



# 지하유류비축과 폐기물지층처분

서울대학교 에너지자원공학과

암반공학연구실

전 석 원

sjeon@snu.ac.kr



## 이야기 순서

- 영화 "The Core"
- 구조물의 안정성
- 지하 구조물의 안정성
- 국내외 지하공간 소개  
(비축 및 처분 시설을 중심으로)

Rock  
Mechanics  
and  
Rock  
Engineering  
Laboratory

Seoul  
National  
University

San 56-1  
Shilim-dong  
Gwanak-gu  
Seoul, 151-744  
Korea  
Tel: 2-880-8807  
Fax: 2-871-6038  
csl@rock.snu.ac.kr

□ 영화 "The Core"

3

피할 수 없다면 막아야 한다!  
임무는 오직 하나, 멈춰진 지구를 움직여라!

THE CORE  
THE ONLY WAY OUT IS IN

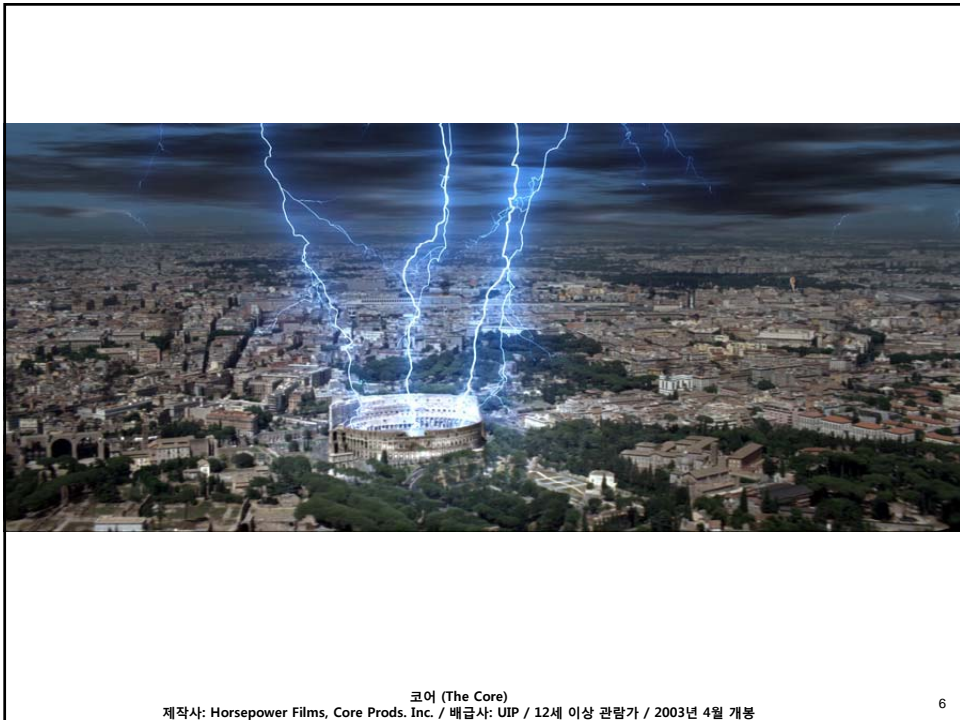
코어 (The Core)  
4월18일, 마침내 그들이 움직인다!  
<http://core.moviat.com>

제작사: Horsepower Films, Core Prods. Inc. / 배급사: UIP / 12세 이상 관람가 / 2003년 4월 개봉

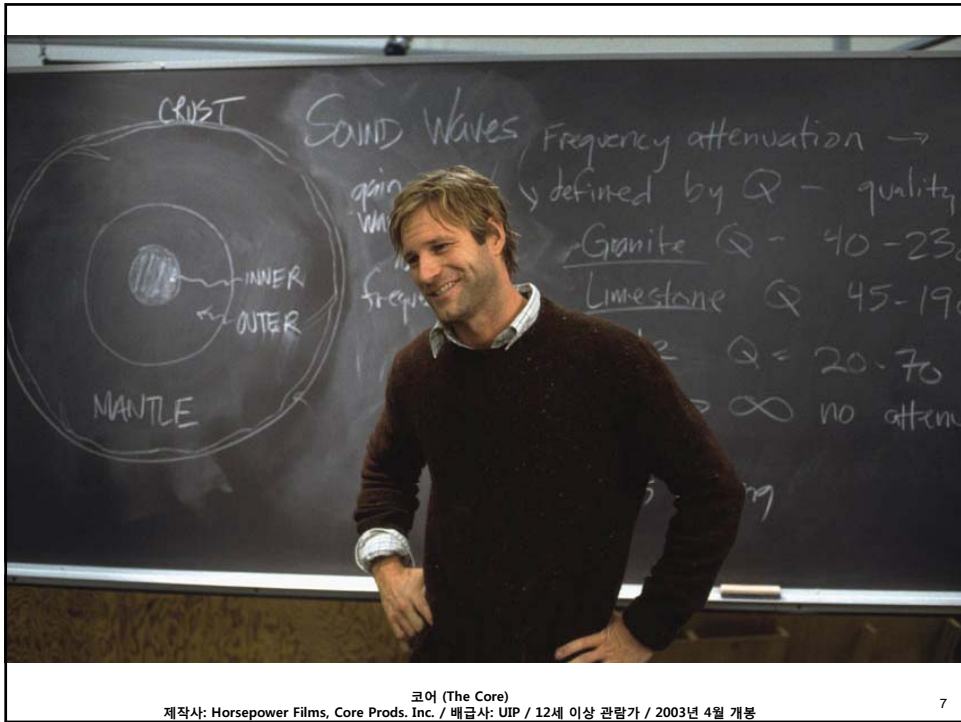
4



코어 (The Core)  
제작사: Horsepower Films, Core Prods. Inc. / 배급사: UIP / 12세 이상 관람가 / 2003년 4월 개봉



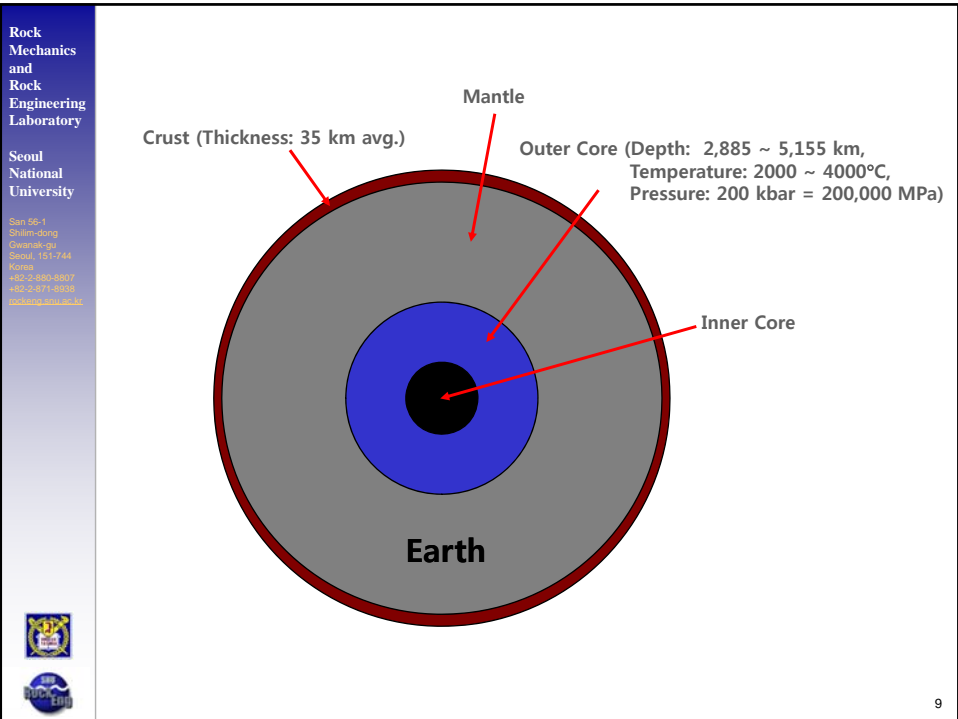
코어 (The Core)  
제작사: Horsepower Films, Core Prods. Inc. / 배급사: UIP / 12세 이상 관람가 / 2003년 4월 개봉



코어 (The Core)  
 제작사: Horsepower Films, Core Prods. Inc. / 배급사: UIP / 12세 이상 관람가 / 2003년 4월 개봉



코어 (The Core)  
 제작사: Horsepower Films, Core Prods. Inc. / 배급사: UIP / 12세 이상 관람가 / 2003년 4월 개봉




Rock Mechanics and Rock Engineering Laboratory

Seoul National University

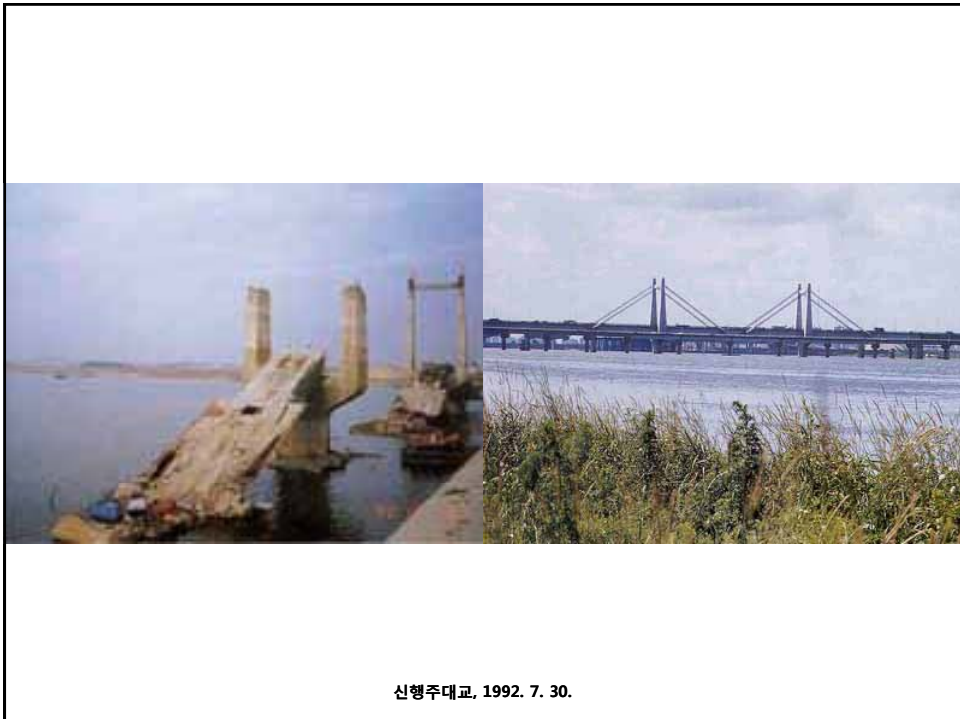
San 56-1  
Shilim-dong  
Gwanak-gu  
Seoul, 151-744  
Korea  
+82-2-880-8807  
+82-2-871-6038  
oak@plaza.snu.ac.kr

□ 구조물의 안정성

11





신형주대교, 1992. 7. 30.



성수대교, 1994. 10. 21.



삼풍백화점, 1995. 6. 29.



부산신항방파제, 2001. 9. 11.



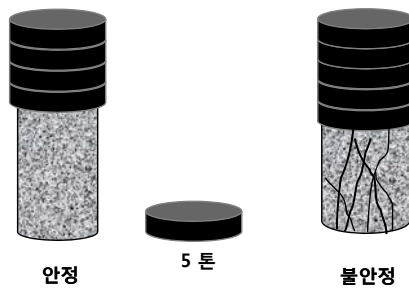


## 구조물의 안정성

형태를 가지고 있는 물체가 외부에서 오는 힘에 견디어 형태를 유지하며 부서지지 않고 존재할 수 있는 능력



### 예) 압축 (누름)



**Rock Mechanics and Rock Engineering Laboratory**  
**Seoul National University**  
 San 56-1  
 Shilim-dong  
 Gwanak-gu  
 Seoul, 151-744  
 Korea  
 +82-2-880-8807  
 +82-2-871-8938  
[rocklab.snu.ac.kr](http://rocklab.snu.ac.kr)

**예) 압축 (누름) - 일반비디오 카메라 촬영 동영상 자료**



19

**Rock Mechanics and Rock Engineering Laboratory**  
**Seoul National University**  
 San 56-1  
 Shilim-dong  
 Gwanak-gu  
 Seoul, 151-744  
 Korea  
 +82-2-880-8807  
 +82-2-871-8938  
[rocklab.snu.ac.kr](http://rocklab.snu.ac.kr)

**예) 압축 (누름) - 고속카메라 촬영 동영상 자료 (1,500 frame/sec)**



**암석의 변형 및 파괴특성:** 암석은 강도와 탄성계수가 큰 취성재료로 외부하중에 의하여 가해진 에너지가 적은 양의 변형을 발생시키며 시료 내에 축적되었다가, 균열의 성장 및 연결로 일순간 방출되어 폭발적인 형태의 파괴를 보임.

20

예) 구조물 해체발파 - 대전 중앙데파트 해체 발파 (일반 비디오카메라 촬영 동영상 자료)



국내 발파해체 시장 규모는 급속히 증가하고 있으며, 구조물의 취약 지점을 선택 및 화약 장전하여 시차를 두고 발파하여 중력에 의하여 전체적인 구조물의 해체를 유도하는 공법을 사용함으로써 공기를 단축하고 전체적인 환경 유해 발생량을 감소시킬 수 있음.

## 구조물의 안정성?

안정: 구조물이 견딜 수 있는 힘의 크기 > 외부에서 작용하는 힘

불안정: 구조물이 견딜 수 있는 힘의 크기 < 외부에서 작용하는 힘

**예) 자동차의 설계**

구조물의 전반적인 형상을 결정

외부 하중(응력)을 계산



- 승객 무게
- 엔진 및 차체 무게
- 공기저항, 등

하중(응력)을 견딜 수 있는 재료를 선정

각 부속품 혹은 전체 구조의  
구체적 형상 결정 및 응력 해석

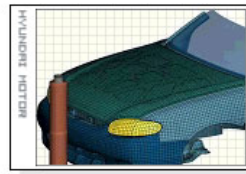


그림 4 Lower Legform Test



**예) 구조물과 외력의 형태**

**자동차**

재료: 철판, 고무, 유리, 등

외력: 구동력, 공기저항, 지면과의 마찰, 등

**고층건물**

재료: 콘크리트, 벽돌, 유리, 철근, 철재빔, 등

외력: 건물하중, 배관무게 (상하수도, 전기, 공조, 등), 바람, 등





## □ 지하 구조물의 안정성



### 지하 구조물의 종류

- 교통시설: 지하철, 도로터널, 철도터널, 등
- 저장시설: 원유저장탱크, 액화가스저장탱크, 냉동창고, 방사성폐기물처분장, 등
- 위락시설: 수영장, 스케이트장, 등
- 기타: 수력발전소 발전실, 하수처리장, 화장터, 쓰레기소각장, 등

### 지하구조물을 구성하는 재료

흙, 암반

### 지하구조물에 작용하는 외부로부터의 힘

상부 흙 (암반)의 무게, 지체력 (대륙이 이동하는 힘)

Rock Mechanics and Rock Engineering Laboratory  
 Seoul National University  
 San 56-1, Shinlim-dong, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Korea  
 Tel: 2-880-8807, Fax: 2-871-8938, [snk.snu.ac.kr](http://snk.snu.ac.kr)

예) 외부에서 작용하는 힘

공기 중의 풍선 (Air bubbles in air)  
 지표면 (Ground surface)  
 수면 (Water surface)  
 물 속의 풍선 (Bubbles in water)

27

Rock Mechanics and Rock Engineering Laboratory  
 Seoul National University  
 San 56-1, Shinlim-dong, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Korea  
 Tel: 2-880-8807, Fax: 2-871-8938, [snk.snu.ac.kr](http://snk.snu.ac.kr)

예) 외부에서 작용하는 힘

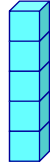
고도 (Elevation)  
 수심 (Depth)  
 공기 중 (Air)  
 물 속 (Water)  
 풍선의 부피 (Volume of bubble)  
 힘 (압력) (Force (Pressure))  
 기울기의 차이: 비중의 차이 (Difference in slope: difference in specific gravity)

28



예) 외부에서 작용하는 힘

물 속



1 g/cm<sup>3</sup>

땅 속



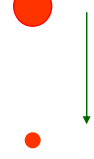
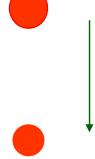
2.7 g/cm<sup>3</sup>

수면

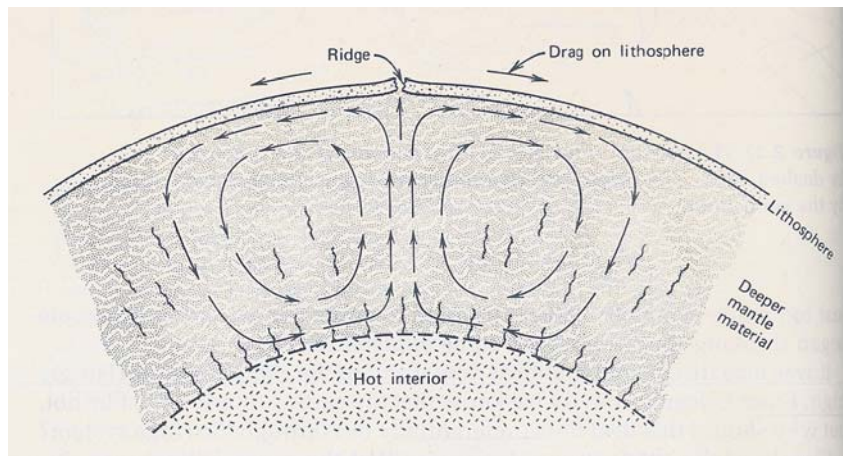
지표면

물

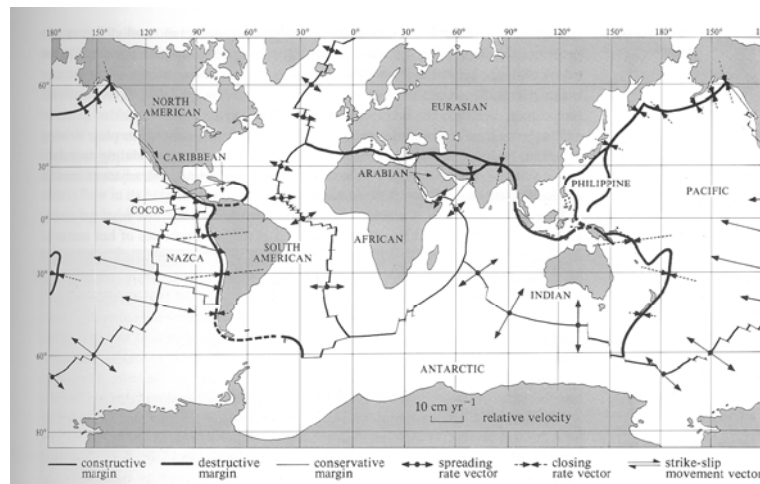
모래



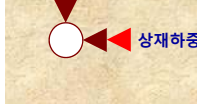
예) 외부에서 작용하는 힘



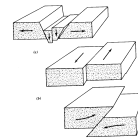
예) 외부에서 작용하는 힘



상재하중 (상부 흙이 누르는 힘)



상재하중 + 지체력 (대륙이 이동하는 힘)



요약

일반구조물 (빌딩, 자동차, 등)

- 외부로부터의 힘과 힘에 대한 지지 능력을 비교
- 외부로부터의 힘을 결정하기 쉽다.
- 외부로부터의 힘에 견딜 수 있는 재료를 선택할 수 있다.

지하구조물 (터널, 지하 저장 탱크, 등)

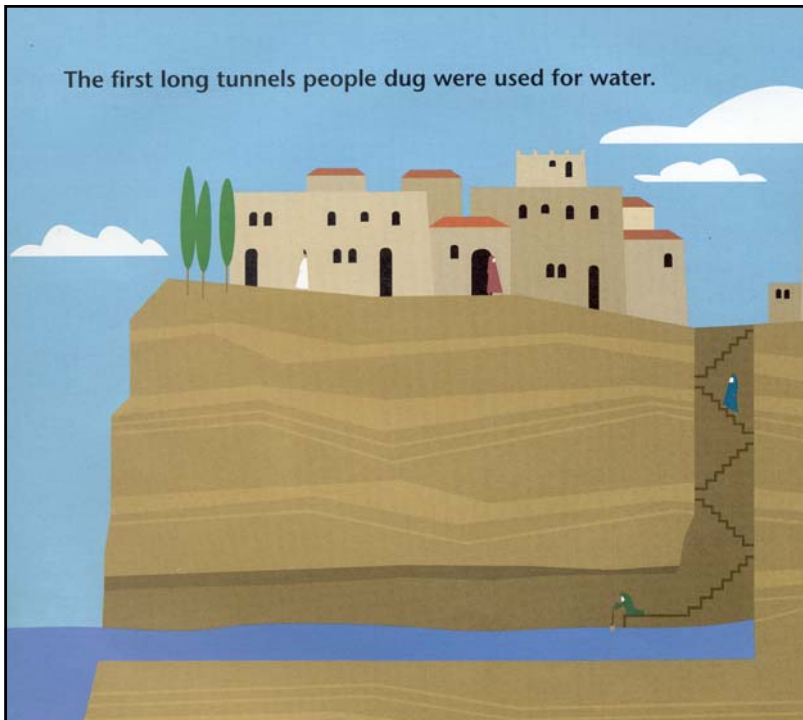
- 외부로부터의 힘과 힘에 대한 지지 능력을 비교
- 외부로부터의 힘을 결정하기 어렵다.
- 외부로부터의 힘에 견딜 수 있는 재료를 선택할 수 없다. (위치를 선택)





## □ 국내외 지하구조물 소개

The first long tunnels people dug were used for water.



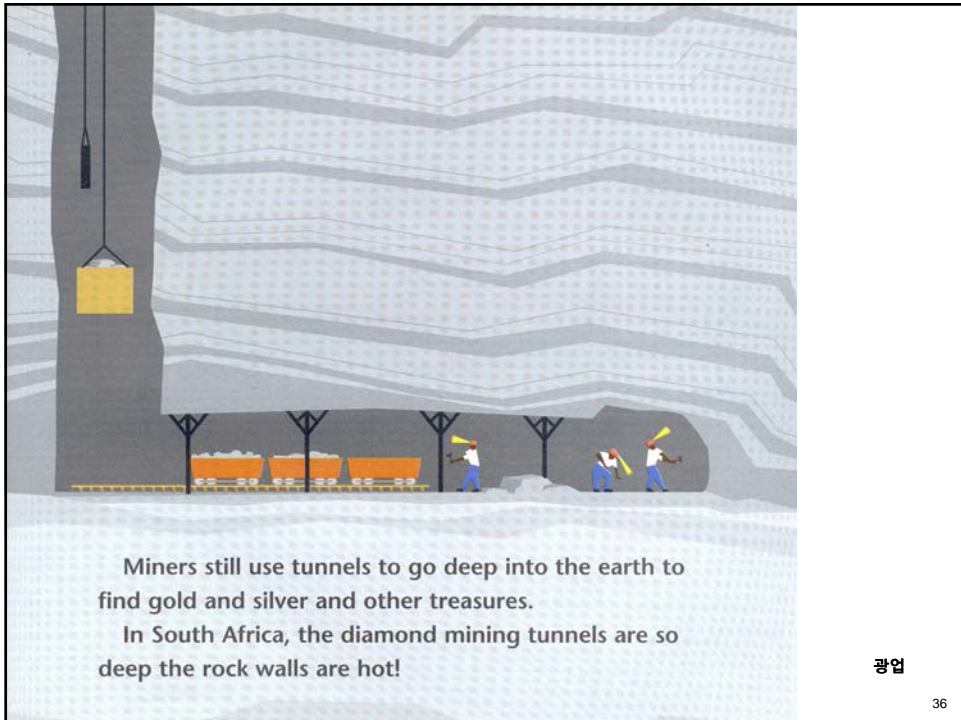
지하수 이용



Then warriors dug tunnels under castle walls to sneak inside.

군사 목적

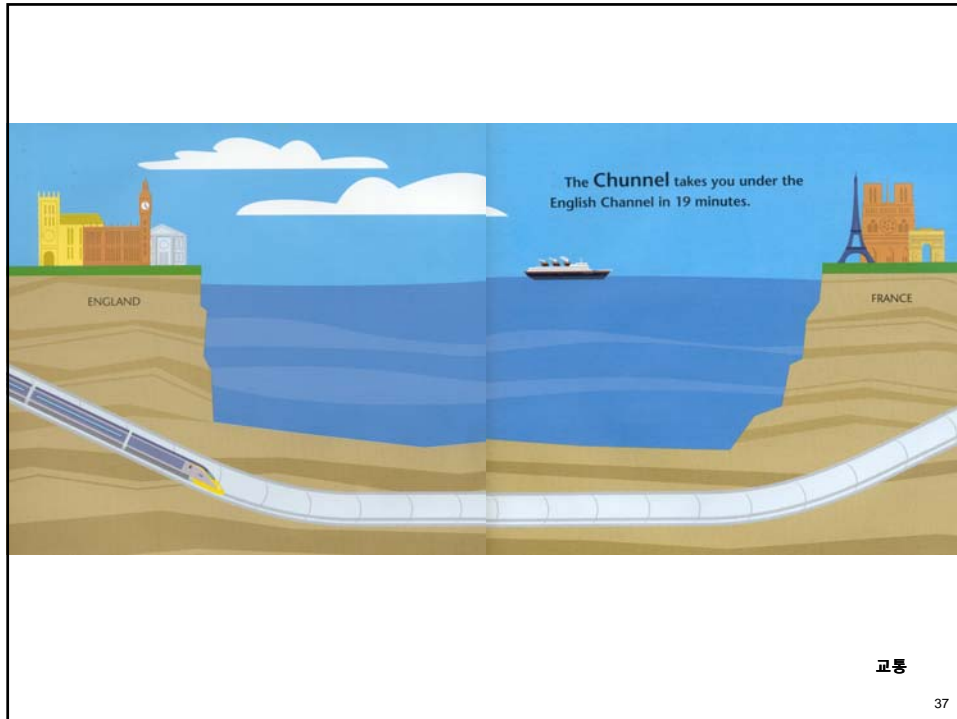
35



Miners still use tunnels to go deep into the earth to find gold and silver and other treasures.  
In South Africa, the diamond mining tunnels are so deep the rock walls are hot!

광업

36



교통

표 1.1 지하특성 및 활용이 기대되는 유리한 점

지하특성	활용이 기대되는 유리한 점
단열성, 방음성	지하는 지반이 깊고 있는 큰 열용량 때문에 일년일교차가 공중보다 낮다. 지하공간의 열부하는 이론적으로 지상의 1/5 ~ 1/10 정도이며, 지중온도는 지표에서 5m 정도의 깊이이면 지표기온변동에 따른 온도변화가 거의 없는 안정한 상태가 된다.
진동과 지반의 차단성	진동파는 일반적으로 원기반동음이 낮은 암반 속에서는 감쇠가 되고, 주파수가 높을수록(해당파의) 흡수율이 높고, 그 결과로 원기반동음이 낮아진다.
차음성 (음향차단)	지하공간은 암반에 의해 열림이 차단되므로 지진에 의한 피해가 방지되는 한편, 음질의 지상 보강에 적합하다.
방사능 차단성	지반 중에 존재하는 방사능 물질은 방사능, 지하수 흐름 또는 모세관 물 등에 의하여 지반 속을 이동하지만 대기 중이 비하여 이동속도가 극히 느리다. 더욱이 암반의 흡수력이 강한 지반에도 있다. 따라서 지반 중에 존재하는 방사능 물질이 지상에 도달하는 데에는 장시간이 걸리며 그 사이에 강도가 크게 약화되므로 지하공간은 방사능 물질의 저장처리에 적합하다.
기밀성 (氣密性)	방출에 존재하는 기체는 암석에 의해 흡수되거나 흡입을 막아 지하 공간 유입이나 유출은 대기 중에 비해 극히 작고 지하수가 있는 경우는 더욱 그러하다.
불연성, 방화성	지반은 타는 일이 없으며 지하공간에 건설된 구조물 상토층의 화재가 확산되는 것을 막을 수 있다. 따라서 지하공간은 가연성 물질이나 휘발성 물질을 보관하는 데 적합하다.
방폭성	암반은 큰 강도와 중량을 갖고 있어 폭발에 의한 충격에 대해 안전성을 확보할 수 있다. 예컨대 방폭을 대피시설(shotter)의 내입기층은 최대 5kg이며 지하 암반의 대피시설은 지상보다도 이런 기준을 보다 쉽게 충족시킬 수 있다.
방진성 (防震性)	상부의 건조한 암반에서 건설된 구조물 기초는 지표 부근의 모질 지반에 건설된 기초에 비하여 지진, 원동 등의 피해를 덜 입을 수 있는 장점을 갖는다. 이는 지하 암반에 있는 높은 강성(剛性)에 기인한다.
방진동성	충격이 지반을 전달 때의 부피 손실은 공기보다도 크기 때문에 소리는 지상보다 전달되기 어렵다. 이 성질을 이용하여 지하공간은 방음성을 높일 수 있고 미소음 유입의 변화까지도 정제가 될 수 있는 진동분석 방음성이나 소음방음이 큰 시설을 지하에 건설할 수 있다.
방음성	대부분의 암석은 화학적으로 안정된 광물질 화합물을 주로 하는 규산염 또는 실icate 계열이므로 중성이나 강알칼리에서 반응은 상당히 완만하다. 따라서 반응결과가 암석표면에서 내부에 이르기까지는 많은 시간을 요한다.
내후성 (耐腐蝕性)	복합-강물의 영향을 받지 않고 안정성이 있으므로 지표의 온도 변화에 의한 냉해 등의 악영향을 피할 수 있다. 열대지방이나 태평양 수온 지방에서 지하구조가 발달한 것은 이 내열성에 의한 것으로 볼 수 있다.
방수성	지상보다 깊숙이 한정되므로 염분의 침입을 방지할 수 있다. 또한 지하수나 지표의 유입을 막는 것도 용이하다.

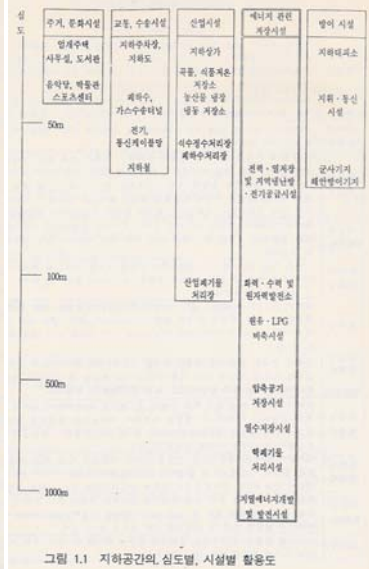
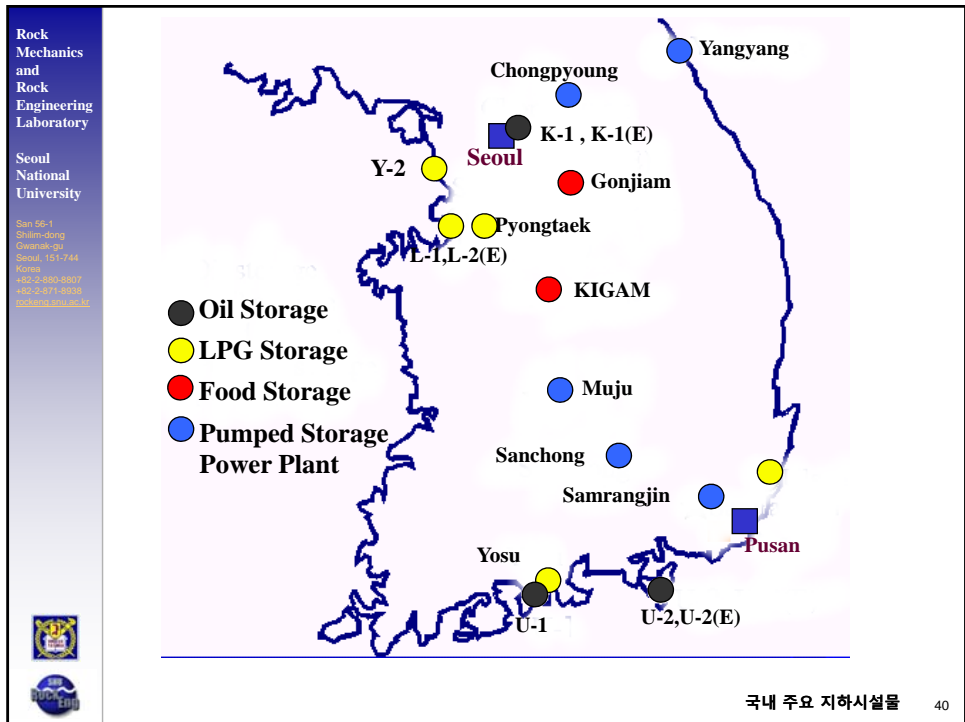
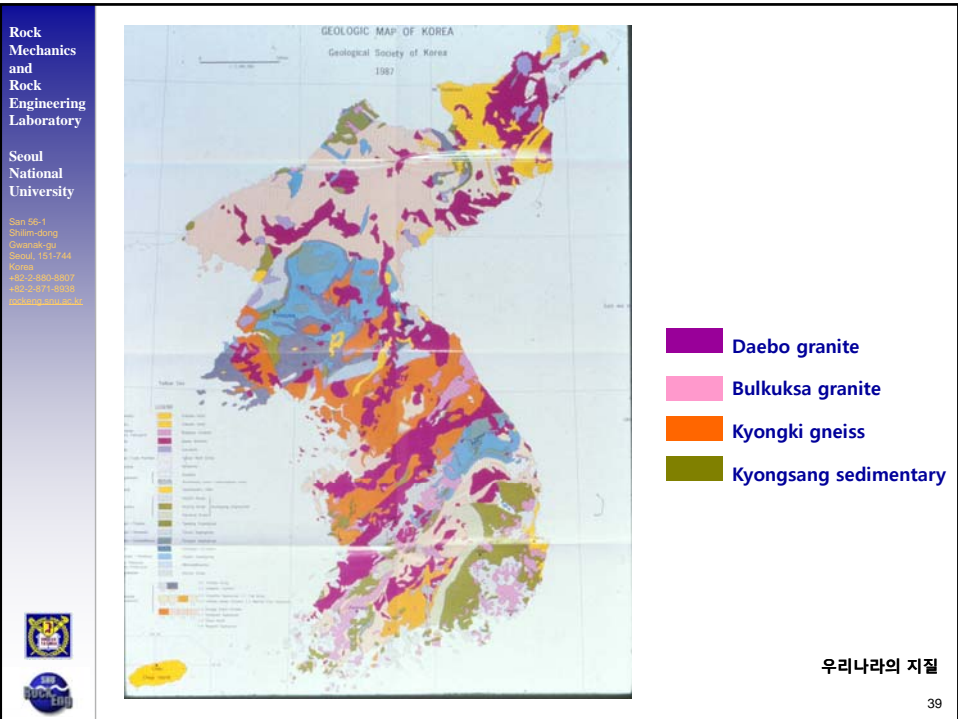


그림 1.1 지하공간의 심도별, 시설별 활용도

지하공간의 특성 및 활용



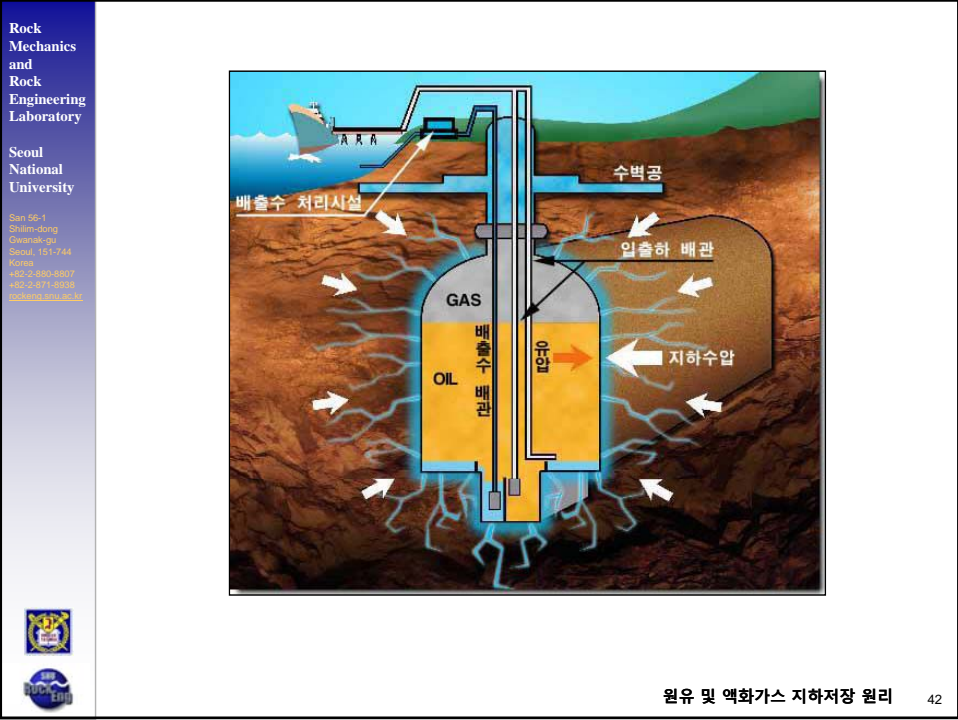
Rock Mechanics and Rock Engineering Laboratory  
 Seoul National University  
 San 56-1, Shilim-dong, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Korea  
 TEL: 2-880-8807 FAX: 2-871-8938  
 rockeng@plaza.snu.ac.kr

### 원유(crude oil) 저장기지

#### 원유 저장기지 저장용량

Project Name	Dimension(m)			Capacity (kl)	Rock Type	Construction Period
	Section (WxH)	Max. Length of Single Caverns(m)	Total Length (m)			
U-2	18 x 30	875	8,814	4,293,000	grano-diorite	1981~1985
U-1	18 x 30	1,030	8,685	4,452,000	andesitic tuff	1990~1998
U-2 <sub>1</sub> (E)	18 x 30	678	3,794	1,908,000	grano-diorite	1990~1997
U-2 <sub>2</sub> (E)	18 x 30	450	1,505	800,000	grano-diorite	2002~2006

41

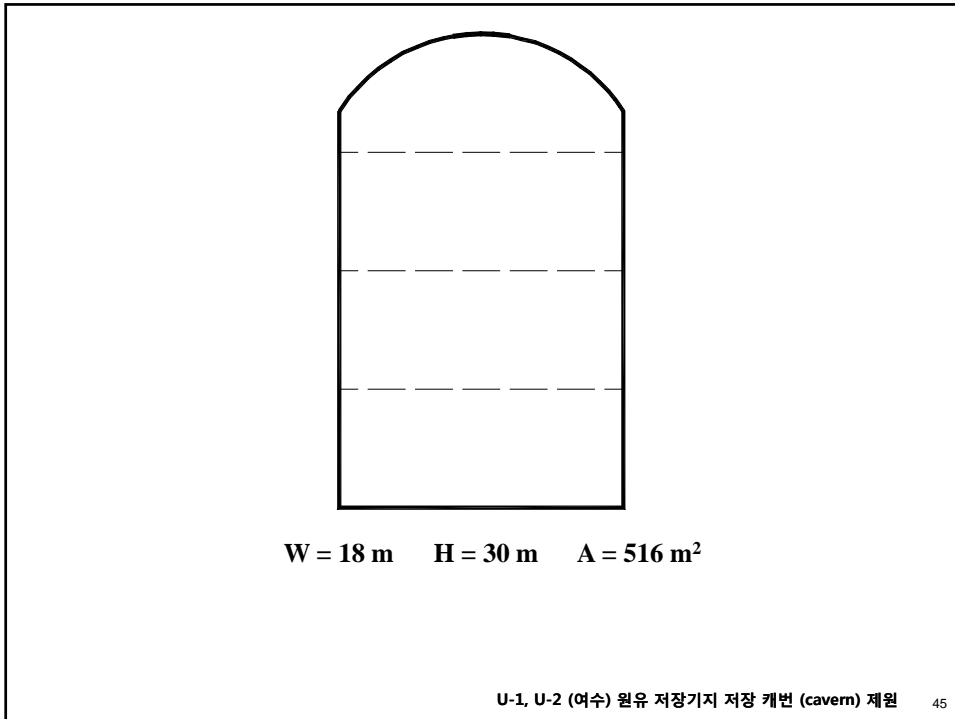




U-1 (여수) 원유 저장기지 43



U-2 (여수) 원유 저장기지 44



**정제유(refined oil) 저장 기지**

**정제유 저장기지 저장 용량**

Project Name	Dimension (m)			Capacity (kl)	Rock Type	Construction Period
	Section (W x H)	Max. Length of Single Caverns	Total Length			
K-1	15x20.5	235	1,262	231,000	granite	1975~1982
K-1(E)	18x22.5	394	440	159,000	granite	1990~1994

46



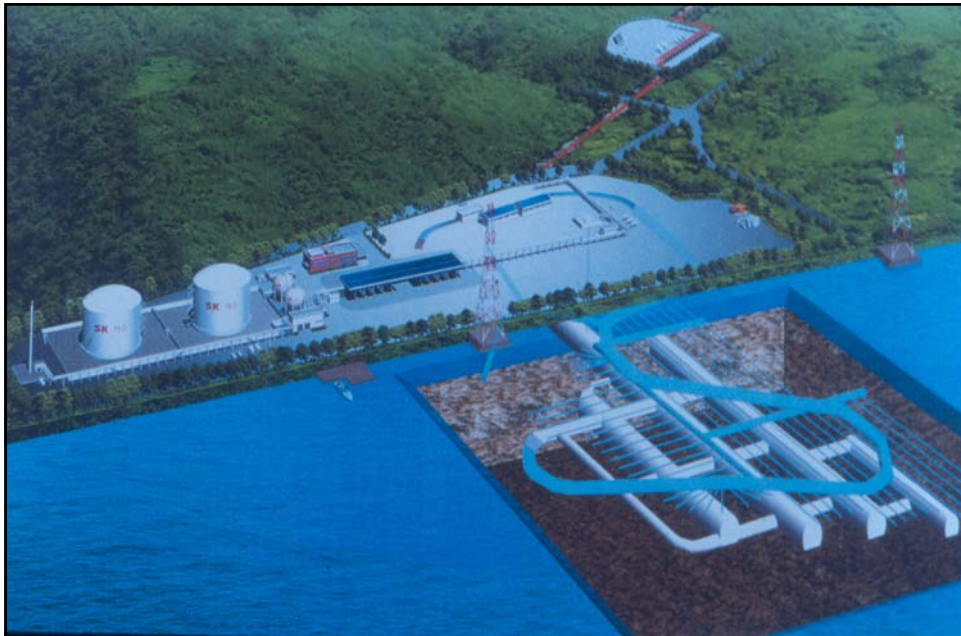
### 액화석유가스(LPG) 저장 기지

#### LPG 저장기지 저장용량

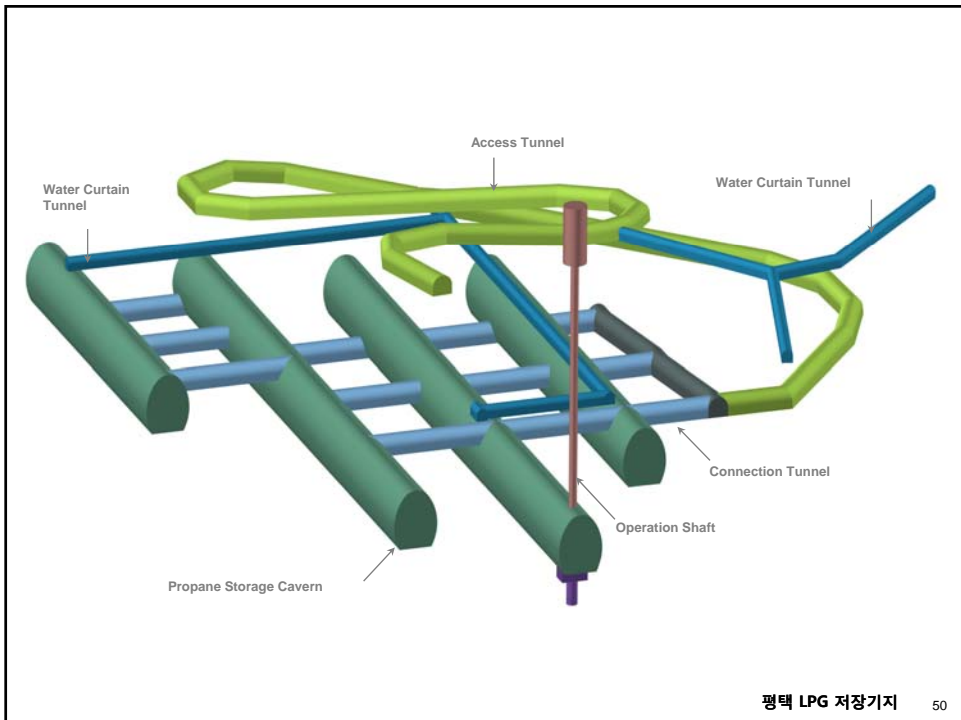
Project Name	Dimension (m)			Capacity (kl)	Rock Type	Roof Elevation (m)	Construction Period
	Section (W x H)	Max. Length of Single Caverns (m)	Total Length (m)				
L-1	18x22.5	135	879	300,000	andesite	C3:-115 C4: -60	1986~1989
Yosu	15x19.5 16x21.0	400	968	290,000	andesite tuff	C3:-114 C4: -60	1981~1983
Ulsan	19x21	310	1,482	500,000	siltstone sandstone	C3:-119 C4: -60	1985~1988
L-1 (E)	18x22.5	210	830	315,000	gneiss	C3:-115 C4: -60	1990~1996
Pyong Taek	17.5x22	278	740	277,000	gneiss	C3:-115	1996~1999
Y-2	16x26	275	1,133	465,000	gneiss	C3:-134 C4:-114	1997~2000

C3 : Butane Cavern , C4 : Propane Cavern





평택 LPG 저장기지 49



평택 LPG 저장기지 50



평택 LPG 저장기지 51

Rock  
Mechanics  
and  
Rock  
Engineering  
Laboratory

Seoul  
National  
University

San 56-1  
Shilim-dong  
Gwanak-gu  
Seoul, 151-744  
Korea  
Tel: +82-2-850-8097  
+82-2-871-8938  
rocklab@plaza.snu.ac.kr





Y-2 (안천) LPG 저장기지 52

Rock Mechanics and Rock Engineering Laboratory  
 Seoul National University  
 San 56-1, Shilim-dong, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Korea  
 TEL: 2-880-8807, FAX: 2-871-8938, [geoeng.skku.ac.kr](http://geoeng.skku.ac.kr)

Artificial Landfill Island, Incheon Metropolitan Area

Y-2 (인천) LPG 저장기지 53

Rock Mechanics and Rock Engineering Laboratory  
 Seoul National University  
 San 56-1, Shilim-dong, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Korea  
 TEL: 2-880-8807, FAX: 2-871-8938, [geoeng.skku.ac.kr](http://geoeng.skku.ac.kr)

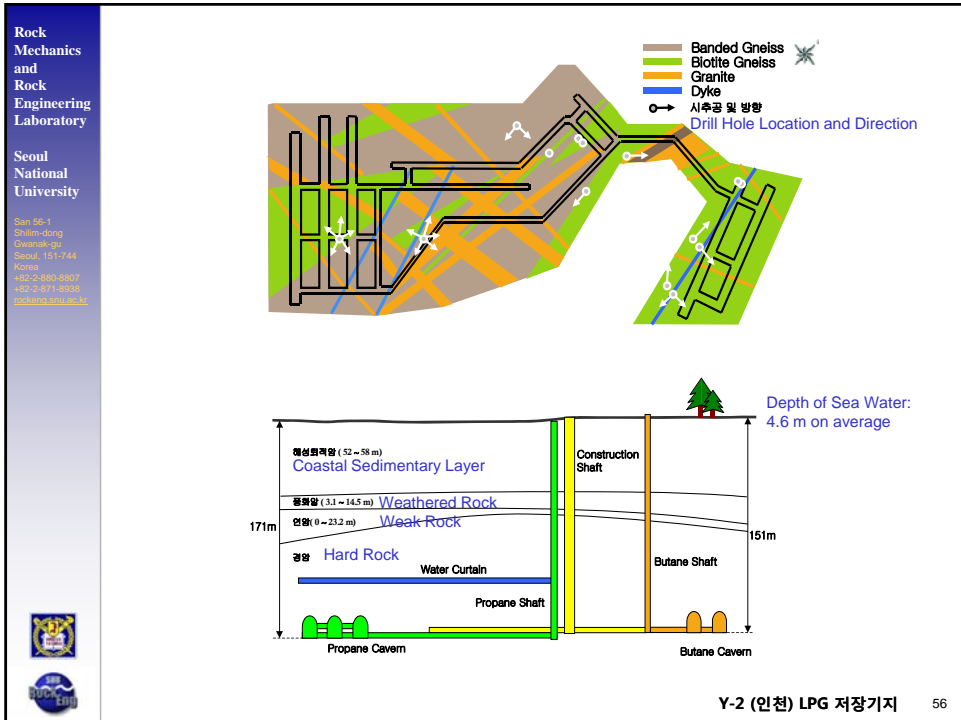
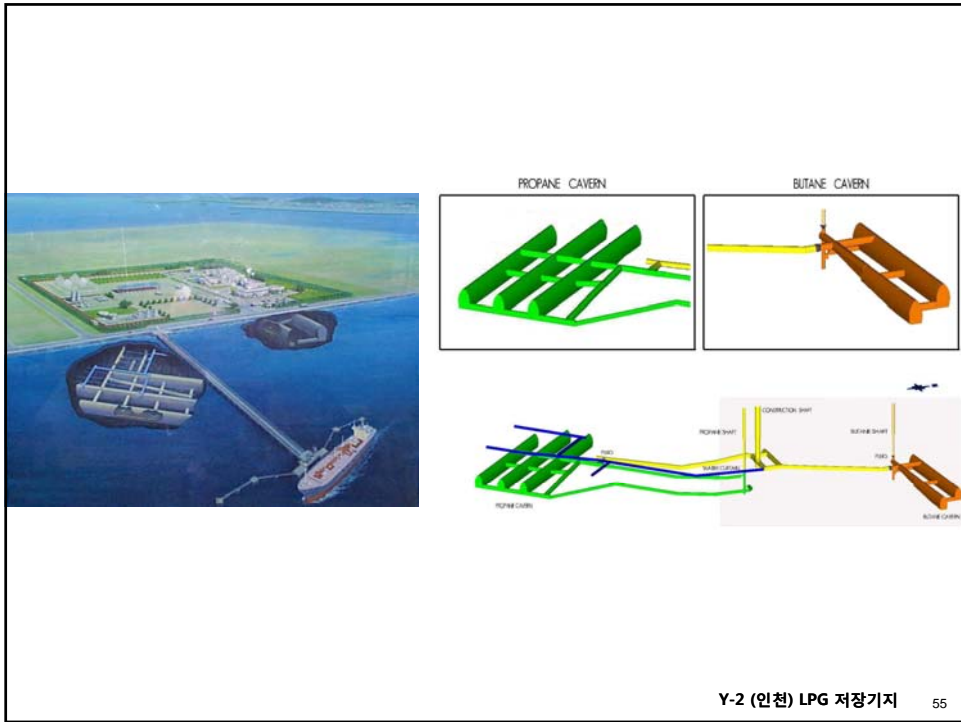
Ground (Surface) Tanks    Inground Tanks

LNG Terminal by Korea Gas Corporation (KOGAS)

Y-2 Project Site LPG Storage Caverns and Terminal by LG Caltex Co.

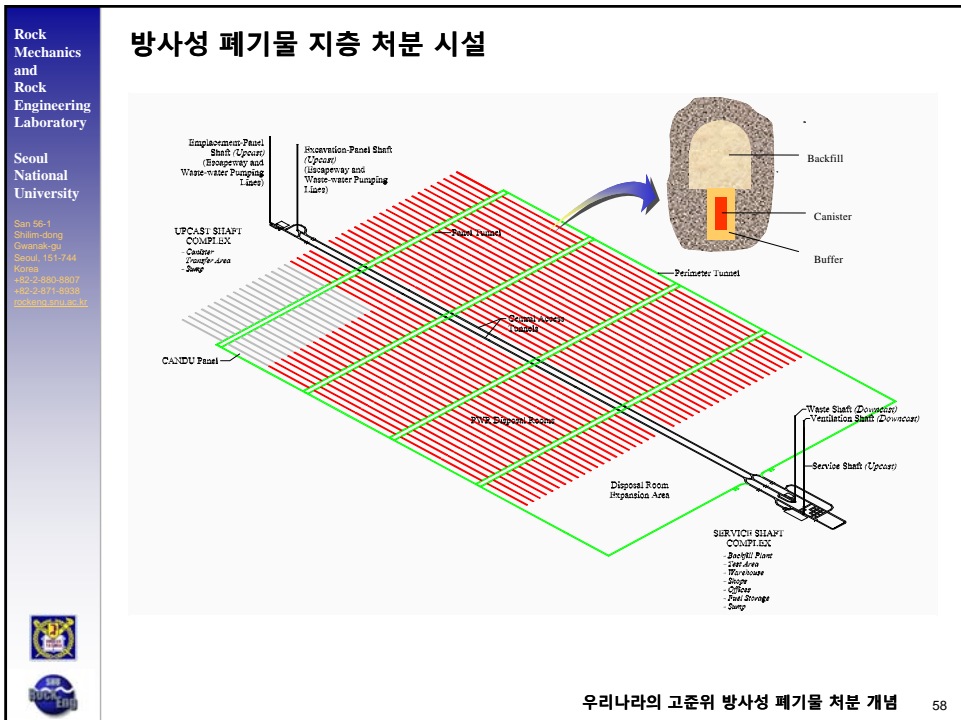
Artificial Landfill Island, Incheon Metropolitan Area

Y-2 (인천) LPG 저장기지 54

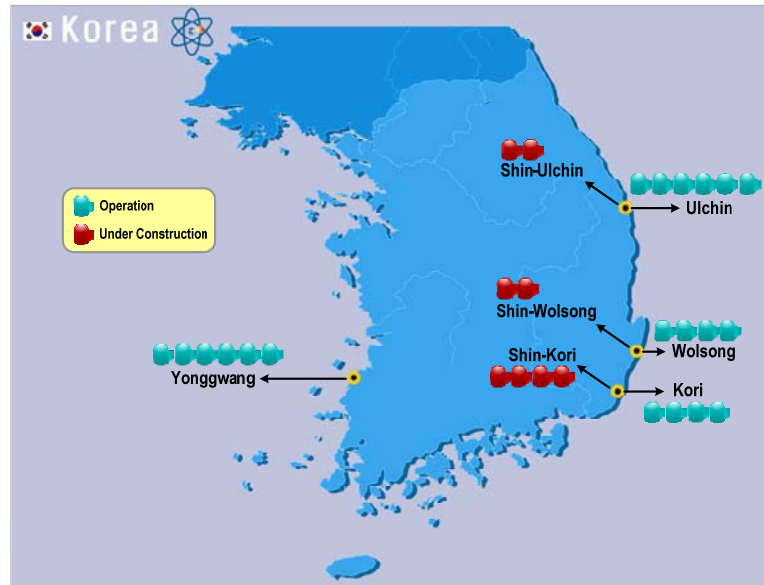




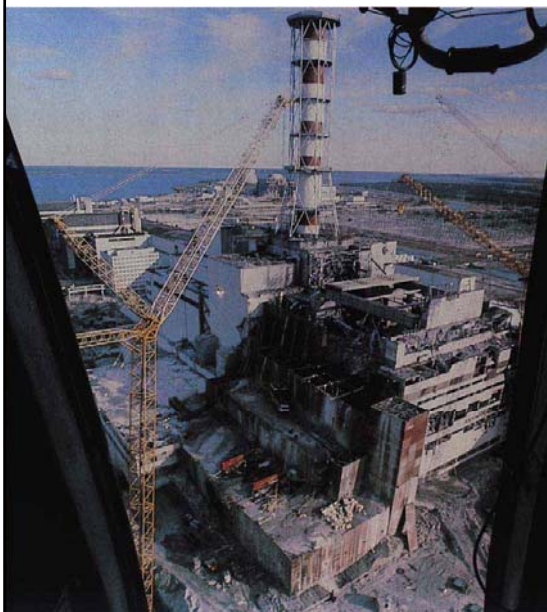
LNG 저장기지 조감도 57



### 우리나라 원자력 발전소 현황



### 원자력 발전의 안정성?



#### Chernobyl Disaster (1986. 4. 26)

- 시험가동 중 폭발
- 31명 사망
- 방사능 누출



## 우리나라 방사성 폐기물 저장 현황 (2006년)

### 중저준위 방사성 폐기물 저장현황 (단위: 200 t 기준)

구 분		저장능력	저장량
원 전	고 리	50,200	35,560
	영 광	23,300	16,454
	울 진	17,400	12,877
	월 성	9,000	6,035
소 계		99,900	70,926(75%)
비원전	원자력연구원	16,018	12,563
	원자력연료(주)	8,900	6,380
	RI 임시저장시설	9,750	5,199
	소 계	34,668	24,142(25%)
합 계		134,568	95,068(100%)

### 원전별 사용후 핵연료 저장현황 (단위: 톤)

구 분		원자로수	저장용량	저장량
경수로	고리	4	2,253	1,562
	영광	6	2,218	1,357
	울진	6	1,642	1,053
	소계	16	6,113	3,972
중수로	월성	4	5980	4,697
합 계		20	12,093	8,669

\* 한국원자력연구원은 연구용원자로를 운영 중이며, 현재 사용후 핵연료 3.7톤(연구용 원자로 수조 : 0.5톤, 조사후시험시설 수조: 3.2톤)을 저장 중

## 우리나라 방사성 폐기물 지층 처분 현황

### 방사성폐기물 관리사업 추진 경위

#### 1. 관리사업 추진경위 (과기처 수행)

- 과기처는 88년 방사성폐기물 관리사업계획(85-2000)을 수립하여 원자력위원회의 의결을 거쳐 사업을 시행
- 90년 들어 안전도를 후보부지로 선정하였으나, 91년 주민소요로 철회
- 방사성폐기물관리사업촉진에 관한 법률을 제정하고 정부부처로 기획단 구성하여 95년 굴업도를 방사성폐기물 시설 부지로 지정하였으나, 활성단층 발견으로 지정해제
- 96년말 원자력사업추진체제 조정으로 방사성폐기물 관리사업의 주체를 과기처에서 통상산업부로 변경

#### 2. 관리사업 추진현황 (통상산업부 이관 후)

- 97.1월 폐기물관리사업자인 한전에 방사성폐기물관리대책 수립을 위한 정책연구를 수행토록 조치하였고  
- 한전은 폐기물관리 전담부서인 원자력환경기술원을 중심으로 관리 대책 연구 수행
- 한전으로부터 연구결과 접수 후 『관리대책(안)』 마련
- 98년 1/4분기중 아래의 절차를 거쳐 「방사성폐기물관리대책」을 확정
- 관리대책이 확정되는 대로 방사성폐기물 처분장 부지 확보 등 관리사업을 시행할 계획  
- 종합관리시설에 필요한 충분한 규모의 부지를 2003년까지 확보하고 2008년부터 처분장을 운영  
- 부지선정은 지자체의 유치공모를 우선적으로 추진하며, 공청회, 입법, 협약 등 절차의 공정성 투명성 유도  
- 지자체와 협조하여 입지홍보 및 집중적 지역개발 실시

#### 3. 부안군 선정 추진

## 우리나라 방사성 폐기물 지층 처분 현황

### 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 부지선정 과정

기관명	정책명	추진내용	실적현황
산업자원부	중·저준위 방사성 폐기물 처분시설 부지선정	<ul style="list-style-type: none"> <li>'04.12.17일 제253차 원자력위원회에서 중·저준위와 사용후연료 분리추진 의결</li> <li>'05.3월 "유치지역지원에 관한 특별법" 제정</li> <li>'05.6.16일 부지선정 절차공고</li> <li>'05.11.2일 4개 유치지역(경주, 군산, 포항, 영덕) 주민투표 실시</li> <li>'05.11.3일 후보부지(경주) 선정결과 발표</li> <li>'06.1.2일 전원개발사업예정구역 지정고시</li> <li>'06.5.9일 특별지원금 3,000억 지급 완료</li> <li>'06.6.26일 중·저준위 방폐장 처분방식 선정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중·저준위 방사성폐기물 처분부지 선정 완료</li> <li>방폐장 건설 추진 중</li> </ul>

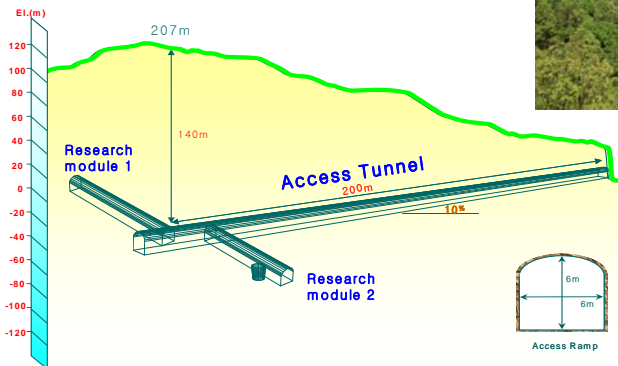


일본 요미우리 신문 (2006년 12월 1일)

63

## 우리나라 고준위 방사성 폐기물 지층 처분 현황

### KURT (KAERI Underground Research Tunnel)



64



## KURT – Research Items

### Rock mechanics

- Rock mass classification
- Rock Stress and deformation measurement
- Properties of rock discontinuities
- Effects of stress on the hydraulic properties
- Blasting effects on adjacent tunnels
- EDZ measurement
- Tunnel stability and rock support
- Thermal properties of rock

### Geology

- Prediction of rock boundaries
- Distribution of discontinuities
- Fracture network
- Prediction techniques for flow rate
- Groundwater network and flow system
- Geochemical properties of groundwater

### Fluid migration & EBS

- THM behavior of EBS
- Contaminant diffusion
- Gas migration through rock mass
- Gas migration in EBS
- Colloid generation and migration
- Retardation in geosphere

### System design

- Demonstration of emplacement
- Tunnel sealing technique
- Deposition hole drilling
- Concrete plug design and application
- Development of retrieval operation
- Test of transportation method

65

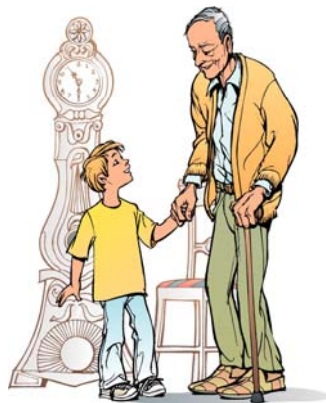
## Swedish Status

### Why now?

The law requires it

Public opinion wants it because it is morally right

”Wait for better technique” can always be used as an argument



The expertise is available

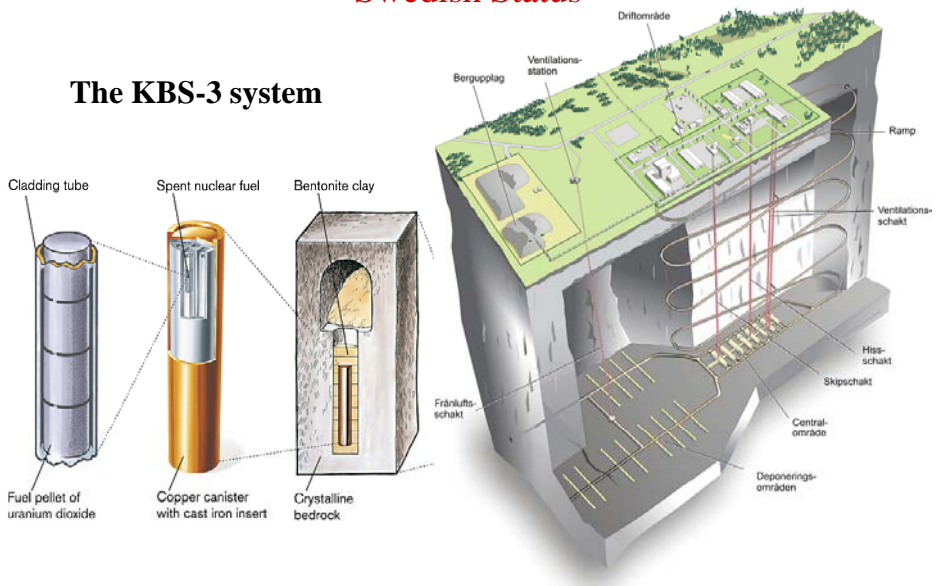
The commitment is there

The money is available

66

## Swedish Status

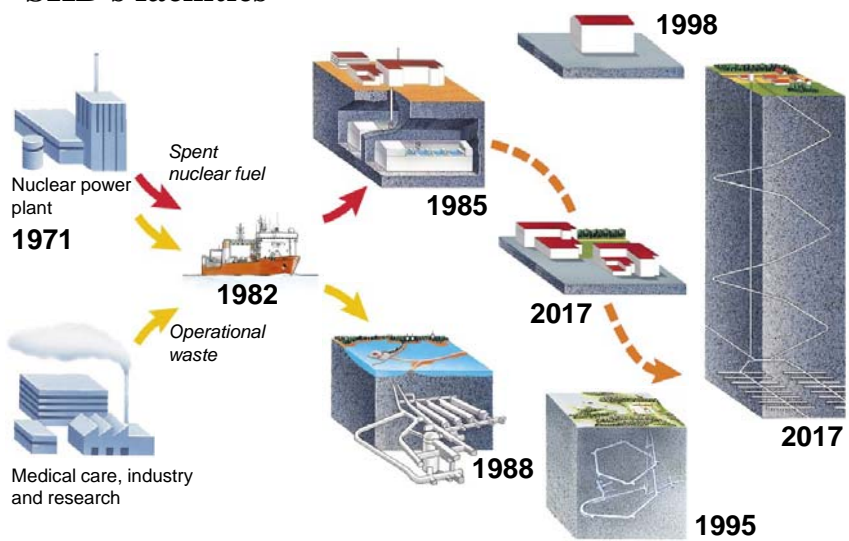
### The KBS-3 system



67

## Swedish Status

### SKB's facilities



68

## Swedish Status

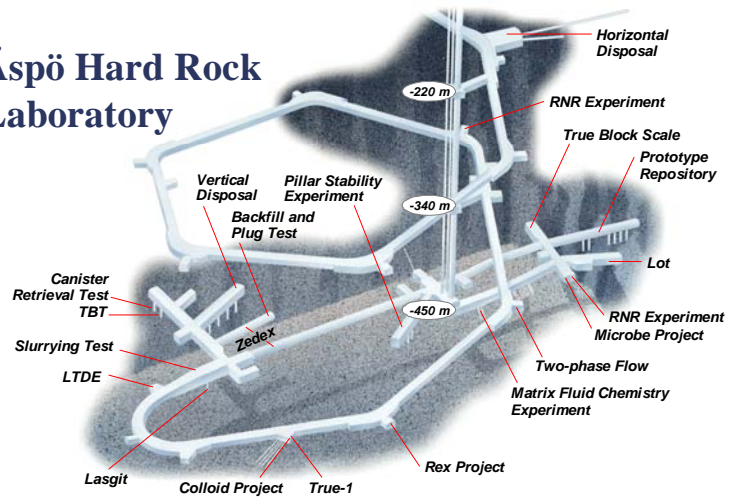
### Äspö Hard Rock Laboratory



69

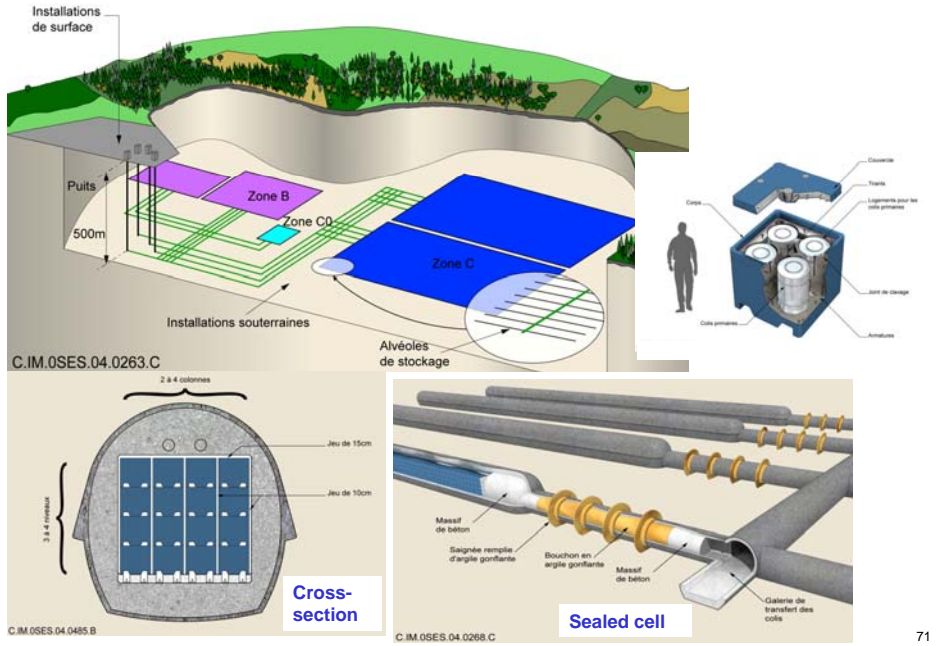
## Swedish Status

### Äspö Hard Rock Laboratory

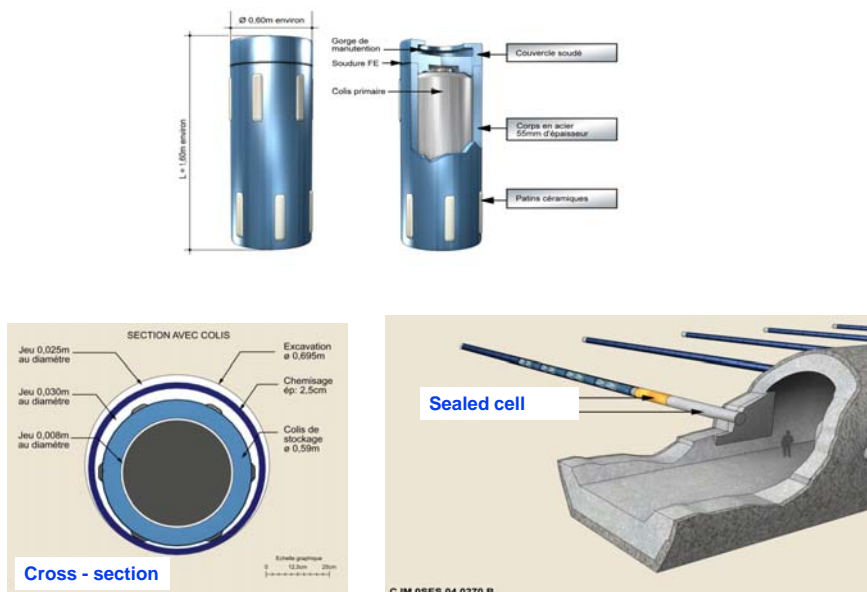


70

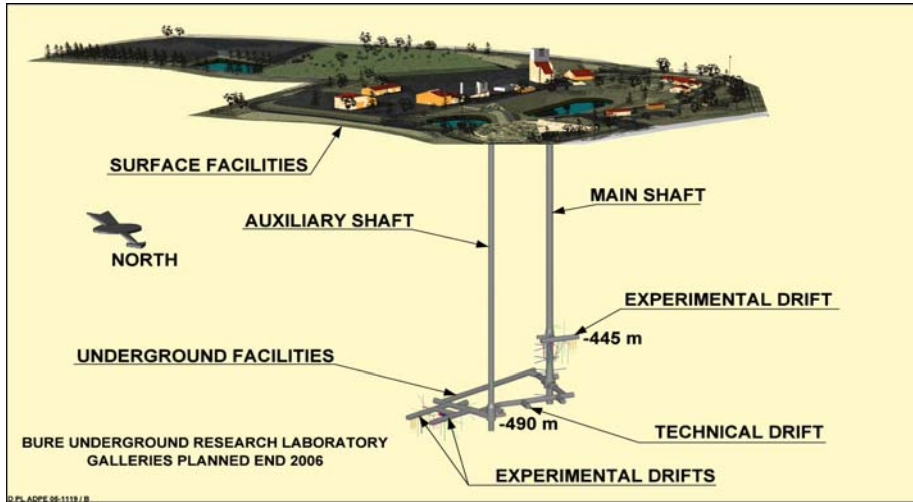
## French Status - LILW



## French Status - HLW

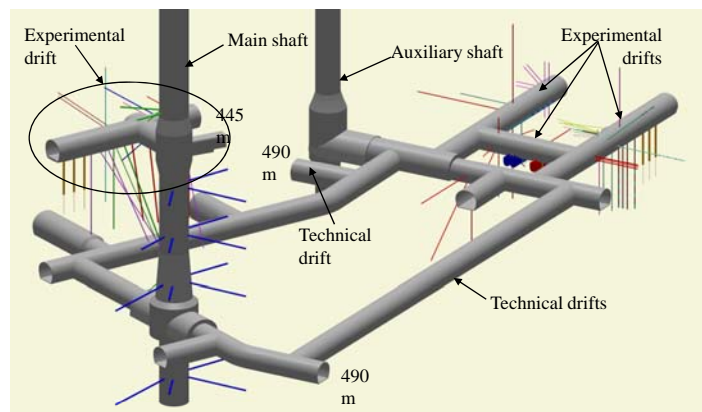


## French Status - URL



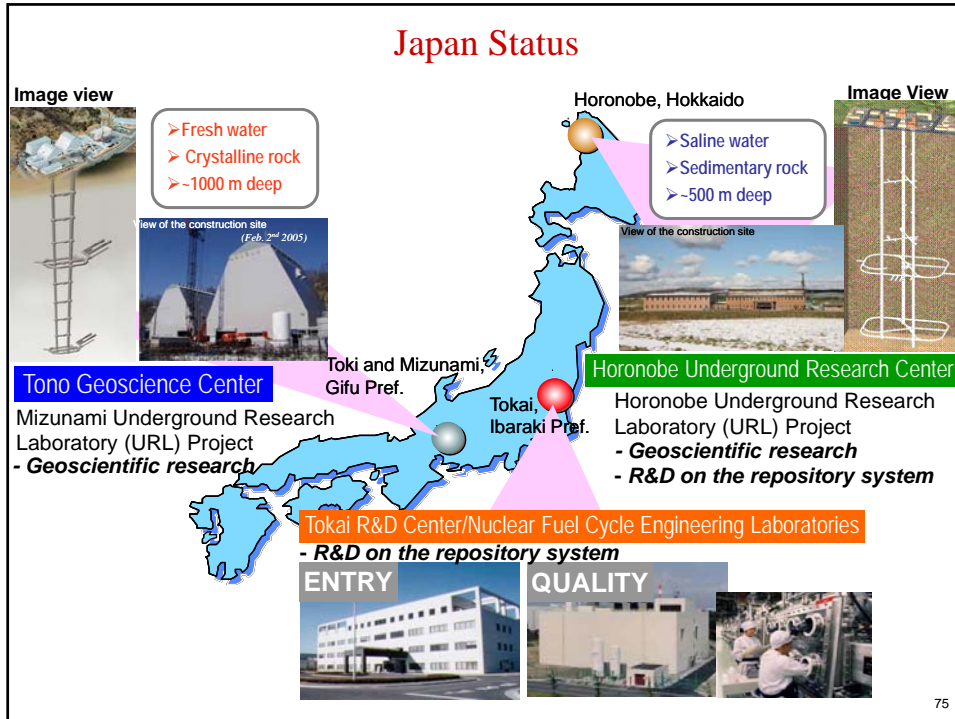
73

## French Status - URL



- Two shafts of 500 m depth
- A total length of 533 m of service and experimental drifts
- An experimental facility area of 75 m by 150 m

74



**Rock Mechanics and Rock Engineering Laboratory**

Seoul National University

San 56-1  
Shilim-dong  
Gwanak-gu  
Seoul, 151-744  
Korea  
TEL: 82-2-880-8937  
FAX: 82-2-871-8938  
[rock.mech.snu.ac.kr](http://rock.mech.snu.ac.kr)

## □ 결 언

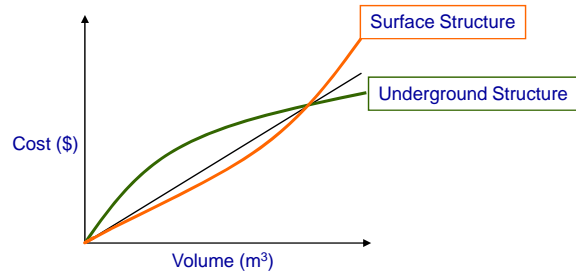
76

### 지하공간의 특성

단열성, 항온성  
전자파 차단성  
차광성  
방사능 차단성  
기밀성  
불연성, 방화성  
방폭성  
방진성, 저진동성  
방음성, 차음성  
화학적 안정성  
내후성  
격리성

\*조명? 환기?

### 지하공간 건설비용



감사합니다.

