



지속 가능한 터널의 미래

Sustaining the future of tunnelling



김성열
동신기술개발 주식회사
부사장

지속가능한 개발, 지속가능성에 대한 개념은 여러 가지로 정의되고 있다. 그 중 가장 일반적인 정의는 UN에 의해 승인된 것으로 다음과 같다. “미래세대 스스로의 욕구를 충족시키는 능력을 훼손함 없이 현 세대의 욕구를 만족시키는 개발”이라고 하는 것이고, 또 다른 하나는 독자들이 살아 갈 사회에 대한 안내자 역할을 하게 되는 것으로 “지속 가능한 개발은 탄력적인 과정으로 모든 사람들의 잠재가능성을 현실화 시킬 뿐 만 아니라 우주 생명 지속 유지 시스템을 보호하고 향상시키는 방법으로 삶의 질을 개선시키는 것을 말한다.”

일반적인 정의로는 단순히 3개의 단어로 표현되는 “경제적-사회적-환경적 개발”이다. 이 정의에 숨겨져 있는 뜻은 사업자나 정부가 경제적, 사회적 성장과 더불어 그 때 그 때 동등한 중요성을 갖고 환경적인 면을 고려해야 한다는 것이다.

정치에서 지속가능한 개발

70년대 후반, 혹은 80년대 초반부터 세계의 많은 과학자, 사업가 그리고 정치 입안자들 사이에서 인간 활동 및

개발 과정에서 야기되는 환경적 문제점들에 대해 직시하기 시작하였다.

지속 가능한 개발이라는 용어가 사용되기 시작된 것은 이 기간 중이었고 바로 그 직후인 1987년 “Our Common Future”로 타이틀이 붙여진 보고서가 주목을 받기 시작하였다. 그 보고서는 WCED(UN의 World Commission on Environment & Development)에 의해 발간된 “Brutland Report”이다. Brutland는 노르웨이 수상이었으며, 1992년에 리오데자네이로 정상회담에서 또 다시 이 문제가 제기되었다.

정상회담에서 환경보존에 대한 강조와 더불어 환경, 건강상의 문제점들에 대한 기준들이 협의되었다. 이 목표에 도달하는 방법은 의제 21(Agenda 21)로 초안되고 문서화되었다.

아젠다 21은 여성의 권리, 토지소유권, 국가무역관세, 유독 폐기물, 산림, 농장, 바다 등에 이르기까지 모든 것을 처리하는 데 있어 정부를 안내하는 원칙들을 취급하고 있다.

또한, 교토 의정서가 1997년에 작성되어 1990년부터

2012년까지 그린하우스 가스(Greenhouse gasses : GHG's)를 5.2%까지 줄이는 것을 목표로 하고 있다.

이와 같은 것들이 2005년 2월부터 효과를 발휘하기 시작하였음에도 불구하고, 많은 사람들은 이 정책의 성공을 확신하고 있지 않다. 현재 대기 중에 가장 많은 이산화탄소 공급자인 미국과 오스트레일리아가 빠져 있기 때문이다.

지구촌 정상회담 10년만인 2002년에는 요하네스버그에서 지속가능한 개발에 관한 세계정상회의가 개최되어, 보다 많은 위원회가 만들어졌으며, 이러한 위원회들은 안전한 식수의 공급, 적절한 위생처리, 현대적 청정에너지 공급은 물론 수산업 복원, 불법산림벌채방지, 화학유독성으로 유발되는 손상방지 등 생태계 손상을 막는 일을 하도록 되어 있다.

이와 같은 것들의 실현 여부는 미래에 보여지게 될 것이다.

지속가능한 개발의 중요성

50만년간 세계인구의 저속 증가율이 20세기 초부터 갑자기 변화하기 시작하여 오늘날까지 인구는 약 10억에서 약 60억으로 늘어났다.

이와 같은 성장속도라면 2050년 세계 인구는 90억이 예상되며, 110억이 되고 그 후 더 이상 증가되면 지구가 파괴되어버리는 극한 상황에 이르게 될 처지에 놓여있다.

폭발적인 인구의 증가는 기후변화를 가져오고 세계적 선도 과학자들에 의해 의견일치를 본 바 있는 인간 활동에 직접 관련된 문제들에 직면하게 되었다.

지구의 평균온도는 20세기에 0.6℃증가 되었고, 이로 인해 지구의 평균해수면은 100~200mm 높아졌다. 이는 저지대 지역에 위협적인 일로 되었다. 또한 기후변화는 산업화의 결과이며 지하자원 연료 소각 시 발생하는 이산화탄소와 같은 그린하우스 가스(GHG's)의 증가에 기인하고 있다.

GHG's를 줄이는 2가지 주요방법은 첫째는 지하광물

자원 연료를 새로운 에너지원으로 바꾸는 것이고, 두 번째는 에너지효율을 개선시키는 것이다.

그러나 환경보존은 GHG's에 대한 것만이 아니고 인간에 의해 시행되는 모든 환경과괴활동을 줄이는 것이다.

아마 유일하게 낙관적인 사람은 러시아의 대통령 블라디미르 푸틴일 것이다.

그는 2003년 10월에 다음과 같이 말한 적이 있다.

“2~3℃정도의 온도증가는 러시아와 같은 북쪽 나라에게는 그렇게 나쁘지 않다. 양털코트를 덜 소모하게 될 것이고 곡물수확이 높아지게 될 것이기 때문이다.”

하지만 이러한 견해는 러시아의 추운 기후적 특성만을 해학적으로 묘사한 부분으로 지구환경의 평형(Balance)이 깨지면 예상치 못한 추가기상이변으로 인한 재앙으로부터 누구도 자유롭지 못할 것이다.

따라서 환경보존에 관한 인식을 확실히 하도록 하고 그 중요성에 관하여 지속적인 교육이 필요하다. 가정에서나 혹은 직장에서 매일매일 이 문제를 염두에 두고 일을 하도록 적극적인 격려가 필요하다. 우리들은 지금부터 이와 같은 일을 실천하여야 한다.

엔지니어야 말로 길을 안내하기에 좋은 위치에 있다 할 수 있을 것이다.

터널공학에서 지속가능한 개발

환경학적, 환경보존적인 면에서 볼 때 향후, 터널의 수요는 확실히 커질 것이 틀림없다.

따라서 지하산업이 환경에 유익하면 환경 또한 지하산업에 유익하게 될 것이다.

만일 이와 같은 산업이 활성화 되면 많은 일자리가 생겨날 것이다.

국제터널학회(ITA)에서 환경과 지하공간을 인정하여 2003년에 다음과 같은 내용을 포함시킴으로써 학회목적 을 바꾸게 되었다.

“공공의 이익, 환경, 환경기술개발을 위해 지하공간 이용을 장려시키도록 할 것”



그림 1. 그린하우스 효과는 어떻게 작용하나

일반적으로 말해서 터널은 건설초기에 에너지나 자원이 많이 소요되나 공사가 끝나고 운행이 되면 지상도로나 철도보다 소요가 적다. 그러나 터널 생애주기 비용, 개선된 에너지효율을 고려한 장단점을 비교평가하면 장기적인 면에서 터널공법이 타공법보다 우수하고 더 환경 보존적이다.

터널의 장점

터널의 용도가 도로, 철도, 용수, 폐수, 쓰레기처리, 저장 등 어느 쪽이든 많은 장점이 있으며 이러한 것들은 오염, 소음, 에너지 사용, 공간조건의 면에서 요구정도가 낮다. 그러나 요구조건은 조금 있긴 마련이다.

- 운송 : 도로, 철도, 수송 터널은 레크레이션 시설, 넓은 야외공간을 지상에 확보하기 위하여 지상 교통을 없애는 것으로 설계되어 왔으며, 고층의 건물하중을 받도록 설계되고 있다.

기타 운송프로젝트들이 지상교통 혼잡, 도심지역 오염을 크게 줄이고 도심 시각, 미관에 대한 요구조건을 충족시키기 위하여 터널로 시행되고 있다.

세계 각지에서 도로, 철도 건설이 증가되고 있다. 이 과정에서 보기 흉한 부분도 생겨나고 사각지대의 쓸모없는 땅이 나오기도 하여 여러 경우로 땅의 가치를 떨어뜨리기도 한다.

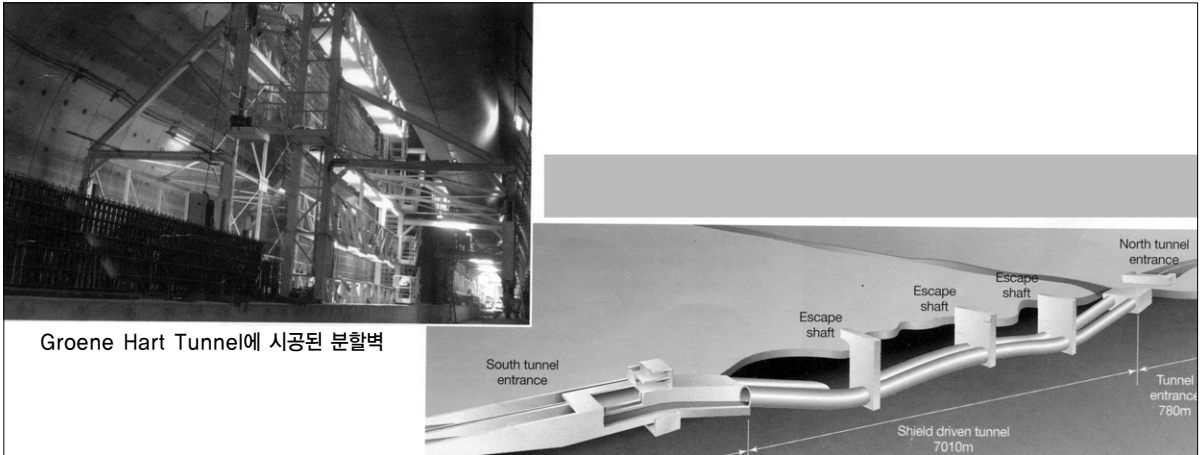
이러한 노선 주변에 생겨나는 문제점들을 제거함으로써 친환경적 고려뿐만 아니라 사회적, 경제적인 고려가 반영되어야 한다.

- 용수와 폐수 : 세계의 대부분 큰 도시는 용수 공급 및 폐수처리를 위한 주요 터널 또는 일련의 터널망을 갖고 있다. 이들 중 많은 부분이 보수하지 않은 상태에 있으므로 터널의 필요성이 날로 증가하고 있다. 또 비슷하게 인구가 증가하고 도시가 팽창함에 따라 새로운 터널 사업들이 요구사항들을 충족시키기 위하여 필요성이 부각되고 있다.

- 지하저장 : 가연성액체와 기체들은 화재위험 및 폭발을 줄이기 위해 일반적으로 지하에 저장 된다. 지하저장은 본질적인 에너지보존을 제공한다. 그래서 지하구조물은 일년 내내 일정한 온도를 유지할 수 있다. 온도변화가 밤과 낮으로 40° 정도 되는 사막기후에서 지하저장고는 특히 효과가 크고 환경 보존면에서도 좋은 해결책이 된다.

- 쓰레기처리 : 안전을 확실하게 함은 물론, 산업 및 핵 폐기물이 주변지역에 유해한 영향을 주지 않도록 하기 위하여 흔히 지하로 처리 된다.

이와 같은 것들은 환경 및 환경보존을 위한 개발문제점을 직접적으로 해결하는 거대한 지하사업이다. 하지만 위험스러운 쓰레기를 지하에 잘 처리할 때 이런 물질이 주변지질이나 지하유로에 침강되는 것은 중요한 관심이 되



Groene Hart Tunnel에 시공된 분할벽

그림 2. Groene Hart Tunnel의 환경도해

고 있다.

터널영향을 최소화

지속가능한 개발 연장선상에 있는 터널을 이용하는 것은 타당한 이유가 많이 있는 것이 확인 되었다. 이러한 일련의 사항들은 터널자체의 공법을 개선하여 훨씬 더 지속 가능한 방법들을 보여주는 것이다.

- 조명 : 터널영향을 줄이는 방법 중 하나는 자연조명을 최대화 하고 인공조명은 최소화 하는 것이다. 지하공간에 빛을 투사하는 방법은 태양광학기기를 이용하는 것이다. 이 기기는 무늬가 박힌 플라스틱 프리넬 광학렌즈로 태양을 광학적으로 추적하여 내부로 태양광선을 투사시키는 것이다. 인공조명 요구조건을 줄이는 데 사용되는 또 하나의 방법은 터널 내부 마감면을 부분 또는 전부 반사코팅을 하는 것이다. 밝은 색깔의 코팅은 터널주위를 효과적으로 반사시키고 코팅을 점화(點畫)하여 넣으면 광선을 산란시켜 눈부심을 줄여 훨씬 더 좋아진다.

- 물 : 터널내 물의 유입은 터널이 생긴 이래 문제가 되어왔다. 그러나 방수기술은 과거보다 오늘날 많이 좋아졌

고 터널 라이닝을 침투해 들어온 물이든 터널라이닝 밖에 집수한 물이든 잘 이용 할 수 있도록 좀 더 개선될 수 있다.

예를 들면 이와 같은 침투수를 유도 배수하여 집수함으로써 인근 전담에 관개용, 소방용으로 재활용 할 수 있다.

- 소음 및 진동 : 터널공사로 인해 발생하는 소음과 진동은 본질적인 문제로서 터널공사비를 흔히 증가시키기도 한다. 특히 주거지역에서 그 영향이 크다. 주변지역에 영향을 최소화 할 수 있는 방법이 여러 가지 있다. 예를 들면 공기 출구에 사일렌서 설치, 변압기, 팬 및 펌프 주위에 방음벽 설치, 그리고 진동이 적은 장비 사용 등이다.

사례 연구

여러 터널 프로젝트가 지속 가능한 방법으로 위탁되어 왔다. 다시 말해서 설계와 시공에서 지속가능한 공법을 적용하였다.

- Groene Hart Tunnel, 네덜란드 : Groene Hart 터널은 환경 및 지속 가능한 개발문제를 위해 초기공사비보다 훨씬 많은 비용을 투입한 사례이다.

유럽의 고속철도망의 일부분으로서 네덜란드정부는 암스텔담과 벨기에의 국경사이에 100km의 새로운 장래 고속철도를 건설하고 있다. 이 중의 일부인 7.2km는 Groene Hart터널로 알려진 장대터널로 심도는 35m이다.

약 2km 간격으로 3개의 수직구가 설치되었다. 이들은 대피, 환기 수직구 들이다.

수직구의 위치는 환경영향을 가능한 최소화하도록 멀리 떨어지도록 하되 비상서비스와 비상대피를 위해 가능한 기존도로에 접근하도록 하였다.

신설노선은 암스텔담과 다른 유럽중심부 사이를 여행하는데 최대 30분까지 시간을 줄이게 될 것이다. 이와 같은 에너지 절감은 대단히 크며 터널공학이 지속가능한 개발을 위해 할 수 있는 아주 좋은 예이다.

- 도심 간선도로, 보스턴, 미국 : 도심 간선도로 공사는 주요 육상로를 없애고 보스턴 상가지역 중심부에서 엘리베이터 식 입체교차로를 터널 구조물로 재건설한 것이다.

이 프로젝트의 주된 이유는 지상에 넓은 공간, 공원, 레크레이션 부지를 확보하기 위한 것이다. 그 외에 육상의 토지 어떤 부분은 상업 및 주택개발지역으로 지정되어 있어 이와 같은 지역에 터널을 설치 할 경우 상재하중을 6층 정도에 해당하는 정도로 설계하도록 하고 있다.

- I-90 입체교차로, 시애틀, 미국 : I-90입체교차로는 1980년대 중반에서 후반에 건설되었다.

공공압력에 부응하여 두 개의 주요한 터널을 건설하였다. 이 터널은 도시지역을 두 부분으로 분리하는 것을 해결함으로써 시각적 시각지역과 사회적 장애가 생기지 않도록 하였다.

첫 번째가 Mt. Baker Ridge Highly 터널로 세계에서 가장 직경이 큰 터널이다. 내부직경이 19.5m이며 외부직경은 25.5m에 이른다. 또한 I-90사업으로써 고속도로가 Mercer섬을 지남에 따라 개착식 복층 구조물의 미래형

고속도로 터널로서 건설되었다.

Baker Ridge터널, Mercer섬 터널 모두 갭문구조 대신 예술과 휴게공간을 갖는 아름다운 공원이 되도록 경관계획을 하였다. 더 이상 도로가 도시를 갈라놓는 일은 없어졌다.

완전한 지속가능한 해법의 좋은 본보기였다.

- 포도주 저장, 미국 : 효율적인 저장형태는 포도주를 터널에 저장하는 것으로 이미 여러 곳에서 이용되고 있다. 미국의 캘리포니아, 워싱턴, 오레곤, 노스캐롤라이나 등이다. 지금까지 100여개의 터널과 조그만 시설에서 커버 면적으로 5,000m²에 이르는 동굴저장소가 있다. 지하저장은 포도주의 증발을 줄이고 온도변화로부터 보호한다. 초기비용은 높지만 관리 비용은 아주 적다. 따라서 이와 같은 것들은 흔히 지속가능한 방법으로 각광 받고 있다.

결론

많은 사람들이 지속가능한 발전을 둘러싼 문제점들을 인식하고는 있지만 인식하는 만큼 그러한 문제점들을 받아들이지는 못하고 있다. 공학에서 지속가능한 발전을 받아들이는 이점은 대단히 크며 엔지니어들은 길을 안내하기 좋은 위치에 있다. 이상의 예에서 보여준 바와 같이 터널엔지니어보다 더 중요한 사람들은 없다고 할 수 있다.

요약을 위해 과거 터널공사에 많이 적용된 주요 항목들을 열거하면 다음과 같다.

- 소음감소
- 공기오염감소 (해로운 배출가스, 냄새)
- 혼잡완화
- 여행시간 단축
- 시각적, 미적 장애 해소
- 홍수방지대책
- 토지개발

- 유해물질로부터 환경오염 방지
- 역사적, 문화적, 고고학적 유적지 보존
- 균일 온도 이용에 의한 에너지 절감
- 생애주기 비용 절감

지속개발 가능한 발전을 옹호하는 또 다른 본질적인 이익은 공공기관이나 고객들에게 회사의 이미지를 향상시키는 것이고 이러한 기관 및 고객들은 점차적으로 지속개발 가능한 회사의 편을 들어주고 있을 뿐만 아니라 지속개발 가능에 대한 해결책을 갖고 있다.

어떤 회사들은 비용 증가, 세입 손실을 우려하여 지속가능한 발전을 받아들이는 데 조심스러워 하지만 또 한편에서는 지속 가능한 발전을 실천하는 것은 비용 손실이 아닌 투자이고 새로운 시장을 열수 있다는 좋은 뉴스이다.

예를 들면 지속 가능한 해결을 위한 초기투자가 다른 방법보다 훨씬 클지라도 장기적인 측면에서 비용은 상당히 저렴하다. 그 이유는 주로 생애주기 비용을 낮게 하고 에너지 효율을 더 좋게 하기 때문이다.

마지막으로 지속가능한 개발과 터널공학은 손에 손을 잡고 가야하며 지속가능한 개발에 대한 인식과 수요는 증가하므로 터널과 지하공간에 대한 수요는 늘어날 것이다.

따라서 이와같은 산업들의 미래 전망은 밝다 하겠다.

참고문헌

1. Wilmington Media Ltd : Tunnels & Tunneling International November 2005, United Kingdom, 2005, pp. 34~36
2. 安原一哉 : 地盤工學から 地盤環境工學そして, 持續可能地盤工學へ, 土と基礎, Vol.54, No.1, 2006, pp. 5~8