

우리나라의 터널설계 기술현황

배 규 진 (한국건설기술연구원, 기획조정실장)

1. 서언

터널은 변화무쌍한 자연의 생성물인 지반을 대상으로 하여 길이가 단면에 비해 매우 길게 건설되는 지하구조물이기 때문에 조사나 해석, 설계, 시공 등 각각의 단계별로 실무자들이 많은 어려움을 겪게 된다. 특히 사전에 충분한 지반정보와 정확한 설계자료에 근거하여 시공이 이루어지기 어렵기 때문에 적은 양의 정보를 이용하여 신뢰도를 높이고 분석력을 향상시켜 나가는 노력이 필요하며, 또한 시공자료의 세밀한 분석을 통해 설계기술의 보완 및 발전이 있어야 할 것이다.

본 고에서는 국내 터널건설 기술 중 설계기술에 대한 현황·문제점들을 파악하기 위해 터널 설계 기술을 크게 5개 분야(지반조사 및 실험, 설계·해석 및 모델링, 지보 및 지반보강, 환기, 지반진동 등)로 분류하였고, 각 기술 분야별로 국내 기술현황을 조사하였다.

국내 터널설계 기술현황을 조사하기 위해 사용된 자료는 1990년 이후 자료로서, 관공서 설계심의 및 자문자료 35건, 국내 터널전문가 설문조사 자료 2건(한국건설기술연구원, 1992, 1997), 한국건설기술연구원 관련 연구보고서 9건 및 터널기술 현황분석자료 12건 등 총 58건이다.

2. 지반조사 및 실험 분야

2.1 기술 현황

1) 지반조사 및 실험의 중요성 부각.

최근에는 터널설계·시공전반에 있어서 지반조사와 실험이 매우 중요한 위치를 차지하고 있다는 사실을 국내 기술자들 모두가 인식할 정도로 그 중요성이 국내에서 크게 부각되고 있다.

2) NX시추공과 2·3중 코어배럴 사용 증가추세.

도심지 터널공사에서는 3중 코어배럴이나 D-3 샘플러가 일부 사용되고 있고 통상적으로는 NX구경의 시추공과 이중 코어배럴이 많이 사용되고 있으나, 일부 지방자치단체 터널공사에서는 지반물성을 정확히 평가하기 어려운 BX구경의 시추공을 최근까지도 지반조사에 활용하고 있는 실정이다.

3) 산악·도심지 시추간격 현황.

지표 노두조사 자료, 수집한 인접구간의 지반조사 자료, 현장 지형특성, 시공구조물의 용도, 지장물의 종류 및 분포상태 등을 종합적으로 분석하여 시추위치를 선정하고 필요 시에는 경사시추와 대심도 시추도 수행해야 할 것이다. 국내에서는 시추를 개략적인 등간격으로 그리고 터널 입출구 주변 얕은 심도의 수직시추를 주로 계획하는 경향이 짙다.

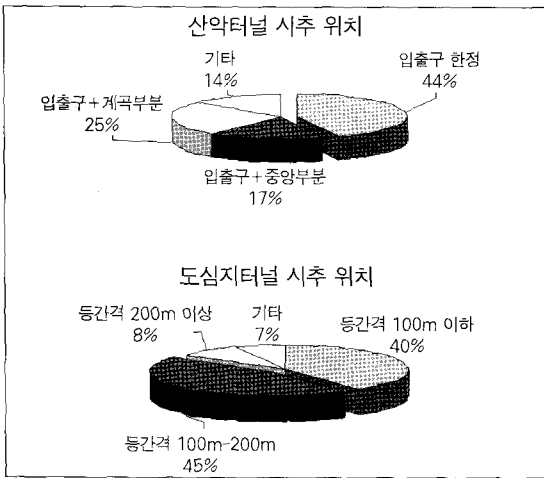


그림-1 산악 및 도심지터널의 시추위치 및 간격

4) 산악 및 도심지 특성에 따라 보완조사 (지구물리탐사) 증가 추세.

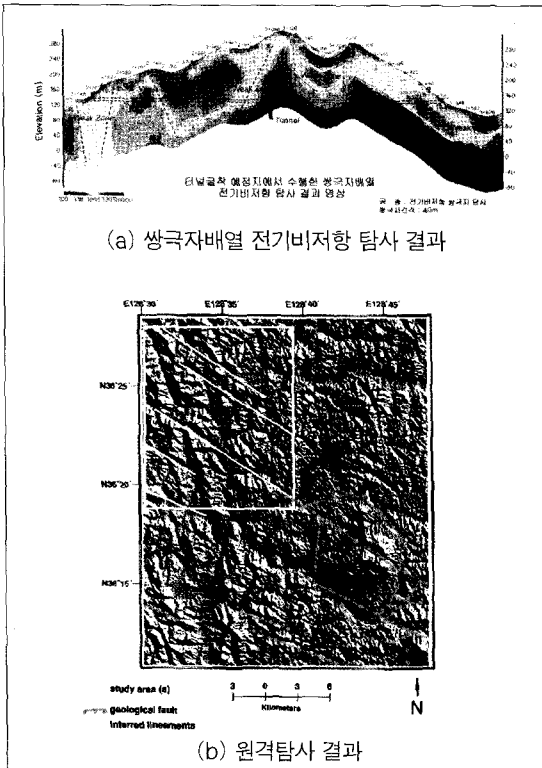


그림-2 광역 지반조사를 위한 지구물리탐사 예

터널은 단면에 비해 길이가 매우 긴 구조물이므로 조사영역이 넓고, 지형조건에 따라서 큰 제약을 받게 되므로 시공 전에 지반조사를 완벽히 수행하기란 매우 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 터널 노선을 따라 탄성과 탐사, 전기비저항 탐사 등 물리탐사 기술에 대한 관심이 점차 증대되고 있으며, 터널안정성 평가, 적정지보재 설계 및 막장 전방 지반조사 등 시공 중 지반조사의 중요성이 인식됨에 따라 지반조사의 물량이 점차 증대되는 추세이다.

5) 암반분류 기법의 적용현황

(RMR, Q-Value, 상호조합 방식 등).

RMR 방법을 창시한 Bieniawski에 의하면 입력자료가 충분하지 않으면 RMR 분류방법을 사용하지 않아야 하고, 현장 적용 시 최소한 2개 이상의 암반분류방법을 적용하여 그 결과를 상호 비교 검토하며, 프로젝트 초기단계에서 조사한 자료를 활용하여 차기단계부터는 그 현장에 맞는 수정방법을 적용토록 추천하고 있으나 국내에서는 최근까지 단순히 RMR 분류법에 주로 의존하고 있다.

또한 RMR 평가치는 조사자에 따라 편차가 상당히 크게 나타날 수 있으므로 숙련된 기술자에 의한 지속적인 현장조사가 필요하며, 특히 RMR은 최근까지 계속하여 수정·보완되고 있는 분류방법이므로 최신정보를 반영한 현장적용이 필요하다.

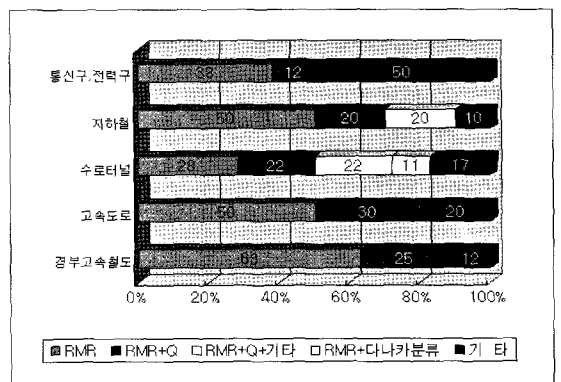


그림-3 터널 종류별 암반분류 기법의 적용 현황

6) 지반물성치 결정 방법.

국내 설계서 중 상당 수는 조사·시험결과를 나열하는 정도에 그치고 있고 현장조사와 시험결과 보다는 국내에서 관행적으로 적용하고 있는 일반 물성치들을 해석 설계에 많이 이용하고 있으며 물성치 결정과정을 제시하지 않는 사례가 많다.

7) 시공 중 지반조사 증가 추세.

터널은 단면에 비해 길이가 매우 긴 구조물이므로 조사영역이 넓어지며, 지반조사도 지형조건에 따라서 큰 제약을 받게 되므로 시공 전에 완벽한 지반조사는 불가능하다. 따라서 시공 중 지반조사는 시공 중 막장 전방의 예측과 터널의 유지관리상 지반조건파악에 필수적이나 국내에서는 이의 시행이 미흡하다.

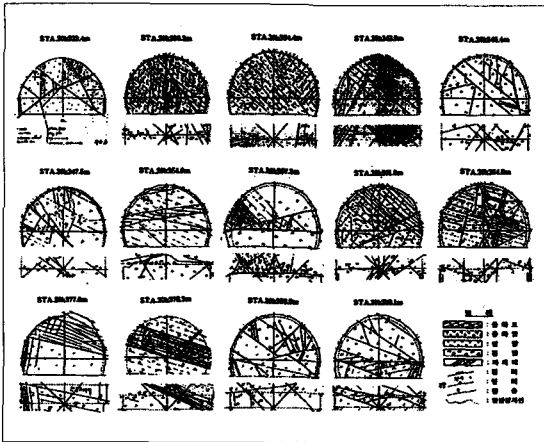


그림-4 서울지하철 5호선 OO구간 시공 중 막장 면 지질조사 작성 사례

8) TSP 장비 등 막장 전방 지반조사 신장비 도입의 증가 추세.

최근에는 일반 지반조사뿐만 아니라 터널막장 전방의 지반조사를 위한 TSP(Tunnel Seismic Prediction) 장비 등, 조사와 실험을 위한 국외 신장비의 도입사례가 점차 증가되고 있다.

2.2 문제점 분석

1) 조사비·물량 부족.

현장암반의 특성이나 시공구조물의 용도 등을 고려하여 적정한 지반조사항목 선정 및 실험물량 산정이 이루어지지 않는 경우가 많다. 국외의 경우에는 도로 및 철도터널을 기준으로 할 때 총 공사비의 0.5~2.0%를 조사비로 집행하는데 비해 국내에서는 조사비가 이에 비해 과소 책정되는 경향이다.

2) 획일적 시험 항목.

삼축압축시험, 초기지압축정시험과 같은 특수시험은 비용이 많이 드는 실험이므로 암반의 특성, 구조물의 용도, 터널의 기하학적 조건 등을 고려하여 선별·수행하는 것이 필요하나 국내에서는 삼축압축시험을 필수시험항목으로 보아 터널현장마다 수행하는 등 지반조사 및 실험이 무분별하게 수행되는 사례가 많다.

터널굴착공법의 종류(발파, 기계굴착 등), 현장암반의 성인, 시공구조물의 용도 등에 따라 적합한 시험법을 선별 적용해야 하나 국내에서는 획일적으로 시험항목을 선정하는 경향이 짙다.

3) Data 국제 공인성 결여.

국내에서 수행된 지반조사 및 실험 Data의 국제적인 공인성이 결여되어 있다.

4) 지반분류 기준 - 기관별 상이.

국내에서 사용되는 지반분류법이 발주처별로 다양하고 통일된 지반분류체계가 없어 동일한 풍화암에 대해서도 이를 적용하는 기준에 따라 상이한 결과를 도출하는 사례가 많다.

5) 산악터널 - 시추조사 생략 사례.

시추조건 : 산악터널은 지형특성상 시추조사에 한계를 갖게 되고 도시터널은 노두조사 등의 지표 지질조사에 어려움이 있으므로 시추조사 외에 보완조사, 즉 지표탄성파 탐사, 항공사진촬영, 지오

토모그래피 등의 탐사기법의 폭넓은 적용이 필요하다. 국내의 경우 탐사기술 및 장비가 간편화, 일반화되어 있지 않아 활용도가 낮으며, 결과에 대한 신뢰도 또한 낮은 실정이다.

6) 설계회사의 부서 구성(조사/설계부 분리).

상당수의 국내 설계회사에서 지반조사부와 설계가 완전 분리되어 있어 조사결과가 해석설계에 적절하게 반영되기 어렵고, 조사시험 계속결과에 대한 종합분석능력을 보유하고 터널해석설계를 수행하는 전문기술자도 아직까지 부족한 실정이다.

7) 기타.

터널설계는 대상지반의 지반조사를 충실히 수행한 후 이를 근거로 이루어져야 하나 국내에서는 터널설계보다 지반조사 및 실험이 늦게 시행되는 사례도 발견되고 있다. 또한 터널공사의 경우 설계시에 완벽한 지반조사가 어렵기 때문에 시공 중 지반조사가 중요한 부분인데 이에 대한 조사기술이 미흡하고, 조사방법이 단순한 편이다.

매우 미흡하여 외국기술의 의존도가 높다.

4) 지반 등급별 입력자료 분포 조사결과.

터널 수치해석 입력자료로 사용된 주변지반의 종류는 대부분 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암, 경암 등의 5가지로 분류하고 있고, 대부분 실내시험과 기존 문헌조사 등을 통하여 결정하고 있다. 그러나 이들의 탄성계수, 점착력, 내부마찰각의 적용범위가 일반적인 범위를 넘어서는 경우가 많이 있다.

예를 들면, 그림-5, 6, 7에서와 같이 풍화토의 입력치가 일반적인 범위를 벗어나 경암의 범위에 까지 해당되고 있어 입력자료의 임의조정 폭을 매우 넓게 해주고 있다.

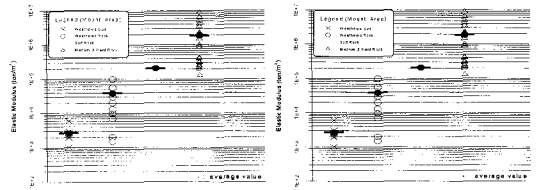


그림-5 수치해석 탄성계수 입력 범위

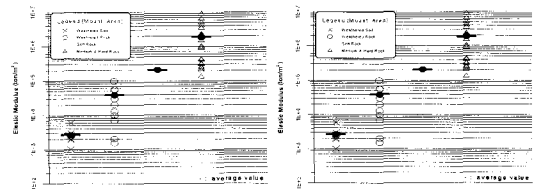


그림-6 수치해석 점착력 입력 범위

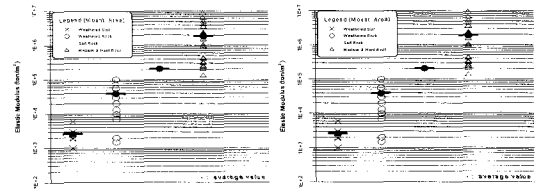


그림-7 수치해석 내부마찰각 입력 범위

3. 터널 모델링 해석 및 설계 분야

3.1 기술 현황

1) 예비설계 경향.

터널설계 시 완벽한 지반조사가 어렵기 때문에 터널설계가 예비설계 개념으로 치우치는 경향이다.

2) 모델링 수치해석 Tool(FEM, FDM).

국외의 경우, 공동해석이나 주요 터널의 해석에는 개별요소법(DEM)이 이미 일반화되어 있으나 국내에서는 아직까지 유한차분법(FDM)이나 유한요소법(FEM)에 의한 해석이 주를 이루고 있다.

3) 지하수 흐름 해석 · 유입량 해석 연구.

터널 및 지하공동에서의 지하수 흐름 해석 및 지하수 유입량 해석의 경우 국내에서는 연구실적이

5) 비배수터널 설계 증가 추세.

지금까지 국내에서 건설된 터널은 특수한 조건을 제외하고는 대부분 배수터널로 되어 있으나 최근에는 배수터널 이외에도 비배수터널의 설계·시공 사례가 늘고 있어 쾌적한 터널내 환경유지와 주변지반의 지하수자원 보호 등에도 많은 도움이 되고 있다. 독일 등 유럽의 기술 선진국에서는 최근 비배수터널 건설이 두드러지고 있으나 완전방수 개념이라기보다는 어느 정도의 허용누수량 기준을 제시하고 있다.

6) 산악·도심지 특성별 설계개념 정립.

도시터널과 산악터널에 대한 설계개념 구분이 불명확한 경우가 많으나 최근 이에 대한 설계개념이 정립되어 가고 있는 단계이다.

7) 극대단면·장대터널 건설사례 증가 추세.

최근 4차선 도로터널, 16km이상의 긴 철도터널 등 대단면, 장대터널들이 계획·설계·시공되고 있는 추세이다.

8) 터널 표준시방서 설계/시공 분리 작업 중.

정부차원에서 상위개념의 터널설계·시공기준이 수립 중에 있다.

3.2 문제점 분석

1) 수치해석 S/W 검증 문제.

국내에서는 10여 가지가 넘는 터널해석용 S/W가 실무에 활용되고 있으나 이들 S/W의 정확성에 대한 검증문제는 여전히 의문으로 남아 있다. 특히 1991년 11월 한국지반공학회가 가을 학술발표회에서는 동일한 터널문제를 주고 국내 7개 기관에서 각 기관의 S/W로 해석을 수행한 결과를 발표한 적이 있는데, 여기서 터널 천단침하의 경우, 수십 배의 차이를 보이는 것으로 밝혀져 충격을 준 바 있다.

2) 입력물성치 결정과정 미흡.

국내 설계서 중 상당수는 조사·시험결과를 나열

하는 정도에 그치고 있어 현장조사, 시험결과보다는 국내에서 관행적으로 적용하고 있는 일반 물성 수치들을 해석·설계에 많이 이용하는 경향이 있다.

3) 하중분담률 결정과정 미흡.

해석결과에 큰 영향을 미치는 하중분담율의 합리적인 결정방법이 제시되지 않고 있다. 특히 숏크리트가 타설되지 않는 경우, 측벽 도강 선진공법이 적용된 경우, 크기가 서로 다른 평행한 터널의 경우 등에서 해석자별로 하중분담률의 적용이 다양하게 나타나고 있다.

4) 불연속면(절리·단층 등) 해석기법 미흡.

국외의 경우, 공동해석이나 주요터널의 해석에는 암반의 단층 및 절리해석이 가능한 개별요소법(DEM)이 이미 일반화되어 있으나 국내에서는 아직까지 이를 고려하지 못하는 유한차분법(FDM)이나 유한요소법(FEM)에 의한 해석이 주를 이루고 있다.

5) 최적 단면형상 결정기술 미흡.

터널용도, 지반조건 등 현장여건을 고려한 최적의 터널단면형상 결정기술이 미흡하다. 최근 대단면 터널의 경우 높이에 비해 폭이 과대하여 라이닝 균열을 많이 발생시키고 있다는 일부 지적이 있다.

6) 배수터널 라이닝 하중조합 개념·기준 제시 요망.

종래에는 콘크리트 라이닝을 콘크리트 자중에 대한 지지와 미관만을 고려하여 설계하였으나 최근 들어서는 배수기능저하, 1차 지보재의 기능저하 등을 고려하여 콘크리트 라이닝도 외부 하중을 받는 것으로 설계하자는 기술자가 늘고 있어 배수터널에서의 콘크리트 라이닝 두께 및 철근배근 설계개념에 대한 심도 있는 연구와 설계기준의 제시가 요망되고 있다.

7) 배수 및 비배수터널 라이닝 설계기술 · 방수기술 부족.

최근 국내에서는 비배수터널 설계사례가 늘고 있는데 비해 비배수터널의 라이닝 설계기술과 라이닝 방수기술(방수재 연구개발 필요)의 부족으로 비배수터널의 현장 기술자들이 많은 어려움을 겪고 있다. 한 가지 예로서 터널상부에 위치하는 지하수위를 전수도로 보아 터널 라이닝 설계를 하지 않고, 적당히 임의 수압감소계수를 적용하여 설계하는 실제 예가 많다.

8) 특수구간(교차·근접 등), 특수터널 해석 기술 및 설계기술 미흡.

쌍터널, 교차터널, 분기터널과 같은 특수한 경우에 대한 해석·설계기술이 미흡하여 설계서 내에 굴착순서, Pillar의 적정 폭 등 설계요소들이 체계적으로 분석·평가되지 못하고 있으며, 또한 지반 침하의 간섭현상과 응력분포상태 등을 고려한 최적 설계도 원만하게 이루어지지 않고 있다.

9) 기본·실시설계 구분 미흡.

터널의 기본설계와 실시설계에 대한 구분 및 개념 정립이 통일되어 있지 않아 국내 설계서 별 설계항목에 있어서 큰 차이를 보이고 있다. 그리고 터널의 개념설계기술(Conceptual Design Techniques)이 미흡하여 선진국의 사례를 답습하거나 생략하는 경우가 많다.

10) 라이닝 신축이음·시공 Joint·철근배근 등 설계개념 및 기준 미흡.

라이닝의 신축이음, 시공조인트의 철근 연결방식 등에 대한 세부설계기준이 모호하고 설계개념도 정립되어 있지 않은 상태이다. 국내의 경우 지하철 공사에서는 시공조인트 처리방법이 자세히 제시되어 있는 편이나 타 터널공사에서는 조인트 처리에 대한 세부기준이 미흡하고 특히 신축이음에 대한 설계개념이 정립되어 있지 않은 상태이다.

11) 2-Arch, 3-Arch 터널 접합부 방수설계 미흡.

Arch간의 접합부 처리방법이 체계적으로 수립되어 있지 않아 시공에 많은 어려움을 겪고 있고 누수문제가 여러 현장에서 대두되고 있다.

12) 갱구부, 취약부의 영역(Zone) 결정기준 및 보강 설계개념 미흡.

터널 갱구부와 같은 취약한 부분에 대해서는 적절한 갱구부 Zone의 결정기준과 보강 설계개념이 필요하다. 특히 갱구부 터널 라이닝은 온도변화나 응력집중으로 인해 취약해지기 쉬우므로 구조물의 중요도에 따라 철근 등으로 보강하는 것이 일반적이나 설계사나 발주기관에 따라서는 이를 생략하는 경우가 많고 더욱이 보강하는 경우에도 보강구간을 짧게 잡아 라이닝 균열문제가 대두되는 현상이 자주 보고되고 있다.

13) 지반보강, 지보공법의 경험에 의한 설계

터널 강지보공의 설계개념이 정립되어 있지 않다. 즉 구조·재료공학적인 측면에서 볼 때, 두 재료가 복합구조(Composite Structure)를 이루면 복합부재에 대한 설계가 필요하지만 두 재료가 분리구조를 이루면 두 재료 중, 우수한 쪽의 재료만을 고려하여 설계하는 것이 원칙이다. 현재 국내의 일부 터널 설계서에는 H형강 Steel Rib의 경우 슛크리트와 일체구조로 보아 복합부재의 물성을 사용하는 사례가 있다.

터널의 구조적·재료적 안정을 위해서는 가급적 일체 시공이 유리하므로 전체 라이닝에 배근하는 것이 필요하다는 국내 기술자 그룹과 시공성, 경제성을 고려하여 모멘트가 크게 걸리는 인버트 부에만 배근해야 한다는 기술자 그룹이 있다. 그러나 아직까지 2차 콘크리트 라이닝의 철근배근 기준이 모호하여 이에 대한 연구가 필요하다.

14) 보조공법(Forepolling, Pipe Roof 공법,

강관보강형 다단그라우팅 등) 세부설계 미흡.

Forepolling, Pipe roof 공법, 강관보강형 다단 그라우팅 공법 등 대부분의 보조공법들이 세부 설계검토 없이 경험적으로 처리되고 있으며, 설계법 자체도 정립되어 있지 않다. 또한 보조공법의 효과에 대한 조사·분석기술이 미흡하여 보조공법에 대한 신뢰도가 낮은 편이다.

15) 기계화(TBM, Shield 등) 굴착 설계 기준·지침·시방 등 수립 미흡.

국내 TBM 터널 설계서에는 TBM 특성을 고려한 지보설계가 되어 있지 않거나 단지 RMR 값을 20% 상향조정하고 있어 터널크기, 지반상태, 굴진 조건 등을 고려한 적정 지보설계가 이루어지지 않고 있다. 참고로 TBM 터널구간에 대한 지보설계시 RMR값을 20%정도 상향시키는 경우는 직경 7m의 터널이 양호한 암반(Fair Rock)에서 굴진될 때를 기준으로 한 것이다.

16) 발파패턴설계 상 문제.

국내에서는 현장조건에 부합한 발파패턴을 설계하기보다는 타 현장의 설계도를 그대로 적용하는 사례가 많다. 또한 국내에서는 발파설계의 적정성 평가를 진동치와 단순 여굴량에 대해서만 하고 있으나 선진외국에서는 진동치 외에 발파 천공 Hole의 자국이 발파 후에 몇 %까지 남아 있는지를 갖고 패턴설계의 적정성을 평가하고 있다. 따라서 국내에서도 발파패턴설계에 영향을 미칠 수 있는 설계요소들에 대한 연구를 통해 적정 발파패턴 설계 기술개발이 요구되고 있다.

4. 지보 및 지반보강 분야

4.1 기술 현황

1) 터널보조공법 - Forepolling, 강관보강형 다단그라우팅, 주입공법 등 적용.

국내 터널현장에서 가장 많이 적용되고 있는 터널보조공법으로는 Forepolling, 강관보강형 다단 그라우팅 공법, 주입공법 등 3종류가 주류를 이루고 있다.

2) 지반 보강·지보 신공법 관심 증대.

최근 건교부 신기술 지정제도로 인해 국외의 신 지반보강 및 지보공법에 대한 관심이 증대되고 있고 관련기술의 자체 개발 노력이 증가되고 있는 실정이다.

4.2 문제점 분석

1) 지보재별 시공성 고려 미흡.

터널지보재별 각종 관리시험법과 기준치들이 주어졌으나 기준치를 초과하거나 또는 미달되었을 때 어떤 조치를 단계적으로 가해야 할 것인가에 대한 관리기준이 모호한 실정이다. 예로서 "라이닝 콘크리트 관리강도를 210kg/cm²로 정해 놓고 10번 시험했을 때 1개가 미달되어도 재시공해야 하는가?" 하는 문제점 등이 있다.

2) 경험 위주의 설계.

대부분 지반보강 및 지보공법들의 경우는 합리적인 설계법을 근거로 하기보다는 경험 위주의 설계가 이루어지고 있는 경향이다.

3) 소규모 하도급업체 위주의 공사.

터널공사 중 지반보강은 하도급업체인 전문건설업체 위주로 공사가 진행됨에 따라 이에 대한 기술개발 투자가 미흡하고 기술개발 속도 및 국내 기술 정착화가 늦어지고 있다.

4) 정량적 효과확인 미흡.

지반보강 및 지보공법들을 적용한 후 이에 대한 정량적인 효과확인이 이루어지지 않고 평가방법도 모호한 경우가 많다. 즉, 그라우팅공법 적용시 이의 효과를 확인하는 방법이 강구되어 있지 않아 위

험부담이 있는 상태에서 굴착공사를 진행하는 현상이 많다.

5) 그라우팅 보강시 주변환경문제 발생.

그라우팅에 의한 지반보강시 지하수오염 등 환경문제를 야기할 수 있는 주입재의 남용으로 민원이 발생하는 경우도 있다.

6) 기계굴착의 특성 미고려한 지보 설계.

TBM 등 기계굴착공법 적용 시에 TBM특성을 고려한 지보설계가 되지 않고 일반 발파시공 시의 지반 보강 및 지보방법을 그대로 적용하는 사례가 많다.

7) 신기술 시험시공 기피 경향.

신 보강공법 및 신 지보재를 국내 터널현장에 적용하기 위한 시험시공을 기피하려는 경향이 짙다.

5. 환기설계 분야

5.1 기술 현황

1) 소요환기량 산정 방법 등 기초연구 진행 중.

국내에서의 터널 환기설비는 우리나라의 실정에 적합한 소요환기량 산정방법 및 관련자료의 체계적인 정립을 위한 기초연구가 진행되고 있다.

2) 최적 환기시스템 구축 연구 수행 중.

터널 내부 공기유동의 정확한 예측을 통한 최적 환기시스템의 구축을 위한 연구개발이 수행되고 있다.

5.2 문제점 분석

1) 대단면터널 · 장대터널 · 교통수요 변화 특성 등 고려한 환기설비 연구 · 전문기술자 부족.

최근 도시 교통망 확충과 각종 SOC사업이 추진됨에 따라 4차선 이상의 도로터널이나 16km 이상의 철도터널 등과 같은 대단면, 장대터널들의 건설이 계획되어 설계 · 시공되고 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 대단면 장대터널의 환기설비 및 환

기시스템에 대한 기술력이 크게 부족한 실정이다.

2) 국외 설계기준 · 경험 답습.

선진 외국에서는 오래 전부터 터널의 환기대책에 많은 관심을 가지고 자국의 특성에 적합한 환기시스템의 개발에 힘쓰고 있으나 국내에서는 아직까지도 외국의 경험이나 설계기준을 답습하고 있어 국내 터널 환기시스템의 설계방법에 대한 전반적인 재검토가 필요하다.

3) 기존 철도터널 배기가스 배출시스템 미흡.

10~20년 이상의 내용수명을 가지는 철도터널의 경우 매연, 그을음 등에 의해 라이닝 표면이 피복되어 있어 안전점검 시 장해 요소가 되고, 콘크리트의 강도저하와 철근부식을 가속화시키게 된다. 따라서 기존에 환기설비가 설치되지 않은 재래식, 소단면 터널에 대한 배기가스 배출시스템의 연구가 요망된다.

6. 지반진동

6.1 기술 현황

1) 상위개념 내진설계 기준 제시.

국내의 경우 지진에 대비할 수 있는 구체적인 내진설계방법이 아직까지 마련되지는 않았으나 최근 상위개념의 내진설계기준이 제시된 바 있다.

2) 발파 · 기계화 굴착 · 차량 진동 등에 대한 사회 문제.

발파진동 뿐만 아니라 지하철, TBM 및 굴착장비의 진동 등이 사회문제화 되고 있으나 관련 연구가 미흡하고 전문기술자도 부족한 실정이다.

3) 무진동 발파 등 신기술 연구.

터널 공사 시 발생하는 민원의 상당 수가 소음, 진동에 의한 것이므로 발파진동 및 소음저감 기술개발이 필요하다. 이를 위해 최근 도입, 개발된 Nonelc

관 등과 같은 신기술 연구와 현장 적용성 평가가 필요할 것으로 판단된다.

6.2 문제점 분석

1) 실무에 적용 가능한 내진설계기준 미흡
아직까지 실무에 직접 적용할 수 있는 상세한 내진설계 기준 및 방법이 강구되지 않아 터널의 내진설계가 용이치 않다.

2) 진동제어발파·방진기술 미흡
도심지에서의 진동제어발파 기술과 고성능 방진재 및 방진기술이 미흡하여 현장에서 발생되고 있는 민원에 즉각 대처하지 못하고 있다.

3) 산악 입출구부의 내진설계 적용 필요
최근 일본에서는 지진의 영향과 더불어 동결·융해작용 등이 복합적으로 작용하여 터널 입구부가 함몰된 경우가 몇 차례 발생하였다. 따라서 국내의 터널에 대해서도 입출구부문에 대한 내진설계의 개념과 설계기준 등이 요구되어 진다.

4) Nonel 뇌관, 분착식 다단굴착공법 등 신기술 현장적용성 연구 필요

막장의 안정성 증대와 소음, 진동에 의한 민원을 감소시키기 위해 발파진동 및 소음저감대책공법 중 최근 도입, 개발된 Nonel 뇌관, 분착식 다단굴착공법, 다단 발파기를 이용한 발파방법 등과 같은 신기술 개발과 이들의 현장적용성 연구가 필요할 것으로 판단된다.

7. 결 언

본문에서 지적한 바와 같이 국내 터널구조물의 조사와 설계과정에서 여러 가지 기술적, 제도적 문제점들이 나타나고 있기 때문에 보다 현실한 국내 터널구조물의 건설을 위해서는 각 단계별로 요구되어지는 건설기술들의 체계적인 개발과 보급, 부실 방지를 위한 기술자들의 자성과 인식전환 등 다양한 노력이 요구된다.

그러나 진정한 건설 공사를 위해서는 조사와 설계·시공 기술자들만의 노력으로는 이루어질 수 없는 것이며, 관련 제도의 보완, 기술 연구, 우수인재 배출 등 관·산·학·연이 맡은바 제 임무를 성실히 수행하고, 문제점을 은폐하기보다는 스스로 공개하여 이를 해결해 나아가도록 다 함께 노력할 때 부실공사라는 단어가 사라질 것으로 믿는다.

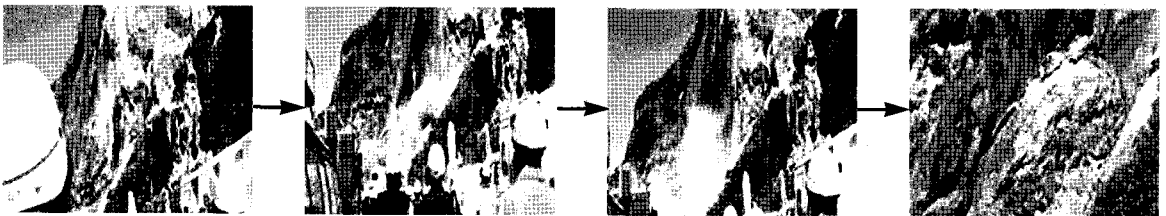


사진-1 一般國道 229號 第 2 白系 トンネル 崩落事故(日本, 1997. 8)