

터널 건설에 따른 환경영향 평가 및 대응기술 개발 방향 Overview of Environmental Impact Assessment and Environmental Protection Technology in Tunnel Construction

배규진¹⁾, Gyu-Jin Bae

¹⁾한국건설기술연구원 지반연구부 연구위원, Research Fellow, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : The environmental influence in tunnel construction is the drying of the ground water, the drop of the ground water level, and noise and vibration by tunnel excavation. The environmental influence can cause the change of natural ecosystem and the source of popular complaints. In case of popular complaints, the tunnel construction can be stopped or the construction period can be extended. Also, the financial loss may be reached to hundreds of billions won.

The technology development to minimize the environmental influence in the tunnel construction is very important in order to control popular complaints and to preserve ecosystem. It should be required the investigation, the evaluation, and the assessment of environmental impact to reduce environmental influence in the tunnel construction.

The objective of this research is to review the environmental impact assessment in Korea and to introduce the environmental protection technology which minimizes the environmental influence generated in the tunnel construction.

Key words : environmental impact assessment, tunnel construction

1. 터널 건설에 있어서 환경영향

최근 우리나라는 국토의 균형발전과 특성화된 지역개발을 위하여, 대도시의 재개발, 중·소도시 개발 및 산업기지 기반시설의 건설 등으로 국가 경쟁력을 증진시키기 위한 각종 사업을 추진하고 있다. 물류관련 기간시설들이 도로와 철도를 통하여 서로 연계되어야 하며, 수자원의 효율적인 관리를 위한 수로 건설 및 전기, 정보통신 관련 설비를 위한 지중선 등이 건설되어야 한다. 이 과정에서, 산지가 많으며, 기반암이 튼튼한 우리나라의 특성으로 터널건설이 증가하고 있으며, 기간시설 건설에 있어서 필수적인 요인이 되고 있다.

우리나라에서 터널은 다른 공법과 비교하여 경제적인 공법이며, 환경친화적인 장점을 많이 가지고 있기 때문에, 건설 계획의 타당성 검토시 경제성 및 환경성에 대한 부담이 적은 공법으로 평가받고 있다. 그러나 사업추진의 미숙, 시공시 관리의 부주의 및 국민들의 환경에 대한 요청에 시기적절하게 대응하지 못하므로써, 최근 몇몇 사회적 문제를 발생시키게 되고, 터널건설이 주변 환경에 피해를 증가 시킨다는 사회 관념을 만들게 되었다.

1.1 친환경 공법으로서의 터널

터널은 지하 깊숙이 지반을 뚫어 건설하기에, 주변 환경의 피해를 최대한 줄일 수 있고, 지표면에 서

식하는 식물과 생물들에게 피해를 최소화하는 방법이다.

표1은 터널 건설과 운용에 따르는 주변 환경에의 영향을 비교하고 있으며, 터널공법이 사회 관념과는 다르게 환경친화적 요소를 많이 가지고 있음을 알 수 있다. 자연 경관 보존에 유리하고 생태계에 대한 고려를 할 수 있는 등 장점을 가지고 있으며, 대도시 지역을 피하여 시공이 가능하고, 지상에서 작업이 이루어지지 않기 때문에, 철저한 시공관리를 통한 환경민원을 최소화 할 수 있다.

그리고, 일부 국가(일본)의 경우 대심도의 지하공간을 국토개발이라는 관점에서, 공공의 목적으로 개발하기 위한 법률을 정비하고, 개인의 소유권 행사를 제한하는 등의 사전준비를 하고 있으며, 지하공간 활용에 대한 연구를 심도 있게 추진하고 있다.

실제로 터널은 도로나 철도의 계획에 있어서 절토를 통한 환경영향 피해를 최소화 시키는 대안으로서 활용되고 있으며, 표2는 도로건설에 있어서 터널에 의한 보완사례를 정리하고 있다.

표1. 터널 건설과 운용에 따르는 주변 환경에의 영향

환경 친화적인 요소	환경 부담을 주는 요소
사업추진에 따르는 동물의 서식지 분단을 방지	터널시공중 민원발생 요인 다수 (진동, 소음, 지하수 문제등)
절개부가 적게 발생하여 시공중 및 운용중에 주위에 주는 영향이 적음	불확실성이 높은 지반속에 터널을 시공하므로서 당초 설계 및 계획에 대한 수정이 많음
우회하지 않고 주거지를 피하여 시공이 가능하므로 경제성과 환경민원을 최소화함	터널내부 오염 대책 및 처리에 추가 비용이 발생하며, 운영비 및 관리비용이 증가함
터널내에서 발생하는 오염물의 주변에의 확산이 적음	터널건설에 있어서, 환경영향 및 피해는 지하수 고갈 문제등과 같이 광역화될 우려가 있음
대심도 지하공간의 경우, 공공의 목적으로 활용이 가능함	
자연 경관 보존에 유리	

표2. 도로사업에 대한 환경영향평가협의시의 보완기준 (김희선, 2000)

구 분	환경평가 협의에 의하여 계획변경	
	교량으로 변경	터널으로 변경
서울외곽선(지도-벽계)	성토고 7m 이상	절토고 20m 이상
동해선(동해-주문진)	-	절토고 15m 이상
광주시 우회도로	성토고 10m 이상	절토고 50m 이상
대구-포항선	성토고 6m 이상	절토고 30m 이상

한국도로공사(1998), 내부자료 정리에 의함.

1.2 터널건설에 따르는 환경영향 사례

터널건설이 환경평가를 통하여 절토등의 대안으로서 선택되지만, 터널건설 자체로 인한 주변환경에 대한 영향이나 피해는 계속 보고되고 있다. 터널건설로 발생하는 영향은, 지하수 관련 문제, 지반침하, 소음·진동 등의 직접적 원인이 유발하는 환경 영향과 그 환경적 피해에 의한 민원발생 등으로 경제·사회적 손실을 입는 2차 영향이 있다. 예를들어 서울외곽순환고속도로의 사패산 터널노선은 지하수 변화와 주변 생태계 훼손에 대한 우려로 공사가 중단되어 그 피해금액이 약 2천5백억원/년(2002년 기준)에 이르고 있으며, 경부고속철도 천성산의 경우 또한 습지훼손 및 꼬리치레 도롱뇽의 멸종에 대한 우려로 인한 공사중단으로 사회경제적 손실이 1조원/년으로 추정하고 있다.

1.2.1 사업의 타당성과 관련된 문제

터널건설에 따르는 환경문제들은 사업의 타당성과 관련된 문제와 터널시공과 관련된 문제로 크게 나눌수 있으며, 사업의 타당성과 관련된 문제들은 계획단계에서 실시하고 검토한 환경영향평가와 밀접하게 관련이 있다.

환경영향평가 제도는 환경에 미치는 영향이 큰 법률, 행정계획등 국가 정책을 수립하거나 개발사업을 시행하기에 앞서 그와 같은 행위가 환경에 미치는 영향을 미리 예측, 평가하고 영향저감방안을 강구함으로써 그와 같은 행위가 환경에 미치는 부정적인 영향을 최소화하는데 그 목적이 있으며, 환경영향평가법 제4조에서 총17개 유형의 평가대상사업과 이들 사업을 다시 세분하여 63개 단위사업으로 나누고 있다.

이러한 환경영향평가가 도입되고 사전에 타당성이 검토되었음에도 불구하고, 새만금 사업이나 고속철도 건설 천성산 구간 등과 같이 사업 시행여부를 문제삼는 사례가 최근 10년동안 증가하고 있으며, 사업시행 초기에서 사회적 혼란 및 경제적 손실이 발생하는 등의 부작용이 증대하고 있다. 환경영향평가 운영과정에서 겪는 혼동과 부작용의 원인으로서

첫째, 국민들의 환경에 대한 기대와 요청이 증대하고 있는 점

둘째, 1인당 GNP 1,592달러 수준인 1981년에 제도를 도입하여 개발부서와 환경관리 부서가 20여년 동안 대립적인 관계를 형성해 오면서 실질적인 환경관리수단으로 정착되지 못한 경향이 있는 점 (김선희, 2000).

셋째, '한국 민간단체 총람 2000' 조사에서 나타난 바와 같이, 국내에서 20,000여개의 민간단체(학회포함)가 각 분야에서 활발하게 활동하고 있으며, 국가적 사안에 대하여 체계적이고 조직적인 대안을 제시하고 있는 점이며, 그중 56%가 1987년 이후에 설립된 점 등이다.

1.2.2 터널시공과 관련한 문제

국내에서 터널건설로 인하여 발생한 피해사례를 파악하기 위하여, 1999년 1월부터 2004년 6월말까지 중앙환경분쟁조정위원회에 제기된 406건의 환경분쟁 조정사례 중에서 공사와 관련된 분쟁사례 및 각종 터널공사현장에서 조사한 사례 등 약 60여건에 대하여 분석을 실시하였다.

건설과 관련한 환경분쟁으로 제기된 분야별 발생현황을 살펴보면, 그림 1과 같이 아파트공사와 관련된 분쟁이 32%로 가장 큰 부분을 차지하고 있으며, 터널과 관련된 환경분쟁은 전체의 약 13%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

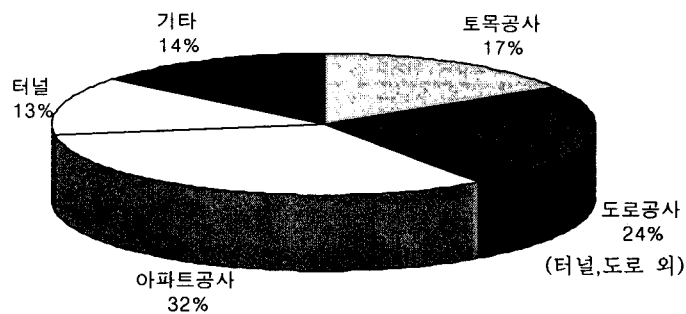


그림 1. 건설공사 환경분쟁 발생현황

터널건설이 다른 건설공사와 비교하여 상대적으로 환경분쟁의 발생건수가 적다는 것을 알 수 있으며, 일부의 몇몇 국가적인 민원에 의하여 알려진 일반적인 관념과는 다름을 알 수 있다.

그림 2는 터널건설에 있어서, 발파 및 터널 공사장비, 굴착 등으로 인하여 발생하는 2차 피해원인에 대해서 분석한 결과이며, 2차 피해로는 소음, 진동, 분진 및 지하수 피해 등이 있다. 이중 소음과 진동이 전체의 약 84%를 차지하여 이에 대한 대책이 시급한 것으로 조사되었다.

진동과 소음은 주로 터널발파 및 터널공사를 위한 공사 장비에 의해서 발생되며, 지하수에 의한 피

해는 터널굴착으로 인하여 주변 지하수위가 강하하여 지하수가 고갈되는 등의 피해가 발생하는 것으로 나타났다.

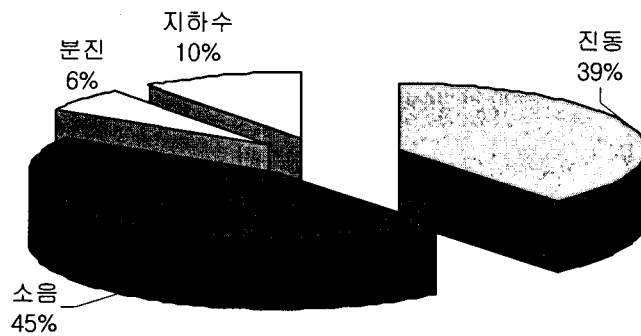


그림 2. 터널건설에 따르는 피해원인

그림 3은 터널공사로 인해 발생한 피해를 유형별로 분석하였다. 터널공사로 인하여 발생한 피해로는 크게 터널공사현장 인근에서 사육중인 가축에 대한 피해와 발파로 인한 진동에 의하여 인근 주택이나 건물에 균열이 발생하는 피해가 가장 큰 것으로 나타났다. 건물피해의 경우 33%를 차지하여 가장 많은 피해형태로 나타났으며, 가축피해와 정신적 피해가 각각 20%, 18%로 이들 3가지 유형이 전체의 약 70% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 이밖에, 분진 및 소음피해, 지하수 고갈 등도 피해의 한 유형으로 분석되었다.

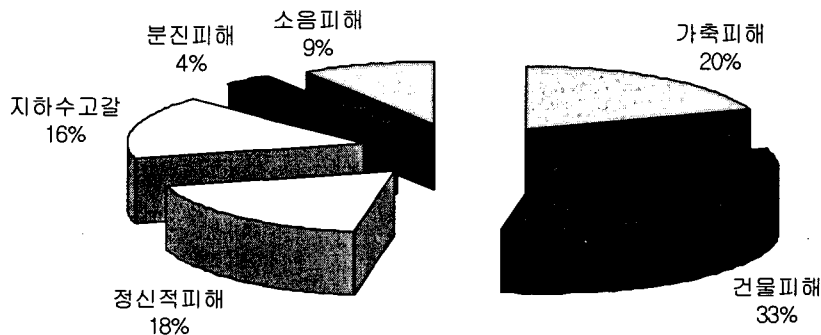


그림 3. 터널 건설에 따르는 피해유형별 분석

2. 터널 건설에 있어서 환경영향 리스크에 대한 대응

2.1 환경영향 리스크 관리의 필요성

터널공법이 사회 관념과는 다르게 환경친화적 요소를 많이 가지고 있음에도 불구하고, 국내에서는 사업의 신속한 추진, 불충분한 타당성 검토 및 불성실한 건설에 의해, 다수의 환경영향 사례가 보고되고 있으며, 이것으로 인한 민원발생은 결론적으로 터널건설에 대하여 부정적인 부분을 부각하고 있다.

미래세대를 위하여 자연의 능력을 저해하지 않으면서, 현 세대의 요구를 충족시키는 기법이 필요하며, 심각한 사회갈등을 일으키지 않고 경제적 실리와 사회 통합, 환경의 보전을 함께 이루어가는 미래지향적 사고가 필요하다. 터널 건설시 발생하는 환경영향에 대한 사전평가와, 복잡하고 돌발적으로 발생하는 민원등을 리스크로서 인식하여 관리하는 것은, 이러한 지속가능한 개발을 위한 중요한 도구가 될 수 있으며, 그림 4는 터널 건설중에 있어서 환경영향 리스크 관리의 필요성을 보여주고 있다.

터널은 지반속에 대부분이 건설된다는 특징에서도 알 수 있듯이, 건설 및 유지관리에 있어서 불확실한 면을 많이 가지고 있다. 사전조사 및 타당성이 충분히 검토되었다 하더라도 돌발적인 환경영향 리

스크는 항상 존재하고 있으며, 우리사회의 다양한 요구와 결합하여 문제가 불합리하게 확대되고, 그것에 대하여 합리적이고 신속한 대응이 실패할 경우, 언제든지 국가적인 손실을 발생시킬 수도 있는 상황이다.

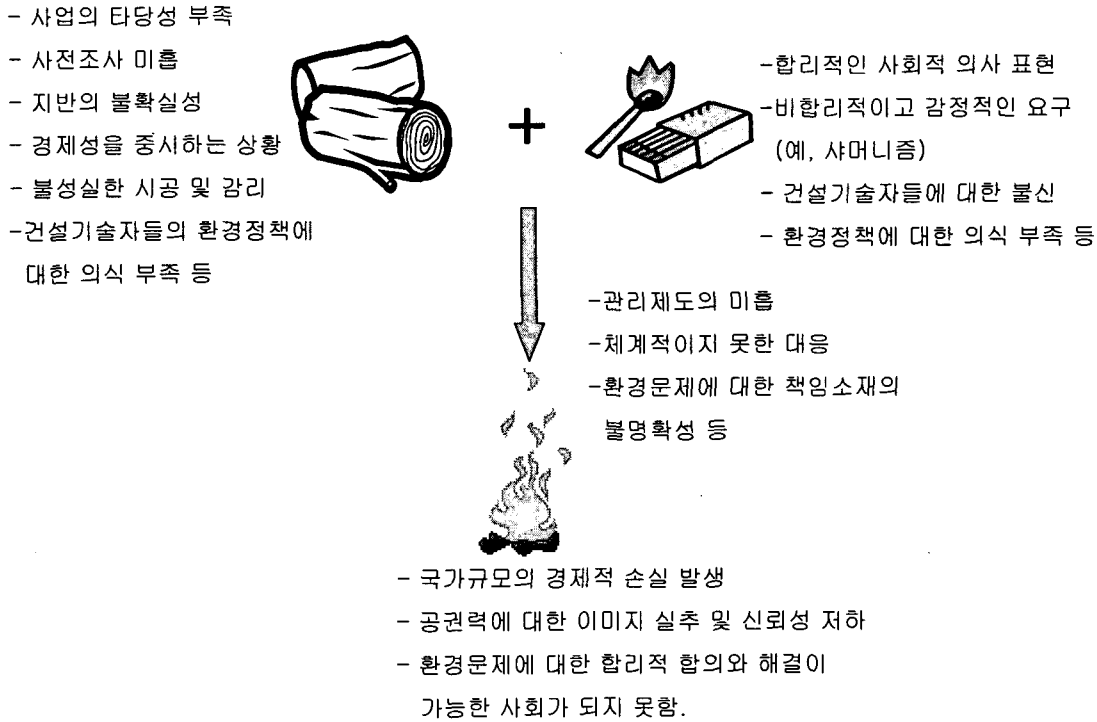


그림 4. 터널 건설중에 있어서 환경영향 리스크 관리의 필요성

2.2 타당성 검토와 사전환경성 평가의 강화

현재 국내에서는 대규모 국책사업의 타당성과 관련하여 공정성 문제가 지속적으로 제기된 사례가 있으며, 타당성조사 후의 실시설계, 공사시행 등 사업추진과정에서 총사업비가 크게 증액되거나 새로운 환경문제가 제기되고 있지만, 사전검토 결과에 대한 재검증이 미흡한 등 제도의 개선이 요구되고 있다.

이러한 상황에서, 정부에서는 기존에 존재하고 있던, 타당성검토와 환경영향성 평가의 강화를 계획중에 있으며, 사전 환경성검토 대상에서 제외된 국책사업을 사전 환경성검토 대상에 포함시키고, 타당성조사(기본설계)와 사전 환경성검토가 동일시점에서 이루어지도록 개선하려 하고 있다.

사업이 결정된 후 환경영향평가 단계에서의 사업의 백지화 및 타당성의 전면재검토 등의 부작용과 낭비적 요인을 근본적으로 개선하기 위해서, 미국의 사전환경성 평가(Screening)이나 EU국가의 전략적 환경성 평가(SEA: Strategic Environmental Assessment), 일본 건설성의 '대규모 공공사업에 대한 사전평가 절차' 등과 같은 시스템의 실시를 계획 중이며, 사후 환경영향평가 검토영역을 사전 환경성 검토영역으로 조정하여 사전검토 강화와 함께 사후검토를 완화하여 사업지연을 방지하도록 계획하고 있다.

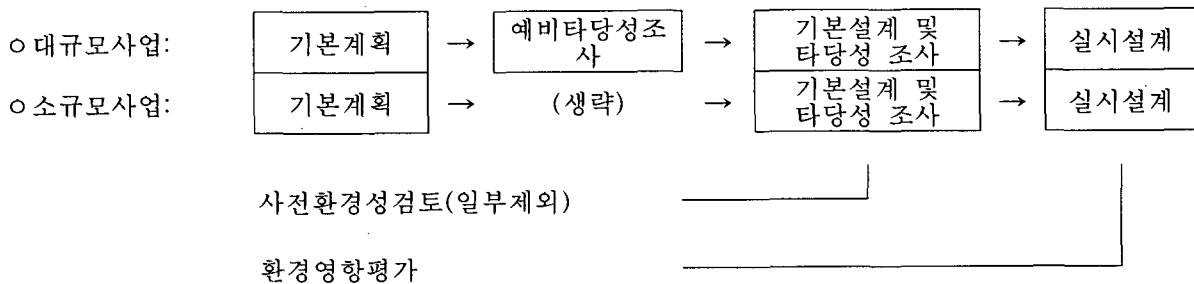


그림 5. 국책사업의 추진 절차 (환경부 안)

그림 5는 환경부의 안으로서 국책사업의 추진 절차 및 환경평가의 시기를 보여주고 있으며, 표3은 주요 국책사업 계획에 있어서 관리주체를 나타내고 있다.

표 3. 주요 국책사업 계획에 있어서 관리주체

구분	예비타당성조사	타당성조사	사전환경성검토	환경영향평가
주관부처	기획예산처	사업부처	환경부	환경부
근거	예산회계법시행령 *법률근거 미비	건설기술관리법	환경정책기본법	환경·교통·재해 등에 관한영향평가법
대상사업	· 5백억원이상 건설 개발사업 · 국고3백억원이상 민자·지자체사업	· 예타결과 경제성 있는 사업 · 1~5백억원 규모(발주처 고시)	· 행정계획 · 일정 규모의 개발사업	· 산업단지조성, 도시개발, 도로건설 등 17개분야 62개사업
실시시기	사업계획 초기단계	· 예비타당성조사 이후 · 기본설계단계	타당성조사 및 기본설계 단계	실시설계 단계
조사내용	· 경제·정책적 타당성 검토 · 필요시 개략적 환경성검토	· 기술적·경제적 타당성에 중점	· 입지 및 사업 규모 적정성 · 주변환경과 조화 여부 등	· 환경영향예측 저감방안 마련 등
조사방법	한국개발연구원(KDI)과 협약, 출연금으로 수행 *용역계약 없음	사업기관이 용역기관 선정, 개별 용역계약 실시	환경부	환경정책평가연구원

2.3 터널 건설중의 환경영향 리스크 대처를 위한 제도적 준비

2.2절에서와 같은 정부의 노력은 터널건설 사업 자체에 대한 환경영향 및 민원발생을 상당히 줄여 줄 것으로 생각되며, 터널의 설계 및 계획단계에 지금보다 많은 시간과 자본이 투자될 것으로 판단된다.

그러나 계획단계에서 예측하지 못했던 환경영향 리스크가 존재하고, 터널 건설시 돌발적으로 발생하는 민원이나 환경문제에 대응할 수 있는 제도 및 기술적 사항에 대한 준비는 터널 건설기술자의 몫이기도 하다.

환경적 측면을 지나치게 고려한 나머지, 터널건설의 공정이나 규모등을 정확히 이해하지 못한채 최악의 상황만이 상정되어, 비현실적인 대안이 제시되는 것을 피하고, 환경요소가 실시설계나 터널공사에 반영되도록 하기 위해서는, 개발사업 주체가 환경영향평가를 감리 및 시공관리수단으로 적극적으로 운영하려는 인식전환이 요구된다.

환경영향평가 협의기준 및 기술지침등을 제정하여 계획 및 실시설계에 반영토록 관련 법규를 정비하고, 환경요소 반영에 따른 소요 비용은 품셈화, 표준화하여 계획시 반영하는것 등도 필요하다.

일본의 경우 사전계획단계에서부터, 건설계 전문가와 환경계 전문가 사이의 협의체(위원회)를 통하여 사업을 추진하고 있으며, JICE(국토기술연구센터)와 같은 단체가 사전계획을 관리하므로써, 계획의 공정성 및 공신력을 확보하고, 시공중 발생하는 환경영향 및 민원에 대하여는 정부의 책임으로 예비비를 사용하여 능동적으로 대처하고 있다.

표4에서는 터널건설시 발생하는 환경영향 리스크의 효율적 대처를 위해 우리나라가 고려 가능한 제도(안)을 정리 하고 있다.

표 4. 터널 건설시 환경영향 리스크의 대처를 위해 고려 가능한 제도 (안)

제 도	내 용	국내의 상황
건설공사보험의 확대	공기의 지연 및 공사중단으로 인한 손해 일부 보상 및 돌발적 환경영향 피해에 대한 보상	턴키계약시 건설공사보험을 권고하고 있으나 강제성이 없으며, 국내보험사들의 소극적 자세로 환경영향 리스크에 대응하기 어려운 실정임.
예비비의 보장	공사비의 일정 금액을 환경영향 리스크에 신속하게 대응할 수 있도록 사전에 준비해 둬으로써 합리적이고 계획적인 문제해결이 가능	턴키계약 방식에 의하여 예비비를 별도로 배정할수 없음.
이해당사자들 또는 이해당사자들의 대리인을 통한 시공관리치의 사전 합의제도	국가나 협회에서 제시하는 기준을 참고하여 이해당사자간 합의에 의하여 각종 관리치를 정하고, 이를 반영한 시공관리 및 설계를 수행	문제 발생후 법원의 중재등 사회적 제도를 이용하여, 합의가 이루어지고 있음

3. 환경영향 대처를 위한 기술적 사항

터널공사에 있어서는 규모, 지질조건, 공법, 사용기계, 설비, 작업환경 등에 따라서 천차만별이고 환경문제의 대응에 대해서도 현장의 여건에 따라 다른 경우가 많다. 환경문제와 관계 깊은 기술적 사항을 항목별로 요약하면 다음과 같으며, 국내의 환경정책에 보조를 맞추면서, 효율적이고 경제적인 시공이 이루어져, 환경영향 리스크에 대한 대응이 가능하도록 기술자들의 준비와 연구가 필요한 항목이다.

3.1 소음, 진동관련

통상의 건설공사에서 발생하는 소음·진동에 관해서는 진동규제법 혹은 소음규제법이 적용되지만 발파작업 자체에 대해서는 그 대상이 되어 있지 않으며, 소음·진동의 전파에 있어서 현장의 지질조건 및 지반조건에 크게 영향을 받고 있다.

따라서 터널굴착시 발파로 인한 소음과 진동에 대해서는 지역주민과의 합의하에 시험발파 등을 사전에 실시하여 철저한 관리를 하여야 하며, 환경영향 리스크를 줄이면서 시공성·경제성을 확보할 수 있는 기술개발과 관련 제도개선이 시급하다.

예를 들어 사폐산 터널의 경우, 공기단축과 병행하여 소음·진동을 저감시키기 위해 다이어마이트와 비교하여 폭속이 작은 벌크 에멀전 (bulk emulsion) 폭약을 사용하는 장공발파 공법을 비교적 성공적으로 적용하고 있다. 그러나 기존 발파패턴과 비교하여 비장약량이 높은 관계로 진동이 약간 큰 편이며, 기존 전기뇌관보다 단가가 비싼 전자뇌관을 사용하는 문제 등에 있어서 기술적으로 해결되어야 할 부분이 있다.

즉, 공기·공비를 절감할 수 있는 급속시공을 도모하면서 소음·진동을 저감시킬 수 있는 새로운 굴

착공법의 개발을 새로운 당면과제로 시급히 고려해야 할 시점이다.

또한 민원문제가 첨예하게 대두될 수 있는 현장에서는 Open TBM/Shield TBM으로 대표되는 각종 기계화시공법과 국내에도 적용 실적이 있는 TBM-NATM 병용공법 뿐만 아니라, 근미래의 새로운 굴착 공법으로 고려될 수 있는 플라즈마 (plasma) 공법, 워터젯 (water-jet) 공법 등의 검토와 개선이 고려되어야 할 것이다.

그리고, 터널 시공시 보조시설로 사용되고 있는 갱구 방음문에 대하여, 국내에서는 설계기준 및 설치 후 평가기준이 정립되어 있지 않으나, 폭풍압과 발파소음의 저감관리의 측면에서 연구가 필요한 분야이다.

3.2 수질오염

산악터널에 있어 탁수의 발생량과 상태는 지반의 상태(지질, 용수의 수질과 용수량)와 시공방식, 굴착방법, 배수방법, 숏크리트, 2차 콘크리트의 타설 상황 등에 따라 다르다. 터널공사로 문제가 되는 수질 오염 현상은 부유물질(ss), 수소이온농도(pH), 기름성분 그리고 철분과 중금속류의 존재등이 있다. 평상시 터널시공시 배출수의 SS농도는 1000~3000정도이며, pH에 대해서는 숏크리트 플랜트 관련 배수에서는 강알칼리성을 나타내는 경우가 많으며, 수처리 시설을 통과시켜 배출시켜야 하며, 추가적인 연구와 현황파악이 필요한 부분이다.

3.3 지하수의 고갈

터널공사에 있어서 지하수에 관한 문제로서 「시공상의 영향」(지하수로부터 받는 영향) 과 「주변에의 영향」(지하수에 미치는 영향)의 양면을 고려하여야 한다. 「시공상의 영향」로서는 용수에 의해 터널이 붕괴한다던가, 지압이 증대 한다던가, 지지력이 저하 한다던가, 배수불량을 일으킴으로서 시공에 영향을 미치는 것 등이 있다. 「주변에의 영향」에서는 터널굴착에 의한 용수 때문에 기존의 물이용(우물, 온천 등의 고갈)에 영향이 미치는 문제가 있다.

지하수에 관해서는 「시공상의 영향」과 「주변에의 영향」이라는 양면에서 사전조사를 충분히 실시하고, 착공후의 사태를 예측, 종합적인 판단과 대책을 세울 필요가 있으며, 주변의 민원에 대해서는 공사와의 인과관계를 분석하려고 해도 터널공사와 무관계인 우물의 과잉양수에 기인하거나, 양수 년도에 있어서 지표수의 감소와 지하수위의 저하에 따른 현상과 구분이 어려움으로, 문제가 발생 하고 나서 이행하는 근시적인 조사, 대책으로서는 해결할 수 없는 문제라는 것을 인식할 필요가 있다.

표 5와 표 6에서 지하수 환경에 영향을 미치는 요인(환경영향 항목) 과 일차적 현상에 의한 2차적 현상을 나타내고 있으며, 일반적으로 알려진 지하수 관련의 검토항목 및 기술개발의 방향을 제시하면

- 대규모 지하공간 개발에 있어서 구조물에 작용하는 수압의 변화
- 지하수위, 수압 저하에 의한 취수장애와 지반침하
- 지하수의 유동장애
- 지하수의 수질변화
- 환원성 지반의 영향으로 인한 지하수의 강산화, 가스발생 등이 있다.

표 5. 지하수 환경에 영향을 미치는 요인 (환경영향 항목)

	지하수 대책	시공법	공법에	원 인	일차적 현상 (환경영향항목)
시공시	배수를 기본으로 하는 공법	개착		- 지하수의 양수	- 지하수위 저하
		비개착	NATM 등	- 갱내의 출수	- 지하수위 저하
	차수를 기본으로 하는 공법	개착	차수벽, 약액주입	- 차수벽의 구축에 의한 지하수의 유동장애 - 약액, 탁수의 확산	- 지하수위 저하 또는 상승 - 시설주변의 수질 오탁
		비개착	실드공법	- 보조공법으로 지하수위를 저하시킴 - 터널 주변의 물길발생에 의한 다른 대수층간의 연결 - 압기에 의한 한소의 공급 - 약액, 탁수와 섞임	- 지하수위 저하 - 지하수위 저하 또는 상승, 오염물질의 대수층간 확산 - 화학반응(산화반응) - 시설주변의 수질오탁
시설의 공용시				- 지하수의 유동장애 - 시설내의 누수 - 대수층의 감소에 의한 지하수 저류 지역의 감소 - 열원의 공급	- 지하수의 저하 또는 상승 - 지하수위의 저하 - 지하수위의 상승 - 지하수온의 변화

표 6. 일차적 현상에 의한 2차적 현상

일차적 현상 (환경영향항목)		2차적 현상 (환경과 주민생활에 불편을 주는 사항)
지하수의 변동과 지하수 유동장애	지하수위 저하	- 유효응력 증가에 의한 지반침하 - 우물의 갈수, 고갈 - 식생환경의 변화 - 온천원에 영향
	지하수위 상승	- 지하수위 상승에 의한 구조물에 대한 양압력 증가 - 지하수위 상승에 의한 기존 시설의 누수 - 지하수위 상승에 의한 액상화 저항의 감소 - 식생환경의 변화
지하수질의 변화	시설주변의 수질오탁	- 수질악화에 의한 생태계의 변화 및 주민건강에 영향
	화학반응(산화)	- 강산성지하수의 발생으로 지중구조물의 부식 촉진 - 유해가스의 발생 - 산소 결핍사고의 발생 - 지하수 이용을 회피
	염수화	- 지하수 이용을 회피 - 식생환경의 변화
	수질악화	- 생태계에 영향 및 주민의 건강에 영향
	지하수 수온의 변화	- 생태계에 영향
그 외	- 천연가스의 발생에 의한 환경 피해	

3.4 생태계 관련

최근 도로 및 철도의 계획에 있어서 중점적으로 고려되고, 연구가 활발한 부분이 생태계와 자연보호 관련 사항들이다. 우리나라의 자연환경 보전 체계를 그림 6에서 보여주고 있으며, 생태계 관련으로 터널 건설에 따르는 환경영향평가의 항목이 되기도 한다. 터널건설 및 운용에 따른 생태계 관련 환경영향이 정리되어 체계화된 부분은 많지 않으나, 크게 분류하면 표7과 같은 항목들이 생태계에 미치는 영향으로서 대표되고 있다.

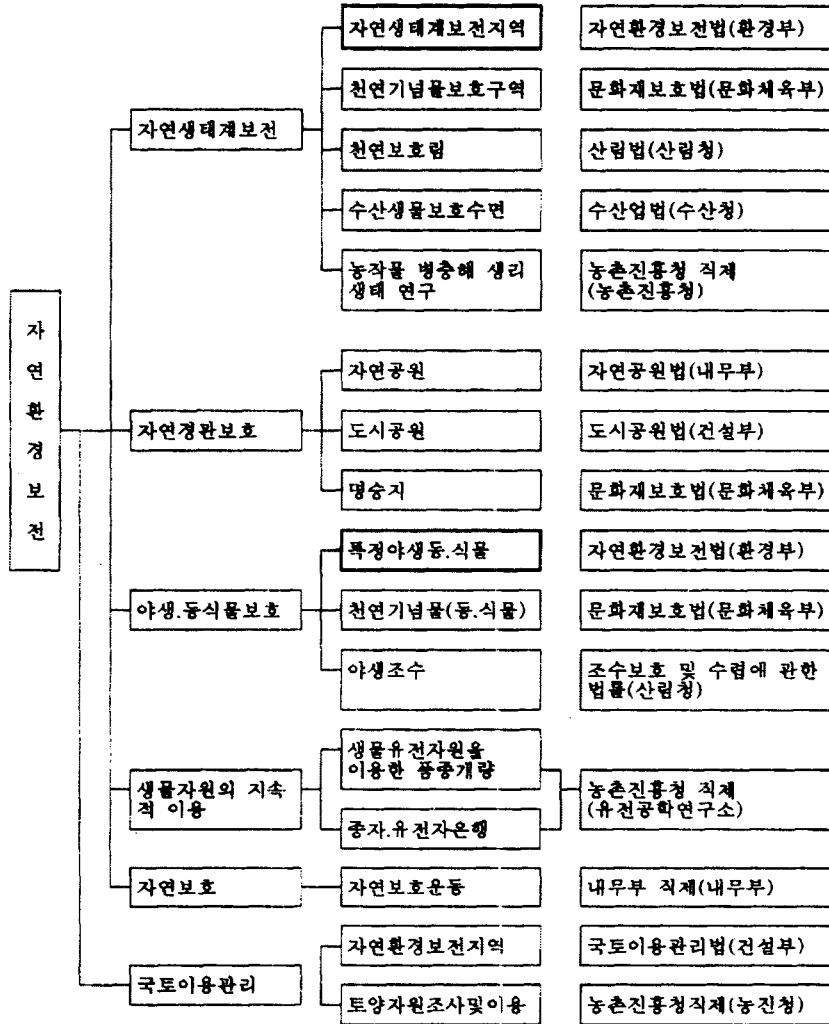


그림 6. 우리나라의 자연환경 보전 체계 (용도구분) (강인구,1996)

표7. 터널건설에 따르는 생태계의 영향

종류	주 된 영 향
식물	지하수위 변화에 따른 식생의 영향
동물	맹금류에 대한 소음 및 진동의 영향

3.5 지반침하

산악터널의 굴착에 따른 지반변위의 대부분은 설계, 시공의 불량과 터널굴착에 따르는 지중응력의 변화, 지하수 변화등이 원인이 되어 지반의 변형이 발생한다. 지표 침하의 원인은 이하 3항목으로 구분 될수 있다.

- ① 굴착에 의한 지중응력의 해방(응력의 재분배)에 의한 침하

- ② 지중의 지하수의 변동
- ③ 굴착과 시공상 발생하는 침하

지반침하는 다음과 같은 항목의 조사가 실시된다.

- 과거의 같은 종류의 공사에 지반변형에 관한 문헌, 자료의 조사
- 토질조사
- 변형 량의 예측계산
- 지하수위, 간극수압의 측정
- 영향예측범위의 지형측량
- 건축물, 지하 매설물 그 외 시설의 현황조사
- 지하수위, 간극수압의 경시변화 측정
- 지형측량 및 건조물 그 외 시설의 추적조사
- 지반균열의 관찰

3.6 분진

터널공사에서는 지반조건과 시공방법에 다소 차이가 있지만 착공, 발파, 또는 기계굴삭, 반출작업, 뿜어 붙이기가 분진발생량이 많은 공정이다. 여기에 대해서는 시공회사가 분진에 의한 인체에 미치는 영향을 피할 수 있는 다양한 방법을 사용하여 작업자의 안전을 확보하여야 한다.

터널 건설공사에 있어서 분진관련의 연구개발 사항으로서

- 분진대책에 관련된 계획
- 분진발생원에 관련된 장치의 개선
- 환기장치의 성능향상
- 환기효과를 확인하기위해 분진농도 등의 상시 계측관련
- 방진 마스크 등 호흡용 보호구의 개선

등이 있다.

3.7 건설폐기물

건설공사에 따라서 발생하는 건설부산물은 크게는 건설발생토와 건설폐기물로 나누어 질 수 있다. 건설공사에 따라서 발생하는 건설부산물(건설잔토 및 건설폐기물)은 환경보존과 자원의 유효이용에 관점에서 발생량을 적게 하고 재자원화를 계획하여야 한다. 터널의 경우 건설잔토가 다량 발생하고 있으며, 이 중에는 인공적 또는 자연적 원인으로 오염된 잔토도 발생하고 있다. 가능하다면 실시간적으로 발생하는 건설부산물의 국가적인 관리가 필요하며, 전국적인 건설폐기물 활용에 관한 네트워크의 운용도 생각할 수 있다.

3.8 유해가스

터널공사의 규모, 시공법, 사용하는 건설기계로부터 유해가스의 발생량도 변화된다. 그리고, 메탄등 가열성 가스가 발생되리라 예상되는 지층을 굴착할 경우 가스대책과 산소결핍공기 문제, 그리고 온천지대에 있어서 고온, 고열현상도 시공시 고려할 필요가 있다. 터널갱내에서 발생하는 유해가스, 그리고 분진이 더해진 공기오염 물질을 합리적으로 배기하던가, 또는 신선한 공기를 보내서 오염공기를 희석시키기 위한 환기방법을 계획하여야 한다.

3.9 화재

공사 중의 터널에서 있어서는 굴진과 함께 갱구에서 막장까지의 거리가 증가하고, 현장의 현황, 작업내용, 종업원의 수와 구성이 변하게 된다. 방재설비도 여기에 충분히 대응을 하여야 하고 항상 작업자에 대해서도 주의를 환기시키는 연구가 필요하다.

공용시의 화재에 대한 시스템적인 연구가 필요하며, 터널 라이닝등 구조적 문제와 함께, 터널내 사람의 대피계획 및 방재설비 계획도 연구가 필요하다.

3.10 교통소음, 진동

공용개시 후 교통기관 등의 진동에 대해서는, 주변의 환경에 영향을 미칠 가능성이 있을 경우, 검토할 필요가 있다. 지하 공간을 이용하는 지하철 및 도로등에 있어서 공용시 차량주행에 동반하는 지반 진동은 감쇠가 크고, 주변 환경에의 영향은 적은 것으로 예상 되지만, 장기적인 진동등이 인체에 주는 영향을 포함하여, 주변 환경에 영향을 미칠 가능성에 대해서 충분히 고려할 필요가 있다.

진동(지반진동), 소음(지반 안을 진동으로서 전파하며, 건물 실내에서 소음이 되는 「고체 전파음」이라고 불리는 소음) 외에, 최근에는 저주파음이 주변 환경에의 영향을 줄 가능성이 있는 것이 지적되고 있으며, 연구가 필요한 부분이다.

4. 결론

우리나라의 경우 지형적 요인으로 도로, 철도 등 기간시설을 건설할 때, 터널의 건설은 필수적인 요인이 되고 있다. 터널은 주변 환경에의 피해를 최대한 줄일 수 있으며, 지표면에 서식하는 식물과 생물들에게 피해를 최소화하는 방법으로서, 시공시 발생할 수 있는 환경영향에 따르는 리스크가 효율적으로 관리된다면, 미래세대를 위하여 자연의 능력을 저해하지 않으면서, 현 세대의 요구를 충족시키는 지속가능한 개발이 가능하다.

터널 건설 사업 자체의 타당성 및 환경성에 대한 평가를 강화시켜 충분히 검토한다 하더라도 돌발적인 환경영향 리스크는 항상 존재하고 있으며, 환경문제의 관리를 위한 측면에서의 제도의 검토와 환경관련 기술적 문제에 대한 연구가 계획하고 수행되어야 하며, 터널건설에 있어서 발생 가능한 환경영향을 최소화 시키고, 합리적으로 예측하고 평가할 수 있도록 하여야 한다.

선진국으로 진입하는 과정에서 국민의 환경에 대한 기대와 요구가 증대하고 있으며, 민간단체의 적극적이고 체계적인 대안제시가 활발한 사회적 흐름 속에서, '환경의 가치 평가'를 과학과 기술만으로 판단할 수는 없으며, 사회전반의 참여와 통합적인 합의형성을 이끌어내기 위한 시도와 건설기술자들의 노력이 필요하다.

참고문헌

1. 터널건설 환경영향 최소화 기술(1차년도 보고서) (2004), 한국건설기술연구원, pp59~pp78
2. 김선희(2000), 환경영향평가의 역할 및 범위 재정립 방안 연구, 환경영향평가, 한국환경영향평가학회, 9권, 4호, pp315~pp322
3. 강인구(1996), 자연생태계의 현황과 관리, 환경영향평가, 한국환경영향평가학회, 5권, 2호, pp7~pp20
4. 대책사업 타당성 조사제도 개선방안, 환경부 (2005), pp1~pp12
5. 地下水地盤環境に関するシンポジウム2004, 地下水地盤環境に関する研究委員会 (2004)
6. 大深度地下利用における環境に関する検討調査報告書, 国土交通省 (2004)
7. 山岳トンネル工事の環境保全, トンネルと地下, 2002, 7月, pp77~pp82
8. 騒音、振動、超底周波音の予測と対策、トンネル騒音、振動対策技術會 (2003)
9. 建設工事における猛禽類保護方策の提案、トンネル騒音、振動対策技術會 (2003)
10. 地盤環境振動の予測と対策の新技术に関するシンポジウム、地盤工學會、2004, 5月, pp7~pp15