e.g. additional detailed data relating to the architecture are given in a preliminary draft as marginal conditions.

The Functional Description of Performances has particular advantages in building construction, on account of the amount of scope that is, for the most part, still prevalent here, and mainly facilitates accounting. However, the related form of obtaining offers can only be translated to a certain extent to transport tunnels or complete line sections of a travelway on account of the existing restrictions.

Generally speaking, a client's draft is set up for transport structures and then bids with a description of performances invited. In this connection, the bidders have also the possibility of putting forward special proposals. The client's draft can thus be regarded as a "challenge for the

Empfehlungen für Konstruktion und Betrieb von Schildmaschinen

Herausgeber:
Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB)
Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) und Arbeitsgruppe Tunnelbau der Österreichischen Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr
FGU Fachgruppe für Untertagbau Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

1 Planerische und baubetriebliche Randbedingungen

Die Wahl der Schildmaschinen, normalerweise hauptsächlich abhängig vom Baugrund und Wasserdruck, wird eingeschränkt durch planerische und geometrische Randbedingungen.

Diese geben Schilddurchmesser sowie Trassen- und Gradientenführung vor.

1.1 Schilddurchmesser

Der Schilddurchmesser wird zu allererst durch die Anforderungen an den herzustellenden Tunnelquerschnitt bestimmt.

1.2 Schildtyp

Bei Durchmessern bis etwa 12 m steht der anstehende Baugrund als Entscheidungsmerkmal für den Schildtyp im Vordergrund. Bei größeren Durchmessern sind für die Entscheidung zwischen Schildmaschinen mit Erddruck (EPB)- oder Flüssigkeitsstützung ergänzende Überlegungen anzustellen hinsichtlich der Übertragung der bei Erddruck-Maschinen etwa 2,5-mal so großen Drehmomente auf den umgebenden Boden (Verrollungsgefahr) sowie der Wirtschaftlichkeit.

Bei Durchmessern größer etwa 12 m kann die Grobseparation (Schwingklassierer) im Nachläufer mitgeführt werden, um Pumpkosten zu sparen und damit insbesondere bei größeren Vortriebslängen die Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

Grundsätzlich ist die Wahl zwischen elektrischem und hydraulischem Antrieb zu treffen. Elektrischer Antrieb hat einen wesentlich besseren Wirkungsgrad, aber auch einen höheren Anspruch an die Steuerung. Hydraulischer Antrieb ist flexibler.

Für das Versetzen der Tunnelfertigteilelemente haben sich Ring-Erektoren bewährt. Es ist zwischen me-

Recommendations for Design and Operation of Shield Machines

Edited by:
Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB)
Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) and
Arbeitsgruppe der Österreichischen Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr
FGU Fachgruppe für Untertagbau
Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

1 Planning and operational marginal Conditions

The choice of shield machines, usually dependent on subsoil and water pressure, is restricted through planning and geometrical marginal conditions.

These govern the shield diameter and the route and gradient alignment.

1.1 Shield Diameter

The shield diameter is primarily governed by the requirements posed by the tunnel cross-section that has to be created.

1.2 Type of Shield

In the case of diameters of up to roughly 12 m, the type of subsoil encountered represents the decisive factor for the type of shield. In the case of larger diameters, further considerations regarding the transference of the torques to the surrounding ground which are roughly 2.5 times greater for EPB machines (danger of roll) as well as the economic efficiency have to be taken into account in the choice between earth pressure balance (EFB) shields or slurry support shields.

In the case of diameters greater than 12 m, the coarse separation plant (vibrating classifier) can be included in the back-up in order to save pumping costs and in particular to improve the economy for greater tunnelling lengths.

It is essential to make a choice between electric and hydraulic drive. Electric drive possesses a considerably better degree of efficiency but also places greater demands on the steering system. Hydraulic drive is more flexible.

Ring erectors have proved themselves for moving the precast tunnel elements. It must be differentiated between mechanical and pneumatic devices for attaching the elements to the erector.

Empfehlungen zu Ausführung und Einsatz unbewehrter Tunnelinnenschalen

Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) – Arbeitskreis „Unbewehrte Tunnelinnenschalen“ – Stand: 24. April 2007

Die vorliegenden Empfehlungen des DAUB sollen bei der Beantwortung der Frage helfen, unter welchen Bedingungen eine Tunnelinnenschale ohne Bewehrung ausgeführt werden kann. Im Einzelnen werden die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen unbewehrter Innenschalen dargestellt, Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise beschrieben und Hinweise zu Konstruktion, Betonrezeptur und Nachbehandlung sowie zur Bewertung und Behandlung von Rissen gegeben.

1 Vorbemerkungen

Die Innenschalen von Verkehrstunneln werden in Deutschland in der Regel in Stahlbeton ausgeführt. Bei fachgerechter Planung und sorgfältiger Ausführung führt diese Bauweise erfahrungsgemäß zu wartungsarmen und dauerhaften Bauwerken. Sie bringt jedoch auch einige Nachteile und Risiken. Hier sind in erster Linie die höheren Kosten zu nennen, die aus der Bewehrung und aus der größeren Mindestdicke der Innenschale resultieren. Bei Abdichtung mit Kunststoffdichtungsbahn birgt der Bewehrungseinbau stets die Gefahr, die Kunststoffabdichtung zu beschädigen, was Undichtigkeiten des Bauwerks zur Folge hat. Des Weiteren können unzureichende Betondeckung oder Rissbildung zu Korrosion der Bewehrung führen und dadurch Betonabplatzungen verursachen.

Die Alternative zur Innenschale aus Stahlbeton ist die Innenschale aus unbewehrtem Beton. Die o. g. Kosten und Risiken entfallen hierbei. An-

Mitglieder des DAUB-Arbeitskreises „Unbewehrte Tunnelinnenschalen“:
Dr.-Ing. A. Städing (Leiter des AK),
Dr. G. Brem,
Dipl.-Ing. G. Denzer,
Dipl.-Ing. R. Harpf,
Prof. Dr.-Ing. D. Kirschke,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. B. Maidl,
Dipl.-Ing. W. Schuck

Recommendations for Executing and Application of unreinforced Tunnel Inner Linings

German Committee for Underground Construction (DAUB) – Working Group for “Unreinforced Tunnel Inner Linings” – as of April 24th, 2007

These DAUB recommendations are intended to help in answering the question of under which circumstances a tunnel inner lining can be executed without reinforcement. The various possibilities of application and limits of unreinforced inner linings are presented, proof of sustainability and serviceability described and pointers for design, concrete mixes and curing provided along with the evaluation and treatment of cracks.

1 Preliminary Remark

The inner linings of transport tunnels in Germany are generally made of reinforced concrete. It has been demonstrated that given proper planning and careful execution this means of construction ensures permanent structures requiring little maintenance. However, there are certain disadvantages and risks involved. Firstly, there are the high costs resulting from the reinforcement and the major minimum thickness of the inner lining. When a plastic sealing membrane is used as waterproofing there is the danger that the membrane can be damaged when the reinforcement is installed, something which can lead to leaks in the structure. In addition, insufficient concrete covering or crack formation can lead to the reinforcement corroding so that concrete spalling is the outcome.

The alternative to the reinforced concrete inner lining is one made of unreinforced concrete. In this case, the above mentioned costs and risks are dispensed with. On the other

Members of the DAUB Working Group for “Unreinforced Tunnel Inner Linings”:
Dr.-Ing. A. Städing (Head of the WG),
Dr. G. Brem,
Dipl.-Ing. G. Denzer,
Dipl.-Ing. R. Harpf,
Prof. D. Kirschke,
Prof. B. Maidl,
Dipl.-Ing. W. Schuck



D-A-CH

FGU Fachgruppe für Untertagbau
GTS Groupe spécialisé pour les travaux souterrains
GLS Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo
STS Swiss Tunnelling Society

Leitfaden für Planung und Umsetzung eines Sicherheits- und Gesundheitsschutzkonzeptes auf Untertagebaustellen

Recommendations for planning and implementation of occupational health and safety concept on underground worksites

BG BAU
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft

STUVA

Empfehlungen

zu Schutzmaßnahmen bei Tunnelvortrieben in asbestbelastetem Gestein

Empfehlungen der Arbeitsgruppe

„Schutzmaßnahmen bei Tunnelvortrieben in asbestbelastetem Gestein“
des Deutscher Ausschusses für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB).

Mitglieder der Arbeitsgruppe:

MR Dipl.-Ing. **Naumann** (Leiter), OAR Dipl.-Ing. **Friebel**,
Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn;

Dipl.-Ing. **Bayer**, Dipl.-Ing. **Jacob**,
Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG, München;

Dr.-Ing. **Brem**, Hochtief Construction AG, Niederlassung Tiefbau, Frankfurt,

Dipl.-Ing. **Chromy**,Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München;

Dr.-Ing. **Schreyer**, Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.
STUVAtec GmbH, Köln;

Dr. **Seeger**, Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiebaden;

Dipl.-Ing. **Stephan**, Ing.-Büro Dipl.-Ing. H. Vössing GmbH, Düsseldorf.

Dok.-Nr.: 5339-MOAP-006

Empfehlungen zur Risikoverteilung in Tunnelbauverträgen

Recommendations for Sharing Risks in Tunnelling Contracts

Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB)

1 Vorwort

Gegenstand dieser Empfehlung sind Fragen der Risikoverteilung zwischen Auftraggeber (AG) und Auftragnehmer (AN) bei Ausschreibung und Ausführung eines Tunnelbaus.
Die vorliegende Empfehlung will kein Handbuch für AG, Ingenieur oder AN sein. Beabsichtigt ist vielmehr, zum Zwecke der Risikoabgrenzung und Risikoverteilung Hinweise zu geben, wie Konfliktbereiche im Tunnelbau baupraktisch und vertraglich geregelt werden können.
Die sich möglicherweise aus den EU-Regelungen ergebenden Änderungen und Ergänzungen sind gegebenenfalls zu berücksichtigen.

2 Vertragsgrundlagen

2.1 Nationale Vertragsgrundlagen

Der Bauvertrag ist gesetzlich nicht speziell geregelt. Sofern von den Vertragspartnern im Einzelfall keine individuellen Vereinbarungen getroffen werden, gelten die allgemeinen Vorschriften des Werkvertragsrechts nach BGB.
Die VOB kann nur Inhalt eines Bauvertrages werden, wenn die Parteien dies zweifelsfrei vereinbaren. Falls dies vereinbart ist, bestimmt die VOB die Rechtsbeziehungen und geht als spezielle Vorschrift dem gesetzlichen Werkvertragsrecht vor.
Die VOB kann aber nur dann ihre volle Wirkung entfalten, wenn sie auch in vollem Umfang für anwendbar erklärt wird. Ist sie nur teilweise Vertragsinhalt geworden, so ist in der Regel die „Ausgewogenheit" gestört. Dies kann zur vollen Unwirksamkeit der VOB führen.

Empfehlung

Den Bauvertragspartnern ist der Abschluß eines VOB-Bauvertrages zu empfehlen, denn es ist anerkannt, daß die VOB/B eine im ganzen ausgewogene Regelung enthält, die den Interessen von Auftragnehmern und Auftraggebern gleichermaßen Rechnung trägt.

2.2 FIDIC: Internationale Vertragsbedingungen für Ingenieurbauarbeiten

Die Verbände „Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils" (FIDIC) und „Fédération Internationale du Bâtiment et des Travaux Publics" (FIBTP) haben erstmals im Jahr 1957 Standardbe-

Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen e.V. – DAUB –, Köln/D

DAUB
DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR UNTERIRDISCHES BAUEN E.V.

Mitarbeiter des Arbeitskreises
Members of the working group

Dr.-Ing. Karl Kuhnhenn
(Leiter des AK)
Planungsgesellschaft + BUNG Heidelberg GmbH, Heidelberg/D

Dipl-Ing. Claus Becker
Wayss & Freytag AG, Frankfurt/D

Dipl.-Ing. Richard Harpf
Alfred Kunz GmbH & Co., München/D

Dipl.-Ing. Klaus Kreuzberger
Obere Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren – II D8, München/D

Prof. Dr.-Ing. E.h. Helmut Maak
Neumarkt/D

Herrn BD Joachim Naumann
Bundesministerium für Verkehr, Bonn/D

1 Foreword

These recommendations relate to issues of risk sharing between the client and the contractor during the tendering and execution phases of a tunnel project. The recommendations tabled are not intended as a manual for the client, engineer or the contractor. The objective is far more to provide pointers for restricting and sharing risks as to how areas of conflict can be regulated practically and contractually in tunnelling.
Changes and additions which have resulted from EU regulations must also be taken into consideration.

2 Contractual Principles

2.1 National contractual Principles

The construction contract is not specially regulated by law. The general regulations contained in the work contract legislation in accordance with the BGB (Code of Civil Law) are applicable unless the contracting parties have made specific agreements in individual cases.
The VOB (Code of Practice for the Construction Industry) can only constitute a part of a construction contract providing the parties have clearly agreed to this. Should this be the case, the VOB determines the legal relationship and has priority over work contract legislation as a special regulation.
The VOB can only be completely effective providing that it is declared to be applicable as such. If it has only become partially applicable with regard to the contract then in general, the "balance" has been affected. This can lead to the VOB becoming completely invalidated.

Recommendation

It is recommended that the partners to the contract draw up a VOB construction contract, for it is recognised that the VOB/B contains a, by and large, balanced regulation, which ensures that the interests of the client and the contractor are taken into consideration to an equal degree.

2.2 FIDIC: International contractual Conditions for Engineering Works

The associations "Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils" (FIDIC)

DAUB – German Committee for Subsurface Construction Inc., Cologne/D

Empfehlungen zur Auswahl und Bewertung von Tunnelvortriebsmaschinen

Recommendations for selecting and evaluating tunnel boring machines

DAUB

Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen (DAUB)
Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) und
Arbeitsgruppe Tunnelbau der Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen
FGU Fachgruppe für Untertagbau Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein

1 Zweck der Empfehlung

Die Entwicklung des Tunnelbaus in geschlossener Bauweise ist durch eine verstärkte Tendenz zum vollmechanisierten Tunnelbau mit geeigneten Tunnelvortriebsmaschinen TVM im Festgestein und Lockergestein gekennzeichnet. Die Schaffung spezieller Verfahrenstechniken wie Ortsbruststützung mit Flüssigkeit oder Erdbrei sowie die erfolgreiche Anwendung von Diskenmeißeln zum Abbau von felsartigen Einlagerungen und Findlingen haben zu einer wesentlichen Erweiterung des Einsatzbereiches und zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit dieser Vortriebssysteme geführt.
Die zunehmende Anwendung von Tunnelvortriebsmaschinen und die damit verbundene laufende Verbesserung der unterschiedlichen Verfahrenstechniken führt zu Maschinentypen, die auch sehr heterogenen Baugrund bzw. eine Mischung aus Locker- und Festgestein zu durchörtern vermögen. Die durch die Entstehungsgeschichte und die spezifische Maschinen- und Abbautechnik bedingte klare Unterscheidung von Tunnelbohrmaschinen für das Festgestein und Schildmaschinen für das Lockergestein verliert ihre ursprüngliche Bedeutung. Die zurückliegende Entwicklung und die erfolgreiche baupraktische Erprobung hat Tunnelvortriebsmaschinen hervorgebracht, bei denen typische Merkmale der beiden Verfahrenstechniken zu einer Einheit integriert wurden. Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, für das gesamte geotechnische Spektrum geeignete Tunnelvortriebsmaschinen zum Einsatz zu bringen.
Die zu erwartenden geotechnischen Verhältnisse in Verbindung mit dem Trassen- und Gradientenverlauf sind die entscheidenden Voraussetzungen für die Wahl des Tunnelbauverfahrens. Durch Gegenüberstellung des für die Nutzung erforderlichen Querschnittes, der Länge des Tunnels und der geotechnischen Verhältnisse mit den verfügbaren Verfahrens- und Maschinentechniken kann die jeweils geeignete Tunnelvortriebsmaschine konzipiert werden. Diese Empfehlung zeigt Zusammenhänge auf, die zwischen den geotechnischen Gegebenheiten und der Verfahrens- und Maschinentechnik bestehen.
Bei der Auswahl der Tunnelvortriebsmaschinen ist außerdem auf die Umweltverträglichkeit der Maschinen- und Verfahrenstechnik zu achten.
Diese Empfehlung ist als zusätzliches Hilfsmittel zu verstehen, die dem Ingenieur bei der Entscheidungsfindung dienen soll. Eine projektbezogene Analyse ist jedoch unerläßlich und stellt die Hauptgrundlage dar. Die Empfehlung gilt nicht oder nur bedingt für Microtunnelmaschinen.

2 Geotechnik

Die Kenntnis der geotechnischen Verhältnisse ist die wichtigste Grundlage für

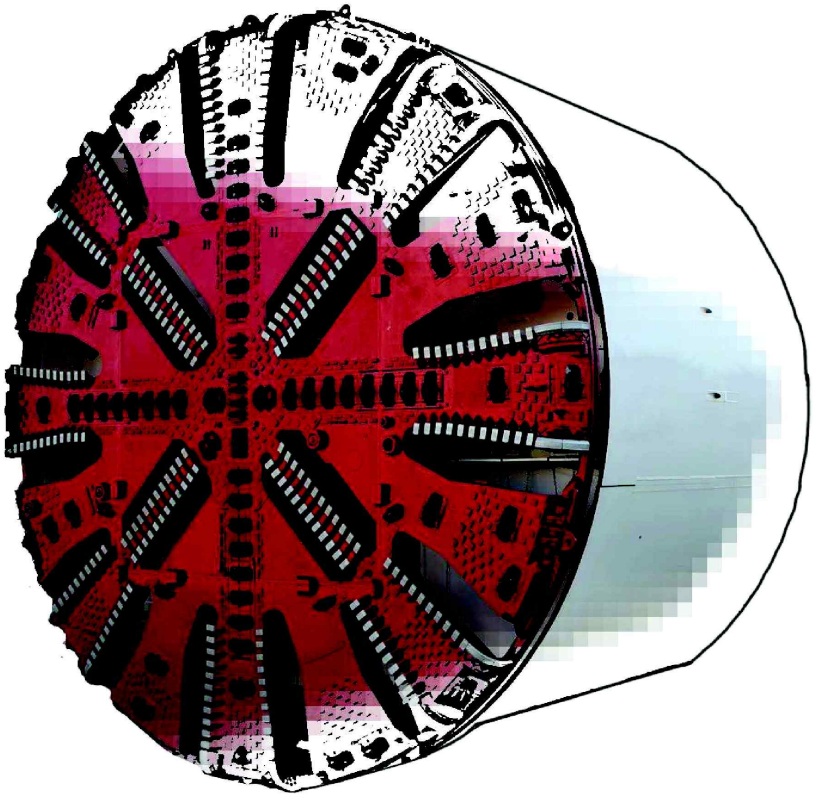
1 Purpose of the recommendations

The developments in mined tunnelling are characterised by a increased trend towards fully mechanised tunnelling with appropriate tunnelling machines (TBM) in solid rock and soft ground. The creation of special methods such as face supporting with fluid or slurry as well as the successful utilisation of cutter discs for removing rock-like intrusions and boulders have led to a considerable expansion of the field of application and to an increase in the economy of these tunnelling systems.
The increasing application of tunnelling machines and the related continuous improvement of the various extraction techniques had led to types of machines, which have the capacity to penetrate extremely heterogeneous subsoil, that is respectively a mixture of soft ground and solid rock. The clear distinction between tunnel boring machines (TBM) for solid rock and shield machines (SM) for soft ground, which resulted from their conceptional background and the special engineering and extraction technology, has lost its original significance. Past developments and the progress made in practice have produced tunnelling machines, in which the typical features of both techniques have been integrated in a single unit. In this way, the possibility has been created to make available tunnelling machines suitable for the entire geotechnical spectrum.
The anticipated geotechnical conditions in conjunction with the course of the route and gradient represent the decisive prerequisites for selecting the tunnelling method. By comparison of the cross-section needed for the purpose of the tunnel, its length and the geotechnical conditions with the available technology, the most suitable tunnelling machine can be devised. These recommendations apply to inter-relationships which exist between the geotechnical circumstances and process and engineering techniques.
When selecting tunnelling machines, the environmental compatibility of the tunnelling methods must also be taken into consideration.
These recommendations should also be seen as an additional aid, designed to serve the engineer in arriving at a decision. A project-related analysis is, however, essential and represents the main basis for the approach. These recommendations do not apply, or only to a certain extent for micro-tunnelling.

2 Geotechnics

The knowledge of the geotechnical con-

Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen



Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V.
German Tunnelling Committee (ITA-AITES)

Empfehlungen für statische Berechnungen von Schildvortriebsmaschinen

Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) – Arbeitskreis Schildstatik

Beim Aufstellen von Belastungs- und Bettungsannahmen für die statische Berechnung einer Schildmaschine ist eine sorgfältige Abwägung zwischen wirtschaftlichen Aspekten und der Sicherstellung der Tragfähigkeit sowie der Gebrauchstauglichkeit der Maschine erforderlich. Ziel des Entwurfsprozesses ist es, die Funktionstauglichkeit der Schildmaschine sicherzustellen sowie konstruktive und wirtschaftliche Faktoren wie z. B. die Blechdicke des Schildschwanzes und die resultierende Dicke des Ringspalts zu optimieren.

1 Einleitung

In der weit überwiegenden Zahl der Praxiseinsätze von Schildmaschinen sind bislang keine grundlegenden Probleme mit der Tragfähigkeit oder mit Verformungen aufgetreten. Die starke Ausweitung der Einsatzbereiche von Schildmaschinen in den letzten 10 Jahren hat jedoch zu einer Sensibilisierung gegenüber den Berechnungsannahmen für Schildmaschinen geführt, für deren Aufstellung bislang nur wenige Hinweise vorliegen. Bei Tunnelprojekten der jüngeren Zeit war festzustellen, dass dieses Thema verstärkt in der Praxis diskutiert wird und ein Bedarf für entsprechende Empfehlungen besteht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Anforderungen an eine temporär für den Tunnelvortrieb eingesetzte Baumaschine erheblich von den Anforderungen an einen Tunnelausbau,

Zusammensetzung des DAUB-Arbeitskreises „Schildstatik": Dr.-Ing. G. Brem (Hochtief AG), Dipl.-Ing. W. Burger (Herrenknecht AG), Dipl.-Ing. K. O. Fritz (Anakon), Prof. Dipl.-Ing. F. Grübl (PSP Beratende Ingenieure), Prof. Dr.-Ing. B. Maidl (Ruhr-Universität Bochum), Dr.-Ing. U. Maidl (Ingenieurbüro Maidl & Maidl), Prof. Dr.-Ing. D. Placzek (Erdbaulaboratorium Essen), Dr.-Ing. U. Rehm (Herrenknecht AG), Dipl.-Ing. W. Schuck (Deutsche Bahn AG), Dr.-Ing. I. Spohr (Zerna, Köpper u. Partner), Dr.-Ing. A. Städing (Duddeck u. Partner), Dr.-Ing. M. Thewes (STUVA)

Recommendations for static Analysis of Shield Tunnelling Machines

German Committee for Underground Construction (DAUB) – Shield Statics Working Group

When establishing load and bedding assumptions for the static analysis of a shield machine it is essential to arrive at a fine balance between economic aspects and safeguarding the bearing capacity as well as the serviceability of the machine. The objective of the design process is to secure the shield machine's functionality as well as optimising constructional and economic factors like the tail skin plate thickness and the resultant thickness of the annular gap.

1 Introduction

So far in the majority of cases relating to practical applications of shield machines no basic problems have occurred with regard to the bearing capacity or deformations. The pronounced increase in the ranges of application for shield machines during the past 10 years has, however, led to a sensitisation regarding the analytical assumptions for shield machines, for which few references are available up till now. It became evident in the case of recent tunnel projects that this topic is widely discussed in practice and that there is a need for corresponding recommendations. In this connection, it must be taken into consideration that the requirements posed on a construction machine, which is temporarily used for driving a tunnel can differ substantially from the demands placed on a tunnel lining, which is devised for a service life of 100 years or more.

Compiled by the DAUB Working Group on "Shield Statics": Dr.-Ing. G. Brem (Hochtief AG), Dipl.-Ing. W. Burger (Herrenknecht AG), Dipl.-Ing. K. O. Fritz (Anakon), Prof. F. Grübl (PSP Beratende Ingenieure), Prof. B. Maidl (Ruhr-Universität Bochum), Dr.-Ing. U. Maidl (Ingenieurbüro Maidl & Maidl), Prof. D. Placzek (Erdbaulaboratorium Essen), Dr.-Ing. U. Rehm (Herrenknecht AG), Dipl.-Ing. W. Schuck (Deutsche Bahn AG), Dr.-Ing. I. Spohr (Zerna, Köpper u. Partner), Dr.-Ing. A. Städing (Duddeck u. Partner), Dr.-Ing. M. Thewes (STUVA)

erfaßt

Empfehlungen des Deutschen Ausschusses für Unterirdisches Bauen e.V. (DAUB) zu Planung und Bau von Tunnelbauwerken

Nach einem Vortrag von J. Naumann und Dr. G. Brem anlässlich der STUVA-Tagung 2003 in Dortmund/D

Vorbemerkung

Die im Deutschen Ausschuss für Unterirdisches Bauen e.V. (DAUB) vertretenen Ingenieure aus den Bereichen Behörden und Bauherren, Wissenschaft und Planung sowie Bauwirtschaft stellen gemeinsam fest, dass das Baugeschehen in Deutschland generell und hierbei auch der vom DAUB repräsentierte Tunnelbau zunehmend von Differenzen zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern über Qualität, Kosten und Risiken belastet wird. Dies führt immer öfter zu vermeidbaren Mehrkosten, unter Umständen zu erheblichen Terminüberschreitungen mit negativen Auswirkungen auf Folgemaßnahmen und teilweise zu gravierenden Planungs- und Ausführungsmängeln. Diese Entwicklung verursacht nicht nur einen hohen volkswirtschaftlichen Schaden, sondern beeinträchtigt auch zunehmend das Ansehen der Bauingenieure in der Gesellschaft. Der DAUB ruft daher dazu auf, dass die an Planung und Bau Beteiligten diese Entwicklung kritisch reflektieren und unter Anerkennung der unterschiedlichen Interessen zu einem fairen Miteinander beitragen.

Die aktuelle Situation ist einerseits durch tief greifende Wandlungen bei den gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen begründet, andererseits aber auch teilweise durch planerische, technische und vertragliche Defizite verursacht. Der DAUB hat daher Empfehlungen erarbeitet, mit denen diese Defizite vermieden werden können und das Ziel eines gemeinsamen Erfolges erreicht werden kann. Die große Anzahl der weiterhin erfolgreich abgeschlossenen Projekte zeigt, dass bei Beachtung dieser Grundregeln auch unter den veränderten Rahmenbedingungen eine konstruktive und kooperative Zusammenarbeit möglich ist.

Min.-Rat Dipl.-Ing. Joachim Naumann, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn/D
Dr.-Ing. Günther Brem, HOCHTIEF Construction AG, Frankfurt/Main/D

Recommendations by the German Committee for Subsurface Construction Inc. (DAUB) on Planning and Constructing Tunnels

Based on a paper delivered by J. Naumann and Dr. G. Brem during the STUVA Conference 2003 in Dortmund/D

Introduction

The engineers that are represented in the German Committee for Underground Construction Inc. from public authorities and clients, science and planning as well as the construction industry have arrived at the conclusion that construction activities in Germany in general and tunnelling as represented by DAUB in particular are encumbered to an increasing extent by differences between clients and contractors relating to quality, costs and risks. This frequently leads to avoidable added costs, in some cases to exceeding deadlines substantially with negative effects on follow-up measures as well as to serious flaws in planning and execution. This development results in high economic damage as well as having an increasingly negative influence on the standing of construction engineers in society. As a consequence the DAUB calls on all those involved in planning and construction to reflect this development critically and contribute towards fair cooperation taking the various interests properly into account.

The current situation is on the one hand a result of the far-reaching changes that have affected the social, political and economic marginal conditions but on the other, it is caused in part by planning, technical and contractual deficits. As a result, the DAUB has come up with recommendations aimed at avoiding these deficits and reaching a common successful approach. The majority of projects that continue to be successfully concluded shows that constructive cooperation is still possible providing that the basic rules are observed even given changed marginal conditions.

These recommendations are directed at all those involved in planning and construction of tunnels as well as at decision-makers in politics, the economy and administration.

Dipl.-Ing. Joachim Naumann, Federal Ministry for Transport, Building and Housing, Bonn/D
Dr.-Ing. Günther Brem, HOCHTIEF Construction AG, Frankfurt/Main/D

STUVA
Mappe

Empfehlungen zur Planung, Ausschreibung und Vergabe von schildgestützten Tunnelvortrieben*

Recommendations for Planning, Tendering and Awarding shield-supported Tunnel Drivage Projects*

Die Empfehlungen zur Planung, Ausschreibung und Vergabe von Schildvortrieben wurden erarbeitet, um der Fachwelt ein Hilfsmittel zu geben zur möglichst gleichartigen übersichtlichen vertraglichen Behandlung der in den letzten Jahren erheblich weiter entwickelten Vortriebstechnik mit schildgestützten Tunnelbohrmaschinen in nicht standfestem Gebirge. Sie gelten sinngemäß für alle maschinellen Vortriebe und sollen zur besseren Risikoeinschätzung und -verteilung beitragen.

1 Vorwort

Der Tunnelvortrieb in nicht standfestem Gebirge verlangt von den Vortriebsmaschinen ein besonderes technisches Leistungsvermögen als Vorbedingung für eine erfolgreiche Ausführung. Dieses wird in erheblichem Maße von den Anforderungen aus den angetroffenen geologischen und hydrogeologischen Bedingungen, den boden- bzw. felsmechanischen Eigenschaften des Baugrundes, den örtlichen Randbedingungen und der Umweltverträglichkeit beeinflußt.

Die sachgerechte Bewertung dieses Einflusses auf das technische Leistungsvermögen der Vortriebsmaschinen erfordert bei Planern, Ausschreibenden und Ausführenden besondere Kenntnisse und Erfahrungen. Außerdem kommt es entscheidend auf eine enge Zusammenarbeit zwischen Maschinenbauer und Bauingenieur bereits zu einem frühen Entwurfsstadium an, um Fehlplanungen im Maschinenkonzept zu vermeiden.

Die Fachwelt wird hiermit ausdrücklich gebeten, jüngste Erfahrungen bei der Anwendung des Vortriebes mit schildgestützten Tunnelbohrmaschinen, insbesondere auch bezüglich der Nutzung nachstehender Empfehlungen zwecks späterer Fortschreibung dem DAUB mitzuteilen.

2 Planung

2. 1 Allgemeines

Der heutige Stand der Vortriebstechnik erlaubt, Tunnel auch in nicht standfestem Gebirge im Grundwasser mit Vortriebsmaschinen aufzufahren, wobei während des Ausbruchs und des Einbaus der Auskleidung das Gebirge zuverlässig gestützt wird. Dabei können Bauverfahren angewendet werden, die die Grundwasserverhältnisse weitgehend schonen.

Da das Vortriebsverfahren sehr von der angetroffenen Geologie und Hydrogeologie abhängt, müssen die daraus abgeleiteten boden- und felsmechanischen Eigenschaften sehr sorgfältig untersucht werden, soweit sie für den Vortrieb mit schildgestützten Tunnelbohrmaschinen maßgebende Parameter darstellen.

2.2 Projektbearbeitung

2.2.1 Trassierung

Die Wahl der Tunneltrasse wird durch das Vortriebsverfahren mit schildgestützten Tunnelbohrmaschinen grundsätzlich nicht eingeengt. Die Krümmungsradien beeinflussen die Länge des Schildes oder seiner Elemente, wie auch die Breite der Tübbingringe und seiner Fugenausbildung.

2.2.2 Ingenieurgeologische und boden- bzw. felsmechanische Untersuchungen

Neben den ingenieurgeologischen und boden- bzw. felsmechanischen Untersuchungen zur Berechnung und Bemessung der Auskleidung sind für das Bauverfahren unter anderem folgende Angaben wichtig:

❑ für den Abbau im Fels:
Gesteinsfestigkeit, Abrasivität, mineralogischer Aufbau, Härte, Zähigkeit, Trennflächen

❑ im Lockerboden:
Kornaufbau, Lagerungsdichte bzw. Konsistenz, mineralische oder chemische Verfestigungen, Neigung zur Klebrigkeit, Aussage über Steine: Anzahl, Größe, Härte

❑ für die Ortsbrust-Stützung
im Fels:
Richtungen und Eigenschaften des Trennflächengefüges, Wasseranfall
im Lockerboden:
Kornaufbau, Durchlässigkeit, Lagerungsdichte bzw. Konsistenz, Bodenschichtung, Scherfestigkeit

❑ für die Abförderung
im Fels:
keine zusätzlichen Untersuchungen
im Lockerboden:
Kornaufbau, natürlicher Wassergehalt, Kohä-

These recommendations for planning, tendering and awarding shield-supported tunneling projects were worked out in order to ensure that specialists were provided with an aid which would quarantee more or less the same type of contractual treatment for drivage technology with shield-supported tunnel boring machines in unstable rock – a technique which has been considerably developed in recent years. They are intended to apply to all types of mechanical drivage projects and to contribute towards better assessment and sharing of the risks.

1 Introduction

Tunnelling in unstable rock demands a special technical performance capacity from the machines in question as a precondition for successful execution. This is particularly influenced by the requirements resulting from the geological and hydrogeological conditions encountered, the soil and rock mechanical properties of the sub-soil, the local marginal conditions and the environmental compatibility.

Those involved in planning, tendering and executing of such projects must have special knowledge and experience in order to properly assess such influences on the technical performance capacity of the tunnel boring machines. In addition, it is essential that the machine manufacturer and the construction engineer get together at an early stage to compare notes and avoid errors in machine design.

All those involved are expressly requested to pass on their latest findings in applying drivage using shield-supported TBMs, especially with regard to the utilization of the following recommendations to DAUB – so that they can subsequently be revised as necessary.

2 Planning

2.1 General

The present level of drivage technology also makes it possible for tunnels to be driven in unstable rock with groundwater with machines, which ensure that the rock is reliably supported during excavation and the installation of the lining. In this connection, construction methods can be applied, which largely take the groundwater conditions into consideration.

As the methods applied mainly depend on the geology and hydrogeology that is encountered, the resultant soil and rock mechanical properties must be very carefully investigated to determine to what extent they comply with the parameters for drivage with shield supported TBMs.

2.2 Excuting the Project

2.2.1 Routing

The choice of tunnel route is not essentially restricted through the drivage method with shield-supported TBMs. The curvature radii influence the length of the shield or its elements as well as the width of the segment rings and the nature of the joints.

* Herausgegeben vom Deutschen Ausschuß für unterirdisches Bauen e.V. – DAUB – Köln

Edited by:
Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen e.V. –DAUB– Cologne

Gefährdungsbeurteilung

Konventioneller Tunnelvortrieb

Gefährdungen Erkennen, Beurteilen und Beseitigen



Bundesfachabteilung Unterirdisches Bauen
im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.

in Zusammenarbeit mit der

BG BAU Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft

Stand 2011

Gefährdungsbeurteilung
Maschineller Tunnelvortrieb

Gefährdungen:
Erkennen
Beurteilen
Beseitigen



Bundesfachabteilung Unterirdisches Bauen
im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.

in Zusammenarbeit mit der

BG BAU Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft

April 2009

Sicherung des Ideenwettbewerbs in Genehmigungsverfahren für Bauvorhaben

Securing Competitiveness in the Approval Proceedings for Construction Projects

published by the Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen e. V. – (DAUB) –

Der Deutsche Ausschuß für unterirdisches Bauen (DAUB), dem paritätischen Vertreter von Ministerien und Behörden, der Industrie sowie der Wissenschaft angehören, weist mit dieser Stellungnahme auf die zunehmende Einschränkung des Ideenwettbewerbs bei Bauvorhaben hin, die öffentliche Belange berühren, wenn bei den vorausgehenden Planungsrechtsverfahren zu enge Vorgaben festgelegt werden. Die Legislative und die öffentlichen Verwaltungen als Bauherrn werden gebeten, die negativen Folgen solcher Einschränkungen zu erkennen und den Ideenwettbewerb auch bei langfristigen Planungen weiterhin zu sichern.

1 Sachverhalt

Bei Bauvorhaben, insbesondere der öffentlichen Hand, geht einer Ausschreibung, die in der Regel auch Sondervorschläge erwartet, zeitlich voraus:

❒ das Raumordnungsverfahren (ROV), jeweils unter Einbeziehung

❒ der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG, Bundesgesetz vom 12. 2. 1990) und

❒ des Planfeststellungsverfahrens (PlaFe, Verwaltungsverfahrensgesetz vom 25. 5. 1976).

Bei aktuellen Baumaßnahmen hat sich gezeigt, daß bereits bei der Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben in den Planungsrechtsverfahren auch enge Einschränkungen für Entwurfsvarianten, Gestaltung und Bauausführung festgelegt werden. Eine solche Restriktion der Planungsfreiräume kann insbesondere bei langen Zeiten der Planung und der Genehmigungsverfahren zur Folge haben, daß technisch oder ökologisch günstigere Sonderangebote zum Zeitpunkt der Ausschreibung nicht mehr möglich sind, selbst wenn für Abweichungen von den planfestgestellten Bauverfahren ein kompensatorischer Ausgleich vorgeschlagen wird.

Nach § 6 (4) Abs. 3 UVPG müssen die Unterlagen für die UVP u.a. enthalten: „Übersicht über die wichtigsten, vom Träger des Vorhabens geprüften Vorhabenalternativen und Angabe der wesentlichen Auswahlgründe unter besonderer Berücksichtigung der Umweltauswirkungen des Vorhabens." Damit wird über alternative Lösungen bereits früh entschieden.

Die Problematik wird durch die langen Planungszeiten, die bei Verkehrsbauten z.Z. zwischen 10 und 15 Jahren liegen, erheblich verschärft. So werden oft schon zum Zeitpunkt des Raumordnungsverfahrens oder des Planfeststellungsverfahrens Vorgaben gemacht für z.B.

❒ die zu verwendenden technischen Bauverfahren,

❒ genaue Angaben über Art und Umfang der Beeinträchtigung der Umwelt,

❒ die von dem Bauvorhaben und den Bauverfahren abhängigen Ersatz- und Ausgleichsmaßnahmen,

❒ Bedarf an Grund und Boden mit in Plänen festgeschriebener Ausweisung der zur Verfügung zu stellenden Flächen, u.a. auch für Deponien, Baustellenflächen und -zufahrten,

❒ die zu spezifischen Bauverfahren gehörenden Einwirkungen auf Grundwasser und Wasserhaushalt,

❒ Ort, Art und Menge der Bodenbewegungen.

Es ist ein deutlicher Trend feststellbar, diese Vorgaben über das in der UVP und der Planfeststellung geforderte Maß hinaus, insbesondere auch die Lösungen für die Erfüllung der Auflagen der Umweltbelange, noch detaillierter zu fixieren. Eine hieraus folgende Einschränkung des Ideenwettbewerbs kann speziell beim Tunnelbau auftreten, denn hier sind die Eingriffe in die Umwelt durch technische Alternativverfahren im Rahmen von Sonderentwürfen in der Regel groß.

2 Folgen

Der Ideenwettbewerb zur Zeit der Ausschreibung, der in der Regel auf inzwischen eingetretenen technischen Weiterentwicklungen oder speziellen Ideen der ausführenden Firmen basiert, ist durch die Alternativenauswahl zur Zeit des UVP-Verfahrens eingeschränkt, insbesondere wenn dabei auch technische Bauverfahren festgelegt werden.

Die Ausschreibungen sind meist nicht mehr offen für planerische, ökologische oder technische Alternativen wie beim Tunnelbau, z.B. für die Wahl zwischen Vortrieb in Schild- oder in Spritzbetonbauweise.

Die technische Entwicklung wird gehemmt, weil Sonderentwürfe mit inzwischen entwickelten neuen Ideen und neuen Verfahren nicht zum Zuge kommen. Dies gilt auch für ökologisch bessere Lösungen. Damit werden auch Kosteneinsparungen verhindert.

Änderungen gegenüber dem im Planfeststellungsverfahren festgelegten Bauvorhaben sind oft erst durch aufwendige, zeitverzögernde

The Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen (DAUB – German Committee for Subsurface Construction), is made up on a paritative basis of representatives from ministeries and authorities, industry and science. In this publication, it points to the ever increasing restriction of competitiveness in conjunction with construction projects, on the public sector, when the limits put forward during the advance planning approval procedure are too narrow. The legislature and public administrations in their capacity as clients are called on to take note of the negative effects of such restrictive processes and to continue to secure the competitive spirit in future, also in the case of long-term planning.

1 Situation

Before construction projects, especially those on the public sector, reach the tendering stage, which, generally speaking, also calls for special proposals, they are preceded by:

❒ *the planning procedure (ROV), which in each case includes*

❒ *examination of the environmental suitability (UVPG – federal law dating from Feb. 12th, 1990) and*

❒ *the plan approval proceedings (Pla-Fe, administrative procedure law dating from May 25th, 1976).*

Current construction measures have shown that even when translating the legal conditions into the plan approval proceedings, narrow limits exist for draft variants, design and execution of construction. Such a restriction to the scope of planning can mean that technically or ecologically more favourable special proposals are no longer possible at the tendering stage, even when a compensation factor is put forward for deviations from the construction project which has been approved – especially when planning and approval proceedings last a long time.

According to § 6 (4) Section 3 of the UVPG, the documents for examination of the environmental suitability must contain among other things: "A survey of the most important project alternatives, examined by the party responsible for the project and provision of the essential reasons for their selection under special consideration of the ecological effects of the project". In this way, alternative solutions are decided on at an early stage.

This problem complex is exacerbated considerably through the long planning periods, which at present amount to between 10 and 15 years for transport projects. Thus, for instance, at the time of the planning procedure or the plan approval proceedings, the following stipulations are laid down:

❒ *the technical construction method to be applied,*

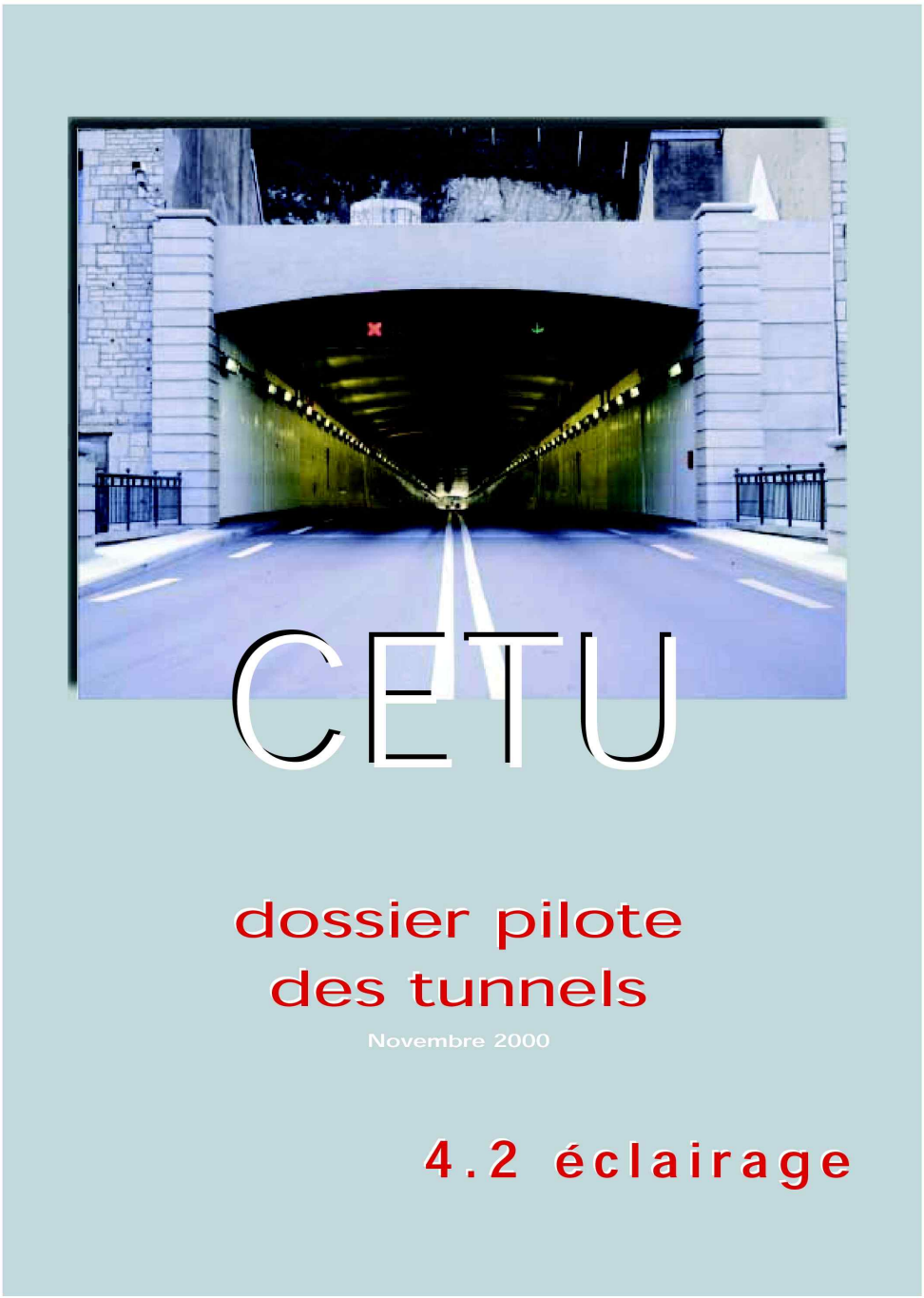
❒ *exact details relating to the nature and extent that the environment will be affected,*

❒ *the amount of space required with the available areas laid down in plans, also relating to dumps, construction site areas and accesses,*

❒ *the effects that specific construction methods have on the groundwater and water resources,*

❒ *location, nature and quantity of soil movements.*

6. 프랑스


CETU
dossier pilote
des tunnels
Novembre 2000
4.2 éclairage

Les guides

DOSSIER PILOTE DES TUNNELS, DOCUMENT N° 5 : ENVIRONNEMENT



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat
Développement durable
Prévention des risques
Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

juillet 2011

Centre d'Études des Tunnels

www.cetu.developpement-durable.gouv.fr

Ministère
de l'Equipement,
des Transports
et du Logement

Direction
des Routes

GUIDE pour la prise en compte de LA QUALITE DE L'AIR au voisinage DES TUNNELS ROUTIERS

Centre d'Etudes des Tunnels

25, avenue François-Mitterrand - Case n°1 - 69674 BRON CEDEX - France
Téléphone : 04 72 14 34 00 - Télécopie : 04 72 14 34 30 - E-mail : cetu@equipement.gouv.fr

Juin 2000

I.S.B.N. 2.11-084748-4

Les guides

LES ÉTUDES D'ENVIRONNEMENT DANS LES PROJETS ROUTIERS VOLETS "AIR" ET "SANTÉ"

LE CAS SPÉCIFIQUE DES TUNNELS



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat
Développement durable
Prévention des risques
Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

octobre 2011

Centre d'Études des Tunnels

www.cetu.developpement-durable.gouv.fr

direction des Routes

Centre d'Etudes des Tunnels

les recommandations

Fermeture des tunnels routiers

Ouvrages sans congestion récurrente -

septembre 2002

CENTRE D'ETUDES DES TUNNELS

GUIDE DE LA FOURNITURE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE EN TUNNEL

Michel JANIN

Jean-Claude MARTIN

janvier 2002

Ministère
de l'Équipement
des Transports
du Logement
du Tourisme
et de la Mer

direction
des Routes

Centre d'Etudes
des Tunnels
Cetu

Guide pour la maîtrise des coûts de fonctionnement des tunnels routiers

De la conception à l'exploitation

CETU
25 avenue François
Mitterrand
Case n°1
69674 BRON Cedex
tél. : 04 72 14 34 00
mél.
cetu@equipement.gouv.fr

Jean - Claude MARTIN

24 août 2005

direction des Routes

centre d'Études des Tunnels

les guides du CETU

Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers

Du désordre vers le diagnostic



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
ministère de l'Équipement des Transports de l'Aménagement du territoire du Tourisme et de la Mer

direction des Routes

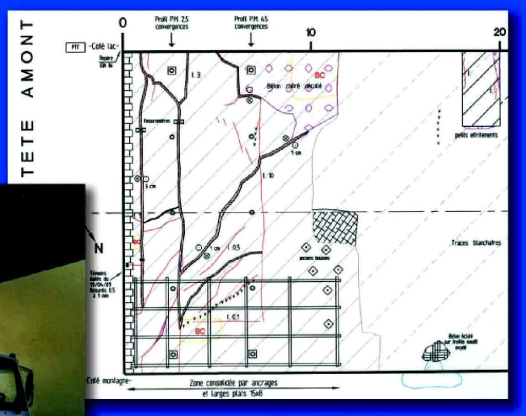
centre d'Études des Tunnels

les guides du CETU

Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers

Du désordre vers le diagnostic





Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
ministère de l'Équipement des Transports de l'Aménagement du territoire du Tourisme et de la Mer

direction des Routes

Centre d'Etudes des Tunnels

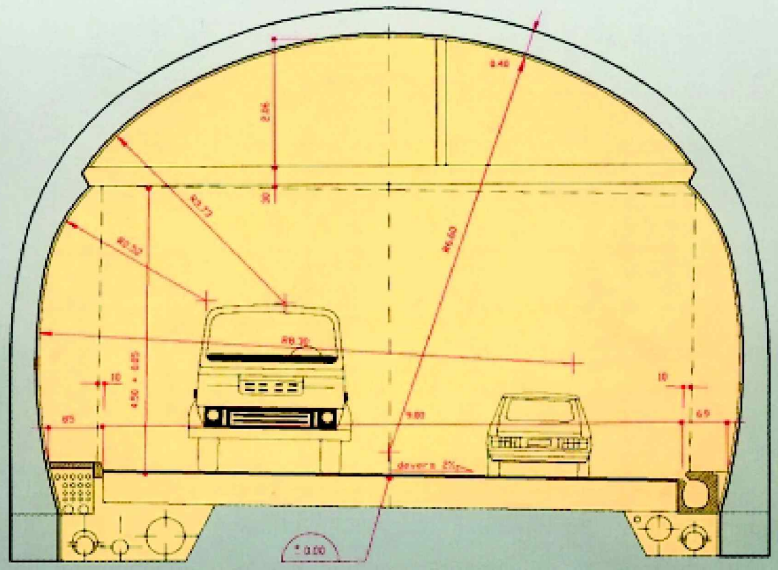
les dossiers

APPLICATION DE LA CIRCULAIRE DU 29 AOUT 1991 AUX TUNNELS ROUTIERS

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ministère de l'Équipement des Transports et du Logement

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DES TRANSPORTS ET DE LA MER



CETU

dossier pilote des tunnels

DÉCEMBRE 1990

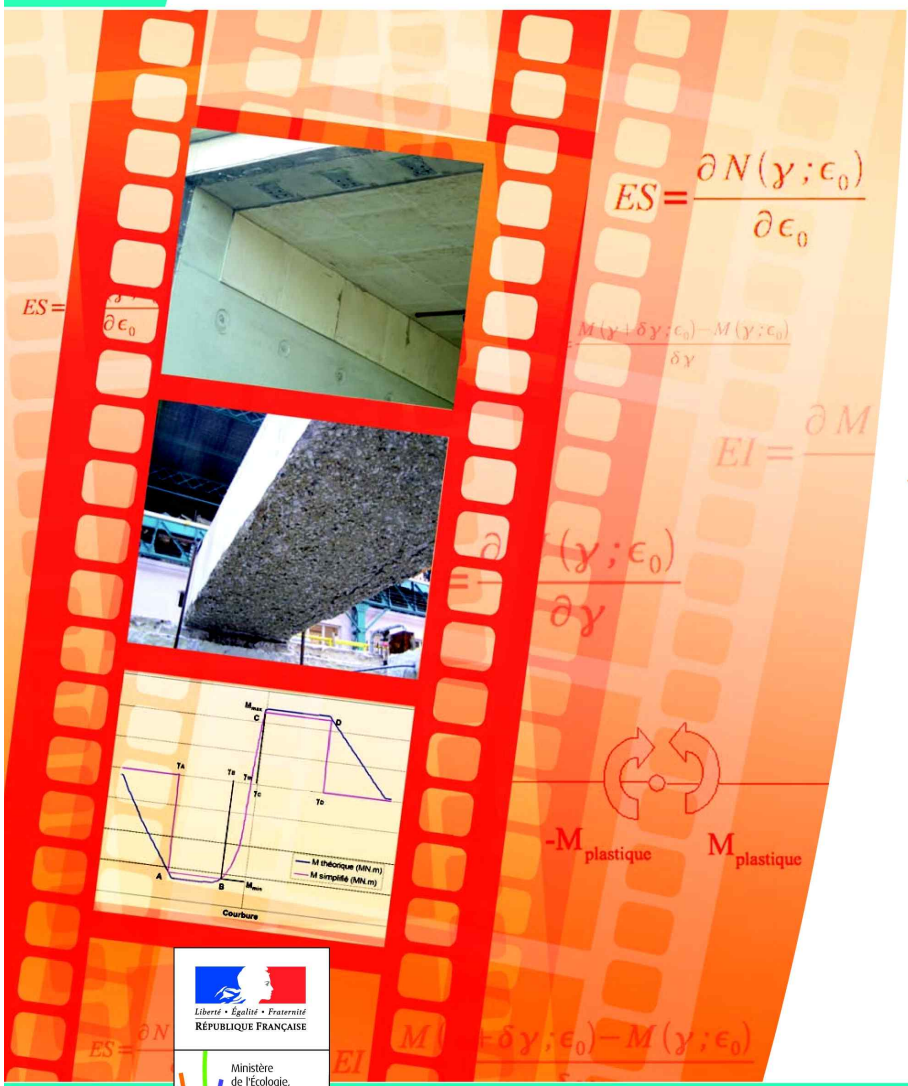
2 géométrie

CETU

Les guides

compléments au guide

COMPORTEMENT AU FEU DES TUNNELS ROUTIERS



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat
Développement durable
Prévention des risques
Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

mars 2011

Centre d'Études des Tunnels

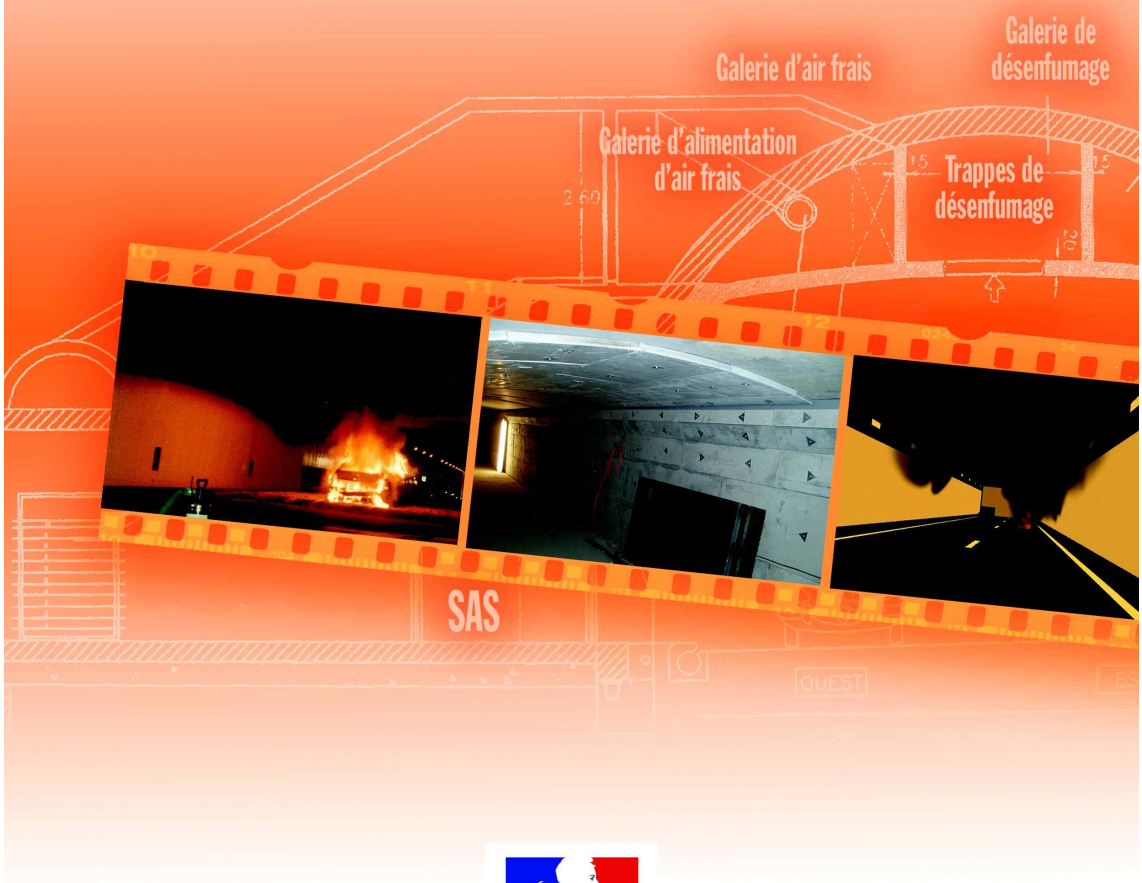
www.cetu.developpement-durable.gouv.fr

direction des Routes

centre d'Études des Tunnels

les guides du CETU

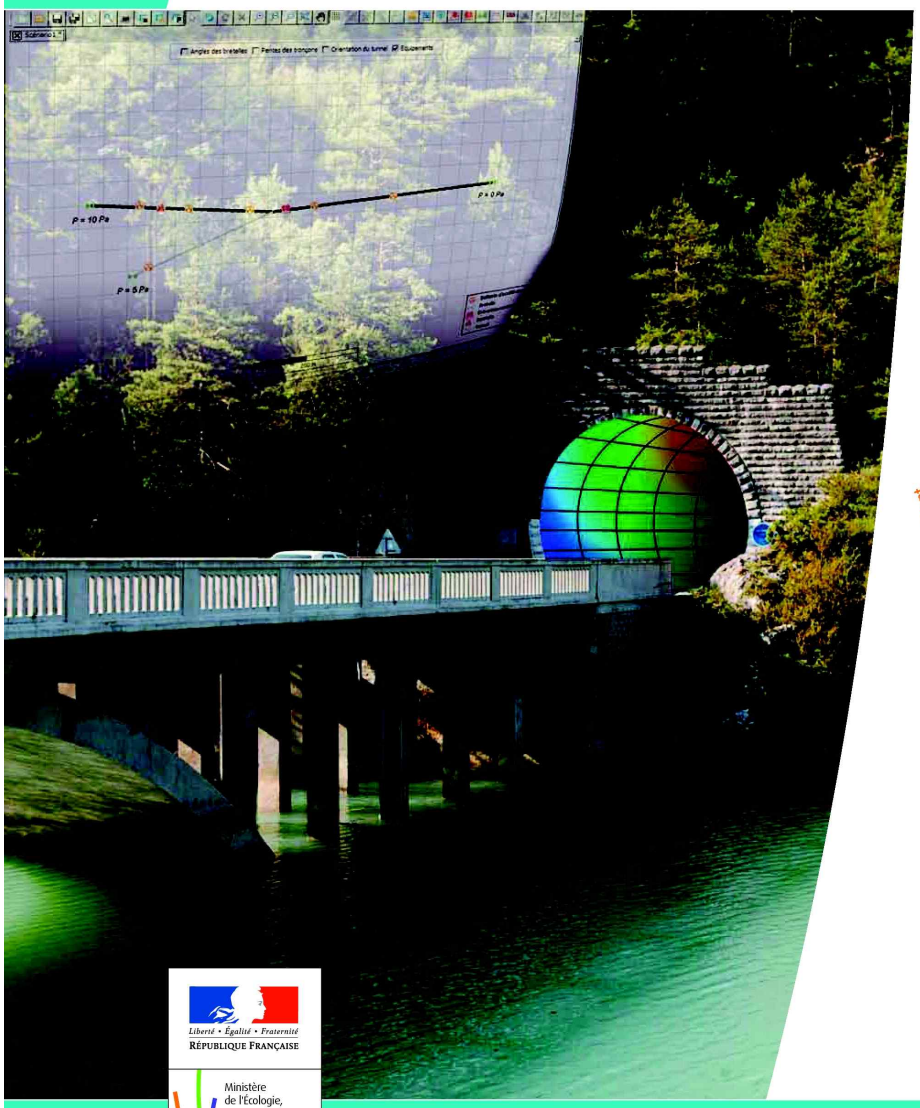
Comportement au feu des tunnels routiers



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
ministère de l'Équipement des Transports de l'Aménagement du territoire du Tourisme et de la Mer

Les guides

LA MODÉLISATION AÉRAULIQUE POUR LES TUNNELS
FASCICULE 1 : OUTILS ET CRITÈRES DE CHOIX



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat
Développement durable
Prévention des risques
Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

décembre 2011

Centre d'Études des Tunnels

www.cetu.developpement-durable.gouv.fr

7. 오스트리아

STANDARDS

The Guideline for the Geomechanical Design of Underground Structures with Conventional Excavation

By Wulf Schubert, Andreas Goricki and Gunter Riedmüller

Currently, there are no standardized procedures to determine excavation and support for underground openings. This lack of consistency makes it difficult to technically review or audit designs, collect, evaluate, and compare data from different sites and designs.

A sound and economical tunnel design depends on a realistic geological model (2), a quality rock mass characterization, and the assessment of influencing factors such as primary stresses, groundwater, and the size of underground opening. Despite this requirement it is still current practice to base the tunnel design primarily on experience, basic empirical calculations, and standardized rock mass classification systems. Additionally, the on site decisions on excavation and support modifications are frequently based more on intuition than on analyses. This is especially true for tunnels with high overburden in complex geological conditions

Richtlinie für die geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb

Die Werkvertragsnorm ÖNORM B2203 regelt die vertraglichen Belange im Untertagebau. Die Fassungen von 1983 und 1994 enthalten auch Elemente der Gebirgstypisierung. Im Zuge der Überarbeitung der ÖN B2203 im Jahr 2001 wurden alle Belange der Gebirgscharakterisierung aus der Werkvertragsnorm eliminiert. Eine Arbeitsgruppe der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik erstellte eine Richtlinie für die geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb, die im Oktober 2001 erschien und auf welche die ÖNORM B2203-1 Bezug nimmt. Die Richtlinie beschreibt die für eine Planung und Bauausführung von Untertagebauten erforderlichen Schritte aus technischer Sicht. Der in der Richtlinie skizzierte schrittweise Vorgang soll einen ingenieurmäßigen Zugang zur Thematik fördern.

In der Planungsphase basieren die Vortriebs- und Ausbaukonzepte auf Gebirgsverhaltenstypen, die aus den Gebirgsarten und den das Verhalten beeinflussenden Faktoren abgeleitet werden. Das Systemverhalten beschreibt das Verhalten des Systems Ausbau-Gebirge. Die Ermittlung des Systemverhaltens stützt sich auf Datenauswertung ausgeführter Projekte und wird durch numerische Simulationen an geeigneten Modellen unterstützt. Während des Baus wird die Planung mithilfe von geologischen Aufnahmen, Beobachtungen und Auswertung von Messungen verfeinert. Das vorhergesagte und beobachtete Verhalten wird laufend verglichen. Treten Abweichungen zwischen prognostiziertem und beobachtetem Verhalten auf, ermöglicht die systematische Vorgangsweise eine umfassende Analyse. Damit wird eine ständige Weiterentwicklung des Tunnelbaus ermöglicht und gefördert.

Bei Einhaltung des in der Richtlinie vorgegebenen Ablaufs ist eine relativ einfache technische Überprüfung der Planung möglich. Die in der Richtlinie geforderte durchgängige Dokumentation sollte zudem ermöglichen, die Erfahrungen verschiedener Bauwerke besser nutz- und vergleichbar zu machen, was auf längere Sicht zu einer Verbesserung von Planungs- und Baumethoden führen sollte.

The Austrian Standard B2203 regulates the contractual procedure for underground works. The versions of 1983 and 1994 contained descriptions of rock mass types. In the course of updating the Standard in 2001 it was decided to remove all rock mass characterization issues from the Standard. A working group of the Austrian Society for Geomechanics (OGG) established a guideline for the geomechanical design of underground structures, which was published in October 2001, and to which the Standard B2203-1 refers (1). The main topic of the guideline is the development of a consistent procedure for the determination of excavation and support. The outlined step by step procedure promotes an engineering approach to the design and construction of tunnels.

In the pre-construction phase support concepts are based on rock mass behaviour types developed from rock mass types and influencing factors. The system behaviour describes the rock mass-support interaction which is based on previous experience (including data base knowledge), analytical and numerical simulations. During construction, geological face mapping, geotechnical monitoring, and observations allow the design of support and excavation methods to be completed. The observed and predicted behaviours are compared by evaluating monitored deformations, support utilization, and overbreak volume. Deviations between the observed and predicted behaviour lead to a re-evaluation of the process resulting in modifications to the support and excavation methods.

The consistent procedure allows designs to be technically reviewed and audited. The standardized approach should also allow the establishment of knowledge based expert systems, which in the long run will improve design and construction methods.

Workshop UPC: Tunnelling through Saline and Swelling Ground

Tunnel Design and Construction Practice:
Technical Solutions in Swelling Ground



Thomas Marcher, 20.01.2011

Motivation

subject of the presentation:

- to identify effects of time-dependent deformations due to swelling based on design and construction experiences of large infrastructure projects:

- Bosruck Road Tunnel, Austria:
  5.5 km long base tunnel - anhydrite swelling
  NATM with stiff lining concept

- Pfänder Road Tunnel, Austria:
  6.6 km road tunnel – argillaceous clay shale swelling
  TBM with segmental / CIP lining concept

- Niagara Tunnel, Canada
  10.4 km water diversion tunnel in clay shales
  swelling design for lifetime of structure







FEATURE REPORT

Guidelines for the Design of Tunnels

ITA Working Group on General Approaches to the Design of Tunnels

Abstract—*This second report by the ITA Working Group on General Approaches to the Design of Tunnels presents international design procedures for tunnels. In most tunnelling projects, the ground actively participates in providing stability to the opening. Therefore, the general approach to the design of tunnels includes site investigations, ground probings and* in-situ *monitoring, as well as the analysis of stresses and deformations. For the latter, the different structural design models applied at present—including the observational method—are presented. Guidelines for the structural detailing of the tunnel lining and national recommendations on tunnel design are also given. It is hoped that the information herein, based on experiences from a wide range of tunnelling projects, will be disseminated to tunnel designers throughout the world.*

Résumé—*Le groupe de travail AITES sur le dimensionnement des tunnels présente ici son deuxième rapport. En rassemblant toutes les informations, qui étaient accessibles entre les pays sur le dimensionnement des tunnels, nous espérons, que les expériences gagnées sur beaucoup de projets des travaux souterrains seront propagées dans tout le monde. Parce que le sol participe d'une grande partie à fournir des moyens de stabilité pour des ouvertures souterraines, des méthodes de dimensionnement comprennent aussi bien les investigations sur le chantier, les essais laboratoires et la surveillance pendant le progrès du travail que l'analyse des contraintes et des déformations. Concernant ce dernier point, des modèles de dimensionnement différents et actuellement appliqués sont présentés, y compris aussi la méthode d'observation. Recommendations pour les détails de revêtement et quelques recommandations nationales sur le dimensionnement des tunnels achèvent ce rapport.*

1. Scope of the Guidelines

The International Tunnelling Association (ITA) Working Group on General Approaches to the Design of Tunnels was established in 1978. As its first project, the group developed a questionnaire aimed at compiling information about structural design models used in different countries for tunnels constructed prior to 1980. A synopsis of the answers to the questionnaire was published by the International Tunnelling Association in 1982 (ITA 1982).

As a continuation of that first report, the working group herein presents guidelines that attempt to condense the various answers from the first report and include additional experiences in the general approaches to the design of tunnel structures. These guidelines fulfill one of the main objectives of the International Tunnelling Association, namely, to disperse information on underground use and underground structures throughout the world by crossing national borders and language barriers.

Those interested in the subject of tunnel design should also consult published reports of other ITA working groups, e.g. the recent ITA report on contractual sharing of risk (see *T&UST* 3:2) and ITA recommendations on maintenance of tunnels (see *T&UST* 2:3). Furthermore, a number of national and international organizations, such as the International Society on Rock Mechanics, have published recommendations on related subjects, such as field measurements and laboratory testings for rock and ground. Some of these publications and reports are listed in the Appendix.

In tunnelling, most often the ground actively participates in providing stability to the opening. Therefore, the design procedure for tunnels, as compared to aboveground structures, is much more dependent on such factors as the site situation, the ground characteristics, and the excavation and support methods used. Recommendations on tunnel design naturally are limited with regard to their consistency and applicability because each tunnelling project is affected by special features that must be considered in the design. Nevertheless, it is hoped that the general outline provided in these guidelines, based on the experience gained from many tunnelling projects, may be of some help for those starting a project.

This report is edited by Heinz Duddeck, Animateur of the ITA Working Group on General Approaches in the Design of Tunnels. Present address: Prof. Heinz Duddeck, Technical University of Braunschweig, Beethovenstrasse 51, 3300 Braunschweig, Federal Republic of Germany.

2. Outline of General Approaches

2.1. *General Procedure in Designing a Tunnel*

Planning a tunnelling project requires the interdependent participation of the following disciplines, at a minimum:

- Geology.
- Geotechnical engineering.
- Excavation technology. e.g. machine tunnelling.
- Design of the supporting structural elements, including long-term behavior of materials.
- Contract principles and law.

Although the experts in each of these disciplines may be responsible only for their specific area of knowledge, the decision on the main design features should be the outcome of the cooperative integration of all the disciplines. Only thus can it be ensured that the project, in all its details, has been developed in unity, and not as the consecutive addition of the separate work of each of the experts.

The basics documents for tunnel design should include or cover:

- The geological report presenting the results of the geological and geophysical survey.
- The hydrogeological report.
- The geotechnical report on site investigations, including the interpretation of the results of site and laboratory tests with respect to the tunnelling process, soil and rock classification, etc.,
- Information on line, cross-section, drainage, and structural elements affecting later use of the tunnel.

Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 3, No. 3, pp. 237–249, 1988. 0886-7798/88 $3.00 + .00
Printed in Great Britain. Pergamon Press plc

8. 노르웨이

Manual 021

Statens vegvesen

Norwegian Public Roads Administration

Standard

Road Tunnels



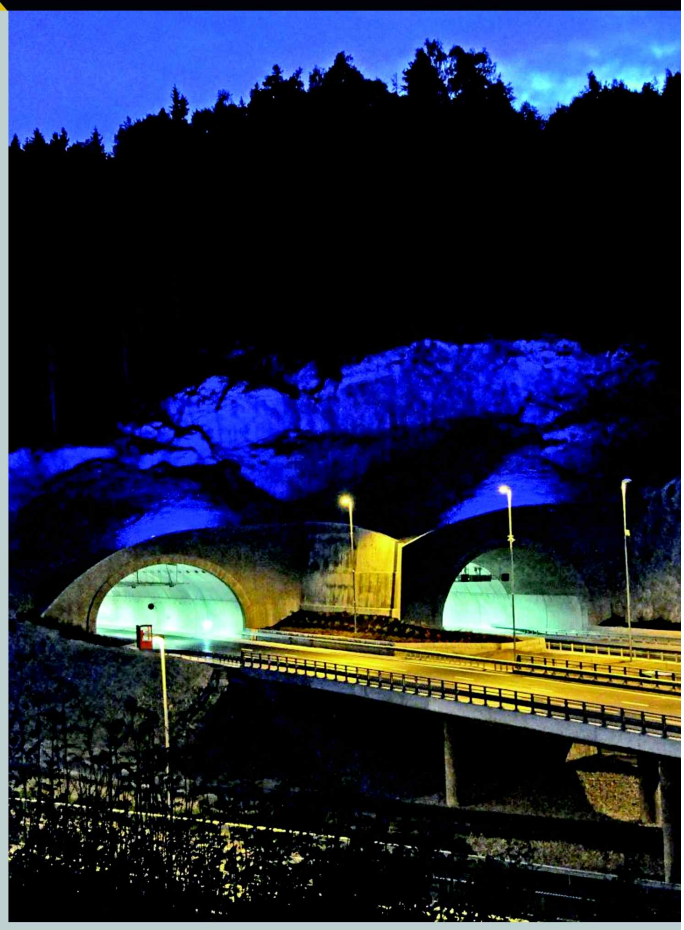
03.04

Statens vegvesen

Vegtunneler

NORMALER

Håndbok 021



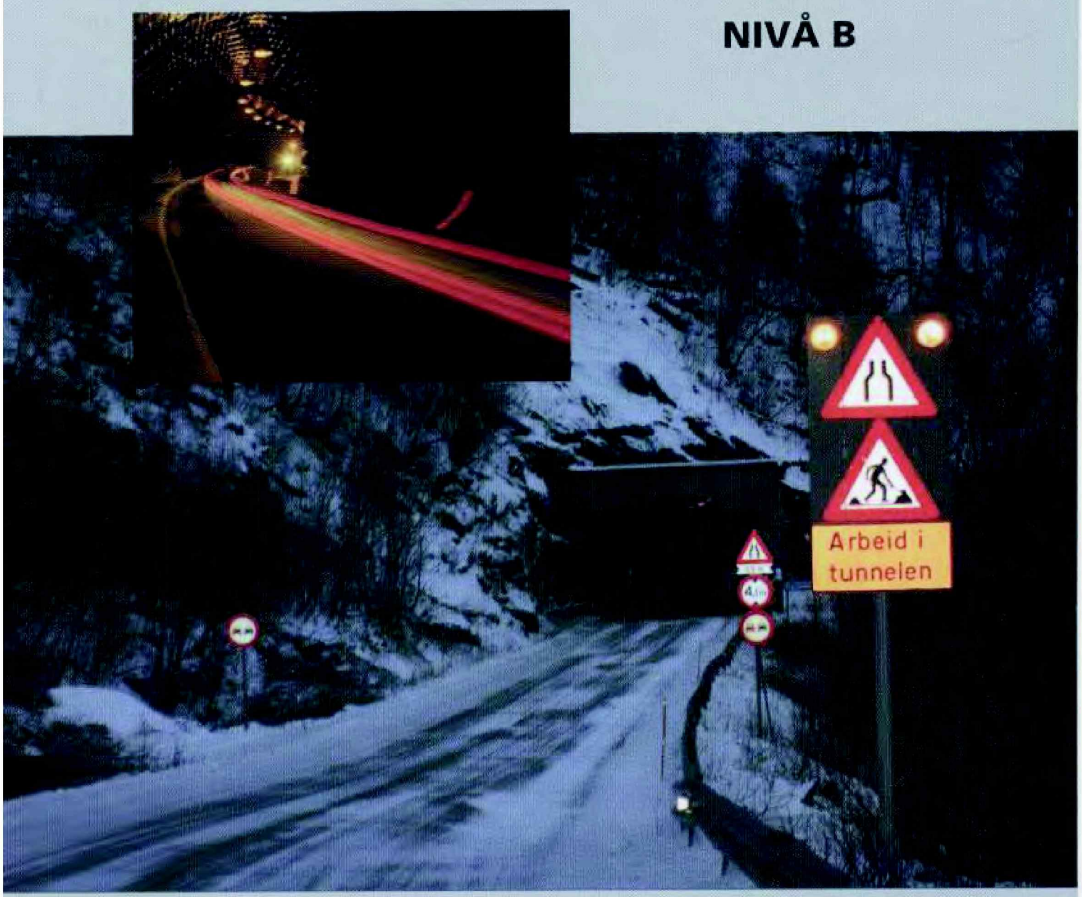
Statens vegvesen

Håndbok 213

Retningslinjer

Helse,miljø og sikkerhet (HMS) ved arbeid i trafikkerte vegtunneler

NIVÅ B



02.99

Statens vegvesen

Håndbok 269

Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler

RETNINGSLINJER

Håndbok 269

Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler

Del 1

Februar 2007

Statens vegvesen

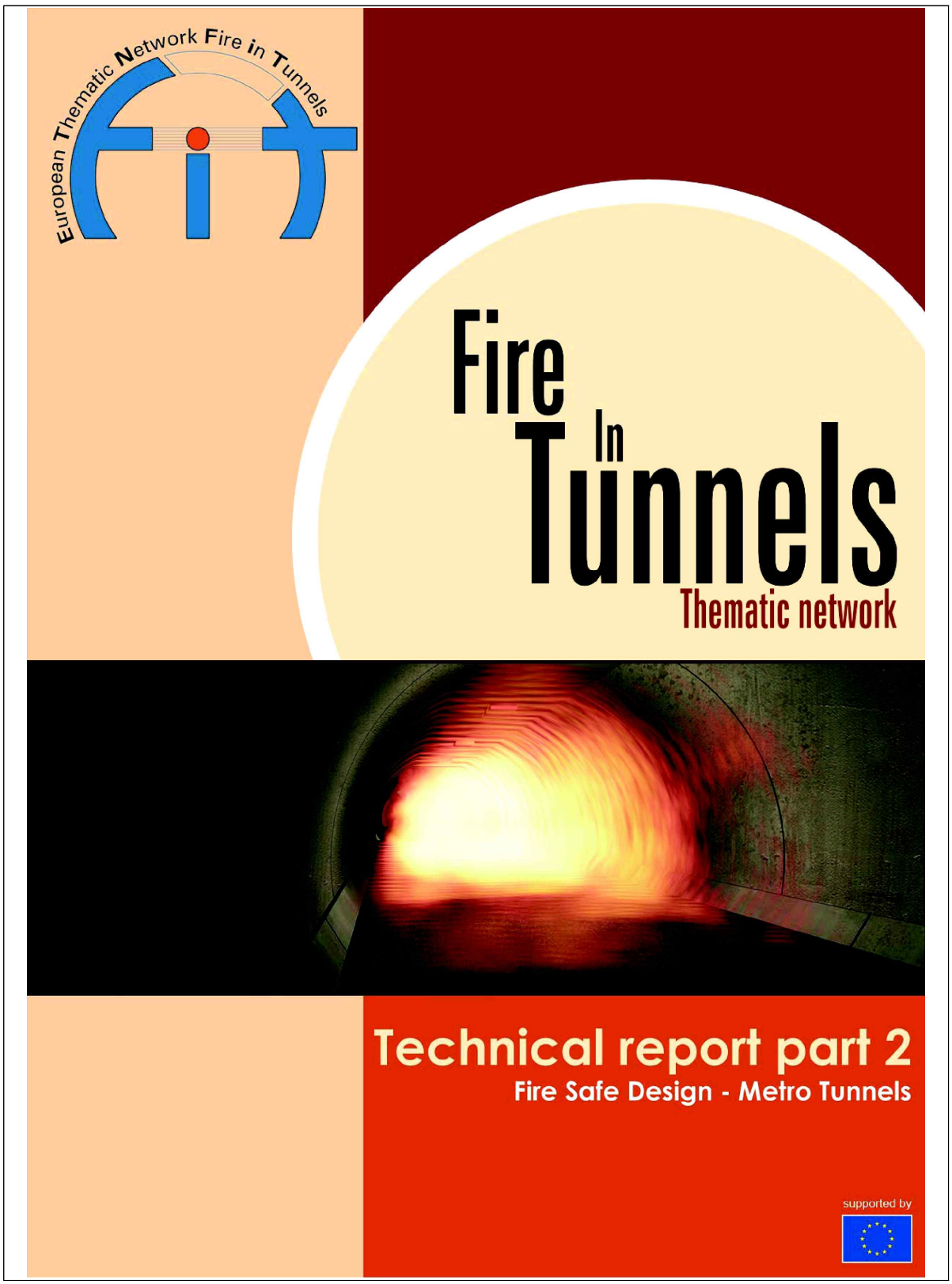
Vann- og frostsikring i tunneler

RETNINGSLINJER

Håndbok 163



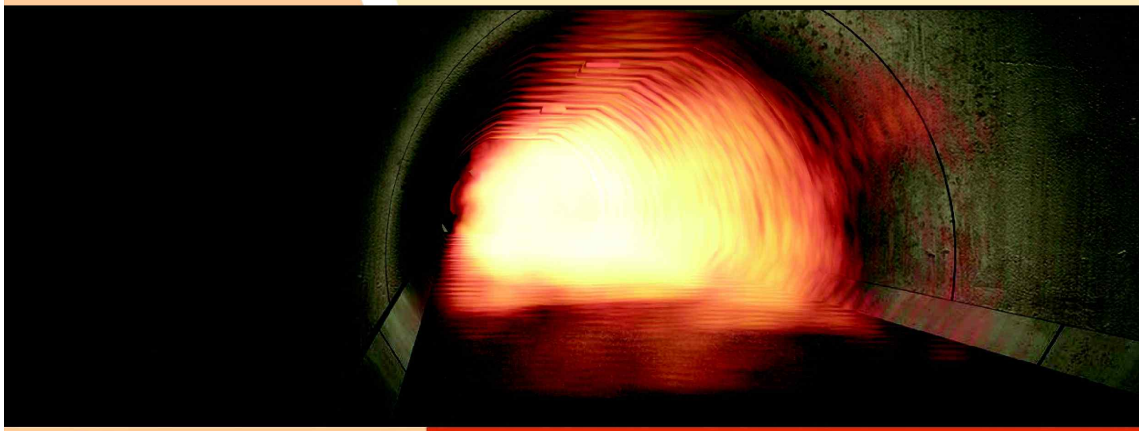
9. 방재관련 가이드 라인


European Thematic Network Fire in Tunnels
Fire In Tunnels
Thematic network
Technical report part 2
Fire Safe Design - Metro Tunnels
supported by

European Thematic Network Fire in Tunnels

Fire In Tunnels

Thematic network



Technical report part 1

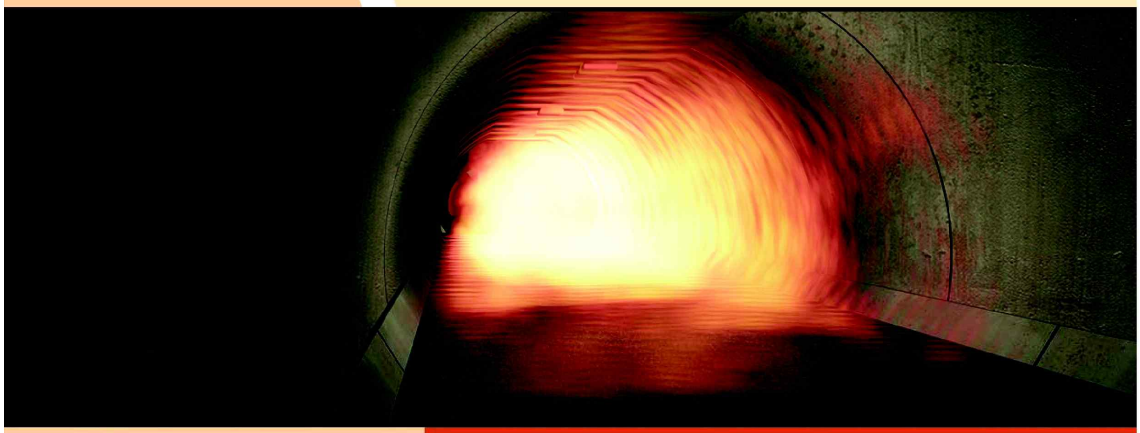
Design fire scenarios

supported by

European Thematic Network Fire in Tunnels

Fire In Tunnels

Thematic network



Technical report part 3

Fire response management

supported by

European Thematic Network Fire in Tunnels

Fire In Tunnels

Thematic network



Technical report part 2

Fire Safe Design - Road Tunnels

supported by

European Thematic Network Fire in Tunnels

Fire In Tunnels

Thematic network



Technical report part 2

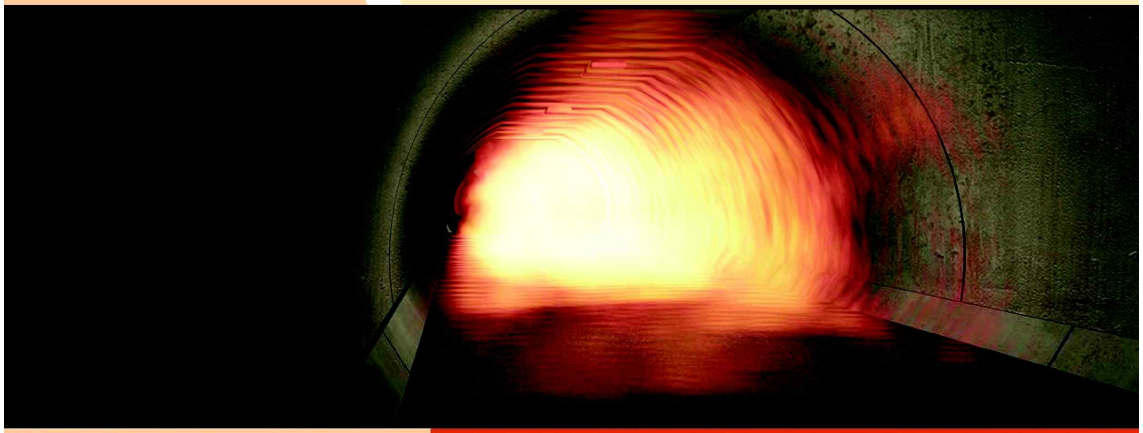
Fire Safe Design - Rail Tunnels

supported by

European Thematic Network Fire in Tunnels

Fire In Tunnels

Thematic network



Technical report part 2

Fire Safe Design

supported by

NFPA 502

Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways

2001 Edition

NFPA, 1 Batterymarch Park, PO Box 9101, Quincy, MA 02269-9101
An International Codes and Standards Organization

NFPA License Agreement

This document is copyrighted by the National Fire Protection Association (NFPA), 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02269-9101 USA.
All rights reserved.

NFPA grants you a license as follows: The right to download an electronic file of this NFPA document for temporary storage on one computer for purposes of viewing and/or printing one copy of the NFPA document for individual use. Neither the electronic file nor the hard copy print may be reproduced in any way. In addition, the electronic file may not be distributed elsewhere over computer networks or otherwise. The hard copy print may only be used personally or distributed to other employees for their internal use within your organization.

2008R02

www.piarc.org



ANALYSE DES RISQUES POUR LES TUNNELS ROUTIERS

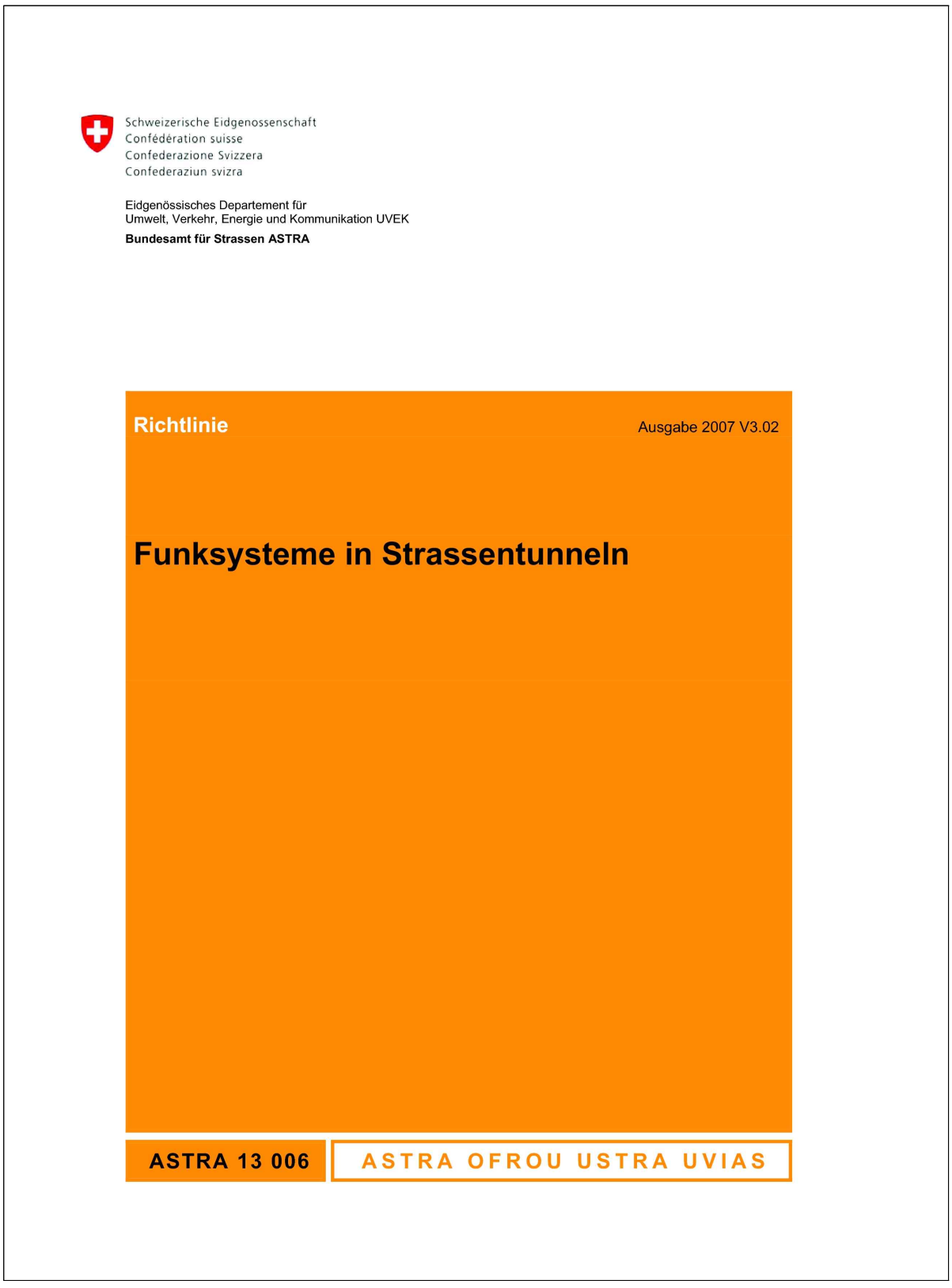
RISK ANALYSIS FOR ROAD TUNNELS

Comité technique AIPCR C3.3 Exploitation des tunnels routiers

PIARC Technical Committee C3.3 Road tunnel operation

WORLD ROAD ASSOCIATION
MONDIALE DE LA ROUTE
AIPCR PIARC

10. 스위스



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Richtlinie

Ausgabe 2007 V3.02

Funksysteme in Strassentunneln

ASTRA 13 006

ASTRA OFROU USTRA UVIAS

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Richtlinie

Ausgabe 2007 V2.10

Branddetektion in Strassentunneln

ASTRA 13 004

ASTRA OFROU USTRA UVIAS

11. 호주

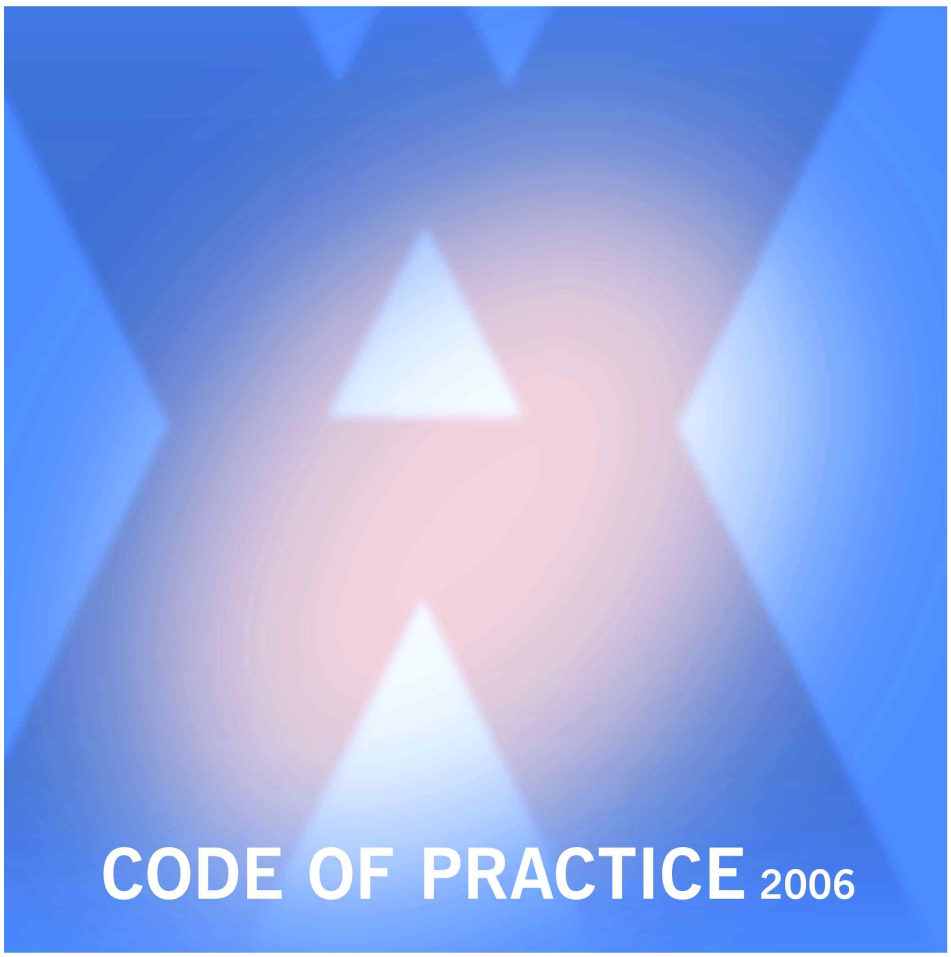
WorkCover
NEW SOUTH WALES

LANE COVE TUNNEL
COLLAPSE AND SUBSIDENCE



WorkCover. **Watching out for you.**

TUNNELS
UNDER CONSTRUCTION



WorkCover. **Watching out for you.**

New South Wales Government

제4장 참고문헌

1. 국내자료

순번	자료명
1	터널설계기준, 2007, 건설교통부
2	도로설계기준, 2005, 건설교통부
3	철도설계기준, 2011, 한국철도시설공단
4	고속철도 설계기준, 2005, 한국철도시설공단
5	도로터널 방재설치 기준, 2009, 국토해양부
6	도로터널의 화재안전 기준, 2009, 소방방재청
7	고속도로터널 방재시설 설치기준, 2009, 한국도로공사
8	고속도로터널 환기시설 설계기준, 2002, 한국도로공사
9	터널표준시방서, 2009, 국토해양부
10	도로공사 표준시방서, 2003, 건설교통부
11	철도공사 전문시방서, 2004, 국토해양부
12	고속철도공사 전문시방서, 2006, 한국철도시설공단
13	고속도로공사 전문시방서, 2004, 한국도로공사
14	콘크리트 표준시방서, 2009, 국토해양부
15	도로설계편람, 2010, 국토해양부
16	도로설계실무편람, 1997, 한국도로공사
17	철도설계편람, 2011, 한국철도시설공단
18	도로설계요령, 2009, 한국도로공사
19	환경친화적 도로유지관리지침, 2007, 건설교통부
20	터널공사 표준안전 작업지침-NATM공법, 2001, 노동부
21	도로터널 방재시설 설치 및 관리지침, 2009, 국토해양부
22	터널공사 설계 및 시공관리 개선방안, 2005, 국토해양부 감찰팀
23	터널설계기준 해설서, 2009, 한국터널공학회
24	수해예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼, 2007, 국토해양부
25	콘크리트표준시방서 해설, 2009, 한국콘크리트학회

2. 국외자료

순번	자료명
1	일본 터널표준시방서(산악공법편)•동해설, 2006
2	일본 터널표준시방서(쉴드편)•동해설, 2006
3	일본 터널표준시방서(개착공법편)•동해설, 2006
4	Specification for Tunnelling, 2010, BTS & ICE
5	Tunnel Lining Design Guide, 2004, BTS & ICE
6	Design Recommendation for concrete linings, 1983, U.S. Department of Transportation
7	Engineering and Design – Tunnels and Shafts in Rock, 1997, U.S.C.E
8	Road Tunnel Design Guidelines, 2005, FHWA
9	Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels –Civil Elements, 2009, FHWA
10	Highway & Rail Transit Tunnel Maintenance & Rehabilitation Manual, 2005, FHWA
11	Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual, 2005, FHWA
12	Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual and the Maintenance and Rehabilitation Manual, 2002, FHWA
13	Underground Transportation Systems in Europe: Safety, Operations, and Emergency Response – June 2006, 2006, FHWA
14	European Specification for Sprayed Concrete, 1996, EFNARC
15	Guidelines to the Sprayed Concrete Specification, 1999, EFNARC
16	Execution of Spraying (revision of Section 8 of the European Specification for Sprayed Concrete), 1999, EFNARC
17	European Specification for Sprayed Concrete: Checklist for Specifiers and Contractors, 2002, EFNARC
18	Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM), 2005, EFNARC
19	Guidelines for testing fire protection systems for tunnels (draft), 2006, EFNARC
20	Road tunnel – Standard, 2004, NPRA

순번	자료명
21	Vegtunneler handbook, 2010, NPRA
22	Technical Report Part 2 – Fire Safety Design, 2005, FIT
23	NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 2011, NFPA
24	NFPA 130 Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2010, NFPA
25	NFPA 130 Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2010, NFPA
26	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels, 2007, TRIS
27	BFA-Guideline: Risk Assessment of Conventional Tunnel Works (German only), April 2009, DAUB
28	Recommendations for selecting Tunnel Boring Machines (German only), revised version as of October 2010 (Taschenbuch Tunnelbau 2011), DAUB
29	BFA-Guideline: Risk Assessment of TBM-Works (German only), April 2009, DAUB
30	Recommendations for Planning and Implementation of Occupational Health and Safety Concepts in Underground Worksites, final version November 2007, DAUB
31	Recommendations for Executing and Application of unreinforced Tunnel Inner Linings (Tunnel 5/07), DAUB
32	Recommendations for protective Measures during Tunnel Construction in Asbestos-bearing Rock, January 2007, DAUB
33	Recommendations for static Analysis of Shield Tunnelling Machines (Tunnel 7/05), DAUB
34	Recommendations on Planning and Constructing Tunnels (Tunnel 4/04), DAUB
35	Concrete Linings for Tunnels built by Underground Construction (Tunnel 5/01), DAUB
36	Recommendations for Design and Operation of Shield Machines(Tunnel 6/00), DAUB

순번	자료명
37	Recommendations for Risk Distribution in Tunnelling Contracts (Tunnel 3/98), DAUB
38	Recommendations for selecting and evaluating Tunnel Boring Machines (Tunnel 5/97), DAUB
39	Functional Description of Performances for Transport Tunnels – Possibilities and Limits for Awarding and Accounting(Tunnel 4/97), DAUB
40	Securing Competitiveness in the Approval Proceedings for Construction Projects (Tunnel 5/93), DAUB
41	Recommendations on Planning, Tendering and Awarding shield-supported Tunnelling Projects (Tunnel 2/93), DAUB
42	Definition of Construction Methods and their Application in Construction Contracts for Subsurface Construction (Tunnel 3/87), DAUB
43	Guidelines for the Design of Tunnels, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.3 , No. 3. pp. 237-249. 1988., ITA Working Group on General Approaches to the Design of Tunnels
44	The Guideline for the Geo-mechanical Design of Underground Structures with Conventional Excavation, FELSBAU 21 (2003) NO. 4 13~18, Wulf Schubert, Andreas Goricki and Gunter Riedmuller
45	Basics and Application of the Austrian Guideline for the Geomechanical Design of Underground Structures, EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium. Schubert (ed.) . 2004 VGE, Wulf Schubert(Graz University of Technology & 3G-Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH, Graz)
46	Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe A European Perspective, Springer 2004, Robert Hack, Rafig Azzam & Robert Charlier (Eds.)
47	Austrian Risk Analysis for Road Tunnels, 3rd International Conference „'Tunnel Safety and Ventilation “" 2006, Graz 204~211, Kohl B., Botschek K., Hö rhan R.

순번	자료명
48	NEW AUSTRIAN GUIDELINE FOR THE TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS THROUGH ROAD TUNNELS, 5th International Conference ''Tunnel Safety and Ventilation' ' 2010, Graz, Diernhofer F., Kohl B., Hö rhan R.
49	Conventional Tunnelling "The Austrian Draft", Ö sterreichische Gesellschaft fü r Geomechanik Austrian Society for Geomechanics , Austrian Society for Geomechanics
50	Division "Tunnelling" Working Group "Conventional Tunnelling"
51	Best Practices in Austria, 75th Annual Meeting & Exhibition October 7-10, 2007, Dipl.-Ing. Gerhard Eberl(ASFiNAG - Service Ges.m.b.H. Ost)
52	NCHRP 20-7 Task 230 Workshop on Safety and Security in Roadway Tunnels Regulations, Standards and Guidelines, NFPA 502 - Road Tunnels Bridges and Other Limited Access Highways November 28 - 29, 2007 Irvine, California, Bill Connell(Chairman - NFPA Technical Committee , Parsons Brinckerhof)
53	Tunnel Design and Construction Practice: Technical Solutions in Swelling Ground, Workshop UPC: Tunnelling through Saline and Swelling Ground 20.01.2011, Thomas Marcher
54	Vann- og frostsikring i tunneler, 2006, NPRA
55	Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler, 2007, NPRA
56	Les Guides_CETU
57	Branddetektion in Strassentunneln_Drective, 2007, ASTRA
58	Funksysteme in Strassentunneln_Directive, 2007, ASTRA
59	Luftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln_Directive, 2008, ASTRA
60	Luftung der Strassentunnel_Directive, 2004, ASTRA
61	Luftung der Strassentunnel_Drective, 2008, ASTRA
62	34a_Austrian_Risk_Analysis_for_Road_Tunnels_Development_of_a_New_Method_for_the_Risk_Assessment_of_Road_Tunnels, 2006
63	The Guideline for the Geomechanical, 2004, FELSBAU
64	tunnel design and construction practice_swelling ground, 2011, ILF
65	Model specification for tunnelling, 1997, ICE/BTS

순번	자료명
66	Tunnel Lining Design Guide, 2004, ICE/BTS
67	Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures for Concrete, 2006, EFNARC
68	Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, 2002, EFNARC
69	Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM), 2001, EFNARC
70	Specification and Guidelines on Thin Spray-on Liners for Mining and Tunnelling, 2008, EFNARC
71	Specification for Polymer-modified Cementitious Flooring as wearing surfaces for industrial and commercial use, 2001, EFNARC
72	Specification for Synthetic Resin Floors, 2001, EFNARC
73	Testing Sprayed Concrete - Flexural tensile strength of fibre concrete on sprayed test specimen, 2011, EFNARC
74	A comparative analysis of the Mont-Blanc Tauern and Gotthard tunnel fires, 2004, PIARC
75	Activities of the United Nations Economic Commission for Europe to promote safety in tunnels, 2004, PIARC
76	Classification of Tunnels, Existing Guidelines and Experiences, Recommendations, 1995, PIARC
77	Effects of pavement on fires in road tunnels, 2007, PIARC
78	Fire and Smoke Control in Road Tunnels, 1999, PIARC
79	ITA guidelines for structural fire resistance of road tunnels, 2004, PIARC
80	PIARC design criteria for resistance to fire for road tunnel structures, 2004, PIARC
81	Pollution by Nitrogen Dioxide in Road tunnels, 2000, PIARC
82	Preventing and combating fires in metro systems, 2004, PIARC
83	Quantitative risk assessment model for dangerous goods transport through road tunnels, 2006, PIARC
84	Risk analysis for road tunnels, 2008, PIARC
85	Road Safety in Tunnels, 1995, PIARC
86	Road tunnels - a guide to optimising the air quality impact upon the environment, 2008, PIARC
87	Road tunnels - Emissions, Environment, Ventilation, 1996, PIARC

순번	자료명
88	Road tunnels – Vehicle emissions and air demand for ventilation, 2004, PIARC
89	Safe and reliable tunnels community R and D, 2004, PIARC
90	Safety in railway tunnels current UIC recommendations and European regulations, 2004, PIARC
91	Slope Risk Guidance for Roads, 2004, PIARC
92	The A86 Motorway an underground motorway and a new transport system, 2006, PIARC
93	The First Road Tunnel A Planner Guide for Countries Without Previous Experience of New Road Tunnels, 1995, PIARC
94	Design fire scenarios, 2001, FIT
95	fire response management, 2001, FIT
96	Handbok 021 Vegtunneler, 2010, NPRA
97	Helse, miljø og sikkerhet ved arbeid i trafikkerte vegtunneler, 1999, NPRA
98	lane_cove_tunnel_construction_site_investigation_report, 2005, New South Wales Government

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.