

도로설계편람(터널편)의 개정



이성준
국토해양부
교통정책실
간선도로과장



김주명
국토해양부
교통정책실
간선도로과 시설사무관



김태호
국토해양부
교통정책실
간선도로과 주무관



김창용
한국건설기술연구원
지반연구부
책임연구원



정재형
한국건설기술연구원
지반연구부
선임연구원



장수호
한국건설기술연구원
지반연구부
책임연구원

1. 서론

국토해양부에서는 도로시설물 중 중요 구조물중의 하나인 터널의 설계를 담당하는 일선 기술자들이 설계업무를 효율적이고, 충실하게 수행할 수 있도록 터널의 계획에서부터 설계까지 소요되는 업무와 설계과정을 체계적이고 일관되게 정립한 『도로설계편람』을 1999년 12월에 제정하여 보급하고 있다.

그러나, 본 편람 제정 이후 『터널설계기준』, 『터널표준시방서』, 『도로터널방재설치기준』, 도로터널의 국가화재안전기준, 차종별 오염물질기준배출량(대기환경보전법)의 개정 등에 따라 본 편람의 내용과 부합하지 않는 부분이 발생하였으며, 상위 기준의 사용 단위가 국제표준 단위계(SI 단위계)로 변경됨에 따라 본 편람의 개정이 시급한 실정이었다.

구체적으로 살펴보면, 최근 사회적 환경적 수요변화에 따라 하저터널, 해저터널, 운하터널, 침매터널 등 새로운

개념의 터널 및 지하구조물이 건설되거나 예정에 있으며, 터널 설계기술이 고도화됨에 따라서 이를 반영하고 보급시키기 위한 최신 터널 설계사례를 소개함으로써 국내에서 설계되는 터널의 성능 및 설계품질을 향상시키고, 관련 민원을 저감하고 예산 절감효과를 유도하여야 할 필요가 있었다.

특히, 종래의 2차 콘크리트 라이닝을 생각하는 NMT(Norwegian Method of Tunnelling) 등의 싱글셀 터널 공법, 양호한 암반에 적용될 수 있는 고효율의 장공발파기법, 경제적이고 합리적인 환기설계 방법 등 터널의 공사비용과 공사기간을 대폭 절감하기 위한 최신 기술의 도입과 관련 내용 보완이 필요한 상황이었으며, 터널설계와 관련된 주요 현안 문제를 반영한 보완이 필요하였다.

이에 상기와 같은 최근의 사회 및 환경적 수요변화와 고도화된 터널 설계기술을 반영하여 도로설계편람의 터널편을 전면 보완 개정하게 되었다.

2. 개정 개요 및 추진경과

2.1 개정 개요

'99년에 제정된 『도로설계편람(터널편)』을 최근 개정된 관련 설계기준에 부합하도록 전면 개정하여 본 편람이 현행 상하위 기술기준과 연계성을 확보할 수 있도록 하였다. 그리고 터널의 계획에서부터 설계까지의 소요되는 업무와 설계과정, 최신터널 설계기술, 설계사례 등을 체계적이고 일관되게 정립하여 보급함으로써 설계기술자들이 터널 설계업무를 보다 효율적이고 충실하게 수행할 수 있도록 개정하였다.

2.2 편람의 정의 및 위계

도로 설계를 수행하기 위해서는 이와 관련된 설계 절차에 대한 기준이 있어야 한다. 이들 관련 기준들은 내용의 기술적 수준, 범위 그리고 법적 효력 등에 따라 기준, 편람, 지침, 요령, 기술지도서 등으로 구분할 수 있으며, 이들 기준에 대한 정의를 “건설공사기준 운영 체계 구축 방안 연구” (한국건설기술연구원, 건설교통부, 1997)에서는 다음과 같이 정의하였다.

- 설계 기준 : 시설물별로 설계자가 설계 업무를 수행하는데 있어 시설물이나 작업에 대해 품질, 강도, 안전, 성능 등을 유지하기 위한 설계 조건의 최저한계를 규정한 기준으로 건설 관련 법, 령 또는 규칙에 근거한 기준과 이에 준하는 기준을 의미함.
- 지침 : 편람과 설계 기준의 중간적 성격을 띠고 있으며, 지방서 상에서 기술하기 곤란한 사항에 대해 특별히 분야별로 시공 방법 및 유지 관리에 관한 상세한 기술적 기준을 요소별로 정의하여 방침을 정하는 것을 의미함.
- 편람 : 계획, 조사, 설계, 시공, 유지 관리 단계에서

나열할 사항이 많으며 특별한 작업과 관련되지 않아 지방서 및 설계 기준에 기술하기 곤란한 사항, 기술자가 효율적인 업무 수행을 위하여 필요한 사항들을 관련 기술자들이 실무에 쉽게 적용하도록 만든 것을 말하는 것으로 편람 자체적으로는 법률상이 계약상의 강제는 없으나, 공사 지방서 상에서 공종별로 적용 기준으로 인용되는 경우, 계약상 강제력이 발생함.

따라서 설계의 일관성과 효율성을 도모하기 위한 것으로, 일부 내용에 있어서는 기본적 사항을 지키면서 설계자의 창의성을 충분히 발휘할 수 있는 자료가 되도록 노력하였다.

2.3 개정 추진 일정

- 2008. 5. 2 : 국토해양부 도로설계편람 터널편 개정 방침 결정
- 2008. 6. 9 : 한국건설기술연구원 과업착수
- 2008. 7.15 : 집필진 착수 회의
- 2008. 11. 5 : 2008년 1차 기술자문회의
- 2008. 11.21 : 2008년 2차 기술자문(서면)
- 2008. 12.24 : 2008년 평가심의회
- 2009. 2. 5 : 2009년 집필진 착수 회의
- 2009. 4.28 : 전체 집필진 회의
- 2009. 8.17 : 2009년 1차 기술자문(서면)
- 2009. 9. 3 : 2009년 2차 기술자문
- 2009. 10.27 : 2009년 3차 기술자문
- 2009. 10.13 ~ 2009. 10.30 : 관계기관 최종 의견 수렴
- 2009. 11. 현재 : 중앙건설기술심의위원회 심의 준비중

2.4 집필위원

분야	집필자	소속 및 직위
601. 총론	김창용	한국건설기술연구원 책임연구원
602. 계획일반	황제돈	에스코ST 대표이사
603. 조사 및 시험	김영근	삼성건설 부장
604. 설계일반	구용화	서영엔지니어링 부사장
605. 터널해석	신휴성	한국건설기술연구원 선임연구원
606. 터널 지보재	장수호	한국건설기술연구원 책임연구원
607. 콘크리트 라이닝	김시격	다산컨설턴트 전무
608. 배수 및 방수	문훈기	용마엔지니어링 전무
609. 굴착보조공법	최해준	청석엔지니어링 전무
610. 계측	추석연	단우기술단 부사장
611. 개착터널부	이상헌	다산이엔지 사장
612. 갱구부	백 용	한국건설기술연구원 책임연구원
613. 단면 확폭부 및 접속부	안경철	태조엔지니어링 전무
614. 연직갱 및 경사갱	신영완	하경엔지니어링 상무
615. 굴착	장석부	유신코퍼레이션 상무
616. TBMT터널 (통합)	정경환 이성원	동아지질 대표이사 한국건설기술연구원 책임연구원
617. 환기설비	이창우	동아대학교 교수
618. 방재설비	유지오	신흥대학 교수
619. 내장설비	오정배	삼보기술단 상무
620. 조명설비	서상진	상진엔지니어링 대표이사
621. 공사중 설비 (신설)	이명재	도담이엔씨 대표이사
622. 내진설계 (신설)	박인준	한서대학교 교수
623. 소형차 전용 지하도로 (신설)	오세준	삼보기술단 사장
624. 싱글셸터널 (신설)	이진무 이상필	SK건설 부장 GS건설 부장
625. 침매터널 (신설)	김용일	대우건설 부장

3. 주요 개정 사항

3.1 계획일반

기본 계획에서 평면선형 계획에서 장대터널의 경우 곡선선형을 일부 적용할 수 있으며, 역광으로 인한 시거장애요인 제거를 위한 적정 곡선이 삽입될 수 있음을 기술하여, 최근 장대터널 시공 추세를 반영하고자 하였다. 터널 갱구부 계획에서는 주변 환경 및 안정 대책을 함께 고려하도록 하였다.

3.2 조사 및 시험

터널 조사 및 시험에서는 전체적으로 기존의 편람을 근간으로 하고 현장조사, 시추조사, 물리탐사, 막장관찰, 현장시험, 암반분류 부분을 대폭 수정하였다.

시추조사부분에서는 최근의 연약대의 조사를 위하여 토사구간에서도 삼중 코아베럴이나 D-3 샘플러를 사용할 수 있도록 하였으며, 대심도 시추시에는 NQ 규격도 사용할 수 있도록 하였다. 시추방법은 기존의 경사시추에 국한되어 있는 것을 수평시추도 추가하여 시추방식의 다

양화를 도모하였다.

300m 이상의 대심도 터널의 경우에는 지반조사시 전자탐사 등 가탐심도가 큰 탐사방법을 활용하여 전기비저항 탐사법 등과 연계하여 분석토록 하였다.

기존의 RMR과 Q-시스템과 함께 RMi분류법, 일본 지반분류법을 제시하였으며 터널 주변 암반의 지질공학적 특성을 반영하여 분류방법을 선정토록 하였다.

3.3 설계일반

기술적 발전을 고려하여 금번 개정에서는 기존 편람에서 소개한 NATM 개념의 터널공법이외에 싱글셀 터널과 터널 기계화시공법에 대한 설계개념을 신설하였다. 설계 변경 사례가 빈번하게 발생됨으로 인해 이에 대한 관심이 증대되고 있으므로, 설계내용의 변경 항목을 별도의 절로 독립시켜 편람을 개정하였다.

3.4 터널해석

터널해석 일반에서는 해석 전략의 수립, 해석 도구의 선정에 대해 최신 자료를 이용하여 새로운 하위 장을 구성하였고, 수치해석 기법에서 최신의 터널해석 발전으로 일반화된 지하수 유동해석과 수리-역학 연계해석 내용을 새롭게 추가하였다.

금번 개정작업에서는 항상 터널해석상에서 논란이 되어왔던 보강 지반의 물성산정체계를 새롭게 추가함으로써 해석상의 혼란을 최소화 하도록 유도하였다.

3.5 터널지보재

1999년도에 제정된 도로설계편람에서는 한국도로공사의 표준지보패턴과 단면 표준도를 제시하고 있으나, 국도를 대상으로 하는 도로설계편람에는 적절하지 않다는 의견을 반영하여, 한국도로공사 표준지보패턴과 단면 표준도를

모두 삭제하는 대신에 “단면 크기별 표준지보패턴 설계사례”를 신설하여 소개함으로써, 설계자가 표준지보패턴 설계과정을 이해하고 창의성을 발휘할 수 있도록 하였다.

터널 지보재에서 개정에 대한 요구가 가장 많았던 사항이 슛크리트와 관련된 내용들이었다. 슛크리트의 품질관리 내용을 보강하여 국내외 품질관리 기준과 방법들을 신설하였고, 섬유보강 슛크리트의 품질관리 개념과 고성능 슛크리트에 적용될 수 있는 부착력, 내구성 및 수밀성에 대한 유럽 EFNARC의 품질관리 기준을 반영하였다.

3.6 콘크리트 라이닝

콘크리트 라이닝의 역할에는 사용목적에 따라 구조체로서의 역할적 기능, 영구구조물로서의 내구성 확보기능, 터널 내부 시설물 보호 및 미관 유지 기능에 대한 내용을 기술하였으며, 1차 지보재로 터널 안정성이 확보되거나 풍화의 우려가 없고 지반이 양호하며 콘크리트 라이닝을 생략하고 프리캐스트 판넬(이하 PCL)을 적용하는 경우에는 1차 지보재의 성능 개선, 현장의견 수렴 및 PCL에 대한 시험시공 등을 통하여 충분한 안정성과 내구성을 확보한 후 계획토록 기술하였다.

3.7 배수 및 방수

금번 개정에서는 싱글셀터널에 대한 내용이 신설됨에 따라 슛크리트, 배수시스템, 콘크리트 라이닝으로 구성되어 있는 일반적인 도로터널의 이중구조 라이닝에 대하여, 지반-콘크리트 라이닝 투수성 상관계수와 1차 라이닝과 2차 라이닝의 투수성 상관관계에 따른 배수형터널의 특징을 새롭게 기술하였다.

3.8 굴착보조공법

본 개정작업에서는 보조공법의 적용목적에 따라 천단

보강공법, 각부 및 측벽보강공법, 막장면 자립공법으로 구분하고 터널천단안정을 위해 근래에 개발된 직천공 공법이나 FRP공법 등을 공법적 특징 위주로 기술하여 설계 시 보조공법의 선정에 도움이 되도록 하였다.

3.9 계측

‘내공변위 및 천단 침하 측정’에 있어서 최근에 활발히 연구 되고 실용화 되고 있는 3차원 변위 계측 내용을 추가하였다. 3차원 계측을 위한 방법으로 3차원 광학변위 측정기(total station), 레이저 스캐닝, 디지털 카메라를 이용하는 기법 등을 소개하고 정리하였다.

인버트의 타설과 같은 강성을 이용한 변위 억제 지보 형태에 대한 내용도 추가 보완하였으며, 계측 관리 기준에 기존 편람에 누락되었던 주요 유용한 계측관리 기준을 추가하였다.

3.10 개착터널부

피암터널 및 생태터널의 일반개요와 피암터널의 설치 기준 등을 기술하여, 현장조건상 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽 등으로 안전을 도모하기 어려운 구간에 대하여 낙석방호 효과 및 깎기부의 보강효과 등을 향상시킬 수 있도록 하였다.

3.11 갱구부

갱구사면 안정 검토방법, 갱구사면의 보강 및 보호, 갱구부 환경훼손 저감 대책 등 현행 편람에 누락된 최신의 갱구부 설계방법이나 설계사례에 주안점을 두었다.

기존의 방식중에 사용되지 않는 부분은 삭제하고 주로 활용되는 내용을 위주로 기술하였다.

3.12 단면확폭부 및 접속부

기존 편람에서 단면 확폭부 및 접속부의 내용이 구분 없이 혼재되었던 것을 구분하여 재편성하고 항목을 추가하여 보완하였다. 확폭부의 굴착 방법에 대해 종방향 점중 확대굴착, 측벽횡방향 확대굴착, 종방향과 횡방향 혼합형 굴착 등에 대해 정리하여 설명하였다.

3.13 연직갱 및 경사갱

개정된 터널설계기준을 반영하여 “수직갱”을 “연직갱”으로, “사갱”을 “경사갱”으로 용어를 수정하였다. 연직갱과 경사갱의 계획, 위치 선정 및 지반조사에서 기존의 나열식으로 전개된 항목들 외에 지하수 유입에 대한 안정성 및 시공성, 동절기 시공과 작업용 연직갱의 내용 등을 자세히 기술하였다. 특히 환기, 배수, 비상용 등으로 사용되는 경우 갭에서 배출되는 오염물질의 처리에 대해 기술하여 환경 문제에 주의를 기울였다.

콘크리트 라이닝에 작용하는 하중에 대해서는 이론적 변형구속법과 Q시스템에 의한 경험적 방법을 구분하여 다루었다. 또한 콘크리트 라이닝 구조계산, 전단기 설계, 수평터널과의 접속부 설계, 콘크리트 라이닝 타설방법 등을 하위 항목으로 신설하여 설계에 필요한 모든 내용이 기술될 수 있도록 노력하였다.

3.14 굴착

굴착에서는 국내의 터널 발파패턴 설계사례들을 새롭게 추가하였으며, 폭약, 뇌관 및 장약에서 최신의 폭약 사양과 전자 뇌관 관련 내용들을 추가하였다. 또한 노르웨이 NTNU(노르웨이공과대학)에서 제시한 방법을 기반으로 하여 천공장비와 천공속도와 관련된 내용을 신설하고, 암질에 따른 천공속도와 관련된 국내의 자료들을 정리하였다.

3.15 TBM터널

TBM터널에서는 “터널설계기준” 및 “터널표준시방서”와 부합되게 하고 최신의 기술동향을 반영하여, 기존 편람(1999년)의 “616. TBM 터널”과 “617. 쉴드 터널”의 내용을 통합 수정하였다.

“TBM의 선정(616.6절)” 및 “TBM의 제작 설계(616.7절)”를 신설하여, TBM 선정 시 고려사항, 기중 선정, 커터 헤드 설계, 추진기구, 기타 전기 기계기구, 세그먼트 조립기구, 부속기구 등을 설명하였다.

3.16 환기설비

환기설비 분야에서는 최신의 소요환기량 기준과 관련 설계방법들을 반영하였다. 환기설비 일반 및 계획 및 조사 부분의 내용을 수정하였으며, “TAB 계획” 내용을 추가하였다.

PIARC기준(2004)을 원칙으로 환기의 대상물질, 기준 배출량, 설계농도 등을 기술하였으며, 터널제원과 교통량 제원에 따른 환기시설의 필요성을 검토할 수 있는 내용을 수정보완 하였다.

정량적 환기평가에 따른 환기검토 내용을 추가(2.5.5절)하였으며, 소요동력 및 경제성 검토 내용을 추가하고, 환기방식의 종류 및 특징을 최신 기술동향에 적합하도록 수정하였다.

마지막으로 PIARC기준에 따른 총배출량 산정방법(3.2.2절)과 TAB수행 및 유지관리 계획과 관련된 내용들을 신설하였다.

3.17 방재설비

최근 제정된 국토해양부의 “도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(2009)” 관련 내용들을 적극 반영하였다.

특히, “방재 설비의 종류” 내용을 대폭 수정하고, “방재

설비의 계획”을 신설하여 터널방재등급, 터널 위험도지수 산정기준, 등급별 방재시설 설치기준 등을 설명하였다.

신설 chapter인 “시설별 설치기준”에서는 소화설비, 경보설비, 피난대피시설 및 설비, 소화활동설비, 비상전원설비 등을 설명하였다.

방재설계에 적극 도입되기 시작한 정량적 위험도 평가 기법을 신설하고, 정량적 위험도 평가기법의 평가절차, 평가기준, 평가 사례 등을 상세하게 기술하였다.

3.18 내장설비

내장 설치기준 등 터널 내장의 설치 목적 및 기준을 대폭 보완 또는 신설하였다.

또한 타일 내장, 도로내장 등 일반 내장의 구조 및 재료 규격을 신설하였다.

3.19 조명설비

최신 설계 적용 기준들로 관련 내용들을 모두 수정하였다. 또한 최근 관심이 증대되고 있는 LED 램프 등을 포함하여 터널 광원에 무전극 램프, 메탈하이드 램프, 고압나트륨 램프 등을 소개하였다.

최신 설계동향에 부적절한 조명기구의 설치간격과 플리커 내용을 삭제하였고, 비상조명 설치 내용을 최신 내용으로 수정하였다.

3.20 공사 중 설비

공사 중 설비는 금번 개정 작업에서 신설된 장으로서, 공사 중 환기설비, 공사 중 조명설비, 공사 중 급수설비, 공사 중 배수설비, 공사 중 오탁수처리설비, 건설폐기물 처리 등으로 내용을 구성하고 관련 내용들을 상세히 기술하였다.

3.21 내진설계

내진설계는 금번 개정 작업에서 신설된 장으로서, 내진설계의 기본개념과 대상구조물, 내진성능 수준 및 등급, 설계지반운동, 내진설계 방법 및 사례, 액상화 평가법, 내진설계 품질관리 등으로 내용을 구성하고 관련 내용과 실제 설계사례들을 상세히 기술하였다.

3.22 소형차 전용 지하도로

소형차 전용 지하도로는 금번 개정 작업에서 신설된 장으로서 국내외 소형차 전용 지하도로 사례를 정리하는데 목적이 있다. 지하도로의 필요성, 관련 기준 및 법규, 관련 계획 현황들을 정리하였다.

소형차 전용 지하도로의 설계일반에서는 소형차 전용 지하도로의 설계기준, 터널계획, 환기 및 방재계획, 진출입계획 등을 설명하였다.

국외의 설계시공사례로는 프랑스 A86, 중국 Fuxing 터널, 말레이시아 SMART터널 등을 위주로 상세한 사례 분석을 실시하였다.

3.23 싱글셸터널

싱글셸 터널은 국내에 적용 실적이 없는 터널형식이므로 본 장은 국외의 설계 및 시공 개념을 근거로 하여 신규로 작성하였다. 먼저 종래의 NATM(New Austrian Tunnelling Method) 공법을 이용하는 더블셸 터널형식과 비교를 통하여 싱글셸 터널의 정의와 개념을 정리하였으며, 적용 가능한 지반, 용수조건, 지보재의 요구기능 등을 포함하는 싱글셸 터널의 적용범위에 대해 간단히 기술하였다. 싱글셸 터널은 나라마다 조금씩 형식을 달리하므로 대표적으로 노르웨이의 NMT(Norwegian Method of Tunnelling),

독일 및 일본의 싱글셸 NATM과 NTL(New Tunnel Lining) 터널의 구조 및 특징을 비교하여 정리하였다.

싱글셸 터널의 설계에서는 조사, 굴착, 지보, 배수 및 방수, 마감재, 그리고 환기 및 방재에 대한 설계 방향을 제시하였다.

3.24 침매터널

침매터널은 새롭게 작성된 장으로서 침매터널의 계획부터 관리까지의 전체적인 과정을 모두 다루고자 하였다.

침매터널의 시공에서는 침매함의 제작 및 설치, 드라이독, 거치장, 기타 사항을 기술하였으며, 침매터널의 관리에서는 침매터널의 환기, 비상용 설비, 조명설비, 전력설비, 계측설비, 원거리 감시제어설비, 배수설비, 내장설비, 보안설비 등 각종 설비에 대한 설계방법들을 기술하였다.

4. 맺음말

본 편람을 개정하는데 있어서 국토해양부의 교통정책실 간선도로과의 주도로 약 18개월의 작업이 진행되었으며, 16회의 집필회의 및 자문회의, 2회에 걸친 관계기관 의견조회가 있었다. 이러한 개정작업을 위하여 27명의 집필진, 54명의 기술자문위원, 11명의 한국건설기술연구원 연구진이 직접적으로 참여하였으며, 또한 최종평가심에서 평가의원들이 발전적인 의견을 주셨다. 약 100여명의 전문인력이 최신 사례를 수집하고 수차례에 걸친 회의와 함께 부단한 노력으로 본 편람의 개정을 마무리 하게 되었으며, 본 편람이 높아진 국민의 관심에 부응하고 터널 건설경비를 절감하여 국가에 도움을 줄 수 있는 터널 설계에 있어서 좋은 길잡이가 되었으면 하는 바램이다.