

# Green with Tunnel

사람과 자연을 위한 터널과 지하공간



사단  
법인 한국터널지하공간학회  
Korean Tunnelling and Underground Space Association

## 집필위원

위원장 문상조 한국터널지하공간학회 부회장 (주)유신  
자문 정형식 한국터널지하공간학회 연구소장

## 집필위원 \*\*

김동규 한국건설기술연구원  
김양균 코오롱건설기술연구소  
신영완 (주)하경엔지니어링  
장석부 삼성물산  
정건웅 (주)유신

## 집필자 \*\*

고성일 (주)단우기술단  
김기석 (주)희송지오텍  
김대영 (주)현대건설  
김동현 (주)삼보기술단  
김상균 (주)청석엔지니어링  
김영근 삼성물산  
문훈기 (주)용마엔지니어링  
사공명 한국철도기술연구원  
이상필 (주)GS건설  
정명근 (주)에스코컨설턴트  
허도학 (주)유신  
허종석 (주)서영엔지니어링

## Green with Tunnel

사람과 자연을 위한 터널과 지하공간

발행처 : 사단법인 한국터널지하공간학회  
서울시 서초구 서초동 1445-3 국제전자센터 14층 11호  
Tel. 02-3465-3665 Fax. 02-3465-3666

발행인 : 김승렬  
인쇄일 : 2011. 12. 01  
발행일 : 2011. 12. 06  
ISBN 978-89-92259-88-0 (93530)

비매품

\*본 책자는 한국터널지하공간학회 홈페이지 [www.tunnel.or.kr](http://www.tunnel.or.kr)에서 다운받으실 수 있습니다.



사람과 자연을 위한 터널과 지하공간

# Green with Tunnel

발간에 즈음하여

프롤로그

## 01 사람을 위한 터널 자연을 위한 터널

터널은 왜 필요한가?	10
터널이 어떻게 자연보호에 기여하는가?	11
왜, 터널이 자연보호와 인간생활에 유리한가?	12
터널을 건설하면 산속의 생태계는?	13
터널의 다른 형태, 지하공간	14

## 02 자연환경보존에 기여한 터널

백두대간 보존을 위한 인제-양양터널	18
산림훼손을 최소화한 사패산터널	19
얼음골 보존을 위한 가지산터널	20
천성산 생태습지와 원효터널	21
소양호 경관과 어우러진 여수로터널	22
생태환경을 보존하는 배후령터널	24

## 03 생활환경을 개선한 터널

도심 교통문제 해결사, 지하철	28
안전하고 빠른 국도 46호선 터널들	32
반나절 생활권을 가능하게 한 고속철도 장대터널	34
물을 운반하는 수로터널	36
도시환경을 푸르게 하는 서울시 U-Smart Way	38
도시공간을 시민에게, 보스턴 빅딕(Big Dig) 프로젝트	41

## 04 삶의 질을 높여주는 지하공간

유류비축을 위한 지하공간	44
지하하수처리시설	46
저에너지 친환경 농수산물 지하저장시설	48
말레이시아 팔라룸푸르 스마트(SMART) 프로젝트	50
노르웨이 요빅 올림픽 마운틴홀	52
시드니 오페라 하우스 지하주차장	54

## 부록

지속가능한 미래터널	58
터널과 환경에 대한 Q&A	64

에필로그	68
------	----

## ●●● 발간에 즈음하여



우리가 살고 있는 지구는 우주에서 가장 아름다운 별이라고 합니다. 수많은 인종과 국가가 그 속에서 공존하고 있는데, 그 중에서 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절로 변하는 기후여건을 가지고 있는 우리나라는 참으로 축복의 땅입니다. 더욱이 풍부한 햇빛과 어디에서나 쉽게 접근할 수 있는 드넓은 바다와 적당한 바람, 강수 등이 조화를 이루는 최적의 자연환경을 지닌 나라입니다.

2011년 10월을 즈음하여 지구상에 거주하는 사람의 수가 70억이 되었다고 합니다. 지구촌의 한 모퉁이를 차지하고 있는 우리나라는 산지가 많고 인구밀도도 높은 나라입니다. 또한 단기간에 경제를 성장시켜 빈국의 굴레를 벗어 버린, 세계에서도 유례를 찾아보기 힘든 매우 특별한 나라이기도 합니다. 이렇게 비약적인 성장을 이룩할 수 있었던 요인 중의 하나로 사람과 사람, 지역과 지역 간을 이어주고 소통과 교류를 원활하게 해주는 도로나 철도 같은 사회기반시설을 들 수 있습니다.

그런데 과거 고도성장 시대에는 적은 재원으로 질 좋은 사회기반시설을 건설해야 하였기에 환경보존이라는 명제는 그다지 우선순위가 높지 못했습니다. 그러나 경제 성장과 생활수준이 높아지며 사회를 향한 국민들의 요구가 다양해지고 고급화 되었습니다. 특히 환경에 대한 인식에 변화가 오면서 개발을 통해 생활의 편의와 윤택을 추구하는 것과 보존이라는 두 가치가 상호 충돌하는 것 같은 모습이 나타나기 시작하였습니다. 산에 터널을 건설하면 산지의 지하수를 고갈시켜 생태계를 파괴시킨다는 오해도 있었습니다. 터널을 피하고 산기슭을 따라 굽이굽이 돌아가는 길을 내는 것이 자연과 생활환경을 더 많이 훼손하게 되는 것인데도 말입니다.

우리나라는 아직 도로나 철도와 같은 사회기반시설을 더 확충해야 합니다. 사회기반시

설의 확충 과정에서 과거에도 늘 환경과 조화를 모색하며 경제성도 추구해 왔기 때문에 이러한 기반시설 건설이 환경을 파괴하는 주체로 편취되어서는 안 됩니다.

아름다운 강산을 보호하면서 이러한 기반시설을 건설하기 위해서는 터널이라는 지하구조물이 필요합니다. 제한된 국토를 효율적으로 이용하기 위해서도 지하공간을 폭넓게 활용하여야 합니다. 터널과 지하공간은 이미 우리 생활에 없어서는 안 될 친숙하고 친 환경적인 생활구조물로 자리매김 되어 있습니다.

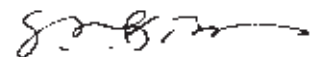
한국터널지하공간학회는 국내와 국외에서 건설되었거나 계획 중인 터널과 지하공간 활용이 자연과 생활환경을 어떻게 보호하게 되는 것인가를 알리기 위해서 이 책을 발간하였습니다. 이 책이 좀 더 일찍 발간되었더라면 좋았을 것이라는 아쉬움이 있지만 이 시기에 책이 빛을 보게 된 것은 기쁘고 매우 다행스러운 일입니다.

이 책이 독자들에게 산지 또는 지하에 터널이나 지하공간을 형성하는 행위가 결코 자연환경을 훼손하는 행위가 아니며, 오히려 이를 보호해 주는 동시에 생활환경도 개선하여 우리의 삶을 윤택하게 해주는 친환경 시설물이라는 사실을 인식시켜드리는데 도움이 되길 바랍니다.

이 책이 출간되기 까지 소중한 시간을 할애해 주시고 열정을 쏟아 주신 문상조 집필위원장을 비롯한 집필위원들의 노고에 깊은 감사를 드립니다. 아울러 시작부터 끝까지 다함없는 애정으로 지도해 주신 정형식 우리학회 연구소장님께도 깊은 감사를 전합니다.

사단법인 한국터널지하공간학회

회장 김 승 렬



## ●●● 프롤로그

요즘은 범세계적으로 이슈화 되고 있는 지구 온난화 현상은 인류가 오랜 기간 동안 방치해 두었던 잠재적 위협이 표면화된 것입니다. 각 나라마다 자국의 이익을 추구하면서 지구촌에 닥칠 암울한 미래는 피하고 싶은 이중의 고통을 안고 이산화탄소 배출량을 줄여야 한다고 법석입니다. '녹색성장'이라는 신조어는 이러한 운동의 산물입니다.

우리나라도 고도 성장기를 지내오며 크고 광범위한 국토의 개발과 조성을 감행하였습니다. 전국이 일일생활권 대로 연결되도록 도로를 건설하고 철로를 확충하였고 해안도 매립하였습니다. 그리고 헤아릴 수 없이 많은 인공구조물을 축조해 왔습니다. 실로 오늘날 우리가 누리고 있는 눈부신 발전은 이러한 노력이 없었다면 주어지지 않았을 것입니다.

사회기반시설은 공익성을 추구한다는 점에서 빌딩과 같은 건축물과는 성격이 구별됩니다. 이런 사회기반시설은 우리 생활에 없어서는 안 될 필수 시설물로서 자연환경과 매우 밀접하게 관계하며 건설되게 됩니다. 다시 말하면 건설은 환경을 창조하는 행위이며 설계, 시공, 사용과 해체라는 시설물의 생애주기 각 단계마다 환경을 생각해야 합니다. 생활환경이 없다면 이런 시설물은 아예 존재 자체가 불가능하기 때문입니다.

생활수준의 향상과 더불어 환경에 대한 국민의식도 높아졌습니다. 묵인되었던 것들이 문제로 제기 되기 시작하였습니다. 양적 추구에서 질적 추구로 입장이 바뀌기 시작한 것입니다. 원효터널(천성산터널)이나 사패산터널의 공사가 장기간 중단되어 엄청난 사

회적 손실을 초래한 것은 일련의 대표적 사례입니다. 이렇듯 지역단위의 환경문제가 국가적 이슈로 이어지게 되는 것을 우리는 경험하였습니다. 산을 절개하여 도로나 철로를 건설하는 것은 점점 어려워지고 있습니다. 도심지 주민들은 신선하고 푸른 공간을 달라고 요구하고 있습니다.

이러한 시대적인 요구를 만족시켜 줄 수 있는 친환경 시설물이 바로 터널과 지하공간입니다. 터널과 지하구조물은 녹색성장시대에서 없어서는 안 될 시설물이고 지속가능한 국토개발을 가능케 하는데 꼭 필요한 환경시설물입니다. 이 책은 이러한 사실에 초점을 맞추어 전문한 두 분야에 속한 시설물들의 친환경성을 정리한 것입니다.

이 책은 전문가가 아닌 일반인을 주 독자층으로 고려하여 집필되었습니다. 총 4장으로 구성되었으며 가능한 한 쉽고 간결한 내용을 담으려고 하였고 독자의 이해를 돕기 위해 말미에 부록을 두었습니다. 1장에서는 터널의 필요성에 대해 다루었고, 2장은 터널로 인해 자연환경이 어떻게 보존되는가에 관한 내용입니다. 3장에서는 터널이 생활환경 개선에 어떻게 기여하는가를 살펴보고 있으며, 마지막 장에서는 우리의 삶을 윤택하게 해주는 지하공간을 다루었습니다.

이 책을 통해 터널과 지하공간이 녹색성장시대의 요구에 맞는 구조물이고 지속가능한 국토 및 자연환경 관리체계를 구축하는데 필요한 환경지향적 구조물임을 인식하는데 도움이 되길 바라고, 이 터널과 지하공간이 모두에게 더욱 친숙한 생활시설물이 되기를 기대합니다.





# 사람을 위한 터널 자연을 위한 터널

터널은 왜 필요한가?

터널이 어떻게 자연보호에 기여하는가?

왜, 터널이 자연보호와 인간생활에 유리한가?

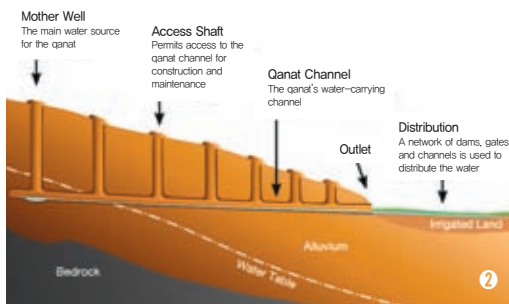
터널을 건설하면 산속의 생태계는?

터널의 다른 형태, 지하공간!

# 사람을 위한 터널

## 자연을 위한 터널

- ① 이태리 Furlo Gorge 터널
- ② 이란 Qanat 단면
- ③ 노르웨이 래르달(Laerdal)터널



## 터널은 왜 필요한가?

터널이 인류역사상 언제 최초로 등장했는지에 대해서는 아직 명확하지 않다. 그러나 기원전의 시리아 역사가인 디오도로스(Diodorus Sikelos)의 기술에 의하면, 기원전 2180년~2160년 현재의 바그다드 외곽의 유프라테스 강 하저에 폭 3.7m, 높이 4.6m, 길이 910m의 터널이 왕궁과 신전을 연결하는 지하 통로용으로 건설되었다고 한다. 확인할 수 있는 가장 오래된 터널인 그리스 사모스 섬의 에우팔리노스(Eupalinos) 터널은 BC 6세기경에 1,036m 길이로 건설되었으며 급수용 수로터널로 활용되었다.

이후 이란에서는 기원전 6세기경부터 관개용수 시설로서 카나트(Qanat)라 불리는 수로터널이 건설되었으며, 로마시대에는 도로용, 수로용 그리고 배수용 터널 등 다양한 용도의 터널이 건설되었다고 한다. 그러나 로마제국의 멸망과 함께 터널건설은 침체기에 빠졌으며 그 이후 로마시대에 필적할 만한 터널 공사는 거의 이루어지지 않다가, 15세기경부터 다시 수로터널이 굴착되었으며, 광산 굴착에 화약을 사용하기 시작하는 등 지하굴착공사에 대한 기술적 진보가 서서히 일어나게 된다.

17세기경부터는 흑색화약이 사용되어 운하터널도 활발하게 건설되기 시작한다. 철도가 새로운 교통수단으로 등장한 19세기 초반부터는 철도터널도 건설되기 시작하면서 육상에서의 운송이 점점 운하에서 철도로 바뀌게 된다.

한편 AD 76년, 로마시대 이태리의 Furlo Gorge에 건설된 38m 길이의 보행용 터널은 현재도 차량의 통행을 위해 사용되고 있다고 하니, 이것이 최초의 도로터널이라 해도 무방할 듯하다.

현대에 들어와서는 자동차의 보급과 함께 연장 10km 이상의 도로터널이 다수 건설되어 왔는데, 1980년 완공된 알프스를 관통하는 16km 길이의 고타드(Gotthard) 터널과 2000년 완공된 노르웨이의 24.5km 세계 최장터널인 래르달(Laerdal) 터널이 대표적이다.

이처럼 터널은 이동하고자 원하는 지점까지 최단거리를 연결시켜주는, 인간 생활의 편리성을 위해 다양한 용도로 개발되어 왔으며, 인류 문명의 발전을 촉진하는 하나의 매개체 역할을 해왔던 사실을 인류의 역사를 통해 확인할 수 있다.

## 터널이 어떻게 자연보호에 기여하는가?

인간 생활의 편리성 추구하고 고도화된 산업사회가 진행됨에 따라 필연적으로 생활쓰레기, 생활오수, 산업폐기물 등 생활의 부산물도 날로 증가하고 있다. 이에 따라 인간 생존의 원천이라고 할 수 있는 자연훼손도 날로 심각해지면서 전 세계적으로 자연환경 보존을 위한 노력은 끊임없이 계속되고 있다.

인간생활을 보다 편리하게 만드는 구체적인 방법 중 하나가 도로, 철도, 댐 등과 같은 토목구조물의 건설이며, 목적 구조물 형식에 따라 주변 환경에 미치는 영향은 매우 크다.

특히 도로나 철도의 경우, 산악지대, 자연녹지 및 생활공간을 파헤치며 지표면에 건설되는 토공에 의한 건설 대신, 환경보호가 무엇보다 중요시되고 경제력과 기술력이 뒷받침되면서 자연훼손과 생활의 불편을 최소화할 수 있는 터널이 최선의 수단으로 선택받고 있다.

- ❶ 숲속에 건설된 철도
- ❷ 팔공산-성수산 사이의 관통도로



## 왜, 터널이 자연보호와 인간생활에 유리한가?

산악지대 또는 자연녹지를 통과하며 건설되는 도로의 두 가지 건설 방법, 즉, 개방된 도로와 터널을 비교해 보자.

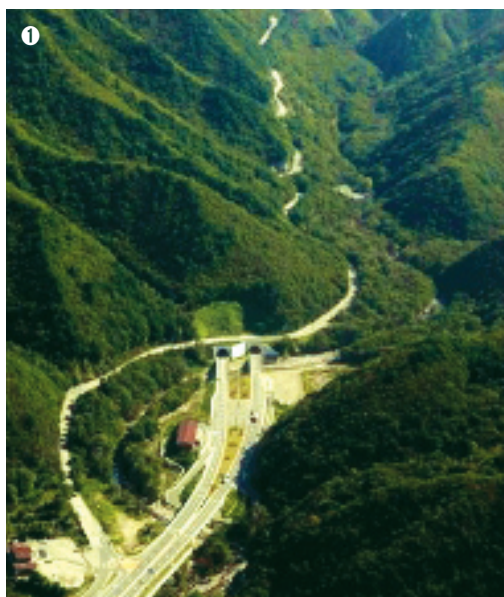
숲속 사이를 누비며 신선한 공기, 수려한 경치를 즐기면서 여유롭게 주행할 수 있다는 점은 쾌적한 생활환경 측면에서 개방된 도로의 장점이라 할 수 있다. 그러나 이러한 도로를 건설하기 위해 파헤쳐진 자연 숲속을 생각한다면, 그리고 기존의 자연 상태는 그대로 유지한 채 기후에 상관없이 가장 빨리 목적지까지 도달할 수 있다는 점을 고려하면 터널이 훨씬 바람직한 건설 방법이라고 할 수 있다. 물론 터널로 건설하는 것이 일반적으로 더 많은 비용이 소요되지만 자연보호로 인해 얻을 수 있는 무형의 가치와 후손에게 고이 물려줘야 할 자연을 생각한다면 충분히 이해할 수 있는 투자비용일 것이다.

소백산맥의 높고 험한 산세와 잦은 폭설로 인한 교통두절로 산업 문화 등 지역발전이 어려움을 겪어 왔던 충북 및 경북 북부지역에 화합과 번영을 가져다주는 계기가 되었던 죽령터널은, 환경적인 측면이나 인간 생활의 편의성 측면에서 위에서 언급했던 터널의 장점을 다시 한 번 단적으로 보여 주고 있다. 어지럽게 이리저리 늘어져 있는 기존의 토공에 의한 우회도로를 대신하여, 2001년 개통된 죽령터널은 풍기-단양 간 주행시간을 기존의 50분에서 10분 정도로 획기적으로 단축시킨 것은 물론, 소백산 국립공원지역의 자연경관 보존에도 큰 기여를 하고 있다.

처음부터 개방된 도로 대신 터널로 건설했다더라면 비용, 환경, 편리성 등 모든 측면에서 상당한 이득이 있었을 것이라는 아쉬움도 남는다.

결국 터널은 편리한 인간생활을 위해 불가피하게 건설되어야 할 '길'을 개발하는 과정에서 발생한 적극적인 자연보호 수단이자 그 편리성을 제고할 수 있는 최적의 구조물인 것이다.

- ① 개방된 도로와 터널과의 비교
- ② 죽령터널 건설로 인한 자연보호 및 생활의 편리성



### 터널을 건설하면 산속의 생태계는?

천성산 도롱뇽은 잘 자라고 있다!

우리는 KTX를 이용하여 서울에서 부산까지 2시간 18분 만에 도착할 수 있으며, 이런 사회 기반시설은 경부고속철도가 있으므로 가능해졌다. 2002년 6월 경부고속철도 2단계 사업이 착공된 이후, 경남 양산 일대의 천성산 하부를 통과하는 원효터널에 대하여 환경적 이슈가 되었던 도롱뇽 소송을 우리는 기억하고 있다.

천성산 일대에 분포하는 고원습지를 최대 500m 하부에서 통과하는 원효터널 시공 시 많은 환경단체의 노선변경 반대와 법정싸움이 있었으며, 약 10개월 간 공사가 중지되기도 했다.

- ① 도롱뇽
- ② 원효터널 건설 후 생태환경 현황
- ③ 원효터널 건설 시 습지보존 방안



천성산 일대에 분포하는 고원습지를 최대 500m 하부에서 통과하는 원효터널 시공 시 많은 환경단체의 노선변경 반대와 법정싸움이 있었으며, 약 10개월 간 공사가 중지되기도 했다.

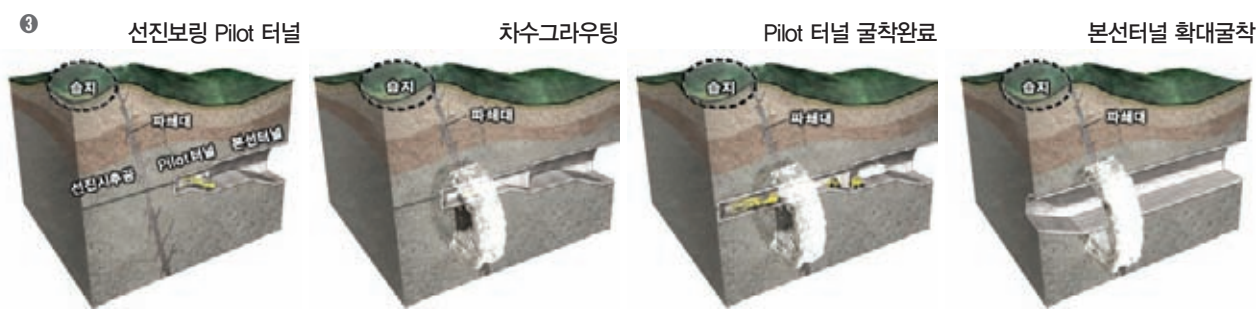
터널 물리엔 설계에 추진하던 '도롱뇽 소송' 의무판 결정  
KTX 하루 57차례 당해도 풀 맞은 습지엔 생명이 가득했다

천성산 일대에 분포하는 고원습지를 최대 500m 하부에서 통과하는 원효터널 시공 시 많은 환경단체의 노선변경 반대와 법정싸움이 있었으며, 약 10개월 간 공사가 중지되기도 했다.

원효터널 상부는 습지보존구역으로 지정되어 있는 무제치늪, 대성늪, 화엄늪 등이 다수 분포하고 있다. 이러한 고원습지는 세계적으로도 매우 희귀한 사례이며 많은 환경적, 생태학적 가치가 높은 자연의 보고이다.

천성산 고원습지 유지의 가장 주요한 항목은 수분 유지이기 때문에 지하수 유출량 최소화를 위한 노력은 설계·시공단계에서 신중히 검토되었으며, 시공 중에도 많은 전문가들의 현장답사를 통하여 습지보존에 만전을 기하였다.

2010년 10월 경부고속철도 2단계 개통 이후 2011년 첫 봄을 맞는 천성산 일대의 생태환경 답사결과를 중앙일보(2011년 3월 11일자)에서 기사화 하였다. 답사결과와는 예전과는 달라진 게 없는 “천성산은 도롱뇽 알 천지였다”는 것이었다.



## 터널의 다른 형태, 지하공간!

지구의 나이는 45.6억 년, 태초의 생명체가 나온 시기는 37억 년 전, 2011년 세계 인구는 약 70억 명이다. 지구의 표면적은 약 5,112만km<sup>2</sup>이며, 이 중 70%가 바다로 덮여 있어 인간이 점유할 수 있는 면적은 1,534만km<sup>2</sup>이다. 이러한 상황에서 최근 1세기 동안의 급격한 도시밀집화 현상을 고려할 때, 실제로 70억 명이라는 세계인구가 좁은 지역에서 생활하고 있어 지하공간의 활용은 선택이 아닌 필수적인 상황이 되고 있다.

이러한 현실에서, 그림과 같이 암반이 지닌 단열성, 방사능 차단성, 기밀성 등은 지하공간의 필요성과 활용성을 더욱 확장시키는 중요한 요인이 된다.

우선, 지하공간의 특성 중 방진성을 예를 들어 보자.

대부분의 터널 및 지하공간은 땅속의 암반 내에 건설되고 있기에, 암반층이 감싸는 구조이므로 지상의 다른 구조물에 비해 안전한 구조물이다. 또한 지진으로 인해 지반 내 암반이 흔들릴 때, 암반 내 터널 구조물은 암반과 같이 흔들림에 따라, 지상구조물과 같이 지반 흔들림에 따른 관성영향이 배제되어 지진에 안전한 구조물이 된다.

### ① 지하공간의 특성



1995년 일본 고베에 7.2 규모의 지진과 2011년 센다이에 9.0 규모의 지진 등으로 이웃나라 일본은 지진으로 인해 국가적으로 심한 고통을 받고 있다. 고베지진 시 주요 토목 구조물 붕괴 예를 보면, 도시 내 도로교량, 건축물, 댐 등의 피해사례는 심각했으나, 터널의 경우 갱구부 일부 및 일부 라이닝 균열 등이 보였을 뿐 피해가 거의 없었다고 보고되었다.

지진에 의한 피해는 개착터널부에 비교적 많이 나타나지만 대부분이 익스팬션부이며, 구조체 기능은 손상되지 않았다. 또한 실드터널부는 갱구부의 이치 천정에 크랙이 발생했으나 피해는 거의 없었다. 터널은 지진에 대해서도 구조체로서의 기능을 충분히 유지하고 있다. [출처: 1995년 병고현 남부지진 피해조사 보고서]

따라서 이러한 지하공간의 장점을 적극적으로 활용하면 땅속에 만들어진 단순한 생활공간 또는 도로 및 철도와 같은 일반적인 교통터널 차원을 넘어서 수로, 전력구, 지하유류 비축기지, 양수발전소 등의 다용도 특수 공간으로 다양하게 활용할 수 있다. 또한 고준위 방사성 폐기물 지하 처분장, 식품 저장 창고, 도심지 홍수제어를 위한 치수기능을 갖춘 지하공간 등 인간을 위한 활용도가 갈수록 다양해지고 있다.

이러한 특수목적만을 위한 토목 구조물 외에, 말레이시아 SMART 터널의 경우, 평상시에는 일반인들이 사용하는 도로터널인데 말레이시아의 열대우림형 기후특성상 갑작스럽게 많은 강우 발생 시 홍수제어가 가능한 터널로 그 기능을 변화시킬 수 있는 터널도 있다.

이외에도 초고속도로터널(일본의 제2동명·명신 고속도로, 설계속도 140km/hr), 국가 간을 연결하는 해저터널, 대심도 광역 급수체계 및 지하치수 시설, 고준위 방사선 폐기물 지하처분장, CO<sub>2</sub> 지하저장 프로젝트 등 인간 생활의 질을 향상시킬 지하공간의 활용은 앞으로도 무궁무진하다 할 수 있다.

결국 기원전부터 인간은 생활상의 필요에 따라 그리고 산업의 발달과 함께, 불가피하게 장소 이동과 저장 등을 위한 인공구조물을 필요로 하게 되었고, 결국 자연이 보유한 다양한 장점을 활용하면서 동시에 자연을 보호하기 위한 수단으로 터널 및 지하공간을 여러 가지 용도로 개발하여 왔다.

이에 이 책자의 다른 장에서는 이러한 터널 및 지하공간이 어떻게 자연을 보호할 수 있는지, 그리고 어떤 방법으로 자연을 보호하면서 건설되어 왔는지에 대해 구체적인 사례를 통해 제시될 것이다.

- ② 고베지역 한신고속도로 붕괴전후 모습
- ③ 페터널의 와인저장 창고 활용







## 자연환경보존에 기여한 터널

백두대간 보존을 위한 인제-양양터널

산림훼손을 최소화한 사패산터널

얼음골 보존을 위한 가지산터널

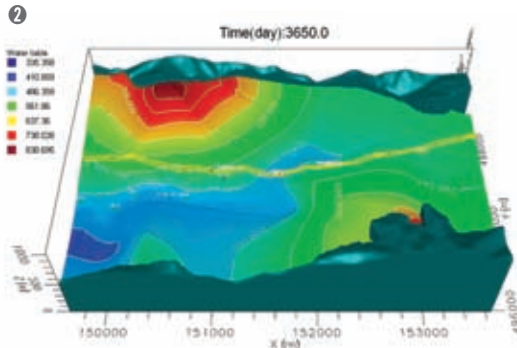
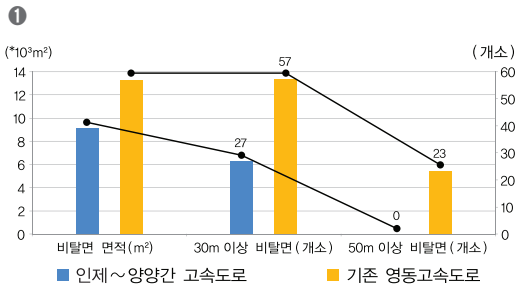
천성산 생태습지와 원효터널

소양호 경관과 어우러진 여수로터널

생태환경을 보존하는 배후령터널

## 자연환경보존에 기여한 터널

- ❶ 비탈면 면적 및 개소 비교
- ❷ 노선주변 지하수영향 분석
- ❸ 친환경적 터널 입출구부
- ❹ 인제-양양터널 조감도



## 백두대간 보존을 위한 인제-양양터널

수도권과 동해안을 연결하여 국토의 균형발전 및 인적·물적 교류 활성화를 위한 강원도 홍천과 양양을 연결하는 친환경 고속도로로 지역주민, 지방자치단체, 환경단체 등이 참여하여 사업추진에 대한 사회적 공감대를 형성한 후 건설한 친환경 고속도로다.

‘백두대간 보호에 관한 법률(2003년 12월)’에 근거하여 백두대간 보존 및 자연훼손 최소화를 위해 총 연장(71.7km)의 61%가 터널(43.8km)로 건설되었다. 국도 44호선 이용 시보다 운행거리는 25km, 주행시간은 40분이 단축되며, 연간 이산화탄소 배출량 83,610톤 감소(소나무 27,870,000 그루와 동일, 소나무 1그루 0.003톤 감소)효과로 약 33억 원의 대기오염 감소비용이 발생되었다.

터널구간을 증가시키고 대규모의 비탈면 깎기를 최소화하여 자연환경 훼손 면적을 최소화하였으며 터널 입·출구부의 인공 비탈면에 향토수종을 식재하여 주변 자연 환경과의 조화를 고려하여 건설되었다.

특히 노선 선정 시 3차원 정밀 시뮬레이션으로 대기오염 및 수질오염을 최소화시켰다.



## 산림훼손을 최소화한 사패산터널

서울외곽순환도로는 서울을 중심으로 방사형과 순환형이 조화된 수도권 교통체계를 구축하여 수도권 교통을 분산시키고, 특히 분당·일산·평촌·산본·중동 등 신도시 건설에 따른 교통난 해소를 목적으로 건설되었다.

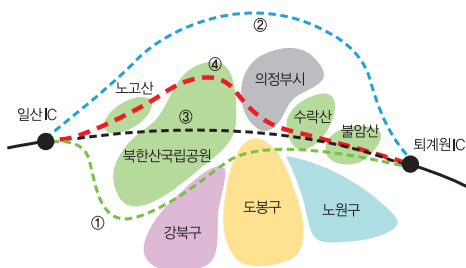
사패산터널은 서울외곽순환고속도로 북부노선에 건설된 세계 최장(4km) 광폭(4차로)터널로 연간 2,600억 원 운행손실비용 및 8,300ℓ 연료 절감으로 이산화탄소 발생을 저감시키는 친환경 터널이다.

서울외곽순환고속도로 북부노선 건설로 일산에서 퇴계원까지 기존 39번 국도 대비 주행거리 약 11km 및 차량운행시간이 50분 단축하였고, 외곽순환도로를 위한 절개지 훼손의 최소화로 자연환경을 최대로 보존하였다.

절개지 도로 대비 사패산터널의 경제성 및 환경성

사업노선과 민원 요구노선 비교		
구 분	④사업노선	②요구노선
연 장	36.3km	46.3km
사 업 비	15,046억	22,166억
산림훼손	1,887천㎡	2,723천㎡

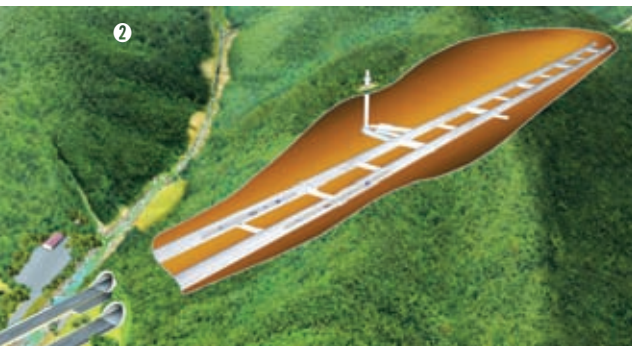
\*절개지 도로(요구노선)에 비해 터널방식(사업노선)이 환경성(산림훼손)과 경제성(사업비)이 우수



①남측노선 ②요구노선 ③북한산 통과노선 ④사업노선

① 친환경적 터널 입출구부





## 얼음골 보존을 위한 가지산터널

가지산 도립공원(울산광역시 울주군 소재)을 가로 지르는 기존 국도 24호선은 선형이 매우 불량하여 사고위험이 높고 우기 및 장마 시 산사태 발생과 겨울철 결빙 때 전면 통행이 금지되는 험준한 산악도로다. 가지산터널은 이 도로를 대신하여 주간선도로 기능을 극대화하고 이용자에게 양질의 서비스를 제공하여, 안전하고 쾌적한 환경 친화적인 도로로 건설되었다.

가지산터널은 가지산 도립공원을 관통하는 장대터널(연장 4.58km, 쌍굴터널)로 기존 국도 24호선보다 약 6km 정도 짧아지고 통행시간도 약 15분 이상 단축되어 승용차 1대당 이산화탄소 배출량 약 1.4kg이 감소되는 효과를 가져왔다.

인근에 밀양 얼음골(천연기념물 제224호)이 있어 휴일 하루 행락차량이 3천여 대 이상 이용하므로 이산화탄소 배출량이 4,200kg 이상 감소(소나무 1,400그루를 심는 효과)된 셈이다. 또한 가지산터널은 터널 내 발생하는 다양한 대기 오염물질로부터 얼음골을 보존하기 위하여 터널 중앙부에 수직 터널을 건설하여 환기하는 친환경 방식을 채택하였다.

- ① 가지산터널 노선도
- ② 터널내 환기 수직구
- ③ 터널내 환기시설
- ④ 밀양 얼음골

## 천성산 생태습지와 원효터널

원효터널은 경부고속철도 2단계 구간에서 울산역과 부산역 사이 노선에 위치한 천성산을 관통하는 연장 13.2km, 폭 14.5km의 초장대 터널로서 원효터널이 관통하는 천성산에는 대표적인 1급 생태습지인 무제치늪, 밀밭늪, 대성큰늪과 법수원 계곡이 있으며 이곳에 도롱뇽, 개구리, 가재 등 보존가치가 있는 동물이 서식하고 있다.

시공단계부터 최첨단 계측시스템으로 도롱뇽이 서식하는 무제치늪과 인근 마을의 우물 등 천성산 주변 곳곳에 대한 지하수 및 지표수 모니터링을 실시하였으며, 터널 내부에 광섬유계측기를 설치하여 미세한 균열·누수·진동을 체크하였다. 이 모니터링 시스템은 터널 개통 후에도 현재까지 지속적으로 활용되고 있으며 공사 때 사용한 3곳의 경사터널은 화재 등 비상 대피통로로 이용되고 있다.

터널완공 후 2011년 천성산의 생태습지와 계곡에 대한 조사에서 물이 마르지 않고 도롱뇽, 가재 및 개구리들이 터널시공 전과 동일하게 서식하는 것이 조사되었다. 이는 산을 관통하는 터널이 터널 내부에서 차수그라우팅을 할 경우 지하수 및 지표수에 영향을 미치지 않는다는 것을 증명한 것이다.

- ❶ 원효터널 노선 및 위치
- ❷ 생태습지에 서식하고 있는 가재, 도롱뇽, 개구리
- ❸ 원효터널 입출구부

❶



## 소양호 경관과 어우러진 여수로터널

소양강댐은 1,000년 빈도 홍수(가능최대홍수량(PMF) 632mm)에 안전하도록 건설되었으나, 최근 기상이변에 따라 가능최대홍수량(PMF) 810mm에도 안전하도록 댐 시설 기준이 강화되어 수문학적 안정성이 미흡한 소양강댐에 대하여 비상시에 안정성을 확보하기 위하여 보조여수로 터널(지름 14m, 연장 1.2km) 2개를 건설하였다.

소양강댐 주변의 생태등급 및 자연녹지등급 등의 주변환경 특성을 고려하고 자연 환경훼손을 최소화하기 위하여 터널식으로 여수로를 건설하고 유출부 및 유입부의 절취를 최소화하여 주변 경관과의 조화를 이루도록 하였다.

기존 소양강댐이나 주변 자연경관과 조화되고, 보조여수로 터널공사가 친환경적인 공간이 될 수 있도록 터널공사 주변의 가마골에 생태체험관을, 정상부에 전망대를 설치하였으며, 기존 도로 및 선착장, 광장 등을 정비하고 물문화관을 설치하여 주민들과의 친숙한 문화공간을 만들었다.

### ① 환경 훼손을 최소화 한 터널식 보조여수로



② 친화경 공간 및 문화공간 창출



생태체험장



전망대



물문화관



선착장 진입도로



댐안전광장

③ 자연과 어우러지는 소양강댐 보조여수로터널



## 생태환경을 보존하는 배후령터널

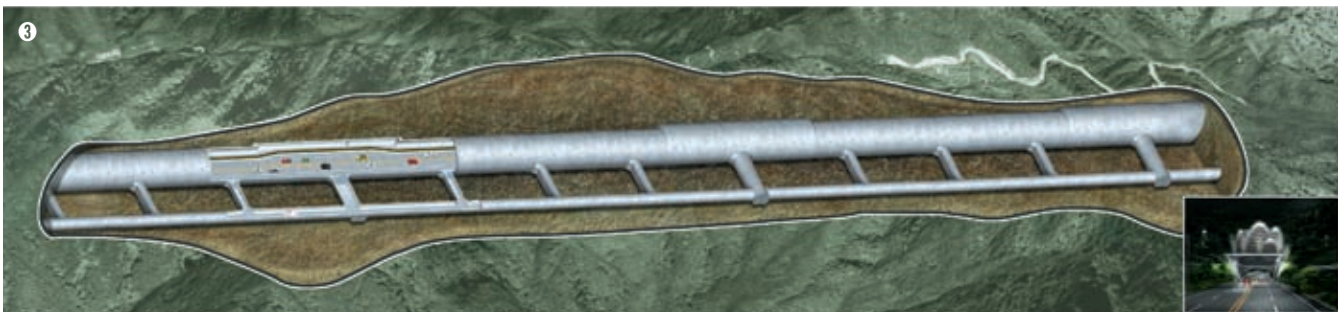
물류도로 및 관광도로로 경기 동북부 지역과 강원 북부지역의 개발촉진 및 수도권과 동해안 연결축 강화를 위한 국도 46호선(신북~북산) 국도 개량공사는 녹색 자연 속에서 물과 산의 흐름과 조화를 이루는 아름답고 편안한 길이라는 청풍가도(靑風歌道) 개념의 친환경 도로건설이며, 초장대 터널인 배후령터널(연장 5.057m, 왕복 2차로)은 이러한 배경을 바탕으로 한 친환경 터널로 건설되었다.

배후령터널은 배후령을 가로지르는 구불구불한 선형으로 사고위험이 높고 우기 및 장마 시 산사태 발생으로 '마의 구간'이란 오명을 갖고 있는 기존 국도 46호선 도로를 대신하여 배후령을 관통하는 터널이다. 이 터널 건설로 춘천에서 양구까지 소요시간을 약 30분 정도 단축하였다.

배후령터널이 건설되는 지역은 녹지자연도(식물군락의 자연성을 등급화한 지도로 8등급 이상의 지역에는 개발 사업이 허용되지 않음. 등급 숫자가 클 수록 인간의 간섭을 덜 받은 자연상태를 뜻함)가 8등급(원시성을 지닌 자연림에 가까운 지역)으로 매우 조밀한 수목분포를 가지고 있다. 또한 생태자연도(산, 하천, 습지, 호수, 온지, 도시, 해양 등에 대하여 자연환경을 생태적 가치, 자연성, 경관적 가치 등에 따라 등급화한 지도로 1등급은 개발과 보전의 모순된 조화를 도모하기 위하여 개발을 억제할만한 가치가 있는 지역) 1등급 지역이다.



- ① 배후령터널 입출구부
- ② 터널 내부
- ③ 배후령터널 구조



배후령터널 주변은 청평사를 포함하여 문화재 보호지역으로 지정되어 있으며 인근에는 상수원 보호구역인 소양호가 위치하고 있어 자연보호 및 환경보전을 최대화하였다.

배후령터널은 초장대 터널이므로 터널 내 화재 발생 시 배기와 급기를 위하여 횡류식 환기시스템을 적용하였으며, 국내 최초로 서비스 터널을 도입하여 화재 발생 시 진화 및 사고처리를 신속하게 할 수 있게 차량 진입 공간을 확보하였다. 또한 본선 터널과 서비스 터널을 피난연락갱으로 연결하여 화재 발생 시 4분 내에 완벽하게 대피할 수 있게 하였고 서비스 터널의 경우 향후 교통량이 증가하면 확폭 시공하여 도로터널로 이용 가능하도록 건설되었다.

배후령터널은 자연보호 및 환경보전을 위한 친환경 도로건설을 위해 대절토 구간 같은 자연훼손을 최소화하고 상수원 보호구역의 오염을 방지하기 위하여 건설된 터널이다.

#### 4 배후령터널 노선도







## 생활환경을 개선한 터널

도심 교통문제 해결사, 지하철

안전하고 빠른 국도 46호선 터널들

반나절 생활권을 가능하게 한 고속철도 장대터널

물을 운반하는 수로터널

도시환경을 푸르게 하는 서울시 U-Smart Way

도시공간을 시민에게, 보스턴 빅딕(Big Dig) 프로젝트

## 생활환경을 개선한 터널

- ① 만성적인 도심지 교통체증
- ② 부산지하철
- ③ 지하철 터널 및 정거장



### 도심 교통문제 해결사, 지하철

#### 교통체증 없는 지하철

경제가 발전함에 따라 도시지역으로의 인구집중은 필연적이다. 수도권은 경우 인구 증가율은 5.5%인데 반해 승용차 증가율은 17.7%로 인구증가율의 3배에 달하며, 서울의 경우 인구의 정체에도 불구하고 승용차 대수는 10% 증가한 것으로 나타났다. 이러한 이유 등으로 인하여 도심지에서는 만성적인 교통체증이 발생하고 있다.

도심지 교통체증을 유발하는 도로교통의 대안으로서 지하철의 역할이 크게 증가하고 있다. 지하철의 효과는 여러 곳에서 나타난다. 지하철 네트워크가 갖추어진 서울을 비롯한 부산, 대구는 승용차 분담률이 상대적으로 낮으나 그 외의 도시철도망이 없거나 빈약한 도시는 버스 분담률이 낮아지는 대신 승용차 분담률이 증가하여 교통체증의 주요 원인이 되고 있다.

우리나라는 1970년대 지하철 터널이 건설된 이래 2009년까지 1~9호선에 걸쳐 연장선 포함 122.1km가 건설되었으며, 2001년 착공한 9호선이 2015년 말 전 구간 개통을 목표로 시공 중이다. 지하철이 갖는 가장 큰 장점은 정확한 배차 간격과 구간별 소요시간의 편차가 매우 적다는 것이다. 게다가, 지금까지의 지하철은 대도시 위주로 도심 내 대중교통의 분담 역할을 수행해 왔지만, 점차 대도시 주변 신도시의 장거리 교통수요를 고려한 노선의 개발로 도심 교통문제의 해결사로 떠오르고 있다.

### 진정한 신도시의 완성을 위한 신분당선

경부축을 중심으로 경기 남부 지역에 집중적으로 개발된 1기, 2기 신도시들은 장거리 광역 교통수요를 소화해낼 수 있는 교통인프라를 충분히 구축하지 못한 채 개발되어, 대도시 도심기능 분산 및 주택공급에 따른 인구 분산 기능이 약화되어 교통문제라는 근원적 결함을 갖고 출발하게 되었다. 물론 기존의 분당선이 있긴 하였지만 오리역~선릉역을 이동하는 데 대략 43분 가량이 소요된다고 한다. 그러나, 2011년 10월부터 운행 중인 신분당선 1단계 구간이 판교신도시를 기점으로 강남역까지 연결되었다. 그리고 2015년을 목표로 광교~정자까지 1차 연장선을, 약 2019년 정도에는 광교~호매실까지 2차 연장선을 개통할 계획이다. 또한, 용산~강남 구간을 2018년까지 추가로 개통할 예정이다. 신분당선은 기존 수도권외곽의 원행열차들과 달리 시속 60km대로 매우 빠르게 달리기 때문에 정자역에서 강남까지 불과 16분이면 도착한다. 경기 남부 교통난 해소를 위해 예정중인 기존의 분당선 연장 구간, 즉 수도권 서남부지역의 오리~수원과, 왕십리~선릉 연장선과 연계하여 이용할 경우 신도시의 교통난은 한층 더 완화될 것으로 예상된다.



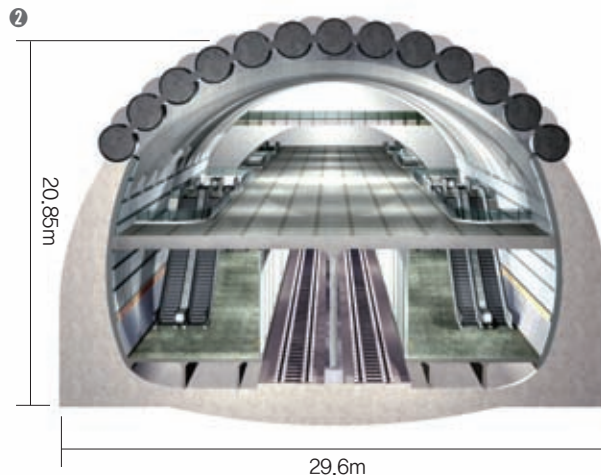
### 하루 2시간 절약, 골드 라인 9호선

한강의 남쪽을 따라 계획된 서울지하철 9호선의 가장 큰 특징은 도심전철로는 처음으로 급행과 완행으로 운행된다는 점이다. 완행열차가 김포공항에서 강남까지 25개 역을 49분 만에 가는 반면, 급행열차는 9개 역에 정차하며 30분 만에 주파한다. 또한 김포공항역에서는 인천공항철도로 환승할 수 있다. 버스나 기존 지하철을 이용한다면 1시간 이상 소요되는 거리를 획기적으로 단축한 것이다.

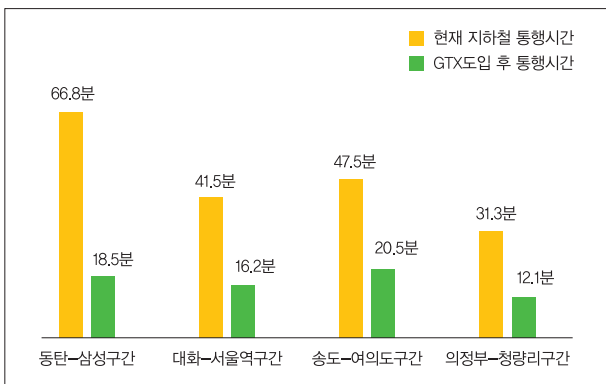
### 저탄소 녹색 교통혁명, 수도권 광역급행전철 GTX

요즘 전 세계는 '저탄소 녹색혁명'이 화두이다. 철도 중심의 대중교통체제로 전환하면 철도는 승용차에 비해 이산화탄소 배출 1/6, 에너지 소비 1/8 수준으로 환경 피해를 최소화 할 수 있다고 한다. 경기도는 이러한 세계적 흐름에 맞춰 '킨텍스~수서(동탄)', '청량리~송도' 및 '의정부~금정'의 3개 노선을 주축으로 하는 수도권 광역급행철도(GTX)를 제안하였다. 도심구간은 토지소유자들이 사용하지 않는 지하 40m 아래의 지하공간을 이용하므로 토지보상비와 대규모 건설에 따른 소음·진동 민원 및 환경오염을 최소화할 수 있어 노선을 직선화할 수 있고, 역 간 거리를 평균 10km 간격으로 계획함으로써 GTX의 속도를 최대 200km/h까지 확보할 수 있다고 한다. GTX가 실현된다면, 동탄에서 삼성까지 18분, 삼성에서 킨텍스까지 22분, 경기 지역 어디서든 30분이면 도심에 진입하는 것이 가능해지며, 승용차와 버스의 전환통행을 고려할 때 연간 7,000억 원의 교통혼잡비용 감소 효과가 있다고 한다.

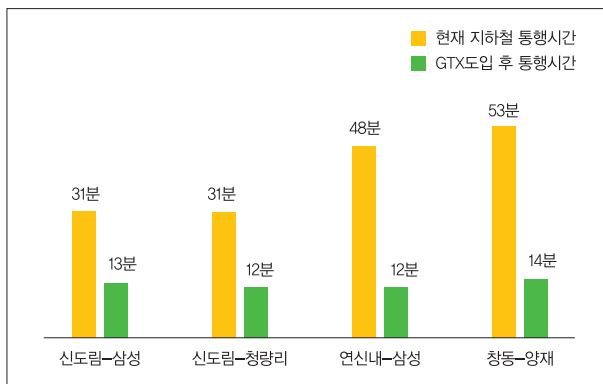
- ① 서울지하철 9호선 전동차
- ② 9호선 고속터미널역사 투시도



GTX도입 후 철도통행시간 변화(광역권)

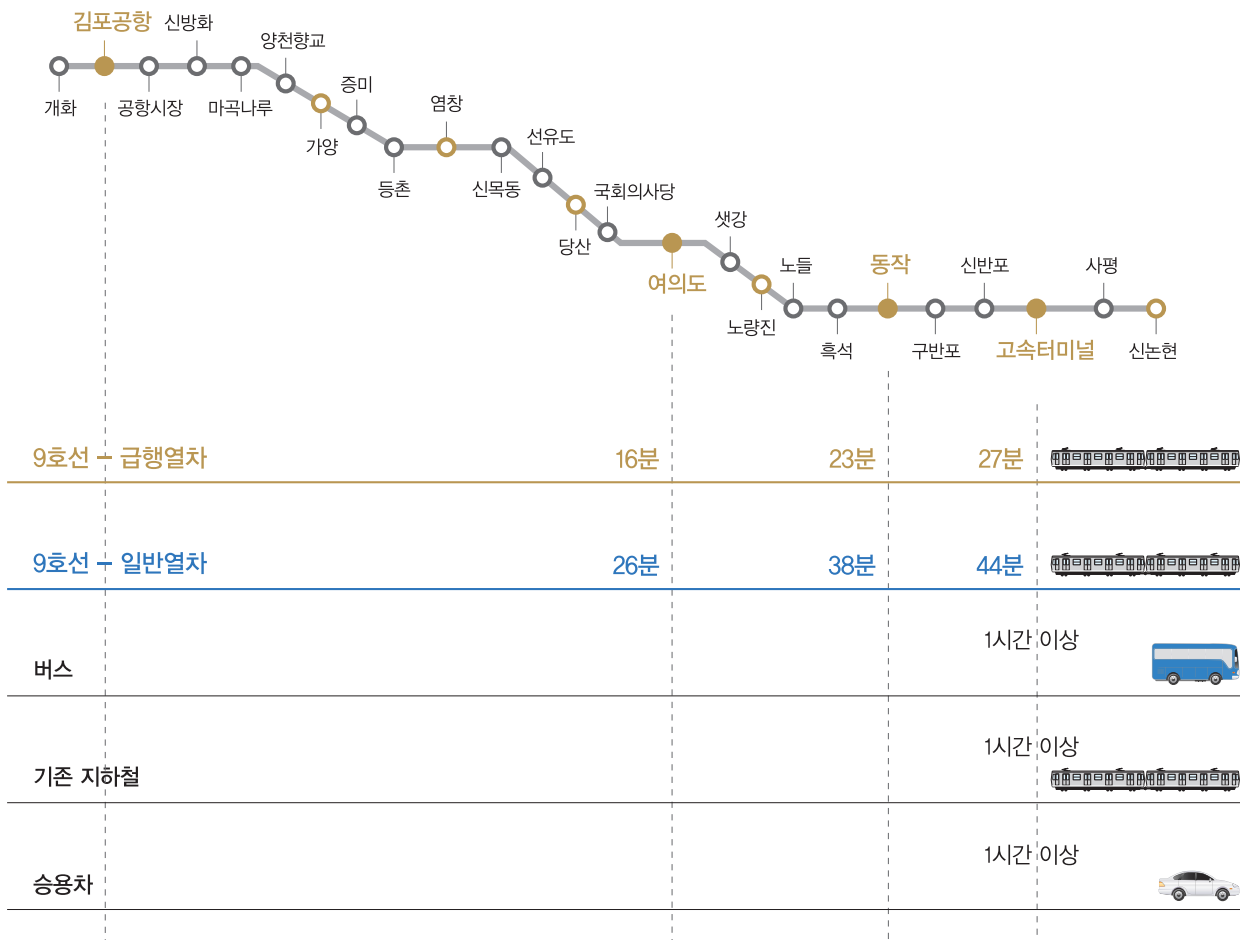


GTX도입 후 철도통행시간 변화(서울권)



GTX 기대효과

서울지하철 9호선과 기타 교통수단 소요시간 비교



\*기존 지하철과 버스는 환승시간까지 포함

## 안전하고 빠른 국도 46호선 터널들

국도 46호선은 인천광역시 중구에서 강원도 고성군 간성읍을 연결하는 연장 217.2km의 도로이다.

인천~부천~여의도 구간은 경인국도로 불리고 서울특별시 동쪽시계에서 춘천에 이르는 구간은 경춘국도로 불리며 물동량 수송과 지역개발 및 관광 진흥에 크게 이바지하고 있다. 경춘국도의 강원도 초입구간은 대성리, 청평 유원지, 남이섬 구간으로 아름다운 북한강을 따라 지나간다.

춘천공원묘원에서 동쪽 배후령 구간을 바라보면 험준한 산지가 병풍처럼 둘러 있어 험준한 산악구간의 시작을 알린다. 이 구간은 기존 도로가 1970년 소양강댐 건설로 침수된 뒤 호수변에 위태롭게 산간도로로 개설되었으나 터널에 의해 길이가 단축되면서 사고 위험도 줄어들게 됐고 구간 소요시간도 단축된다.

- ① 배후령터널 단면
- ② 배후령터널 종점부 전경
- ③ 배후령터널 시점부 전경



‘등뒤편’이라는 의미의 배후령(背後嶺)은 지금은 포장이 잘된 46번 국도로 바뀌었지만 동절기 강설에 따른 빈번한 통행 제한과 해빙기 및 우기 시 낙석, 비탈면 붕괴 등으로 통행이 불편한 곳이었으나 현재는 터널로 계획되어 공사가 마무리되고 있는 중이다.

배후령터널은 강원도 춘천시 신북읍과 화천군 간동면을 잇는 연장 5.1km의 2차로 양방향 교통터널과 서비스터널로 이루어진 터널로 향후 교통량 증가에 따라 서비스터널은 제2터널로 확장 가능하다.

이 터널은 화재진화를 위한 물 분무설비, 운전자의 피로방지를 위한 조도순응 조명시설, 도로결빙방지 시스템이 적용된 최첨단 터널이다.

배후령구간을 지나 소양강댐 호수변의 위태로운 산간도로였던 수인리~공리구간은 수인터널(3,200m), 웅진터널(1,230m), 웅진1, 2터널, 공리터널(1650m)을 통과하는 직선화 공사가 2009년 완료되어 사고위험도 줄어들고 통과거리도 단축되었다. 이로써 춘천~양구는 2011년 완공예정인 춘천시 신북읍~화천군 간동면 오음리 배후령 공사구간을 제외한 전 구간 차량통행이 가능해져 소요시간이 1시간 4분대에서 40분대로 단축된다. 완전 개통되면 춘천~양구는 기존 51.1km에서 28.6km로 단축돼 30분 정도로 가까워지게 된다.

이와 같이 산악구간의 도로터널은 기상조건에 구애받지 않고 지역 간 원활한 소통을 가능하게 해주고, 선형이 불량한 내리막길의 교통사고 발생을 막아 준다. 그리고 산허리 고갯길을 여기저기 깎아 만든 기존도로와 달리, 환경훼손 없이 터널로 통과함에 따라 호젓한 옛길의 명성과 산길의 고요함을 숲속 생명체와 같이 공유할 수 있을 것이다.

- ④ 46번 국도 산악구간 터널궤문 전경
- ⑤ 국도 46호선 신설 터널



## 반나절 생활권을 가능하게 한 고속철도 장대터널

### 고향 가는 길을 앞당겨 주는 고속철도

설, 추석과 같은 명절이 되면 국민의 대이동이 시작된다. 해마다 방송되는 고속도로 정체 현상은 우리에게 전혀 새로운 일이 아니다. 국내에서는 2004년 4월 경부고속철도 1단계 준공을 기점으로 고속철도 시대가 시작되었다. 서울-부산 구간에서 새마을호로 4시간 10분이 소요되던 통행시간이 2시간 40분으로 단축되었고, 지역 간 이동속도가 감소함에 따라 전국이 반나절 생활권으로 통합되었다. 이후 2010년 11월에 완공된 2단계 구간에서는 대구-부산 구간에서의 고속선 건설을 통하여 서울-부산 간 운행시간이 2시간 10분으로 추가 단축되었다. 향후 정부에서는 KTX 고속철도망을 통하여 국토를 통합·다핵·개방형구조로 재편하는 비전을 가지고 있으며, 전국을 일상 통근시간대인 1시간 30분대로 연결하여 하나의 도시권으로 통합하고자 하는 목표를 수립하였다.

이러한 목표의 수립이 가능한 이유는 철도가 시대적 화두로 떠오른 저탄소 녹색성장에 부합하며, 안전성, 친환경성, 쾌적성이 우수한 인간 및 환경중심의 운송시스템으로서 건설에 따른 사회문화적 파급효과가 상당히 크기 때문이다.

### 친환경적이며 안전한 철도터널

서울~부산을 2시간 10분대로 운행하기 위하여 경부고속철도 노선은 350km/h의 설계속도로 시공되었다. 노선은 열차운행의 안정성과 승차감을 만족시키면서 선로의 건설비, 유지보수비, 차량의 성능, 노선의 기능 등을 고려하여 결정되는데, 고속주행을 위해서는 노선 상 곡선부가 최소화 될 수 있도록 노선을 결정한다. 따라서 산악지역을 통과할 경우 최적의 선형을 확보하기 위하여 터널 및 교량과 같은 구조물의 시공이 필수적이 된다.

철도노선에 있어 터널의 건설이 친환경적인 이유는 터널 굴착으로 지표굴착이 불필요하여 지형과 산림훼손을 최소화 하며, 운행 중 열차의 소음 및 진동을 완전히 차단할 수 있기 때문이다.

〈그림 3〉은 우리나라 전국 고속철도 노선도와 검토 중인 호남-제주 해저터널 노선도를 보여주고 있다. 경부고속철도 노선의 경우 총 연장은 412km이며 구간 내 새로 건설된 선로의 길이는 총 390.3km이다. 현재 호남고속철

① 추석연휴 고속도로 정체



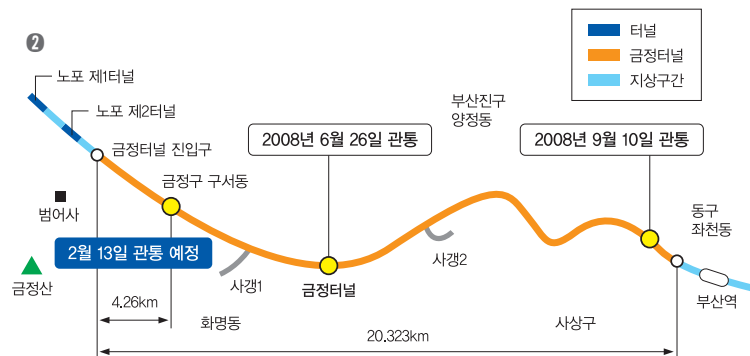
도 건설 사업이 진행 중이며 1단계로 오송-광주구간(182km)을 2014년 준공목표로 하고 있으며 광주-목포 구간(48.9km)을 2017년 준공계획하고 있고 목포와 제주를 연결하는 호남-제주 해저터널에 대한 타당성 검토도 진행 중이다.

경부고속철도 노선에서 신규로 건설된 터널과 교량은 노선의 42.37%와 28.15%에 달한다.

특히 구간 내 대표적인 10km 이상의 장대터널로서는 원효터널(13.27km)과 금정터널(20.32km)을 들 수 있다. 금정터널은 현재 국내 최장대 터널이기도 하다.

원효터널은 일명 ‘도롱뇽 소송’으로 언론에 많이 알려진 바 있다. 터널의 굴착으로 인한 지하수의 유입은 불가피하게 발생하지만, 자연강우에 의한 지하수 공급량에 비해 유출량이 적기 때문에 자연생태에 거의 영향을 미치지 않는다. 원효터널도 현재까지 터널공사로 인해 도롱뇽 서식지인 습지의 영향은 관측되지 않고 있다.

- ② 금정터널 노선도
- ③ 전국 고속철도 및 호남-제주 해저터널 노선도
- ④ 고속주행중인 KTX 열차



## 물을 운반하는 수로터널

### 산악지를 관통하여 물을 운반하는 수로터널

식수로 사용될 물을 운반하는 상수도터널에는 취수원인 강이나 댐에서 정수지로 물을 운반(원수공급)하는 도수터널, 정수장에서 정수된 물을 배수지로 운반(정수공급)하는 송수터널, 그리고 정수된 물을 각각의 주택에 공급하기 위해 일시적으로 저장하는 배수지터널이 있다. 우리나라 수로터널의 건설은 1965년 창원지역에서 시작되었으며, 1975년 이후 국가 산업 단지 조성 등을 이유로 본격적인 건설이 진행되었다. 1980년대 후반 이후에는 수도권 광역상수도 시설의 일환으로 많은 수로터널들이 수도권 지역에 건설되었다. 도심의 밀집화, 각종 지하저장물의 증가로 인하여 수로터널의 건설은 점차 증가하고 있다.

취수원-정수장, 정수장-배수지 사이에 큰 산이 위치하고 있거나 큰 강이나 바다 등의 하천이 위치한 경우에 지표면을 파서 물을 운반하기 위한 관로를 설치하기 위해서는 매우 긴 거리를 돌아가야 하고 이로 인해 도로의 교통 불편을 초래하게 되며 많은 공사비가 소요되게 된다. 이러한 경우에는 산이나 지하 암반층에 터널을 뚫어 수로를 건설하는 것이 보다 경제적이고, 관로건설 시 발생하는 교통불편, 소음 및 진동 등 주민의 생활불편을 유발하지 않는 장점이 있다.

### 고지대에 생활용수를 공급하는 터널배수지

주택에 식수를 공급하기 위하여 정수장으로부터 운반해 온 물을 임시로 저장하는 배수지의 건설이 필요하다. 우리나라와 같이 산지가 많은 경우에는 주변 산지에 터널을 굴착하여 배수지를 건설하면 많은 이점이 있다. 산속에서 굴착공사를 진행하기 때문에 사람들은 공사로 인한 소음 및 진동 등의 영향을 거의 받지 않고 위치가 높아 작은 수압으로도 고지대에 원활한 식수 공급이 가능한 장점이 있다.

① 수로터널 굴착완료 직후 모습



우리나라에는 서울의 북악배수지와 불광배수지, 부산의 수정산배수지 등 총 3개소의 터널배수지가 건설되어 운영 중에 있다. 서울 북악배수지는 2000년 6월 우리나라 최초로 준공되었으며, 불광배수지는 2002년 7월 우리나라에서 두 번째로 준공되었다. 불광배수지의 총 저수용량은 약 90,000톤으로 직경 6.2m, 연장 1,780m인 터널이 2열로 이루어져 있으며, 96,000여 가구, 28만여 명에게 식수를 공급하고 있다.

부산 수정산배수지는 2007년 2월에 우리나라에서 세 번째로 준공되었다. 터널 단면은 폭 5.4m, 높이 7.15m이고 터널연장 1,803m, 저수용량 35,000톤이다. 수정산배수지 준공으로 고지대 주민들의 50년 숙원이던 식수문제가 해소되었다. 배수지 건설 전에는 하루 6~12시간밖에 물이 나오지 않던 부산 중구·서구·동구·사상구 등의 고지대 6만 가구 주민 17만 명이 24시간 수도물을 이용하고, 적절한 수압유지로 누수사고도 줄어들게 되었다.

- ❷ 북악배수지 전경
- ❸ 불광배수지 전경
- ❹ 수정산배수지 조감도



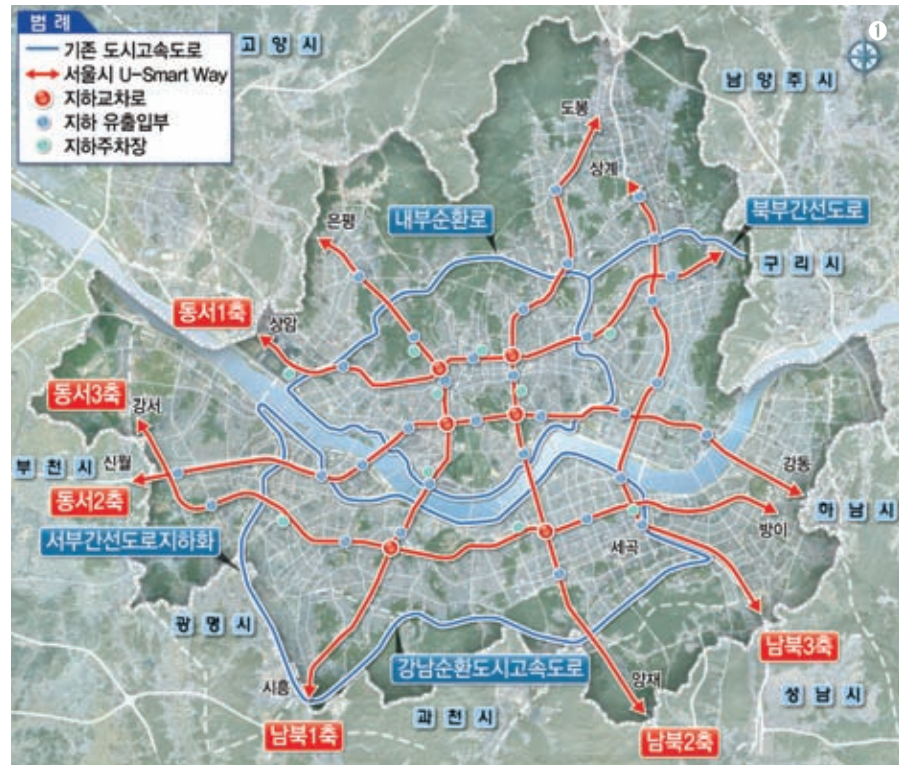
## 도시환경을 푸르게 하는 서울시 U-Smart Way

### 환경과 편의성을 개선하는 다목적 지하도로 계획

서울시에서는 심각한 도심 교통문제를 해결하고 쾌적한 환경의 지상공간을 확보하여 서울을 세계적 중심도시로 만들기 위해 남북축과 동서축 각 3개 노선의 3×3 격자형에 연장 149km의 지하도로 계획인 U-Smart Way를 발표하였다. U-Smart Way 지하도로는 지하 40m 이하의 대심도 지하공간에 차량이용자들이 첨단 통신·정보시스템을 통하여 각종 정보를 주고받을 수 있으며, 시스템에 의한 제어가 가능함으로써 지상공간보다 안전하고 쾌적한 지하도로로 구상되었다.

지하도로망 구축이 완료되었을 때 주요 거점 간 통행시간 변화를 살펴보면 기존에 양재에서 도심까지 39분 걸리던 시간이 지하도로 개통으로 13분 이내로 가능해져 통행시간이 67% 단축되고, 시청에서 인천공항까지 가는 경우에도 기존 80분이 소요되던 거리가 42분 이내로 단축될 것이다.

❶ 서울시 지하도로(U-Smart Way) 계획

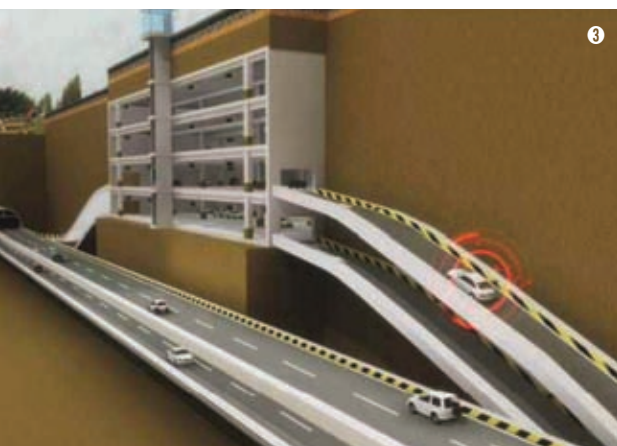
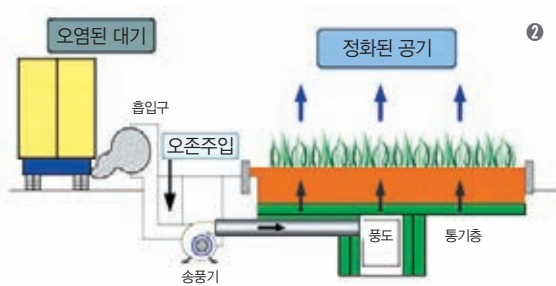


도시공간 측면에서는 도로 다이어트를 통해 지상에 492km 이상의 자전거 전용도로, 615km의 가로녹지 확보가 가능하여 도시가 보다 사람 중심의 친환경 대중교통 위주의 공간으로 변모되고, 특히 중랑천을 복원함으로써 여의도 면적 70% 규모의 대형하천공원을 조성할 수 있게 된다. 또한 경제적 측면에서도 교통혼잡비용과 환경오염비용 절감으로 년 2조 4,400억 원의 사회적 비용절감효과도 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

### 화재사고에 대비한 방재시설

대심도 지하공간에서 화재사고가 발생할 경우 승객들이 지상까지 신속하게 대피하기 어렵기 때문에 사고에 의한 인명피해가 확대될 가능성이 크다. 따라서 사고 발생 후 이용자의 피난을 위해 일정 간격으로 비상대피소를 설치하고, 자동화재 감지장치와 물분무시설 등의 방재시설을 갖추도록 건설할 계획이다. 또한 비상대피 수직구와 비상대피소, 비상차로를 확보하여 소방구급대원 진입통로로 활용함으로써 신속한 사고처리가 가능하도록 계획될 것이다.

- ② 오염물질 정화시스템
- ③ 지하도로와 주차장 연계계획



### 쾌적한 도시환경 개선에 이바지

대심도 지하도로는 화석연료를 사용하는 차량에서 배출되는 배기가스, 노면에서 발생하는 분진 등에 대하여 공기청정 수준을 유지하기 위한 환기시스템을 구축하는 것이 중요하다. 외부의 신선공기를 상시 공급하여 지하도로 내 환경을 쾌적하게 유지하고, 오염된 공기는 전기집진시설과 정화시스템 등 다양한 정화시설을 이용하여 정화처리 후 지상으로 배출함으로써 지상의 공기 질 개선에도 기여할 수 있다. 지하도로는 지상도로와 달리 폐쇄 공간에서 장시간 차량운행을 하게 되므로 터널 내부 디자인을 통해 운전환경을 개선하여 운전자에게 안락감을 주고, 진출입부 등 지역별로 테마공간을 두어 운전자가 어느 지점에 있는지를 알 수 있도록 하여 심리적 안정감을 제공토록 할 것이다. 더불어, 도심에는 지하도로와 연계되는 대형 지하주차장을 집중 배치함으로써 지하도로 이용차량의 지상 진출을 억제함으로써 도심지 차량진입을 최소화 시킬 수 있을 것이다.

## 도시공간을 시민에게, 보스턴 빅딕(Big Dig) 프로젝트

### 새로운 패러다임의 도시계획

지금의 선진국들도 과거 경제발전 단계에서의 도시개발에 있어서는 ‘인간과 환경’보다는 ‘효율성과 편의성’에 중점을 두었다. 하지만, 성장이라는 미명하에 소외되었던 가치, 즉 인간중심의 지속발전 가능한 도시재건이 이제는 도시계획의 화두가 되고 있다. 그 한 예가 바로 보스턴의 빅딕(Big Dig) 프로젝트라 할 수 있다.

빅딕은 미국 보스턴 외곽과 도심 사이를 연결하는 약 26km 길이의 8~10차로 지하도로망 건설 사업을 말하며, 본래 명칭은 ‘중앙간선도로·터널 프로젝트(Central Artery Tunnel Project)’다. 땅 속 깊이 파고 들어가는 도로라는 의미에서 ‘빅딕(Big Dig)’이라는 명칭이 붙었다.

미국 토목역사상 가장 복잡하고 큰 규모의 토목공사 중의 하나로 손꼽히는 이 프로젝트는 미국의 가장 낙후되고 정체가 심한 도시 중의 하나인 보스턴의 교통정체를 해소하고 주행성을 향상시키는 동시에 시민의 생활환경을 개선하기 위한 목적으로 추진되었다. 1959년 개통 당시 일일교통량 7만 5천 대의 중앙간선 고가도로는 1990년대 초반 20만 대를 넘어서면서 극심한 교통 정체에 시달리게 되었다. 차량들은 매일 10시간 이상씩 거북이 주행을 해야 했으며, 보스턴 중심가와 보스턴 동부 및 로간(Logan)국제공항을 연결하는 기존 두 터널들도 마찬가지로의 문제로 하루 16시간 이상 정체에 시달리게 되었다. 이에 따라 사고증가율, 정체 시 공회전에 따른 연료손실과 물류 지연에 따른 비용증가 등 정체로 인한 연간 경제손실이 500만 달러로 추정되었다. 이와 같이 보스턴 경제의 급속한 성장단계에 필요했던 고가도로가 현재에는 많은 문제를 유발하고 삶의 질 향상에 대한 욕구로 인하여 필수적인 고가도로는 우회 건설하고 대부분을 지하도로화 하는 대규모 사업을 진행하기에 이르렀다.

이처럼 극심한 교통정체로 인해 보스턴의 경제와 삶의 질이 저하되어 가는 가운데, 1982년 환경영향평가서 준비와 함께 시작된 빅딕 프로젝트는 1987년 4월 연방자금 및 기본설계에 대해 의회로부터 승인을 받았다.

빅딕 프로젝트는 지난 세기의 대역사, 즉 파나마 운하, 영불 해저터널 프로젝트 등과 비교될 만한 대규모의 공공사업이었다.

- ① 과거 상습정체에 시달리던 6차로 고가도로의 모습
- ② 고가도로에 의해 단절된 중심가와 항구지역
- ③ 시민공원과 녹지로 재탄생한 과거 고가도로 구간



- ④ 빅딕 프로젝트 지하화 구간
- ⑤ 빅딕 프로젝트 완료 후 도심공원
- ⑥ 제물포로 지하화 조감도



### 빅딕 프로젝트 전과 후

빅딕 프로젝트의 가장 큰 과제는 보스톤 도심 한 복판에서 도시기능의 마비 없이 이 프로젝트를 수행해야 한다는 것이다. 8~10차로 지하고속도로와 찰스강을 가로지르는 교량 2개소를 건설한 뒤 기존의 고가도로를 철거함으로써 그동안 고가도로의 그늘에 묶여 있던 강변에 40에이커의 새로운 공원이 생겨나게 되었다. 메사추세츠 유료고속도로의 연장선은 2003년 1월 18일에 개통되었으며, 시애틀에서 워싱턴을 거쳐 보스톤 동부의 로간국제공항으로 연결된다. 공항까지 연결된 5.6km의 노선은 운전자로 하여금 공항에 가기 위한 기존 노선보다 45분의 시간을 절약하게 해주었다. 메사추세츠 유료고속도로의 연장선과 공항을 연결해주는 Ted Williams 터널은 총 2.6km 중에 1.2km 구간이 수중에 위치하며, 철재로 제작된 구조물을 가라앉히는 침대공법(지상에서 구조물 제작 후 운반하여 물속에 가라앉혀 연결함으로써 터널을 건설하는 공법)으로 건설되었다.

교통정체 없는 도심공원에서 맑은 공기를 마시는 보스톤을 목표로 했던 빅딕은 총 차선길이 259km 중에 절반이 터널이다. 고가도로를 지하화 함에 따라 도로용량이 증대되고 정체요인이 감소되어 주행시간이 1995년과 2003년 사이 62%나 감소하였으며, 현재 연간 1억 6천 8백만 달러의 시간·비용 절약효과를 얻은 것으로 평가된다. 또한, 도시전역에 걸쳐 일산화탄소 농도가 12%나 감소되었다. 게다가 보스톤 시내의 유동성이 개선됨에 따라, 낙후된 고가도로에 의해 단절되었던 지역이 중심지와 재연결되어 삶의 질을 향상시킬 수 있게 되었고 이 빅딕 프로젝트로 인해 45개 이상의 공원과 광장이 생겨났다. 보스톤 동부의 찰스분지를 따라 생겨난 그 밖의 다른 공원들도 보스톤을 다시 살아숨쉬게 해준 것이다.

### 우리나라에서 추진하는 도심지 도로의 지하화 계획

최근 우리나라에서도 제물포길 지하화, 동부간선도로 지하화 등을 통해 지상부지에 공원과 녹지를 조성하는 계획이 추진되고 있다. 이제 우리도 교통정체 및 차량 매연 없는 도심공원에서 맑은 공기를 기대해도 될 듯 싶다.





# 삶의 길을 넓여주는 지하공간

유류비축을 위한 지하공간

지하 하수처리시설

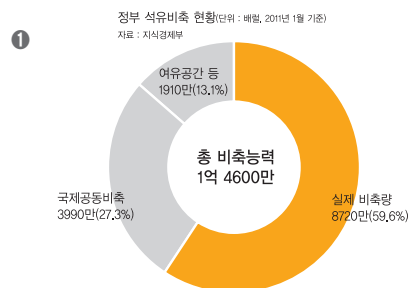
저에너지 친환경 농수산물 지하저장시설

말레이시아 칼라룸푸르 스마트(SMART) 프로젝트

노르웨이 요빅 올림픽 마운틴홀

시드니 오페라 하우스 지하주차장

# 삶의 질을 높여주는 지하공간



\*국제공동비축 : 외국계 석유회사에 저장공간을 빌려주고 대여료를 받으며, 비상(중동지역 전쟁 발발)시 우선공급권을 갖음

실제 비축량 8720만 배럴은 정부 구입분(8658만 배럴)에 석유공사 매입분을 포함한 수치

## 유류비축을 위한 지하공간

### 에너지 저장을 위한 유류비축기지는 왜 필요한가?

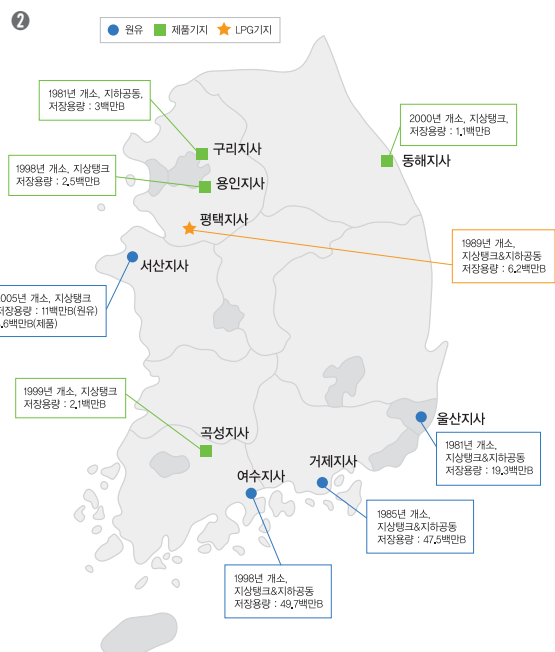
우리나라는 전체 소요 에너지의 97% 이상을 수입하고 있으며 최근 중동지역의 분쟁 및 전 세계 에너지 수요증가로 인한 에너지 가격상승에 의하여 에너지 수급에 많은 어려움을 겪고 있다. 이에 정부는 급작스러운 유류고갈 사태에 대비하기 위하여 1980년 시작된 1~3차 비축계획에 따라 전국에 9개 비축기지를 건설해왔다. 2010년 650만 배럴 규모의 울산 비축기지 확장공사 완공으로 비축시설은 이미 목표치인 총 1억 4천 6백만 배럴의 비축유 저장능력(158일간 사용량)을 달성하였으며, 비축유는 2011년 1월 기준으로 8,720만 배럴이 확보된 상태이다. 이는 '국제에너지기구의 권고기준치'를 적용할 경우 100일가량 소비할 수 있는 양이다.

### 어떻게 지하에 석유류를 저장하는가?

석유류의 지하 저장방식은 상온 상압 또는 상온 고압방식을 이용한다. 즉, 저장 시 압력이 필요하지 않은 석유류는 지하 암반의 통상온도인 15℃ 내외 및 대기압 조건에서 저장된다. LPG의 경우에는 상온에서 일정한 압력에 의해서만 액화되므로, 공동내부에 고압을 유지하는 방식이다.

석유류를 저장하는 기본원리는 매우 단순한 물리적 원리를 응용한다. 석유류는 물보다 가볍고, 물과 섞이지 않으므로 저장동굴 내로 유입되는 지하수는 밑으로 가라앉고, 석유류는 위에 부유하게 된다. 또한 유입되는 지하수가 지속적으로 저장 공동 내부로 흘러 들어오게 하는 조건을 유지함으로써 저장물은 공동 내에 안전하게 보존되며, 바닥의 지하수는 지속적으로 외부로 배출시켜 공동 내 저장 공간을 확보한다.

우측 <그림 3, 4>는 국내 지하 저장 공동의 대표적인 단면형태를 나타낸 것이다. 석유의 경우에는 주어진 암반 여건에서 최대한 단면을 크게 해 경제성을 확보하고 있으며, 경험적으로 폭 18m, 높이 30m의 대단면 공동을 표준형식으로 하고 있다. 이러한 형태는 저장 공동의 안정성과 굴착작업 및 장비의 효율성을 고려해 선정된 것이다. LPG 저장시설의 경우 공동 내 운영 압력이 8기압 정도로 높게 유지되기 때문에 저장물의 기밀성과 공동의 내구성을 고려해 공동의 크기를 원유보다 작게 하고 있으며, 안정성을 최대한 확보하기 위해 계란형으로 설계하고 있다.



1 우리나라 석유 비축현황

2 우리나라 석유류 지하비축기지 현황

〈그림 5〉의 울산 유류비축기지는 지하 100m 깊이에 폭 18m, 높이 30m, 길이 2km의 동굴이다. 단단한 바위를 뚫어 이만한 공간을 만든 뒤 약간의 방수처리 공사를 거쳐 석유를 저장하게 된다. 우리나라 전체 비축물량 가운데 73%는 이처럼 땅 속에 저장한다.

### 왜, 지하저장시설이 안전하고 환경 친화적인가?

지상저장시설의 경우 외부에 노출되어 있어 화재 및 폭발 등 불의의 사고에 취약한 반면, 지하저장시설은 이러한 가능성이 매우 적다.

석유류는 외부에 유출 시 대체로 대기환경 및 수질환경에 유해한 영향을 미친다. 그러므로 상대적으로 지하에 저장하는 것이 안전하고 환경에 미치는 영향이 거의 없는 친환경적인 저장방법이다

- ③ 여수 원유비축 공동
- ④ 평택 LPG비축 공동
- ⑤ 울산 유류비축기지 개요도



- 지하동굴 저장원리**
- 기름은 물보다 가벼움
  - 기름은 물과 혼합되지 않음
  - 암반 내 지하수입이 원유 누출 방지
- 지하저장 시설의 장점**
- 재해 안전성 및 반영구 시설
  - 친환경 시설
  - 경제적
  - 암반 내 지하수입이 원유 누출 방지

## 지하하수처리시설

### 하수처리시설은 왜 지하에 건설되어야 하는가?

공장, 사업장 또는 가정 등에서 발생하는 각종 생활하수, 폐수 및 분뇨는 유해물질이나 오염물질을 걸러내어 정화된 물을 재사용하거나, 생태계에 지장을 초래하지 않을 정도로 처리하여 방류해야 하는데 이와 같은 기능을 하는 것이 하수처리시설이다. 하수처리시설은 최종 방류지점 부근에서 자연유하가 가능한 곳이 적절하나 대도시에는 이러한 지형조건을 찾기가 힘들며 환경문제를 해소하고 부지를 최대한 적게 사용하는 건설방법을 추구하고 있다. 일반적으로 많이 설치되고 있는 지상식 하수처리시설의 경우 각종 오염물질을 요구수준 이상으로 처리하기 위해서는 여러 가지 처리공정과 이에 따른 넓은 부지확보가 필요하다. 또한, 운영 중에는 불쾌한 냄새를 유발하여 주변지역에 극심한 환경민원을 야기하게 된다.

- ① 일반적인 지상식 하수처리시설
- ② 현재의 서남하수처리시설(지상)
- ③ 지하화 후 서남하수처리시설
- ④ ⑤ 핀란드 Kakola 하수처리장



### 우리나라 하수처리장 지하화 추진 사례

서울시는 2027년까지 강서구에 위치한 서남하수처리장을 지하화 하고 지상에 친환경공원을 조성하는 현대화사업을 2009년 착공하였다. 1단계 사업에서는 전체 하루 163만 톤의 하수처리시설 가운데 2012년까지 127만 톤의 고도처리시스템을 도입하고 2015년까지 36만 톤의 시설을 지하화 한다. 이후 2·3단계 사업을 통해 127만 톤 규모 하수처리시설도 추가로 지하화 할 계획이다. 하수처리장 내에 있는 분뇨처리시설도 지하화 해서 악취 발생을 근본적으로 차단할 방침이다. 이 밖에도 악취 민원이 심한 중랑 및 난지하수처리장의 지하화도 추진하고 있다.

2013년 광주시 효천 택지지구에 들어서는 지하하수처리장은 1일 2만 톤 처리용량에 총사업비 642억 원이 투입된다. 개작방식(땅을 파서 구조물 건설 후 흙을 덮는 방식)으로 시공되며 위쪽 부지에는 야외공연장, 사계절 공원, 다목적 운동장 등이 들어서는데, 일반적으로 약취가 발생하는 주민 기피시설로 인식되는 하수처리시설이 지하화를 통해 쾌적한 친환경적 공간으로 조성된다.

### 외국의 지하동굴식 하수처리시설

지하동굴식은 산속으로 수평터널을 굴착하여 견고한 암반 내에 처리장을 건설하는 방법으로서 지하공간의 특성과 장점을 최대한 이용할 수 있는 방식이라 할 수 있다. 이 방식은 터널을 굴착해야 하는 입지 선정의 제약은 있으나 하수처리 과정에서 발생하는 오염된 물과 공기를 주변 환경으로부터 격리시킬 수 있고, 도시공간의 입체적 활용과 지상 환경의 훼손 최소화, 토지매입비 절감 등 미래 건설방향에도 잘 부합하는 건설방식이라 할 수 있다.



핀란드는 1986년 헬싱키에 중앙하수처리장을 지하에 건설하여 처리인구 65만 명의 하수를 차집함으로써 기존에 운영되고 있던 지상의 5개 처리장 부지를 타 용도로 재개발할 수 있었다. 핀란드 Kakola 지하동굴식 하수처리장은 총 공사비 1,600억 원을 들여 2003년에 시작, 2009년에 완공하였으며 지상은 완전 녹화처리 하였다. 우리나라도 지형이나 지질 조건 등이 이들 북유럽 나라와 유사하며 특히, 협소한 국토면적을 고려할 때 이러한 지하공간의 이용은 가장 효율적인 대안이 될 수 있다.

## 저에너지 친환경 농수산물 지하저장시설

### 농수산물 지하저장의 장점

농수산물 저장에서는 식품을 오랫동안 원래의 고품질 상태로 유지하면서 보관하는 것이 중요하다. 지하저장시설은 열전도율이 낮은 암반의 축열 특성을 이용하여 에너지를 절약하고 운영비를 절감하기 위하여 지하에 건설된 저장시설을 의미한다. 일반적으로 채소나 과일의 저장온도는 0~12℃이며 육류나 아이스크림은 -18~-25℃인데, 지하는 특별한 시설물을 설치하지 않아도 항상 12℃ 정도의 일정한 온도를 유지하고 있다. 또한, 지하공간은 지상공간에 비해 항습성과 밀폐성, 빛의 차단성이 매우 높아 식품 저장 시 안전하고 확실하게 장기적으로 보관하는데 매우 유리하다. 또한 토지이용상의 제약이 적고, 에너지 절감효과가 뛰어나 효율적으로 농수산물을 저장할 수 있는 신 공간이다.

① 미국 Kansas 지하저장시설 입구

② ③ 지하저장시설 내부(Room & Pillar)와 제품 보관 상태



### 국외의 농수산물 지하저장 사례

〈그림 1〉은 미국 Kansas에 있는 지하저장시설의 입구를 보여주고 있다. 미국 중서부에 위치한 Missouri주 대부분 지역은 석회암으로 구성되어 있으며, 특히 Kansas시 근교인 Independence 지역은 석회석이 많이 매장되어 있어 광산 개발이 활발하였다. 석회석 광산의 폐광으로 생기는 지하동굴을 1970년대 초부터 전문 유통업체들이 매입하여 상업적으로 이용하기 시작하였다. 이 지역은 미국의 중앙에 위치한 교통의 요지로서 곡물 및 식품의 저장, 분배의 중심지 역할을 하였으며, 저장수요가 많고 도심을 중심으로 양질의 석회암이 대규모로 분포되어 있어 저렴한 비용으로 지하공간의 개발 및 활용이 가능하였다.

〈그림 2〉에는 이 지역에서 운영하고 있는 지하암반저장시설의 내부 기둥 형상과 제품보관 상태를 보여주고 있다. 이 지역 지하저장고의 일반적인 구조는, 높이 5.3m~6m, 최대 폭 약 1,000m 정도이며 좌우 약 15m 간격으로 직경 7.6m 정도의 석회암 기둥이 천장을 받치고 있는 Room and Pillar 구조이다.

### 우리나라 농수축산물 지하저장 사례

우리나라에서는 <그림 4>에 보는 것과 같이 곤지암 지하냉동저장시설이 잘 알려져 있는데 경기도 광주 곤지암에 위치하고 있다. 이 시설은 농업기반공사에서 농수축산물의 수입개방화에 따른 유지관리비의 축소 필요성과 농수축산물의 저장, 유통의 현대화로 국제 경쟁력을 제고하기 위하여 1996년에 공사를 시작하여 1997년 12월에 준공하였으며, 현재는 강북수산에서 냉동창고로 운영하고 있다.

지하암반저장실은 냉동실이 2개 동으로 폭 12m, 높이 10m, 길이 60m이며, 냉장실 역시 2개 동으로 폭 12m, 높이 8m, 길이 50m이다. 폭 7.5m, 높이 7m의 통로와 폭 7.5m, 높이 5m, 길이 7.5m의 시험실이 갖춰져 있다. 저장용량은 냉동이 2,990 M/T, 냉장이 1,710 M/T, 총 4,700 M/T이며, 총 사업비는 64억 원 정도가 투입되었다. 지하저장시설 시공 시 지상보다 굴착비가 더 소요되었지만 암반자체를 단열재로 사용하므로 건축비가 감소되었고, 콘크리트 사용량도 대폭 줄어들게 되어 오히려 투자비 절감효과를 얻을 수 있었다. 동력비, 감가상각비, 유지비가 감소함으로 전체 운영비 또한 절감되었다. <그림 5, 6>은 운영되고 있는 저장시설의 입구 건물과 동굴 내부에 제품이 적재된 상태를 보여 주고 있다.

- ④ 곤지암 지하냉동저장시설 조감도
- ⑤ ⑥ 곤지암 지하냉동저장시설 입구 및 내부 제품적재 상태



## 말레이시아 칼라룸푸르 스마트(SMART) 프로젝트

### SMART 프로젝트 추진 배경

말레이시아의 금융, 경제의 허브이자 수도인 칼라룸푸르는 <그림 1>과 같이 Klang강의 급작스런 범람에 의한 홍수피해가 빈번하였고 경제발전에 따른 도심지 유동인구 및 차량 증가로 인한 교통정체도 급증하였다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 연방정부에서는 지하도로와 수로의 다목적 기능을 갖는 터널건설 프로젝트를 구상하였다.

### 도심지 홍수피해를 방지하는 똑똑한 터널

말레이시아의 수도인 칼라룸푸르에 위치한 SMART(Stormwater Management And Road Tunnel) 터널은 2003년에 착공하여 2007년에 완공되어 현재 운영 중에 있으며, “세계 10대 건설 프로젝트”로 평가되는 구조물이다.

3층의 독특한 구조인 SMART터널에는 도로와 오수로가 분리 설치되어 있다. 평상시에는 1층에는 오수가 흐르고, 2층과 3층에는 차량이 통행하는 도로로 이용되지만, 홍수 시에는 비상구로 차들을 대피시키고 전 구간을 수로 터널로 이용하여 유입된 물을 하류에 위치한 저수지(Storage Reservoir)로 흘려보낸다.

SMART 프로젝트의 총 연장 11.5km 중 터널 연장은 9.7km이며 도로터널과 겸용하는 복층구조(Double Deck)로 이루어진 다목적 수로터널(SMART Motorway Tunnel) 3.0km를 포함하고 있다.

SMART 터널은 우측 <그림 4>와 같이 홍수 정도에 따라 3단계 모드로 운영되고 있다. ‘모드 1’은 평상시 구동상태이고 ‘모드 2’는 일반적인 홍수발생 시 구동상태로서 정상적인 도로로 운영하고, ‘모드 3’은 큰 홍수발생 시 구동상태로서 터널 내 전구간이 지표수를 터널 내로 유도하여 홍수피해를 방지하고 하류측 저류시설로 우수를 운반하는 역할을 하게 된다.

주요 운영시설은 상류 임시 저류조(Holding Pond), 운반터널(Bypass Tunnel), 하류 저류조(Storage Reservoir) 등이 있으며, 상·하류 홍수 저류조를 포함한 총 저장용량은 300만 톤이며, 운반터널 내 최대 저류량은 100만 톤이다.

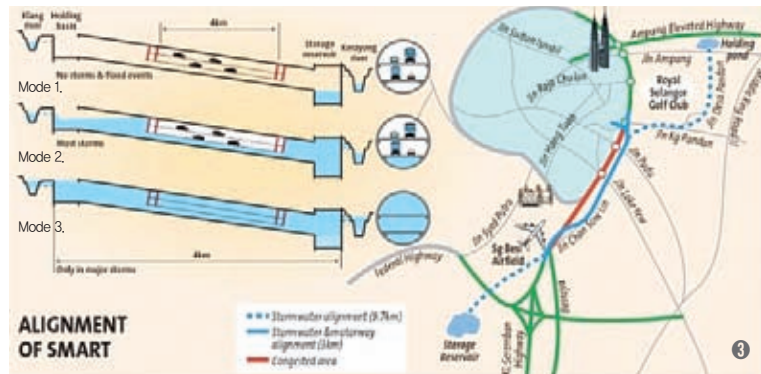
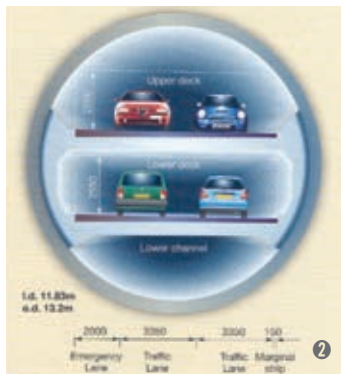
❶ 빈번한 홍수피해 사례



SMART 터널에는 차량운전자의 안전을 위한 여러 시설들을 갖추고 있다. 두 번째 운영모드 단계인 일반적인 홍수발생 시 자동으로 도로 내 지표수 유입을 차단하는 시·중점측 방수문이 자동으로 닫힌다. 터널에는 화재 시 피난계단, 연기배출 설비, 라디오 방송설비, 소방대 및 구급대, 청소차량, 공기오염 자동측정장치 등을 설치하였다.

SMART 터널은 2007년 완공 후, 운영 중 홍수발생으로 인해 교통 통제모드가 발효된 사례가 있다. 2009년 3월, Klang강과 Ampang강의 범람으로 SMART 시스템이 작동되었으며 총 70만<sup>3</sup>의 홍수량을 터널 내로 전환하여 배수하였다. 그 결과 강둑으로의 범람은 발생하지 않았으며, 이것으로 SMART 터널의 홍수예방기능이 충분히 검증되었다.

- ② SMART 터널 단면
- ③ SMART 터널 노선위치 및 운영모드
- ④ SMART Tunnel 진·출입구
- ⑤ 운영 중인 SMART Tunnel 내부 전경



## 노르웨이 요빅 올림픽 마운틴홀

노르웨이의 요빅 올림픽 마운틴홀(Gjovik Olympic Mountain Hall)은 1994년 개최된 릴레함메르 동계올림픽에서 아이스하키 경기를 위해 1993년에 건설되었다. 요빅에는 이미 1974년에 건설된 세계 최초의 지하수영장이 운영되고 있었다. 오랜 기간 지하수영장을 운영하면서 지하공간 특성상 계절적 영향을 거의 받지 않고 연중 일정한 온도를 유지함에 따라 에너지 소모를 최소화 할 수 있어 유지관리비가 적게 든다는 확신을 얻었고, 이에 따라 세계 최대의 지하 레저공간을 건설하게 되었다.

노르웨이는 우리나라와 같이 산지가 많고 지표면의 50% 이상이 암반이 노출되어 있다. 전국에 200개 이상의 지하 수력발전소가 있고, 700개 이상의 도로터널이 있다. 그리고 수많은 지하 스포츠홀과 지하 실내수영장이 있다. 이와 같이 노르웨이는 환경보호와 에너지절약을 위하여 지하공간을 적극적으로 활용하고 있다.

요빅 올림픽 마운틴홀은 아이스하키 이외에 피겨스케이팅, 컬링, 수영, 학술대회, 음악공연, 전시회 등 거의 모든 행사에 이용할 수 있도록 설계되었다. 요빅 올림픽 마운틴홀은 길이 91m, 폭 61m, 높이 25m이며 좌석수 5,100석, 전체 면적 약 15,000m<sup>2</sup>의 규모이다. 공사비는 1992년 기준 2,000만 달러가 투입되었다.

- ❶ 요빅 올림픽 마운틴홀에서의 공연모습
- ❷ 요빅 올림픽 마운틴홀에서의 아이스하키 경기



주변을 둘러싸고 있는 암반은 단단한 편마암이며 많은 지반조사 및 시추를 통하여 공학적 특성을 파악하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 안정성을 평가하였다.

설계 시 가장 중요한 요소는 화재발생 시의 안전성 확보였다. 따라서, 실내건축자재의 선정, 환기, 피난통로 등이 설계에 영향을 주는 주요 항목이었다.

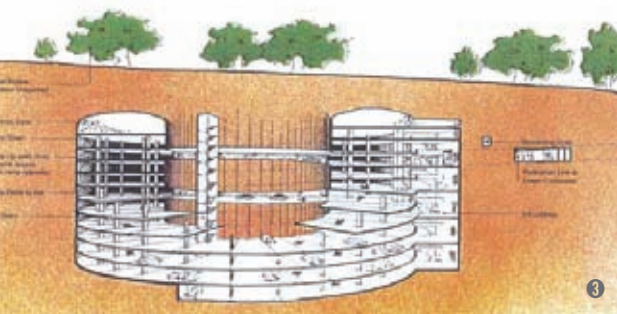
요빅 올림픽 마운틴홀은 운동선수, 방송사 관계자 등의 수많은 의견을 모아서 건물 9층에 해당하는 높이로 건설되었다. 실내 건축 디자인은 노르웨이의 동화 속에 나오는 요정인 ‘트롤(troll)’의 보물을 저장한 동굴을 연상할 수 있도록 벽면과 천장을 어두운 슛크리트로 마감하였다. 또한 부분적으로 붉은 색깔의 암반을 자연상태로 노출시켰다.

요빅 올림픽 마운틴홀은 제17회 릴레함메르 동계올림픽이 열리자 세계 각지로부터 찬사를 받았으며, 올림픽이 끝난 이후에도 각종 스포츠 행사나 전시회, 축제, 무역박람회, 학술대회 등에 활용되고 있다.

- ③ 요빅 올림픽 마운틴홀 입구
- ④ 요빅 올림픽 마운틴홀 평면도
- ⑤ 요빅 올림픽 마운틴홀 내부 투시도



- ❶ 시드니 오페라하우스와 하버브리지
- ❷ 지하주차장 입구
- ❸ 지하주차장 구조



## 시드니 오페라 하우스 지하주차장

세계 3대 미항인 시드니(Sydney)에 위치한, 세계적인 건축물이자 관광명소이며 2007년 세계문화유산으로 선정된 시드니 오페라 하우스(Sydney Opera House)는 오스트레일리아 뉴사우스웨일스 주의 주도 시드니에 있는 공연장이다. 이곳은 가장 유명하고 인상적인 20세기의 건축물 가운데 하나이자 세계에서 유명한 공연장 중의 하나이다.

시드니 오페라 하우스는 공연 관람에 관심이 없더라도 많은 관광객이 찾는 시드니의 주요 관광지 중의 하나로 손꼽힌다. 호주를 방문하는 해외 관광객 중 3분의 2는 시드니를 방문하며, 해마다 1월 1일 자정이 되면 세계에서 가장 큰 규모의 새해맞이 불꽃놀이가 시드니 오페라 하우스와 시드니 달링 하버 근처에서 벌어진다. 이 행사를 보기 위해 수만 명의 관광객들이 매년 12월 말에 시드니를 찾는다. 이와 같이 많은 관광객과 몰려드는 수많은 차량으로 인하여 발생하는 주차난은 반드시 해결해야 할 숙제였다. 마침, 오페라 하우스 가까운 위치에 국립식물원(Royal Botanical Gardens)이 있고 식물원 지표에서 수미터 하부에 양호한 퇴적암(사암)층이 분포하고 있었다. 그래서 이 지하공간을 활용하여 대규모 주차장을 건설하고자 하는 계획이 수립되었다.

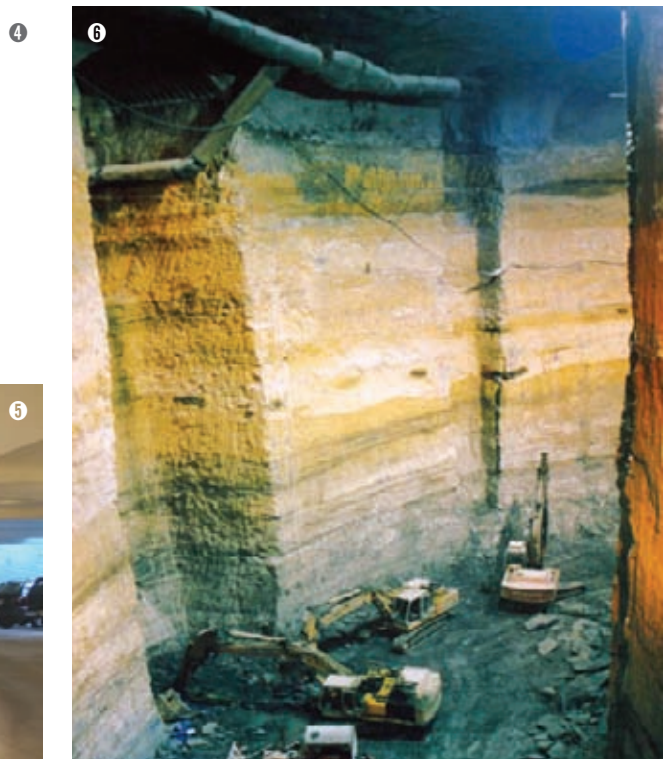
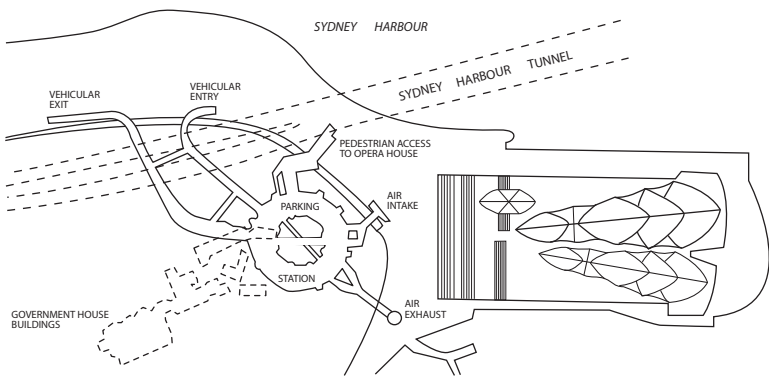
이 지하주차장은 독특한 모양과 규모를 지니고 있다. 세계 최초의 나선형 지하주차장이고 지하공간구조물을 덮고 있는 암반의 두께가 7~8m로 세계에서 가장 얇다.

주차규모는 1,100대이며 거대한 도넛모양으로 지하를 굴착하여 건설되었다. 굴착반경은 75m이고 12층으로 이루어져 있으며 내부에는 콘크리트 램프가 이중나선형구조로 건설되었다. 원활한 교통흐름을 위하여 일방으로만 진행하도록 하였으며 지상에서 진입한 차량은 지하로 내려갔다 일방향 진행을 하면 지상으로 다시 진출하도록 지하구조가 이루어져 있다. 지하주차장 설계는 공모를 통하여 이루어졌는데 이 당선된 공모안을 바탕으로 터널 엔지니어들이 지하굴착설계를 진행하였다. 지하주차장은 시드니 항에서 60m 떨어져 있고 지하주차장 바닥은 해수면으로부터 28m 아래에 위치한다.

시드니 하버터널과 연결하는 진입터널과 2.5m 떨어져 있어 주의 깊은 공사가 필요하였다. 130,000m<sup>3</sup>의 사암이 굴착되었고 12층의 콘크리트 나선형 구조물은 1992년 9월 완성되었다. 지하주차장은 1993년 3월 17일 공식적으로 영업을 시작되었다. 공사비는 당시에 4천 만 호주달러가 투입되었다.

지하주차장 내부 진출입로는 완만한 경사로 나선형으로 이루어져 있어 심야에 인근지역 청소년들이 선호하는 인라인 스케이트를 즐기는 장소이기도 하다. 이 지하주차장의 건설로 지상주차난이 상당부분 해소되었으며 상대적으로 쾌적한 도심환경 유지가 가능하게 되었다.

- ④ 지하주차장 평면개요
- ⑤ 지하주차장 내부모습
- ⑥ 지하주차장 건설모습







지속가능한

미래터널

터널과 환경에 대한

Q&A

## 지속가능한 미래터널

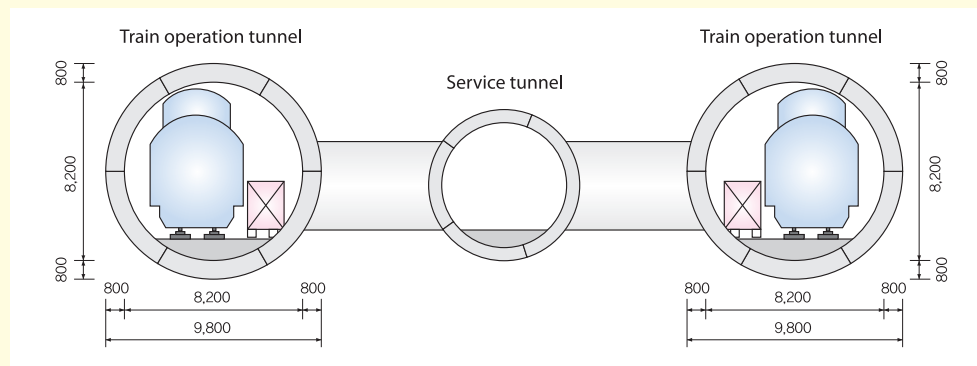
현재 우리가 알고 있는 터널은 자동차나 철도, 지하철을 타고 가다 만나는 터널이 전부라고 할 수 있다. 그러나 향후에는 사회적인 필요와 환경적 필요성에 의해 아주 다양한 터널들을 만나게 될 것이다. 다음에 소개하는 터널들은 이러한 미래 터널의 초석이 될 디딤돌이라고 할 수 있는 터널들이다.

### 굴착식 해저터널(Mined Subsea Tunnel)

#### [호남-제주 해저터널]

호남-제주 해저고속철도 계획은 호남고속철도를 연장하여 호남-제주를 연결하는 고속철도로, 육지와 제주도를 연결하는 전천후 육상교통망을 확보하여 제주지역을 고립된 도서가 아닌 국가 성장 거점으로 개발할 목적으로 계획된 터널로서, 목포-해남-보길도-추자도-제주도에 이르는 167km의 구간에 해상교량 28km와 해저터널 73km를 건설하는 계획이다.

호남-제주 해저터널의 구조는 단선병렬 터널로, 양방향 열차운행용 터널 2개와 그 가운데 서비스용 터널 1개로 구성되었다.



#### [한-중 해저터널]

동북아 지역의 통합 운송망 계획의 일부로 한중 간 주요 인구 밀집지역의 직결을 통한 여객 및 물류비용과 운송시간 절감, 한중교류 활성화 방안으로서 한중 양국 간을 연결하는 한-중 해저터널의 건설 필요성이 대두되었다.

이로 인해 350km급 고속철도망을 통해 서울~상하이 간 약 1,900km를 7시간 대로 주파할 수 있을 것으로 기대되는 한-중 해저터널이 구상되었다.

- 주요시설 : 전체연장 약 370km, 해저터널구간 약 330km



한-중 해저터널 계획노선도



인공섬 구상도

### [보령-태안 해저터널]

보령-태안 해저터널은 보령(대천)~태안(원산도)간 천수만 입구부를 횡단하여 해저로 건설되는 터널로, 바다로 인해 단절된 국도 77호선을 연결하여 서해안지역의 관광자원 개발 및 도서주민 생활 환경을 개선하기 위하여 계획되었다.



보령-태안 해저터널 위치도



보령-태안 해저터널 조감도

## 침매식 해저터널(Immersed Tunnel)

### [거제-부산 해저터널]

국내 최초의 침매식 해저터널인 거제-부산 해저터널은 약 3시간 30분이 소요되는 거제~부산 생활권을 40분 내외로 단축하는 광역도로망을 구축하였다.

대전~통영 간, 대구~부산 간 고속도로를 연결하여 남해·경부고속도로의 교통량 분산으로 국가 기간도로망의 교통여건을 완화하였다.

- 주요시설 : 침매터널 3.7km(최대수심 48m), 육상터널 1.0km, 사장교 3.5km



거제-부산간 연결도로 조감도



침매터널 조감도



침매함 침설 전경

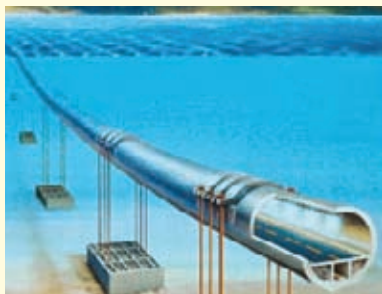
## 부유식 해저터널(Submerged Floating Tunnel)

부유식 해저터널은 굴착식이나 침매식과 달리 지형적 제한이 적고 육상 교통체계와의 연결이 자유로운 방식으로 부유터널은 부유방식에 따라 그림과 같은 세 가지 형태로 구성된다.

현재는 대서양 횡단터널, 노르웨이 트론하임 해저터널과 캐나다 밴쿠버섬 연결터널 등의 구상 및 기술개발이 진행 중이다.



부력식 해저터널



현수식 해저터널



교량식 해저터널



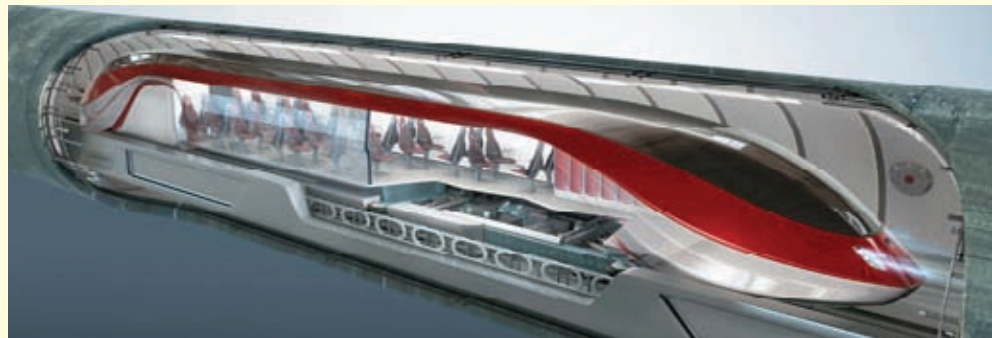
대서양 횡단터널의 부유터널 구상도

## 진공터널(Vacuum Tunnel)

장거리 여행수단으로 과거에는 철도가 애용되었으나 19세기 이후에는 항공기가 애용되었다. 이러한 장거리 여행의 주요 관건은 장거리 여행에 따른 피로를 줄일 수 있는 안락함과 신속함이다.

현재까지 이에 부합하는 여행수단은 항공이었으나 최근 고속철도의 발달로 철도이용이 일부 증가하고 있는 상황이며, 이러한 상황을 더욱 가속화 할 수 있는 수단으로 '진공터널 열차'라는 신무기가 있다.

진공터널 기술은 현재 중국과 미국 등에서 연구에 박차를 가하고 있으며 국내에서도 최근 진공터널 열차 개발을 목표로 연구 중인데, 진공터널의 이점은 자기부상열차 기술과 접목되어 공기저항의 제거와 레일 마찰을 제거함으로써 초고속의 안락한 여행환경을 제공할 수 있다는 점이다.



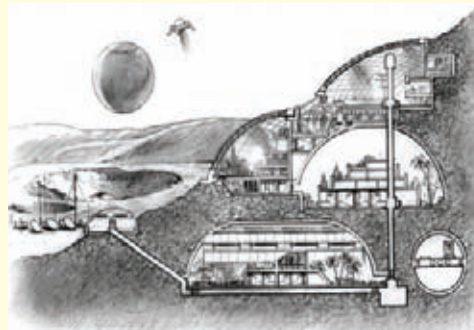
캡슐형 진공열차 조감도

## 우주(달) 기지 개발을 위한 터널(Space Tunnel)

2025년 경 NASA를 비롯한 선진국에서는 달 탐사를 위한 전초기지 건설을 계획하고 있었다. 이를 위한 최적의 위치로 달에 존재하는 동굴 및 용암굴을 거론하고 있는데, 달의 극한 환경을 극복하기 위하여 동굴 및 용암굴 속에 지하구조물로 기지를 건설하는 것이 최적의 대안으로 떠오르고 있다.



달 탐사 전초기지 조감도



달 탐사 지하 전초기지 개념도

## 태풍에 의한 홍수 방지용 배수터널(Stormwater Tunnel)

기후변화에 따른 집중호우는 도시의 배수시설 용량을 넘어서 도심지 주택침수를 일으키고 있으며, 이로 인해 도시의 안전을 위협하는 수준으로 발전하고 있다. 이에 따라 일본 및 일부 국가에서는 기후변화에 따른 도시의 안전 수준 강화를 위해 지하배수터널을 계획 또는 건설하고 있다. 일본 도쿄 외곽에는 인근 치바현과 사이타마현을 흐르는 나카천의 범람에 대비하여 도쿄 외곽에 약 6,300m의 배수터널과 폭 78m, 높이 18m 축구장 2개 규모의 지하수조를 건설하였다.

국내에서도 최근 광화문 일대의 침수사태에 대한 장기적 대비를 위해 광화문 광장 하부에 빗물배수터널을 계획하고 있다.



지하방수로 개념도



일본 동경 지하방수로

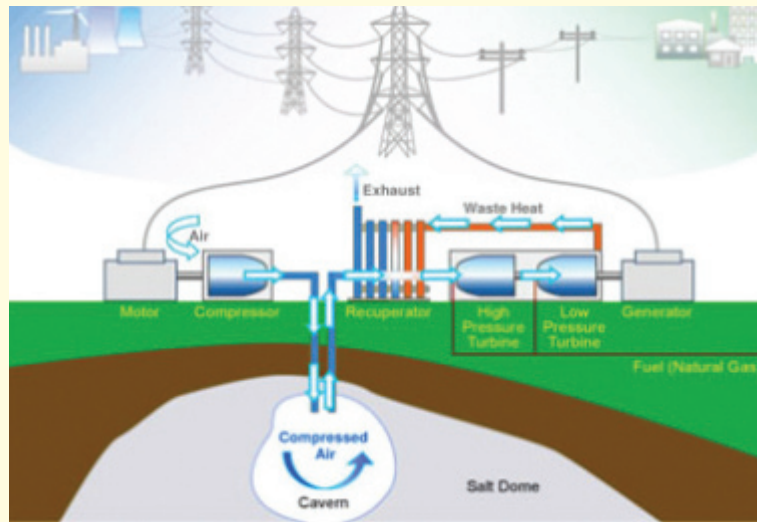


지하방수로 유출입구

## 압축공기 저장터널(Compressed Air Storage Tunnel)

친환경 에너지 활용방안으로 잉여전력을 활용한 압축공기 생성과 저장 및 이를 발전시설에 활용하기 위한 압축가스 저장방식이 개발되고 있다.

압축공기 저장방식은 태양광이나 풍력 등 기후조건에 영향을 받는 친환경 재생에너지에 비해 안정적인 에너지 공급이 가능한 이점이 있어 새로운 친환경 에너지 활용방안으로 떠오르고 있다.



지하 압축공기 저장시설 구성

## 터널과 환경에 대한 Q & A

**Q** 터널이 생기면 지하수가 고갈되어 산의 나무가 죽는다?

**A** **터널이** 생기면 터널 내로 지하수가 들어오는 것은 도심지나 산악지나 자연스러운 현상입니다. 터널이 굴착되는 암반에 갈라진 절리가 많을 경우에는 지하수가 많이 들어오지만 터널이 깊을수록 암반에는 갈라진 절리가 많지 않기 때문에 지하수는 암반을 통과하기가 어려워 지하수가 거의 들어오지 않습니다. 그렇기 때문에 산악터널에 비해 깊이가 얕은 지하철 터널에서 지하수가 더 많이 들어옵니다. 지하철의 경우에는 지하수를 모아서 정거장 내 청소수나 화장실용수로 재사용하고, 분당선의 경우에는 여름에 양재천에 있는 물놀이장의 용수로도 활용하고 있습니다.

우리나라에서는 서울을 비롯하여 부산, 대구, 인천, 광주, 대전에서 2011년 현재까지 수백 킬로미터의 지하철을 건설해 왔고 이 중 절반 이상이 터널입니다. 그럼에도 불구하고 지하철 노선 주변의 가로수가 말라 죽었다는 보고는 없었습니다. 하물며 깊은 심도에 있는 산악지 터널에서는 자연적 강우에 의한 지하수 공급량에 비해 터널로 들어오는 지하수 유입량은 매우 미미합니다. 도로 주행 중에 터널입구부 위에서 잘 자라고 있는 나무들을 보면 알 수 있습니다. 이것은 터널을 통한 지하수 유입량이 적기 때문이기도 하지만, 기본적으로 식물이 뿌리를 내리고 있는 토양에서 흐르는 토양수와 암반층을 흐르는 암반수는 서로 구분되어 존재하기 때문입니다.

### Q 도로터널 환기구는 공장 굴뚝처럼 대기를 오염시킨다?

**A 장대도로터널에는** 환기구가 있습니다. 철도터널에 비해 도로터널은 차량에서 매연이 발생하기 때문에 터널연장이 3~5km 이상이 되면 환기구가 필요합니다. 물론 환기구에서 배출되는 공기질은 일반 공기에 비해 오염농도가 높습니다. 오염물질로는 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 분진(PM-10) 등이 있으나, 중금속이나 타르 등과 같은 치명적 물질은 아닙니다. 왜냐하면 자동차 매연은 유독성, 중금속 물질이 배출되지 않도록 제조과정에서 환경적 제약을 받기 때문입니다.

터널 내 공기질 오염농도는 운전자의 위생과 건강을 고려하여 법적 허용치가 제한되어 있기 때문에 환기구를 통해 배출되는 공기의 오염농도는 일반 공장의 배기가스에 비해 극도로 낮습니다. 더구나 이러한 오염공기는 초속 10m로 상공에 배출되어 고공에서 분산되기 때문에 급격하게 농도가 낮아집니다. 우리가 도로주변에서 주거하고 일상생활을 영위하는 것은 차량의 매연이 대기에 충분히 희석되어 건강에 위협이 되지 않기 때문입니다.

따라서, 도로터널 환기구는 터널 내 주행차량의 매연을 모아서 대기 중에 다시 확산하는 역할을 합니다. 즉, 도로터널 환기구에서 배출되는 오염공기는 치명적 유해성분이 없고 오염농도가 낮으며 신속하게 확산되기 때문에 공장 굴뚝과는 확연하게 구별됩니다. 그러나 환기구와 주거지가 너무 가까이 위치하게 되면 오염된 공기가 확산되기 전에 주거지에 도달하므로 인체에 영향을 줄 수 있습니다. 따라서 환기구는 가능한 한 주거지와 충분히 먼 곳에 위치시키고 필요한 경우 매연을 정화 처리하는 시설을 설치하여 오염농도를 낮춘 후 배출하기도 합니다.

## Q 터널은 운전하기 위험하다?

**A** “어두운 터널을 지나.....”와 같은 표현처럼 터널은 어둡다는 이미지가 있어서인지 일반 운전자들이 선호하지 않는 경향이 있습니다. 다양한 외부 환경에 비해 내부 환경이 단조로운 것은 사실이지요. 그렇지만, 안전측면에서 터널은 운전자에게 가장 안전한 도로입니다. 특히 폭우, 폭설, 안개, 강풍 그리고 노면결빙과 같은 악천후의 영향을 거의 받지 않는 터널은 강풍의 바다를 건너고 험준한 산을 통과하기에는 가장 안전한 길입니다.

바다 위 교량이나 협곡의 교량을 지나다 보면 강한 바람에 차가 흔들리는 경험을 한 적이 있을 것입니다. 장마철에는 비탈면이 무너져 도로가 막히거나 지나가던 자동차가 흠에 묻히는 사고가 발생했다는 것이 해마다 뉴스시간에 자주 소개됩니다. 그러나 터널은 이런 악천후에 거의 영향을 받지 않습니다.

북유럽의 노르웨이는 길고 추운 겨울과 암벽해안선인 피요르드로 유명합니다. 이 나라는 세계에서 가장 긴 도로터널이 운영되고 있는데, 터널을 선호하는 이유는 폭설과 노면결빙에 안전하기 때문이라고 합니다. 그러데 터널을 통과 한 후 터널 반대편의 기후는 터널 내부와 달리 폭우, 폭설, 안개, 강풍 그리고 노면결빙의 위험이 있으므로 터널에서 밖으로 나올 때는 속도를 줄여서 나오는 것이 안전합니다.

이제 터널을 지날 때는 편안한 마음을 가지세요. 터널은 위험하지 않고 오히려 가장 안전하게 여러분의 드라이빙을 지켜줍니다.

### Q 땅속의 터널은 지진에 안전한가요?

**A 구조물** 중 터널은 지진에 대해 가장 안전한 시설입니다. 실제로 수많은 대지진이 발생한 일본에서는 내진설계에도 불구하고 교량이나 건물의 피해가 많지만, 터널의 피해는 극히 일부에 불과합니다. 이러한 사실로부터 땅속에 있는 터널은 지진으로부터 피해를 거의 받지 않음을 알 수 있습니다. 그 이유는 몇 가지가 있습니다. 지진파는 지표면에 가까울수록 커지는 특징이 있기 때문에 상대적으로 땅속에서는 지진파의 영향이 작습니다. 또한, 터널 구조물은 자체중량이 작고 주변 지반이 붙들고 있기 때문에 지진에 의한 진동에 대해 견고합니다. 반면에 지상의 건물이나 교량은 공기 중에 노출되어 지진발생 시 진동에 의해 심하게 흔들려 손상을 입게 됩니다. 혹시 일본과 같이 지진이 많이 발생하는 나라를 여행하는 중에 산지에서 지진이 발생하면 낙석이나 산사태를 피해 터널 깊은 곳으로 대피하세요. 터널이 지진에 가장 안전합니다.

### Q 왜 선진국에서는 고가도로 보다 지하도로를 선호하나요?

**A 고가도로에서** 발생하는 소음으로 인한 주변 주민의 민원으로 방음터널이 설치되는 경우가 많습니다. 방음터널은 설치를 위하여 추가비용이 소요되고 고가도로의 경관을 훼손시키기도 합니다. 반면 고가도로에 비해 지하도로는 교통소음이 완벽히 차단되고 도시경관에 영향을 미치지 않으며 지상공간을 차지하지 않습니다. 이러한 이유로 선진국에서는 도시미관 훼손, 교통소음, 그리고 지역사회 단절 등의 문제로 인해 고가도로를 점차 철거하고 지하도로로 변경하고 있는 추세입니다.

파리에서는 A86도로로 명명된 도시순환 지하도로를 운영하고 있으며, 미국의 보스턴에서는 대규모 빅딕 프로젝트를 수행하여 고가도로를 철거하고 지하도로를 건설한 사례가 있습니다. 우리나라에서도 서울시에서는 청계고가도로, 삼일고가도로, 삼각지고가도로를 철거하여 도시환경을 개선하려는 노력을 하였고, 대심도 지하도로 프로젝트인 U-Smart Way를 추진 중에 있습니다. 또한, 신설도로 건설 시에 고가도로 건설은 가능한 한 허가하지 않고 있는 실정입니다.

## ● ● ● 에필로그

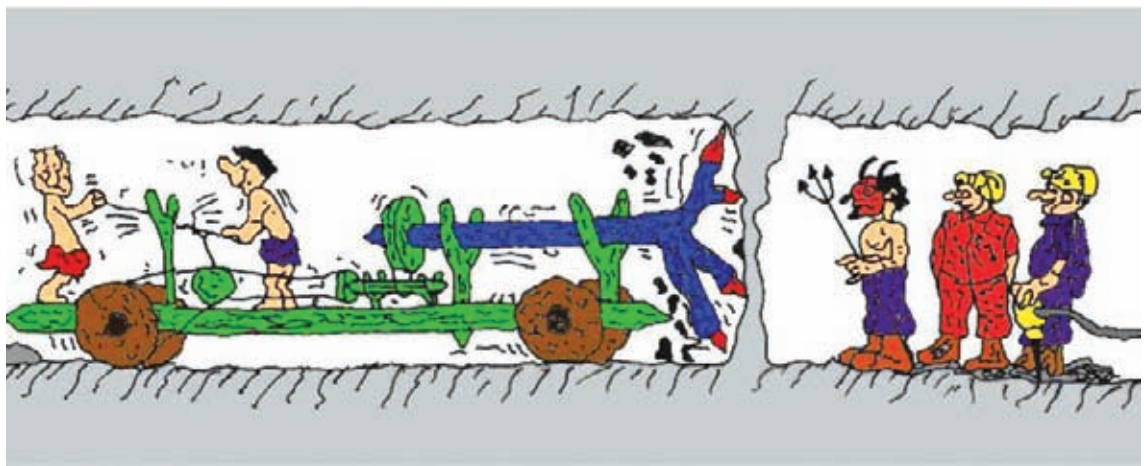
21세기를 전후로 우리나라는 고속도로와 고속철도 시대를 맞으면서 험준한 산악을 우회하지 않고 곧바로 통과하기 위해 터널의 적용이 크게 증가하였습니다.

2000년대 초반 원효터널의 도롱뇽 소송으로 비롯된 지하수저하에 의한 생태계 영향여부는 터널과 환경의 문제로 새롭게 대두되었습니다. 지하 수백 미터의 깊은 터널로 지하수가 유입되어 지하수위가 저하되면 지상 생태계가 영향을 받을 것인가? 많은 사회적 논란이 있었고 다른 터널현장에서도 유사한 문제가 제기되어 환경영향평가 시 지하수위 저하에 대한 영향평가가 강화되는 계기가 되었습니다. 그러나 많은 우려에도 불구하고 본 책자에서 소개된 많은 사례와 같이 터널에 의한 지상 생태계의 훼손은 거의 발생하지 않았습니다.

이러한 환경에 대한 관심은 선진국이 겪었던 과정과 같지만, 우리나라는 상대적으로 짧은 시간에 많은 터널을 건설하면서 사회적 논란이 더 컸던 것으로 생각됩니다. 이미 터널과 환경에 대한 문제를 경험한 국가들에서는 터널이야말로 가장 친환경적인 시설물이라는 것이 보편적 사실이기 때문에 자연환경 보존지역은 장대터널이 우선적으로 적용되고 있습니다.

자연환경에 대한 인식과 더불어 생활환경에 대한 인식도 증가하고 있습니다. 본문의 외국사례에 의하면 도심 생활환경을 개선하기 위해 하수처리시설, 지하경기장, 도심도 지하주차장, 집중호우 대비 시설들이 건설되고 있습니다. 최근 집중호우에 의한 광화문로 침수, 강남도심 침수와 같은 자연재해에 대한 생활환경을 보호하기 위해 지하저류시설과 배수시설의 건설이 필요할 것입니다. 또한, 과밀한 우리나라 대도시의 공간부족 문제를 해결하기 위해서는 초고층건물도 방안이 되겠지만, 사회기반시설의 지하공간 수용도 훌륭한 대안이 될 것입니다.

지하는 태풍, 지진, 폭염, 폭한과 같은 자연재해에 강하고 소음, 진동이 완전히 차단되며 냉난방 에너지가 절감되는 등의 많은 장점이 있습니다. 터널과 지하공간의 합리적인 활용은 자연환경과 생활환경을 보존하고 지속가능하게 향상시키는 우리의 효과적인 수단이 되어왔고 앞으로도 그럴 것입니다.



# Green with Tunnel

사람과 자연을 위한 터널과 지하공간



사단  
법인 **한국터널지하공간학회**  
Korean Tunnelling and Underground Space Association