

제 3 장 지반조사 방법 및 일반사항

3.1 흙과 암석의 분류 및 기재방법

3.2 임반의 분류 및 기준

3.3 현장조사 및 시험

3.4 실내시험

제 3 장 조사 방법 및 일반사항

3.1 흙과 암석의 분류 및 기재방법

3.1.1 흙의 분류 및 기재방법

• 흙의 상태에 대한 기재 내용은 연경도, 함수상태 및 색깔 등이며 다음과 같은 방법에 의하여

그 결과를 시추주상도에 기록함

가. 개략적인 기재방법

흙의 분류	흙의 공학적 분류방법(KS F 2324)인 통일분류법(USCS)을 기준으로 분류
기재 방법	• 표준관입시험시 관입저항치(N치)에 의해 상대밀도 및 연경도를 고려하고 채취된 교란시료에 대해 육안관찰 및 물성시험에 의하여 통일분류법으로 분류
기술 내용	• 연경도 및 사질토의 상대밀도와 습윤상태, 색조, N치 등을 고려하여 기재 • 함수상태는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet) 및 포화상태(Saturated)로 구분하였으며, 색은 흑색, 갈색, 홍색, 적색, 황색 등에 담(연한)과 암(진한)의 접두어를 사용

나. 육안 분류법

구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		습윤상태에서 손가락으로 끈 모양으로 꼰때
		건조상태	습윤상태	
모 래 (Sand)	• 개개의 입자크기가 판별되며 입상을 보임 • 건조상태에서 흩어져 내림	• 덩어리지지 않고 흐트러짐	• 덩어리거나 가볍게 건드리면 흩어짐	• 끈 모양으로 꼬아지지 않음
실트질 모 래 (Silty Sand)	• 입상이나 실트나 점토가 섞여서 약간 점성이 있음 • 모래질의 특성이 우세함	• 덩어리가 지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	• 덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음	• 끈 모양으로 꼬아지지 않음
모래질 실트 (Sandy Silt)	• 적당량의 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트입자가 반 이상임 • 건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음 • 부서지면 밀가루와 같은 감촉	• 덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음 • 물을 부으면 서로 엉킴	• 끈 모양으로 꼬아지거나 작게 끊어지고 부드러우며 약간의 점성이 있음
실트 (Silt)	• 세립사와 점토는 극소량을 함유하고 실트입자의 함량이 80%이상 • 건조되면 덩어리거나 쉽게 부서져서 밀가루 감촉의 가루가 됨	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않고 물에 젖으면 서로 엉킴	• 끈 모양으로 꼬아지거나 작게 끊어지고 부드러우며 약간의 점성이 있음
점 토 (Clay)	• 건조되면 아주 딱딱한 덩어리가 됨 • 건조상태에서 잘 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙상태로 됨	• 길고 얇게 꼬아짐 • 점성이 큼

다. 함수상태

함 수 비 (%)	상 태
0 ~ 10	건 조 (Dry)
10 ~ 30	습 윤 (Moist)
30 ~ 70	젖 음 (Wet)
70 이상	포 화 (Saturated)

라. 색깔

색	1	담				암					
	2	분홍	홍	황	갈	감람	녹	회			
	3	분홍	적	황	갈	감람	녹	청	백	회	흑

마. 점토의 연경도, 일축압축강도와 N치와의 관계

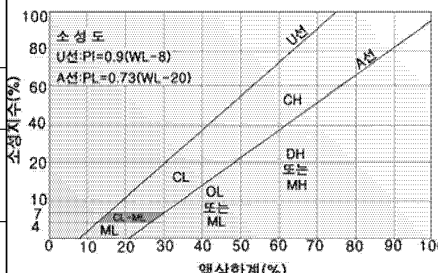
점 토 의 연 경 도 (Consistency)	N 치	현 장 관 찰 (Peck - Hansen)	일 축 압 축 강 도 qu(MPa)
매우 연약 (Very Soft)	< 2	• 주먹이 쉽게 10cm 들어간다.	< 0.025
연 약 (Soft)	2 ~ 4	• 엄지손가락이 쉽게 들어간다.	0.025 ~ 0.05
보통 견고 (Medium)	4 ~ 8	• 노력하면 엄지손가락이 들어간다.	0.05 ~ 0.10
견 고 (Stiff)	8 ~ 15	• 엄지손가락으로 흙을 움푹 들어가게 할 수 있지만 흙속에 엄지손가락을 넣기는 힘들다.	0.10 ~ 0.20
매우 견고 (Very Stiff)	15 ~ 30	• 손톱으로 흙에 자국을 낼 수 있다.	0.20 ~ 0.40
고 결 (Hard)	> 30	• 손톱으로 자국을 내기 힘들다.	> 0.40

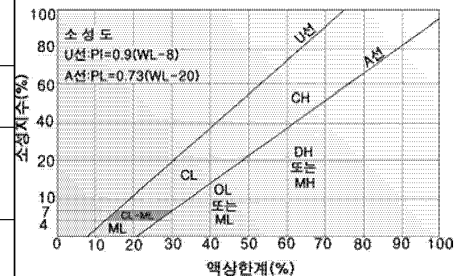
바. 모래의 상대밀도와 N치와의 관계

조 밀 상 태 (Gibbs-Holtz)	N 치	상 대 밀 도		현 장 관 찰 (Bowles)
		Gibbs-Holtz	Bowles	
매우느슨 (Very Loose)	0 ~ 4	< 0.15	0.0 ~ 0.2	• 엄지손가락 또는 주먹으로 쉽게 자국을 낼 수 있다.
느슨 (Loose)	4 ~ 10	0.15 ~ 0.35	0.2 ~ 0.4	• 쉽게 삽질할 수 있다. • 손가락으로 자국을 낼 수 있다.
보통조밀 (Medium Dense)	10 ~ 30	0.35 ~ 0.65	0.4 ~ 0.7	• 힘을 주어서 삽질할 수 있다.
조 밀 (Dense)	30 ~ 50	0.65 ~ 0.85	0.7 ~ 0.9	• 손으로 삽질이 가능하거나 손의 힘으로 삽을 이용하여 자국을 낼 수 있다.
매우 조밀 (Very Dense)	50 이상	0.85 ~ 1.00	0.9 ~ 1.0	• 발파 또는 증장비에 의해서만 자국을 낼 수 있다.

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

사. 흙의 통일 분류법

주요 구분		기호	대표적인 흙		분류 기준			
조립토 (Coarse-Grained Soils)	자갈 (gravel)	세립분이 약간 또는 거의 없는 자갈	GW	입도분포가 좋은 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음	세립분의 함유율에 의한 분류 : 200번체 통과율이 5% 이하인 경우 GW, GP, SW, SP 200번체 통과율이 12% 이상인 경우 GM, GC, SM, SC 200번체 통과율이 5~12%인 경우 2중 문자로 표시	$Cu > 4$ $Cu=D60/D10$ $1 < Cg < 3$ $Cg=(D30)^2/(D10 \times D60)$		
			GP	입도분포가 나쁜 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음		GW의 조건이 만족되지 않을때		
	4번체 (4mm)에 50% 이상 남음	세립분을 함유한 자갈	GM	실트질의 자갈, 자갈·모래·실트의 혼합토		Atterberg 한계가 A선 밑 또는 소성지수가 4이하	소성지수가 4~7 이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재할 때는 2중문자 표시	
			GC	점토질의 자갈, 자갈·모래·점토의 혼합토		Atterberg 한계가 A선 위 또는 소성지수가 7이상		
	200번체 (0.075mm)에 50% 이상 남음	모래 (Sand)	세립분이 약간 또는 거의 없는 모래	SW		입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래, 세립분은 약간 또는 없음	$Cu > 6$ $1 < Cg < 3$	SW의 조건이 만족되지 않을때
			SP	입도분포가 불량한 모래 또는 자갈질 모래				
4번체 (4mm)에 50% 이상 통과	세립분을 함유한 모래	SM	실트질의 모래, 모래와 실트의 혼합토	200번체 통과율이 5~12%인 경우 2중 문자로 표시	Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 4이하	소성지수가 4~7 이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재할 때는 2중 문자로 표시		
		SC	점토질의 모래, 모래와 점토의 혼합토		Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 7이상			
세립토 (Fine-Grained Soil)	50%이하인 실트나 점토	액성한계	ML	무기질의 실트, 매우 가는 모래, 암분, 소성이 작은 실트질의 세사나 점토질의 세립사	• 세립토에 함유된 세립분과 세립토를 분류 하기 위해 사용 • 소성도표의 빗금친 영역은 이중표기해야함			
			CL	소성이 중간치 이하인 유기질점토, 자갈질점토, 모래질점토, 실트질점토				
			OL	소성이 작은 유기질 실트 및 점토				
	200번체 (0.075mm)에 50% 이상 통과	50%이상인 실트나 점토	액성한계	MH	무기질 실트, 운모질 또는 규소의 세사 또는 실트질 흙, 탄성이 큰 실트			
				CH	소성이 큰 무기질 점토, 탄성이 큰 점토			
				OH	탄성이 중간치 이상인 유기질 점토			
고유기성 흙		Pt	이탄 및 그 밖의 유기질을 많이 함유한 흙	세립토의 분류를 위한 소성도표				



3.1.2 암석의 분류 및 기재방법

- 암석 코어에 대한 서술내용은 색, 불연속면 간격, 풍화상태, 암석명, 강도 등
- 암석의 풍화상태, 불연속면 간격(절리나 층리면의 간격) 및 강도는 아래 기준에 따라 기술

가. 색(Color)

- 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 접두어를 사용

나. 암석의 절리간격에 따른 분류기준

기 호	용 어	절리간격	절리상태
F1	괴상 (Solid)	100cm 이상	Very Wide
F2	약간 균열 (Slightly Fractured)	20~100cm	Wide
F3	보통 균열 (Moderately Fractured)	10~20cm	Moderately Close
F4	심한 균열 (Fractured)	5~10cm	Close
F5	매우 심한 균열 (Highly Fractured)	5cm 이하	Very Close

다. 암석의 풍화상태에 따른 분류기준

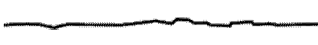
기 호	용 어	설 명
D1	Fresh (신선한 암반)	• 모암의 색이 변하지 않고 결정이 광택을 보인다. • Joint면이 부분적으로 얼룩이져 있고 타격을 가했을 때 맑은 소리가 남
D2	Slightly Weathered (약간 풍화)	• 일반적으로 Fresh한 상태를 보이거나 절리면의 주변부가 다소 변색되어 있음. 모암의 강도는 Fresh한 경우와 별 차이가 없다. 장석이 다소 변색되어 있으며, Open Joint의 경우는 점토 등이 협재
D3	Moderately Weathered (보통 풍화)	• 상당히 많은 부분이 변색되어 있으며 절리는 Open Joint로서 절리면 안쪽까지 변질되어 있다. 강도는 야외에서도 Fresh한 상태와 쉽게 구분된다. 대부분의 장석이 변질되어 있으며 일부는 점토화
D4	Highly Weathered (심한 풍화)	• 석영을 제외한 대부분의 입자들이 변색되어 있으며, 절리는 거의 Open Joint로서 절리면으로부터 상당히 깊은 곳까지 변질되어 있다. Core의 상태는 그대로 유지
D5	Completely Weathered (완전 풍화)	• 입자들이 부분적으로 존재하기는 하나, 완전히 변질을 받은 상태이다. 이 단계에서부터는 토질로 분류

라. 암석의 육안판정에 따른 분류기준

기 호	용 어	설 명
S1	매우 강함 (Very Strong)	• 여러 번의 강한 함마타격으로 패각상의 조각으로 깨지며 각이 날카로운 정도
S2	강함(Strong)	• 1~2회의 강한 함마타격으로 깨지거나 모서리가 각이지는 정도
S3	보통강함 (Moderately Strong)	• 1회의 약한 함마타격으로 쉽게 깨지며 모서리가 으스러지는 정도
S4	약함(Weak)	• 함마로 눌러 으스러지는 정도
S5	매우 약함(Very Weak)	• 손가락 또는 엄지손가락의 압력으로 눌러 으스러지는 정도

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시계획

마. 절리면의 거칠기(Joint Roughness)에 따른 분류기준

계 단 형 Stepped	거칠음(불규칙) Rough		• 거칠기에 대한 표시방법 I. 소척도(수 cm) i) 거칠(불규칙) ii) 완만 iii) 매끄러움-매끄러움이란 불연속면을 따라 이전의 전단변위에 대한 분명한 흔적이 있을 경우에 사용 II. 중간 척도(수 m) i) 계단형 ii) 파동형 iii) 평면형
	완만 Smooth		
	매끄러움 Slinkensided		
파 동 형 Undulating 형	거칠음(불규칙) Rough		
	완만 Smooth		
	매끄러움 Slinkensided		
평 면 형 Planar	거칠음(불규칙) Rough		
	완만 Smooth		
	매끄러움 Slinkensided		

바. 탄성과 속도에 따른 분류기준

구 분	A 그룹	B 그룹	암 석 종 류	그룹	자연 상태의 탄성 파 속도 V_p (km/s)	암편의 탄성 파 속도 V_p (km/s)	암편 내 압 강도 (MPa)
대표적인 암석명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 갈람암, 사문암, 유문암, 세일, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 셰일, 이암, 응회암, 집괴암	풍화암	A	0.7~1.2	2.0~2.7	30~70
				B	1.0~1.8	2.5~3.0	10~20
			연암	A	1.2~1.9	2.7~3.9	70~100
				B	1.8~2.8	3.0~4.3	20~50
함유물 등에 의한 시각 판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분 및 응회분이 거의 없는 암석천 매상의 암석	보통암	A	1.9~2.9	3.7~4.7	100~130
				B	2.8~4.1	4.3~5.7	50~80
500~1,000g 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암으로 되어 비산하나, 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점에 암 자진이 부서지지 않고 분상이 되어 남고 암편이 별로 비상되지 않는 암석	경암	A	2.9~4.2	4.7~5.8	130~160
				B	4.1이상	5.7이상	80이상
			극경암	A	4.2이상	5.8이상	160이상
				B			

사. 토공작업의 리퍼빌리티에 따른 분류기준

구 분		토 공 작 업		
		토 사	리 평 암	발 파 암
표준관입시험 (N치)		50/10 미만	50/10 이상	-
불연속면 의 발달빈도	BX 크기	-	TCR=5%이하이고 RQD=0%정도	TCR=5~10%이상이고 RQD=0~5%이상
	NX 크기	-	TCR=20%이하이고 RQD=0%정도	TCR=20%이상이고 RQD=10%이상
탄성파 속도	A 그룹	70m/sec 미만	700~1,200m/sec 미만	1,200m/sec 이상
	B 그룹	1,000m/sec 미만	1,000~1,800m/sec 미만	1,800m/sec 이상

3.2 암반의 분류 및 기준

3.2.1 암반분류 방법

암 반 분 류	한국도로공사, 철도청, 한국기술용역협회 및 서울지하철 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류하고 터널구간은 암종으로 표시하되 RQD, RMR 및 Q 분류에 의해 암반을 분류하고 분석을 수행함
기 재 방 법	- 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격 : 강도 및 암질표시는 ISRM(국제암반역학회)의 분류방법에 의거 분류 - 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 “공학적 목적을 위한 암석시험의 채취방법 및 시추주상도 작성방법”에 의거하여 시추주상도를 작성
기 술 내 용	- 색, 불연속면의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등을 기술함 - 색 : 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연한), 암(진한)의 명암 및 혼색의 서술용어를 사용함 - 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류 - 시추주상도에는 암석명, N치, RQD, 시추작업자, 주상도 작업자, 주상도 검토자, 코아회수율 및 불연속면 특성에 관한 중요자료(절리면의 풍화상태, 강도, 간격, 경사, 거칠기등) 등을 자세하게 기재함

가. RQD에 의한 암반분류(Deere, 1968)

RQD(%)	100 ~ 90	90 ~ 75	75 ~ 50	50 ~ 25	< 25
암 질	매우 양호 (Excellent)	양호 (Good)	보통 (Fair)	불량 (Poor)	매우 불량 (Very Poor)

나. RMR에 따른 암반등급(Bieniawski, 1974)

RMR	100 ~ 81	80 ~ 61	60 ~ 41	40 ~ 21	< 20
등 급	I	II	III	IV	V
암 질	매우 양호 (Excellent)	양호 (Good)	보통 (Fair)	불량 (Poor)	매우 불량 (Very Poor)

다. Q값에 따른 암반등급(Banton, 1974)

Q값	1000 ~ 400	400 ~ 100	100 ~ 40	40 ~ 10	10 ~ 4	4 ~ 1	1 ~ 0.1	0.1 ~ 0.01	0.01 ~ 0.001
등 급	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
암 질	지극히 양호	극히 양호	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량	극히 불량	지극히 불량

- 터널구간에 분포하는 암반에 대하여 유사한 공학적 특성을 보이는 몇 개의 군으로 분류
- 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 접두용어를 사용

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

3.2.2 암반의 공학적 분류 기준

- 국내에서는 각 기관별로 설계에 이용된 암반분류 기준들이 시공단계에서 검증 및 분석(암반등급과 지보패턴의 관계 등)에 의한 수정절차를 거치지 않아 아직까지 일관성과 통일성이 없는 기준들이 제시되고 있음
- 시공시 막장을 관찰하여 결정된 암반등급과 지보패턴과의 관계를 통계분석하여 도출된 경험적 분류방식인 RMR과 Q-System 암반분류법이 원용되고 있음

가. 국내 암반 분류 기준

분 류 명	분 류 목 적	분 류 요 소	검 토 내 용	비 고
토목표준품셈	토 공	• 탄성파속도 • 내압강도 • 암석종류	• 토공작업방법 결정을 위한 기준임 • 암편의 일축압축강도 기준이 너무 높음	건설교통부
용역협회기준	시추조사시 암석 분류	• 탄성파속도 • 일축압축강도	• 시추주상도의 암분류시 이용	한국기술용역협회
서울시 표준지반분류	토목공사	• SPT, TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격	• 지반의 정성적 분류기준임	서울시
서울 지하철 분류기준	터 널	• SPT, TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격 • RMR과 연계	• 서울시 표준지반분류를 근간으로 한 기준 • RMR과 연계시 등급간격이 일정치 않음	서울지하철 9호선 설계기준안(안) (1997)
고속철도 분류기준	터 널	• 일축압축강도 • 탄성파 속도 • 변형계수 • 지반강도비 • TCR, RQD • 현장 육안관찰	• 개별요소에 의한 분류보다는 종합분석 필요 • 국내 기존 분류방법 보완	고속철도 시방서 지반분류(안)
한국도로공사 분류기준	터 널	• TCR, RQD • RMR • Q-System • 탄성파속도 • 일축압축강도	• RMR, Q-System이 주로 활용됨 • 개별요소에 의한 분류보다는 종합적인 판단 필요	한국도로공사

나. 외국의 암반 분류 기준함수상태

- 1940년대 중반부터 암반분류가 도입된 이후 터널, 댐, 사면 등을 대상으로 하는 각종 공사에서 암반조사, 시험, 계측기술의 진보와 더불어 수치해석기법이 발달됨에 따라 여러 암반분류방법이 발전되고 있음
- 암반분류 체계의 발달과정에서 중요한 역할을 하였거나 현재까지 많이 이용되고 있는 세계 각국의 암반분류법의 분류요소를 요약하면 다음과 같음

분 류 방 법	제 안 자	평 가 요 소																
		암석종류	풍화변질도	파쇄상황	층리편리상태	절리간격	절리상태	절리·균열의방향	암석강도	변형특성	팽창·압축의강도	햄머타격	탄성파속도	지반강도비·지압	RQD	코아채취율	용수의정도	지반의안정성
암반사하중법	Terzaghi, 1946 Rose, 1982			○		○			○		○				◎			
Rabcewicz 암반분류	Rabcewicz & Pacher, 1957			○					○		○							
Muler 암반분류	Muler, 1967		○			○												
RQD	Deere, 1967					○	○	○							◎			
RSR	Wickham, 1974	○				○	○	○	○									
RMR	Bieniawski, 1974					◎	○		◎						◎		○	
Q-System	Barton, 1974		○						○					◎	◎		○	
스위스 지반분류	SAI 199호, 1975																	○
오스트리아 지하공사 표준시방서	ONORM B2203, 1975								○		○							
프랑스터널협회 암반분류	AFTES, 1975	○							○		○							
일본국유철도 기준		○											◎	◎				
일본도로협회 기준		○	○		○	◎	○					○	◎			◎		
일본도로공단 기준		○	○		○	◎						○	◎	◎		◎		
일본농림 수산성기준				○		○			◎	◎			◎	◎				
일본수자원 개발공단기준		○	○			◎	○		◎			○	◎					

여기서, ◎ : 정량적 요소, ○ : 정성적 요소

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

다. RQD에 따른 암반 상태 구분(Deere, 1968)

RQD (%)	100 ~ 90	90 ~ 75	75 ~ 50	50 ~ 25	< 25
Rock Quality	매우 양호 (Excellent)	양호(Good)	보통(Fair)	불량(Poor)	매우 불량 (Very Poor)

라. RQD에 의한 지보설계 (터널직경 6~12m 기준, Deere, 1968)

암 질	굴 착 방법	선택 가능한 지보 형식		
		강 지 보	록 볼 트	쑈크리트
매우양호 RQD>90	TBM	• 불필요하나 경우에 따라 철재 지보 • 암반하중(0.0~0.2)B	• 불필요하나 경우에 따라 설치	• 불필요하나 경우에 따라 타설
	천공발파	• 불필요하나 경우에 따라 소형 철재지보 • 암반하중(0.0~0.3)B	• 불필요하나 경우에 따라 설치	• 불필요하나 경우에 따라 타설, 두께 5~7cm
양 호 75<RQD<90	TBM	• 경우에 따라 CTC 1.5~1.8m의 소형 패턴 철재 지보 • 암반하중(0.0~0.4)B	• 경우에 따라 CTC 1.5~1.8m의 패턴 볼트	• 불필요하나 경우에 따라 타설, 두께 5~7cm
	천공발파	• CTC 1.5~1.8m의 소형 철재 지보 • 암반하중(0.3~0.6)B	• CTC 1.5~1.8m의 패턴 설치	• 경우에 따라 국부적으로 타설, 두께 5~7cm
보 통 50<RQD<75	TBM	• CTC 1.5~1.8m의 소형 혹은 중형 철재 지보 • 암반하중(0.4~1.0)B	• CTC 1.2~1.8m의 패턴 볼트	• 천장부에 타설, 두께 5~10cm
	천공발파	• CTC 1.2~1.5m의 소형 혹은 중형 철재 지보 • 암반하중(0.6~1.3)B	• CTC 0.9~1.5m의 패턴 볼트	• 천장부와 측벽부에 타설, 두께 10cm 이상
불 량 25<RQD<50	TBM	• CTC 0.9~1.5m의 중형 원형 철재 지보 • 암반하중(1.0~1.6)B	• CTC 0.9~1.5m의 패턴 볼트	• 천장부와 측벽부에 타설, 두께 10~15cm 록볼트와 병용
	천공발파	• CTC 0.6~1.2m의 중형 또는 대형 철재지보 • 암반하중(1.3~2.0)B	• CTC 0.6~1.2m의 패턴 볼트	• 천장부와 측벽부에 타설, 두께 15cm 이상, 록볼트와 병용
매우불량 RQD<25 (압착성 혹은 팽창성 암반 제외)	TBM	• CTC 0.6m의 중형 또는 대형 철재지보 • 암반하중(1.6~2.2)B	• CTC 0.9m의 패턴 볼트	• 전체면에 타설, 두께 15cm 이상 록볼트와 병용
	천공발파	• CTC 0.6m의 대형 원형 철재 지보 • 암반하중(1.6~2.2)B	• CTC 0.9m의 패턴 볼트	• 전체면에 타설, 두께 15cm 이상 중형 또는 대형 철재 지보와 병용

마. RMR에 의한 분류

구 분	내 용
평가방법	- 현장 암반 또는 시추 Core로부터 6개의 항목에 대한 점수를 평가 합산하여 암반의 등급을 5가지로 분류 - 평가 항목 : 암석강도, RQD, 절리간격, 절리상태, 지하수상태, 터널방향과 절리면 방향 및 경사각 관계
장 점	- 기존의 많은 시공사례를 통해 경험적으로 획득 분석된 암반특성과 지보형식 등의 관계를 토대로 암반을 정량화한 방법으로서 신뢰성이 큼 - 조사항목이 비교적 간단하며 숙련도에 의한 오차가 작음 - 적용 사례가 많으며 현재에도 가장 널리 이용되고 있음 - 절리의 방향성 및 절리와 관련된 평가항목들에 주안점을 두어 합리적인
단 점	- 현장 원지반에 대한 응력이 고려되어 있지 않음 - 암반평가 등급별 터널규모, 현장조건별을 감안한 보강형식이 제안되고 있지 않음 (현재 제안되어 있는 보강형식 제안은 터널폭 10.0m, 수직응력 0.25MPa 이하, 천공 발파식, 마제형 터널, 록볼트 직경 20mm 기준의 것이 제안되어 있음)

바. RMR 분류 평가항목별 평점

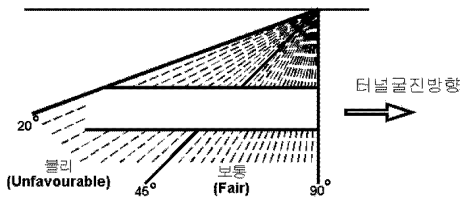
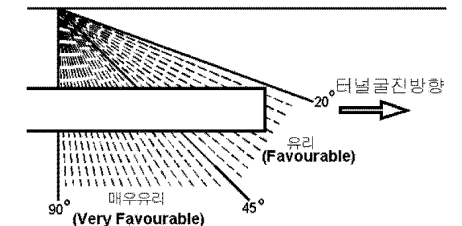
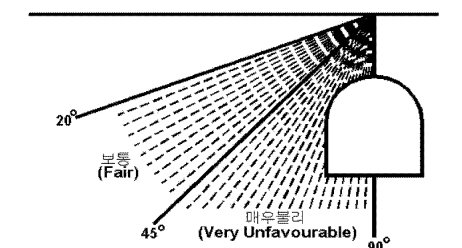
평 가 항 목			평 가 기 준						
1	신선암 강 도	점 하중강도 (MPa)	> 0.001	0.0004~ 0.001	0.0002~ 0.0004	0.0001~ 0.0002	일축 압축 강도 사용		
		일축압축 강도(MPa)	> 0.025	0.010~ 0.025	0.005~ 0.010	0.0025~ 0.005	0.005~ 0.0025	0.0001~ 0.0005	<0.0001
	평 점		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90~100	75~90	50~75	25~50	< 25		
	평 점		20	17	13	8	3		
3	불연속면 간 격		> 2m	0.6~2m	200~600mm	60~200mm	< 60mm		
	평 점		20	15	10	8	5		
4	불연속면 상태		매우 거침 불연속 이격 없음 절리면 신선	다소 거침다 이격<1mm 절리면 약간 풍화	다소 거침다 이격<1mm 절리면 심한 풍화	매끄럽다 Gouge 두께<5mm, 이격1~5mm, 연속	연약한 Gouge 두께 > 5mm 이격 > 5mm 연속		
	평 점		30	25	20	10			
5	지 하 수 상 태	터널길이 10m당 유입량 (ℓ/min)	없 음	< 10	10~25	25~125	> 125		
		절리수압 비	0	< 0.1	0.1~0.2	0.2~0.5	> 0.5		
		최대주응력	완전 건조	습기가 있음	젖어있음	물방울이 떨어짐	물이 흐름		
		일반적조건	15	10	7	4	0		
	평 점		15	10	7	4	0		
6	불연속면 주향과 경사		매우 유리	유 리	양 호	불 리	매우 불리		
	점수	터 널	0	-2	-5	-10	-12		
		기 초	0	-2	-7	-15	-25		
		사 면	0	-5	-25	-50	-60		

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

사. 불연속면 상태 평가 기준

평 가 요 소		평 가 기 준				
불연속면길이	구 분	< 1 m	1~3 m	3~10m	10~20m	> 20m
	평 점	6	4	2	1	0
불연속면 틈새	구 분	None	< 0.1mm	0.1~1.0mm	1.0~5.0mm	
	평 점	6	5	4	1	0
거 칠 기	구 분	매우거침	거침	약간거침	평활	slickensided
	평 점	6	5	3	1	0
충 전 물	구 분	없음	단단한 충전물		연한 충전물	
			< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm
	평 점	6	4	2	2	0
풍화정도	구 분	풍화 안됨	약간풍화	풍화	심한풍화	파쇄
	평 점	6	5	3	1	0

아. 불연속면 방향 및 경사 영향 평가 기준

불연속면 방향	불연속면 경사		평 가	비 고
터널축과 직교	역경사	20 - 45°	불리(Unfavourable)	
		45 - 90°	보통(Fair)	
	순경사	20 - 45°	양호(Favourable)	
		45 - 90°	매우양호 (Very Favourable)	
터널축과 무관	0 - 20°		보통(Fair)	
	20 - 45°		보통(Fair)	
터널축과 평행	45 - 90°		매우 불리 (Very Unfavourable)	

자. RMR 분류의 공학적 이용(Bieniawski, 1976)

- 암반 평가점수에 따라 암반의 등급 구분 및 개략적 지보패턴 선정
- 암반정수(강도정수 및 변형계수) 산정에 적용
- RMR 평가점수에 의한 암반등급 구분

점 수	100~81	80~61	60~41	40~21	< 20
등 급	I	II	III	IV	V
구 분	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량

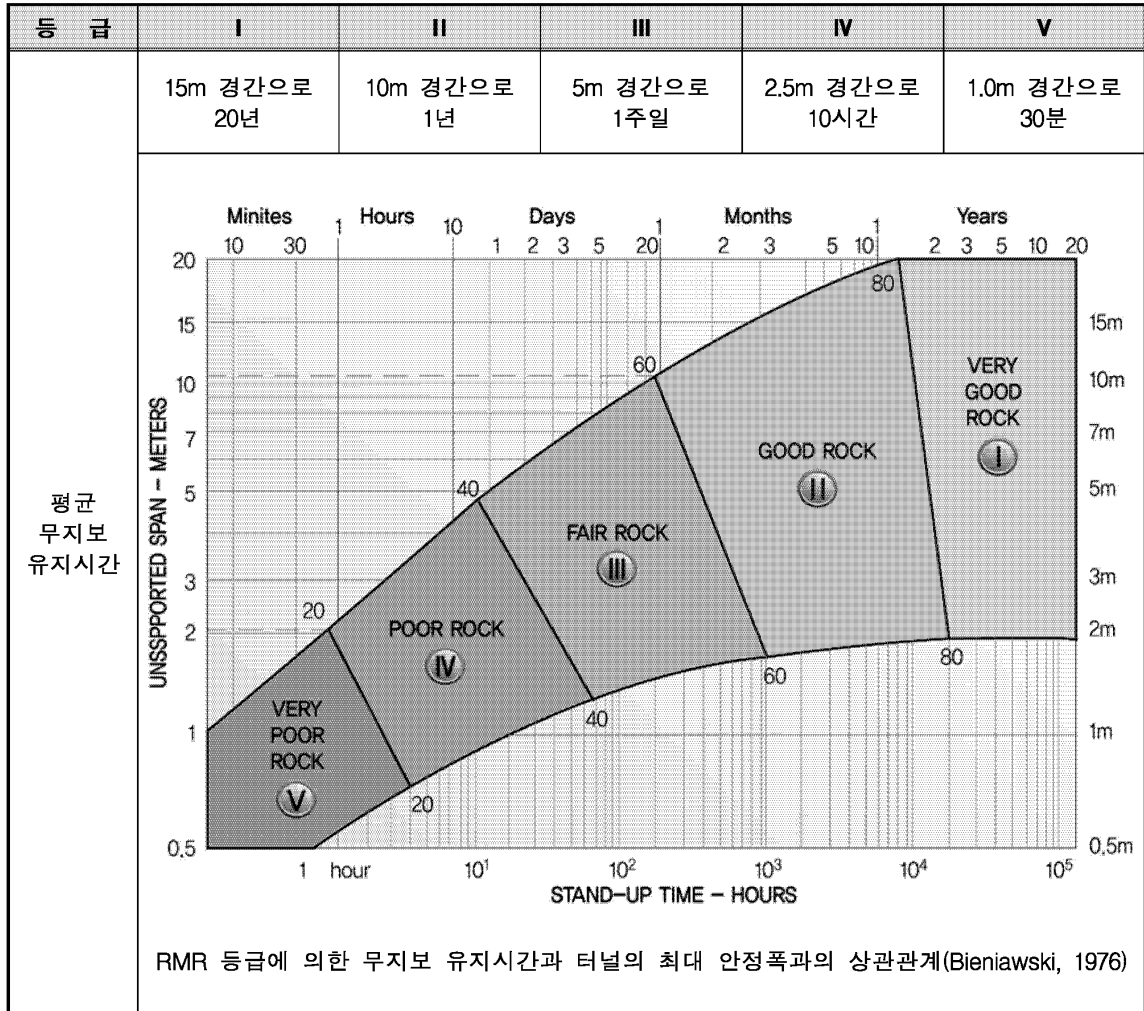
- RMR 분류에 의한 암반터널의 굴착 및 지보설계에 대한 지침

(터널형상 : 마제형, 터널폭 : 10m, 수직응력 : 0.25MPa 이하, 굴착방법 : 천공발파)

암 반 등 급	굴 착 형 태	지 보		
		록볼트 (20mm 지름의 전면접착형)	숏 크 리 트	철 재 지 보
1. 매우 양호한 암 반 (RMR=81~100)	• 전단면 : 1발파 • 굴진장 : 3m	• 경우에 따라 국부적으로 록볼트 설치 • 이외의 지보설치는 일반적으로 불필요		
2. 양호한 암반 (RMR=61~80)	• 전단면 : 1.0~1.5m • 굴진 : 막장 20m 후방까지 완전한 지보	• 천장부에 길이 3m, 간격 2.5m 록볼트 • 경우에 따라 와이어 메쉬도 함께 설치	• 천장부의 필요한 곳에 50mm 두께로 타설	• 불필요
3. 보통의 암반 (RMR=41~60)	• 계단식 : 상단면을 1.5~3m씩 굴진 • 발파 후 지보설치 • 막장에서 10m 후방까지 완전한 지보	• 길이 4m, 간격 1.5~2m의 록볼트를 천장부 및 측벽에 체계적으로 설치 • 천장부는 와이어 메쉬 설치	• 천장부에 50~100mm, 측벽부에 30mm 두께로 타설	• 불필요
4. 불량한 암반 (RMR=21~40)	• 계단식 : 상단면을 1.0~1.5m씩 굴진 • 굴착과 동시에 지보 설치 (막장 10m 후방까지)	• 길이 4~5m, 간격 1~1.5m의 록볼트를 와이어 메쉬와 함께 천장부 및 측벽부에 체계적으로 설치	• 천장부 100~150mm, 측벽부 100mm 두께로 타설	• 필요한 곳에 1.5m 간격의 소형 철재 지보 설치
5. 매우 불량한 암 반 (RMR<20)	• 복수터널을 이용한 굴착 : 상단면을 0.5~1.0m씩 굴진 • 굴착과 동시에 지보 • 발파 후 가능한 빨리 숏크리트 타설	• 길이 5~6m, 간격 1~1.5m의 록볼트를 와이어 메쉬와 함께 천장부 및 측벽부에 체계적으로 설치 • 인버트에도 설치	• 천장부 100~200mm, 측벽부에 150mm 두께, 막장면에 50mm 두께로 타설	• 0.76m 간격의 중형 또는 대형 철재 지보를 철재 살창(lagging)과 함께 설치, 필요하다면 포어폴(forespole) 설치, 인버트 폐합

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

차. 암반 등급별 무지보 유지시간과 최대 안정폭 관계



카. 암반 물성치(강도정수, 변형계수) 및 지보패턴 산정

구 분	암반의 강도정수				
등 급	I	II	III	IV	V
평 균 유지 기간	15m 폭 20 년	10m 폭 1 년	5m 폭 1 주일	2.5m 폭 10 시간	1m 폭 30 분
점착력, c(kPa)	> 400	300 ~ 400	200 ~ 300	100 ~ 200	< 100
내부마찰각, $\phi(^{\circ})$	> 45	35 ~ 45	25 ~ 35	15 ~ 25	< 15

타. Q-System에 의한 분류

구 분	내 용
평가방법	- Barton, Lien, Lunde(1974) 등은 주어진 암반상태에서 굴착상태와 크기에 적합한 지보 형태와 규모를 구하기 위해 약 200 가지 경우를 분석하여 300,000 가지가 넘는 지질학적 조건 상태를 6개의 매개변수를 사용 수치적으로 분류하였으며 이를 Quality of rock mass, Q로 나타냄 - 암질을 3개의 지수 그룹, 암괴블럭의 크기(RQD/J_n), 블록간의 전단강도(J_r/J_a), 암반작용 응력(J_w/SRF)에 대한 6가지 요소를 평가하여 암반의 등급을 수치화하여 점수에 따라 암반등급을 9가지로 구분 - 평가식 : $Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$ 여기서, - J_n : 절리군의 수 - J_r : 가장 상태가 나쁜 절리나 불연속면의 거칠기 - J_a : 취약 절리면의 충전물 또는 변질정도 - J_w : 지하수의 유입상태 - SRF : 응력 감소 계수
장 점	- 기 시공된 많은 터널 현장 시공사례를 통한 분석과 자료축적을 통해 제안된 방법으로 적용성이 매우 큼 - 암반의 불연속면 발달에 대한 불연속면간의 전단강도에 주안점을 두어 공학적 관점에서 매우 합리적인 평가 가능 - 암반을 보다 세부적으로 평가 가능하며 보다 넓은 범위의 터널의 폭과 높이에 대한 구체적인 지보 보강형식이 제안되어 있음 - 대단면 터널, 유동성 또는 팽창성 암반조건에 적용성이 양호
단 점	- 불연속면의 방향성에 대한 고려는 없음 - Q 값 산정을 위한 6개 요소들이 비교적 복잡하여 조사하는데 많은 지식과 경험이 필요하여 조사자의 숙련도에 따라 오차가 날 수 있음 - 평가 요소들이 암반이 노출되어 있는 상태이거나 굴착 중 막장 관찰시에만 비교적 정확하게 조사될 수 있는 항목들이므로 일반적인 시추코어를 대상으로 6개 요소를 신뢰성 있게 판단하기는 비교적 곤란함
분류법의 변천	1974년 발표시 Q값에 따른 제안 지보패턴 형식은 총 38가지로 구분 1993년 Grimstad & Barton은 강섬유보강 슛크리트(SFRS)의 사용이 늘어남을 감안하여 암반등급 및 터널규모에 따른 수정 지보 보강 형식을 제안 (수정 Q-System (NMT))

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

파. Q분류 평가 항목 및 기준

평 가 요 소	점 수	비 고
1. 암질지수 (RQD)	RQD	
• 아주 불량 • 불량 • 양호 • 우수 • 아주 우수	0~25 25~50 50~75 75~90 90~100	• RQD가 10이하일 때는 10으로 계산한다. • RQD의 간격이 5이면 충분한 정확도를 가진다.
2. 절리군의 수 (J_n)	J_n	비 고
• 피상, 절리가 없음 • 하나의 절리군 • 하나의 절리군과 부분적인 절리 • 두 개의 절리군 • 두 개의 절리군과 부분적인 절리 • 세 개의 절리군 • 세 개의 절리군과 부분적인 절리 • 네 개 이상의 절리군과 불규칙적인 절리, 절리가 심하게 발달, 각설탕 구조 • 토양과 같이 파쇄된 암석	0.5~10 2.0 3.0 4.0 6.0 9.0 12.0 15.0 20.0	• 터널 교차부($3.0 \times J_n$) • 터널 입구부($2.0 \times J_n$)
3. 절리의 거칠기 (J_r)	J_r	비 고
• 절리면간의 접촉 • 10cm 이내의 전단으로 절리면 양쪽이 접촉 - 불연속면의 절리 - 거칠거나, 불규칙, 기복이 있음 - 부드럽고 기복이 있음 - 평활면, 기복이 있음 - 거칠고, 불규칙한 판상 - 부드럽고 판상 - 평활면, 판상 • 전단시에도 절리면의 접촉이 없음 - 절리의 벽면이 접촉할 수 없을 정도로 점토광물이 충전 - 절리의 벽면이 접촉할 수 없을 정도의 모래, 자갈, 파쇄대가 두껍게 존재	4.0 3.0 2.0 1.5 1.5 1.0 0.5 1.0 1.0	• 관련 절리군의 평균간격이 3m보다 큰 경우에는 1.0을 더한다. • 방향 경향이 뚜렷한 Lineation을 갖는 평평한 평활면의 절리는 $J_r=0.5$ 를 사용할 수 있다.

평 가 요 소	점 수	ϕ_r (대략치)
4. 절리의 변질정도 (J_a)	J_a	
• 절리면간의 접촉 - 변질이 없고 완전히 밀착, 단단한 불투수 충전물 0.75 25~35° - 변질되지 않은 절리벽면, 표면에 얼룩 1.0 25~30° - 약간 변질된 절리 벽면, 연화되지 않은 광물의 피복, 사질 입자, 점토성이 없는 풍화암 2.0 25~30° - 실트 혹은 사질 점토의 피복, 연화되지 않은 작은 점토의 파편 3.0 20~25° - 연화되었거나 마찰력이 적은 점토성 광물의 피복 (고령, 운모, 형석, 활석, 석고 등), 팽창성 점토 (연속적인 피복, 1~2mm나 그 이하의 두께) 4.0 8~16° • 10cm 이내의 전단으로 절리면 양쪽이 접촉 - 사질, 입자, 무점토성 풍화암 등 4.0 25~30° - 심하게 과압밀화된 불연화성 점토광물의 충전 (연속적이거나 5mm 미만의 두께) (1) 6.0 16~24° - 보통 또는 약간 과압밀화된 불연화성 점토 광물의 충전 (연속적이거나 5mm 미만의 두께) (2) 8.0 12~16° - 몬모리로나이트 같은 팽창성 점토의 충전(연속적 이거나 5mm 이하의 두께), J_a 값은 팽창성 점토 입자의 크기, 수분의 혼입량의 비율에 따라 변화..... (3) 8.0~12.0 6~12° • 전단시에도 절리면의 접촉이 없음 - 풍화 또는 파쇄된 암석의 대상 분포 및 구역(점토 조건에 대한 설명은 (1),(2),(3) 참조) 6.0, 8.0 또는 8.0~12.0 6~24° - 실트나 사질점토가 대상으로 분포, 작은 점토 파편(불연성) 5.0 - 두껍고 연속적인 점토의 대상 분포나 구역(점토 조건에 대한 설명은 (1),(2),(3) 참조) 10.0, 13.0 또는 13.0~20.0 6~24°		
5. 지하수에 의한 계수 (J_w)	J_w	개략의 수압 (MPa)
• 건조 혹은 소량의 유출(국부적 5ℓ/분 미만) 1.0 < 0.1 • 보통정도의 유출과 수압, 때때로는 절리내 충전물이 유출 0.66 0.1~0.25 • 충전물이 없는 절리를 갖는 견고한 암석에서의 대량의 유출과 높은 수압 0.5 0.25~1.0 • 대규모 유출과 압력, 상당량의 절리내 충전물이 유출 0.33 0.25~1.0 • 발파시 극히 많은 유출과 높은 수압이 작용하나 시간의 경과와 함께 감소 0.1~0.2 > 1.0 • 시간의 경과와 관계없이 계속적인 극히 많은 유출과 높은 수압이 작용 0.05~0.1 > 1.0		

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

평 가 요 소	점 수	비 고
6. 응력 감소 계수(SRF)	SRF	
• 굴착시 터널과 교차할 경우 암반을 이완시킬 수 있는 정도의 연약대 - 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대의 빈도가 잦은 경우, 이완이 심한 주변암반(임의 심도) - 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대의 빈도가 한번인 경우, 이완이 심한 주변암반(굴착심도 50m 이하) - 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대의 빈도가 한 번인 경우, 이완이 심한 주변 암반(굴착심도 50m 이하) - 견고한 암반에서의 전단대의 빈도가 잦은 경우(무점토), 이완된 주변 암석(임의의 심도) - 견고한 암반에서의 전단대가 하나인 경우(무점토), (채굴 심도 50m 이하) - 견고한 암반에서의 전단대가 하나인 경우(무점토), (채굴심도 50m 이상) - 느슨한 절리, 절리가 심한 경우(임의 심도)나 견고한 암석에서의 응력문제 σ_2/σ_1 σ_2/σ_1 - 낮은 응력, 지표 부근 $> 200 > 13$ - 중간 응력 200~10 13~0.66 - 높은 응력 10~5 0.66~0.33 - 완만한 암반 파열(피상 암반) 5~2.5 0.33~0.16 - 심한 암반 파열(피상 암반) $< 2.5 < 0.16$ • 압착성 암반 : 높은 반압의 영향으로 소성 변형 발생 - 완만한 압착 반압 - 심한 압착 반압 • 팽창암반 : 수압에 의한 화학적 팽창 - 완만한 팽창 반압 - 심한 팽창 반압	10.0 5.0 2.5 7.5 5.0 2.5 5.0 2.5 1.0 0.5~2.0 5~10 10~20 5~10 10~20 5~10 10~15	• 전단대가 공동과 교차하지 않고 영향만 준다면 SRF를 25~50% 감소시킨다. • 심한 이방성을 보이는 응력장의 경우(측정시) : $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$일 때 σ_c와 σ_t는 0.8 σ_c, 0.8 σ_t가 된다. σ_1 : 최대주응력 σ_3 : 최소주응력 σ_c : 단축압축강도 σ_t : 인장강도 • 지표로부터 터널 천단 부분의 심도가 터널 폭보다 작은 경우 자료는 거의 없다. 이러한 경우는 SRF 값을 2.5에서 5로 증가시킨다.

3.3 현장조사 및 시험

3.3.1 물리탐사

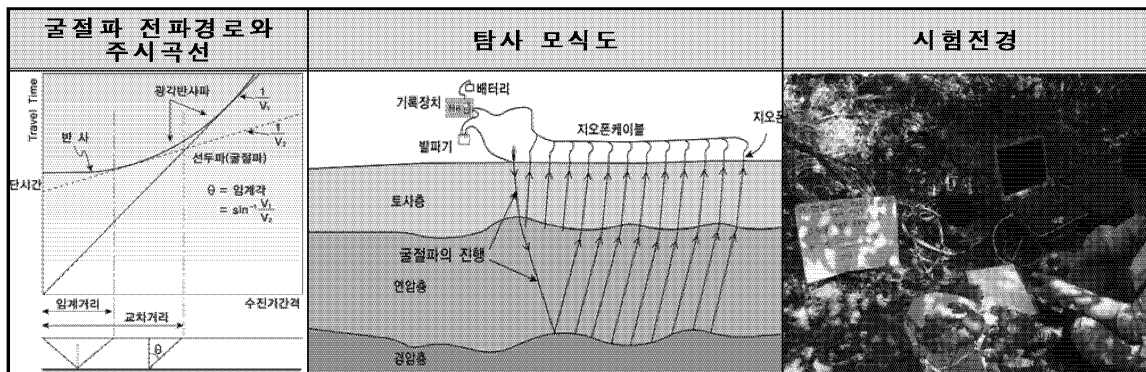
가. 굴절법 탄성파 탐사

(1) 목 적

- 터널 시·종점부에서 두껍게 발달하는 봉적층 및 상부 풍화대 분포현황 파악
- 비탈면구간 및 미시추구간의 지층분포 파악 및 속도분포에 따른 토공난이도(리퍼빌리티) 평가

(2) 원리 및 방법

- 탄성파탐사 기록으로부터 직접파와 굴절파 및 반사파의 도달시간을 읽어 주시곡선도 (Time-Distance Chart)를 작성하며 아래의 그림과 같음
- 지표면에서 진원으로부터의 최초 굴절파가 감지되는 거리를 임계거리(Critical Distance)라 함
- 굴절파가 직접파를 앞질러 초동으로 나타나는 지점까지의 거리를 교차거리(Cross-Over Distance)라고 함
- 또한 굴절파의 주시를 나타내는 직선을 원점거리까지 임의로 연장하였을 때 시간축과 만나는 점을 절단시간(Intercept Time)이라고 함
- 일반적으로 각 수진점에 도달하는 초동만을 읽어 주시곡선을 작성하고 주시곡선상에 나타나는 각 직선 등의 기울기로부터 지층에 대한 속도를 결정한 후 각층 경계면까지의 심도를 계산함
- 작성된 주시곡선으로부터 토모그래피 역산기법을 이용하여 고밀도 탄성파 속도 단면 획득
- 탄성파의 발생 원으로는 발파 또는 Sludge Hammer를 지표에 고정된 플레이트에 수직 가격하여 종파를 발생시키며, 양단 원·근거리발파와 중앙발파를 수행



(3) 장비 제원

장 비 명	특 정	제 작 사	수 진 기	장비사진
Geode	24채널 24 bit	Geometrics, USA	10Hz Geophone	

(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 2.305km, 교량구간 0.150km, 비탈면구간 9.760km 총 12.215km 실시
- 탐사에 의해 측정된 탄성파속도(V_p) 분포로부터 개략적인 지층의 상태 및 파쇄대와 같은 이상 구조대 유·무를 판단하고 시추조사 위치선정 자료로 활용

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

나. 전기비저항 탐사

(1) 목 적

- 터널구간의 전기비저항값을 획득하여 지반의 공학적 성질을 분석하고 이상대 및 지층 분포 특성 파악
- RMR과 전기비저항 상관성분석을 통한 터널구간 암반등급 산정시 반영

(2) 원리 및 방법

- 전류를 지하에 흘려보내고 지표에서 입력전류에 의하여 형성된 전위를 측정
- 다수의 전류송신점과 전위측정점 조합으로 측정된 자료를 이용하여 지하의 전기비저항 분포를 계산
- 국내에서 많이 활용되는 분해능이 뛰어난 쌍극자-쌍극자 배열법을 채택하여 2차원 고밀도/고해상도 전기비저항 탐사를 수행
- 전극간격의 대상 심도에 따라 10m, 20m, 40m를 병행하여 사용하였고, 계획심도에 따라 변형 적용

전기비저항 탐사 원리	전기비저항 탐사 전경
• 대지내의 전도성 물체가 존재하는 경우, 전도체 부근으로 전류의 흐름이 집중되며, 이는 지표면까지 형성된 등전위선에 영향을 주고 이를 측정하게 됨	

(3) 장비 제원

Data acquisition		배전반/전극/전선
SAS4000 (100W, 4ch, ABEM/스웨덴)	전기비저항 탐사기 (1,000W)	10m, 20m spacing 12ch. cable 4채널 동시측정용 배전반

(4) 적용현황 및 결과 활용

- 군위터널 4.690km 실시
- 전기비저항치와 RMR 값과의 상관관계 분석을 통해 미시추 구간의 암반등급 평가
- 저비저항 이상대 출현위치에 상세조사 계획 수립에 반영

3.3.2 현장조사

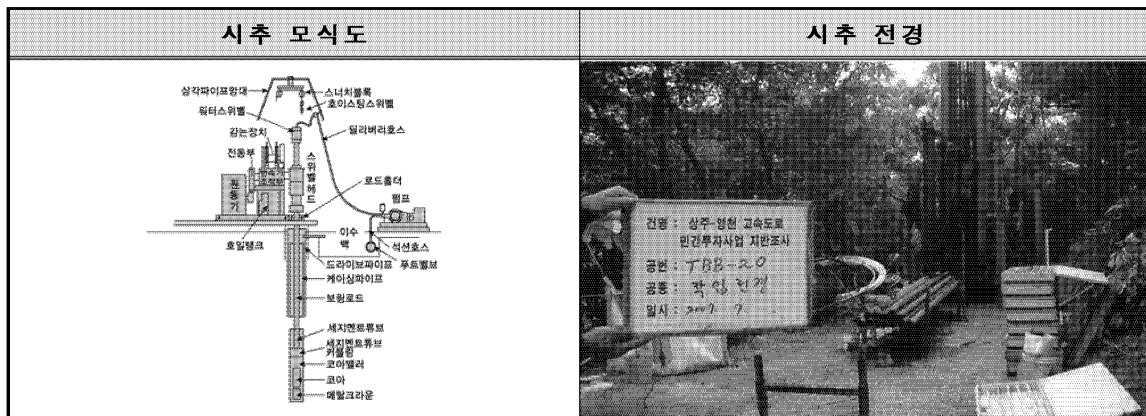
가. 시추조사

(1) 목 적

- 시추조사는 지표로부터 지하 깊은 곳을 직접 눈으로 볼 수 없으므로 시험공을 굴진하여 지반의 성상을 조사하고, 시료의 채취 및 각종 원위치 공내시험을 시행하여 설계에 필요한 제반 자료 제공
 - 지반의 수직적 분포상태 확인
 - 지반의 제반 공학적 특성 파악 및 시료채취
 - 현장 원위치시험의 시험공 확보
 - 회수된 코아상태, Slime 상태, 순환수의 색조 및 누수상태 등을 이용하여 기반암 상태 판단

(2) 원리 및 방법

- 시추조사는 노선구간에 대하여 지반의 수직적 특성 즉, 지층의 성층상태와 각 지층의 지반 공학적 특성, 기반암의 분포상태 및 풍화도, 절리간격 등을 파악
- 시추작업과 병행하여 지층의 상대밀도와 구성성분을 파악하기 위하여 매 1.0m 간격으로 표준관입시험을 한국산업규격(KS F2307)에 의거 연속성 있게 실시하였으며 조사의 정확성을 위해 지표면으로부터 공벽 붕괴가 예상되는 풍화암까지는 Casing을 삽입하고 천공
- 풍화암층을 포함한 토사층은 S.P.T Sampler에 의하여 시료를 채취하였으며 기반암층에서는 Core 회수율을 높여 정확한 암질상태를 파악하기 위하여 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit를 사용
- 채취된 암석 Core는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 불연속면 즉, 절리와 절리면의 충전물 등을 파악하고 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추 주상도에 기재



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 23공(경사시추2공), 교량구간 46공, 비탈면구간 71공 총 140공 실시
- 지층상태 확인, 지지층 확인, 현장시험 및 채취된 시료를 이용 실내 토질 시험 실시
- 지질경계 파악
- 각종 현장 시험공 확보

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

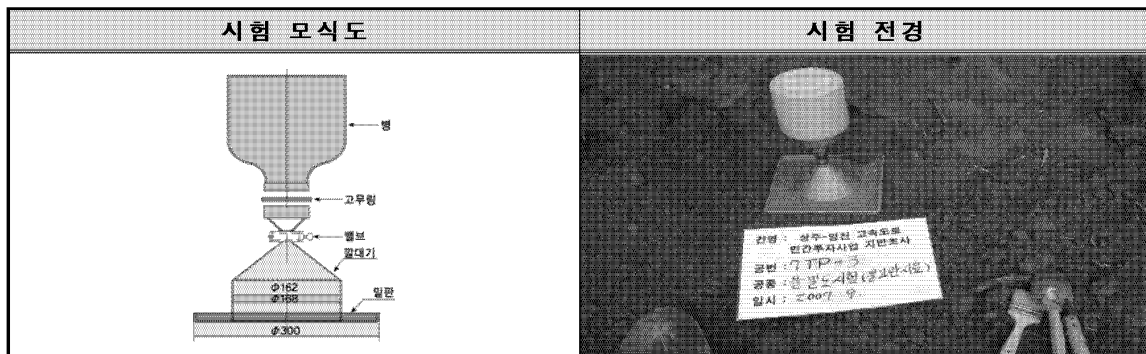
나. 시험굴 조사

(1) 목 적

- 과업지역 및 토취장 예상지역에서 발생하는 토사의 성토재로서의 사용 가능성 여부 및 흙의 다짐 특성 파악

(2) 원리 및 방법

- 과업지역 및 토취장 예상지역에서 1.0m 깊이의 시험굴을 굴착한 후 약 50kg의 Bulk sample을 채취한 후 물리적 특성 평가를 위한 토질시험 및 다짐도와 지지력 특성 평가를 위한 다짐시험 및 실내 CBR 시험을 산업규격(KS F2320)에 의거하여 토성시험, 다짐시험 및 직접전단시험 실시



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 2회, 비탈면구간 13회 총 15회 실시
- 현장조사 및 실내시험에 의한 토사층의 품질, 다짐특성, 노상 지지력비 산정
- 쌓기 재료로서의 적합성 판정 및 경제성을 고려한 쌓기재 및 노반재료로서의 유용가능성 파악
- 자연상태의 현장단위중량을 구하여 비탈면 해석시 적용

다. 핸드오거보링

(1) 목 적

- 비탈면구간에 대해서 지층 구성상태와 토질상태 및 연약지반 분포 유무를 확인
- 토질물성시험을 위한 시료채취
- 채취된 시료의 토질물성시험으로부터 흙의 분류

(2) 원리 및 방법

- Post Hole Auger ($\phi=3"$)
- 나사 송곳식 또는 이완식의 오거를 회전시키면서 지반 굴착
(지표면하 1.0~1.8m 심도까지 확인)
- 채취한 시료는 함수비 변화가 없도록 밀봉하고, 교란이 최소화되도록 유의하여 시험실로 운반



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 쌓기구간에 대해 총 4회 실시
- 핸드오거보링시 채취된 교란 시료에 대하여 실내시험 실시
- 함수량, 비중, 액·소성한계, 입도 분석시험 등의 물리적 특성치를 평가하여 토질 분류에 활용

3.3.3 현장시험

가. 표준관입시험

(1) 목 적

- 시추조사와 병행하여 N치로부터 지층의 상대밀도 및 연경도 파악
- N치 측정을 통해 지반강도 및 변형특성 등 설계정수 산정 및 지층구분의 자료로 이용
- 지반 물성치 산정에 반영

(2) 원리 및 방법

- 한국산업규격(KS F2307)에 의거 토사 및 풍화대에서 1.0m마다 또는 지층변화 지점에서 시행
- 표준관입시험용 샘플러를 시추공 저면의 하단에 연결하여 시추공 저면 밑에 내리고 Rod의 상단에 연결된 노킹 헤드를 표준해머(63.5±0.5kg)에 의해 낙하고 76±1cm의 조건으로 자유낙하시켜 관입 깊이를 측정
- 15cm씩 3단계로 시행하며, 샘플러를 30cm 관입하는데 필요한 타격회수를 N치로 함
- 지층이 조밀 또는 견고하여 30cm 관입이 곤란할 경우에는 50회까지 타격하고 그 때의 관입량을 50/3(50회 타격에 3cm관입)과 같이 기록

시험 모식도	시험 전경	표준관입시험 시료채취

(3) 적용현황

- 터널구간 252회, 교량구간 269회, 비탈면구간 572회 총 1,093회 실시

(4) 결과 활용

구 분		결 과 활 용	
지반에 대한 종합 판정		• 지반구성과 강도 분포 • 말뚝이나 널말뚝 관입의 가능성 • 지반개량 방법과 효과의 판정	• 기초의 지지층 심도 • 연약층 유무, 투수층 유무
N치에 의한 공학적 특성 평가	사 질 지 반	• 상대밀도 • 지지력 계수 • 액상화 가능성 • 기초의 탄성침하 및 허용지지력	• 내부마찰각 • 침하에 대한 지지력 • 간극비
	점성토 지 반	• 컨시스턴시 • 비배수 점착력 • 파괴에 대한 지지력	• 일축압축강도 • 기초지반의 허용지지력
		말뚝의 연직 지지력 및 수평변위, 지반 반력계수, 변형계수, 횡파속도	

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

나. 현장투수시험

(1) 목 적

- 토사층 및 풍화대층의 투수성 파악

(2) 원리 및 방법

- 정수위법(Constant Head Test)

$$\text{지하수위면 하부 : } K = \frac{Q}{2\pi L(H_G + H_W)} \ln \left[\frac{L}{2R} + 1 + \left(\frac{L}{2R} \right)^2 \right]$$

$$\text{지하수위면 상부 : } K = \frac{Q}{2\pi L(H_G + H_W)} \ln \left[\frac{L}{2R} + 1 + \left(\frac{L}{2R} \right)^2 \right]$$

여기서, K : 투수계수(cm/s)

L : 시험구간(cm)

H_G : 지표로부터 지하수위(cm)

H_W : 지표로부터 케이싱내 수두높이(cm)

H_D : 지표하 케이싱 심도(cm)

R : 케이싱 반경(cm)

Q : 유입량 (cm³)

- 변수위법(Falling Head Test)

$$K = \frac{R^2}{2L(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{L}{2R} \right) \cdot \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right)$$

여기서, K : 투수계수(cm/s)

L : 시험구간(cm)

R : 공의 반경(cm)

H₁ : t₁때의 공내수위와 지하수위의 차이(cm)

H₂ : t₂때의 공내수위와 지하수위의 차이(cm)

정수위법	변수위법	시험 전경

(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간, 교량구간, 비탈면구간 등의 모래, 자갈의 충적층, 붕적층, 풍화토층에서 실시
- 터널구간 4회, 교량구간 15회, 비탈면구간 34회 총 53회 실시
- 토사지반의 투수계수 K값 산정
- 침투류 해석시 입력자료로 활용

다. 현장수압 시험

(1) 목 적

- 터널굴착에 따른 지하수의 거동분석, 그라우팅 보강효과예측 등을 수행하기 위하여 실시
- 시험결과에 따라 주입압력 · 주입량 곡선을 작성, 한계압력에 따라 Lugeon값을 산정하여 투수성 평가
- 투수 Pattern 파악(Laminar Flow, Turbulent Flow, Dilation, Wash-Out Void Filling)

(2) 원리 및 방법

- 수압을 이용하여 질리를 포함한 암반의 투수성을 시험한 방법으로 공경 46~66mm 정도의 시추공에 압력 1,000kN/m²로 주수하여 루전(Lugeon, 주입량을 ℓ/min 단위로 나타낸 것)값 산정
- 시험방법은 Single Packer을 하향식으로 하고 압력의 증감은 5~9단계로 실시하여 각 단계에서 주입압력별로 약 10분간의 가압시간을 유지하여 정확한 주입수량을 측정
- 투수계수 산출에 사용된 공식은 다음과 같다.

$$K = \frac{2.3Q}{2\pi HL} \cdot \ln \frac{L}{R}$$

여기서, K : 투수계수(cm/sec), L : 시험구간(cm), Q : 주입유량(cm³/sec)

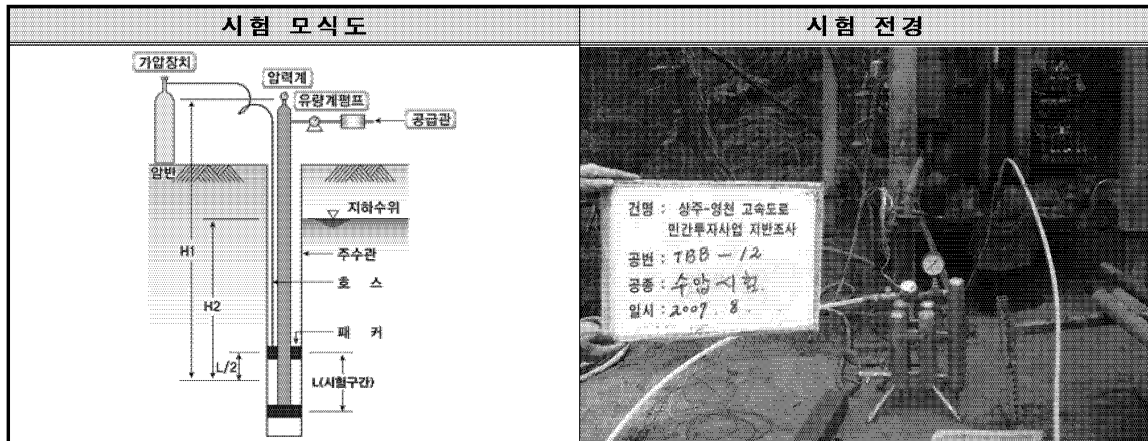
H : 총수두(cm), R : 공반경(cm)

- 각 압력 단계별로 Lugeon(Lu) 값을 계산하여 Lugeon Pattern에 따라 Lugeon 값을 정하였으며, Lugeon치 산출에 사용된 공식은 다음과 같다.

$$Lu = \frac{10 \cdot Q}{P \cdot L}$$

여기서, Lu : Lugeon치, Q : 주입유량(ℓ/min), L : 시험구간(m),

P : 주입압력(×100kN/m²)



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 10회 실시
- 기반암의 투수계수 산정
- 갱구 비탈면 해석시 유효응력 산정에 활용
- 침투류 해석시 입력자료 및 차수보강(그라우팅) 설계시 활용

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시계획

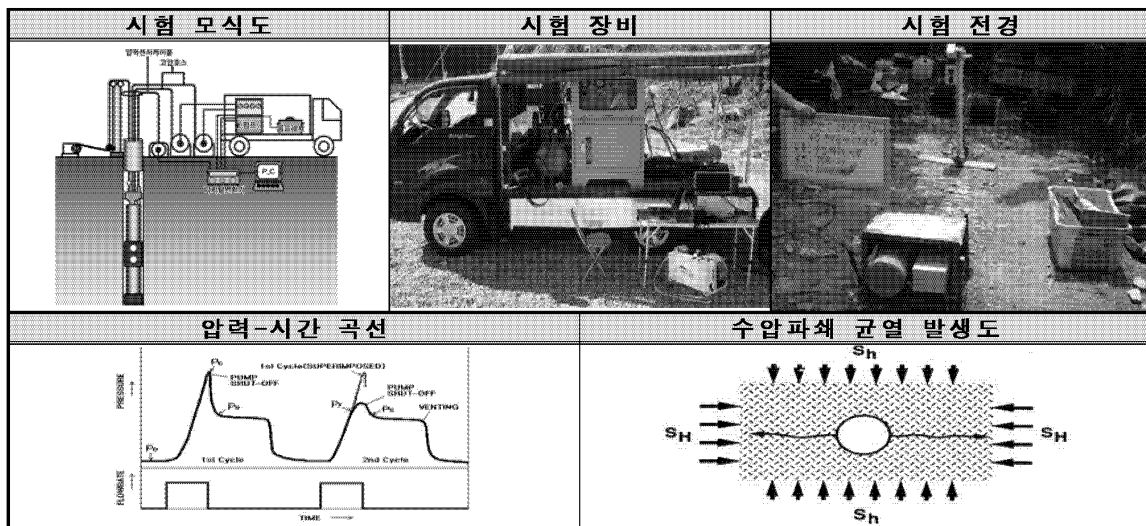
라. 수압파쇄 시험

(1) 목 적

- 현지암반의 초기응력과 최대주응력의 방향 측정
- 터널 굴착시 변위 거동에 중요한 영향을 미치는 원 암반의 초기 지중응력 측정

(2) 원리 및 방법

- 수압파쇄는 암반이 압축강도에 비해 인장강도가 크게 낮은 취성재료(일반적으로 인장강도는 압축강도의 1/10~1/20)라는 특성을 이용
- 공벽 균열이 없는 시험구간에서 균열파쇄압력 P_c (Peak Pressure) 도달할 때까지 시험구간 가압
- 파쇄가 발생한 직후 감압을 시켜 균열이 폐쇄되는 균열 폐쇄압력 P_s (Shut-in Pressure)에 도달시킴
- 일정시간 경과후 다시 가압을 하여 균열이 열리도록 한 다음 다시 감압(이때 균열이 다시 열릴 때의 압력을 균열개구 압력, P_r (Fracture Re-opening Pressure) 이라 한다)
- P_r 과 P_s 를 실내에서 판정할 수 있도록 3회 이상 가압 싸이클을 반복
- 파쇄균열면 방향측정(Impression Test)
- 수평방향의 주응력은 결과분석시 도출되는 균열파쇄 압력(P_c), 균열 폐쇄압력 (P_s), 균열개구압력(P_r)들로부터 산정
- 각 압력치들은 시험시 기록된 압력(Pressure) - 시간(Time), 유량 (Flow rate) - 시간(Time) 관계곡선 그래프로부터 도출
- 암반 수직응력, 최대·최소 주응력 산정
- 암반의 축압계수(K_0) 산정
- 터널축방향으로 보정하여 터널 축방향 및 축직각방향으로 보정된 축압계수(K_r , K_L) 산정
- 최대수평주응력 산정
 - : $\sigma_k = 3\sigma_k - P_c - \sigma_T - P_0$ (첫번째 가압 사이클에서 P_c 로부터 산정시)
 - : $\sigma_k = 3\sigma_k - P_r - P_0$ (두번째 가압사이클 이상에서 P_r 로부터 산정시)
- 최소수평주응력 산정 : $\sigma_k = P_r$



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 1회 실시
- 터널굴착 예정 지반의 축압계수 K_0 산정(수직응력에 대한 수평응력의 비)
- 암반 축압계수를 산정하여 터널 단면 설계 및 안정해석시 적용

마. 공내재하시험

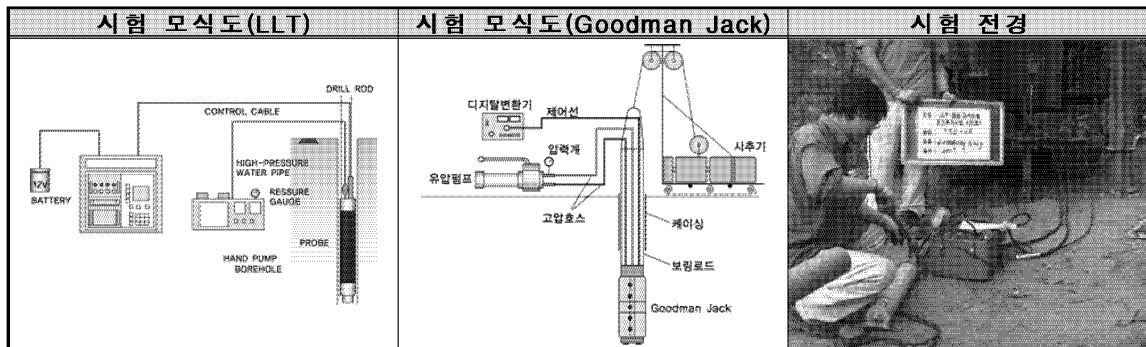
(1) 목 적

- 암반 및 토사층의 변형특성 파악
- 시험의 신뢰성을 높이기 위해 재하방식에서 차이를 갖는 3종류의 공내재하시험기를 사용, 토사층 이하에서는 LLT, 풍화대~연암에서는 Elastometer II, 연암~경암층에서는 Goodman Jack으로 시험 실시

(2) 원리 및 방법

- 등분포재하시험
 - 보링공내에 고무튜브의 측정관(Probe)을 삽입하고 그것에 가압액(물 또는 기름)이나 공기를 빼내는 것에 의해 공벽에 등분포하중을 주는 방식
 - 시험공 공벽에 대하여 동등한 하중을 가압, 응력분포가 축대칭이 되고 이론적인 취급에 용이
 - 등분포재하법에 의한 기종으로는 Pressuremeter나 Elastometer-II 등이 있음
- 등변위재하시험
 - 직사각형의 강체 재하판을 장전한 Probe를 시험공 공내에 삽입하고 유압 Jack으로 재하판에 의하여 공벽에 하중을 작용시키는 방식
 - 시험시 지반내 응력분포가 복잡하지만 등분포재하법과 비교해서 큰 하중을 작용시킬 수 있음
 - 등변위재하법에 의한 기종으로는 Goodman Jack 등이 있음

구 분	LLT	Elastometer-II	Goodman Jack
압 력 원	질소가스압	핸드 펌프	핸드 펌프
변 위 량	Stand pipe 수위변화	Probe 내부 수평변위계	Probe 내부 수평변위계
재 하 판 강성	연성(고무튜브)	연성(고무튜브)	강성(금속판)
재 하 방 식	등분포하중	등분포하중	등변위하중
외 경(mm)	70~80	70~80	40~85
적 용 지 반	토사층	풍화암~연암	연암~경암
가압셀의 수	1셀	1셀	1셀 상당



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 23회, 교량구간 20회 총 43회 실시
- 암반 등급별 변형계수를 결정하여 터널단면 수치해석시 적용
- 여러 조건하에서 실시된 재하시험 결과를 토대로 단층파쇄대 변형계수 산출 및 입력자료로 활용
- 풍화암, 연암 및 경암층의 변형계수를 산정하여 지반변형거동 분석을 위한 수치해석의 입력정수로 활용

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

바. 시추공 전단 시험

(1) 목 적

- 풍화대층의 현장 강도정수 파악을 위하여 시추조사와 병행하여 실시
- 풍화토 및 풍화암의 설계정수 산정시 반영

(2) 원리 및 방법

- 시추공내에서 시험심도 구간 선정후 Probe를 시험 구간에 삽입
- 지상에서 핸드펌프를 이용하여 고압호스로 압력을 가하여 시추공내 전단기(Shear Head)에 수평 압력(Normal Stress)을 가한 후 충분히 압밀이 되도록 기다림
- Probe와 연결된 Rod를 지상에서 유압잭으로 전단압력을 가하여 전단압력이 최대가 될 때의 수평 압력과 전단압력을 측정
- 수평압력을 단계적으로 3~5회 증가시키며 측정하여 각 단계별 수평압력(Normal Stress)과 전단 압력(Shear Stress)을 X, Y축에 표시하고 이들 점들에 대한 선형회귀분석(Linear Regression)을 하여 점착력 및 내부마찰각을 산정



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 7회, 교량구간, 3회, 비탈면구간 11회 총 21회 실시
- 토사층 및 풍화암층의 강도정수를 산정하여 구조물 안정해석시 입력자료로 활용

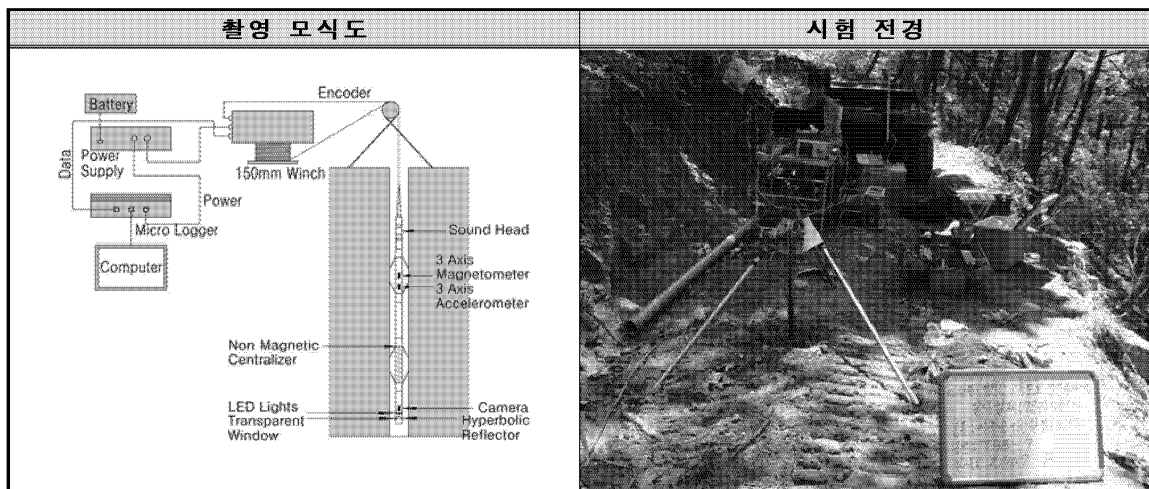
사. 시추공 영상촬영

(1) 목 적

- 터널구간 중 지표에 암반노출이 불량하여 노두조사로는 충분한 절리특성을 파악키 곤란한 구간에서 지중불연속면을 측정하고자 실시
- 지하암반의 불연속면(절리, 층리, 엽리 등) 특성, 균열내 충전물의 유무, 심도별 지반상태 및 단층대를 파악하여 터널설계에 활용하고자 실시

(2) 원리 및 방법

- 시험대상 시추공 선정후 센서(Probe)를 시험공내에 삽입
- 입력된 정보를 심도별 및 불연속면의 특성별로 정렬하여 로즈다이어그램 및 스트레오넷을 통하여 불연속면, 파쇄대, 단층대 등에 대한 각종 정보를 추정, 해석
- 광학적 촬영방법으로 광원과 Camera가 부착된 Probe를 시추공내에 삽입한 후 Cone Mirror를 이용하여 공벽을 360° 촬영하며, 이때 자기센서가 내장되어 촬영중 북쪽을 기준으로 촬영되어 방향이 기록되고 심도 센서에 의해 촬영심도 기록됨
- 촬영된 기록은 Image Processing을 통해 처리하면 시추공벽에 나타난 지층면이나 절리면의 주향, 경사 및 균열의 폭 등 불연속면에 대한 정보를 입체적으로 파악할 수 있음
- 최종적으로 불연속면들에 대한 주향 및 경사각들에 대한 통계적 분석 실시
- 주 · 부 불연속면 군에 대한 분류 수행



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 3회, 비탈면구간 7회 총 10회 실시
- 불연속면의 발생빈도를 분석하여 터널의 암반분류에 반영
- 주향과 경사를 통계처리하여 주절리군의 방향성과 터널굴진 방향과 관계를 분석하고 암반 분류시 평점의 보정과 수치해석시 입력자료로 활용
- 암반비탈면 해석시 입력자료로 활용
- 터널지반의 터널굴착에 의한 지반변형 수치해석시 불연속체 해석(UDEC) 자료로 활용

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

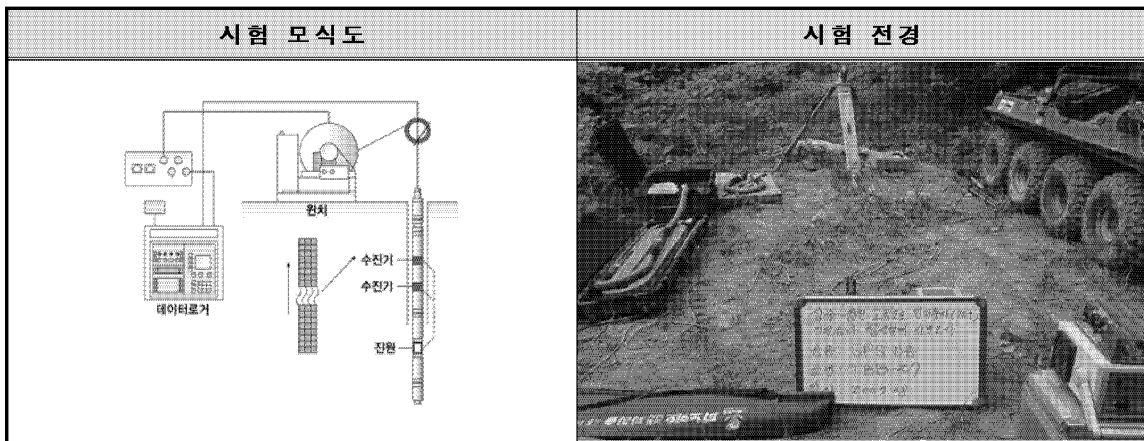
아. S-PS 검층

(1) 목 적

- 속도검층의 결과로 구해지는 탄성과 속도를 통해 내진설계에 필요한 지반의 동적 특성치 산정

(2) 원리 및 방법

- 탄성파를 수신하는 지오폰은 Hydrophone을 사용하므로 시험은 지하수위 하부 지반에 가능
- 지하수위 확인 후 시험지점 및 구간을 선정
- Main Body와 Probe를 연결하고 Probe를 시험 공내에 삽입, Probe를 상하 이동하며 일정 간격으로 발진과 수진을 실시하여 검층 수행
- 수신된 파의 도달속도, 파형 등의 측정 자료들은 본체의 Data Logger에 입력·저장되며, 필요시 모니터상에 또는 기록지로 재출력하여 검토
- 상기 과정을 시험 종료까지 반복하여 수행



장 비 명	모델 명	비 고	시험 장비
Main body	Notebook(OPTV, RG/영국) USB Micrologger 2	RG/영국	
Probe	Digital P-S Suspension probe (solenoid and hammer, 3D hydrophones)	RG/영국	
Logging Winch	Mini-winch (150m cable, 4 core)	RG/영국	

(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 2회, 교량구간 2회 총 4회 실시
- 시추조사 및 각종시험, 탐사 결과 등과 비교·분석하여 암반의 파쇄정도, 풍화대, 연약층 판정, 지층 구분의 검토 등에 활용
- 구조물의 내진해석시 입력 자료로 이용

3.4 실내시험

3.4.1 실내 토질시험

가. 토질물성 시험

(1) 목 적

- 각 지층의 물리적·역학적 특성파악과 흙의 분류(통일분류법)를 위해 실시
- 터널 갱구 비탈면 및 사면의 안정해석시 요구되는 흙의 분류 및 기본 물성 파악
- 교량부 기초 설계 및 비탈면 안정해석에 요구되는 토질 물성치 파악

(2) 원리 및 방법

시험 명칭	시험 결과치	시험결과치의 이용	표준방법
함수비시험	함수비	• 지반의 자연함수상태 파악	KS F2306
비중시험	비 중	• 지반의 단위중량 추정	KS F2308
입도분석 시험	체분석시험	• 지반의 입도 조성 파악	KS F2309
	비중계분석시험		KS F2302
액성한계시험	액성한계	• 흙의 분류와 공학적 성질 추정	KS F2303
소성한계시험	소성한계		



- 시험굴 조사 및 표준관입시험에서 채취된 시료 사용
- 터널구간 4회, 교량구간 22회, 비탈면구간 58회, 총 84회 실시

(3) 결과 활용

시험 명	시험 물성치	결과 활용
함수비 시험	함수비	자연 함수비 파악
비중 시험	비중	지반의 단위중량 추정
입도분포시험	입도분포곡선, 곡률 및 균등계수	지반의 입도 조성 파악
Atterberg 시험	액성한계, 소성한계	흙의 공학적 성질 추정

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

나. 다짐 및 CBR 시험

(1) 목 적

- 시료의 최대건조단위중량(γ_{dmax})과 최적함수비(ω_{opt})를 구하여 다짐특성 파악
- 시료의 관입량에 따른 하중강도를 측정하여 시료의 지지력 판정
- 쌓기재의 노상재료로서의 유용성 파악

(2) 원리 및 방법

- 다짐시험(KS F2312)은 시료의 함수비를 변화시켜가면서 일정한 다짐 에너지(A다짐, D다짐)를 가한 다음 건조단위중량-함수비의 관계에서 최대건조단위중량(γ_{dmax})과 최적함수비(ω_{opt})를 구함
- 실내 CBR시험(KS F2320)은 포장을 지지하는 노상토의 강도, 압축성, 팽창성, 수축성 등을 결정하기 위해 개발된 시험
- 이 시험은 D 다짐(5층 55회)한 시료를 직경이 50mm인 관입 피스톤을 일정 속도인 1.0mm/min으로 총 12.5mm까지 관입시키면서 0.5mm관입될 때마다 측정한 하중과 표준하중하중과 관계에서 CBR 값을 구함
- CBR치는 관입피스톤에 걸리는 시험단위하중의 표준단위하중에 대한 지지력비를 백분율로 나타낸 것

(3) 적용현황 및 결과 활용

- 비탈면구간 총 15회 실시
- 쌓기재료의 지반물성 및 토량변화율 산정
- 쌓기재 다짐에 따른 강도, 압축성, 팽창성, 수축성 결정
- 쌓기재의 노상재료 유용성 평가

다. 직접전단시험

(1) 목 적

- 봉적층 및 풍화대층의 강도특성을 파악하기 위하여 교란 시료를 채취, 직접전단시험 실시
- 시료의 변형에 따른 저항력을 측정하여 파괴강도, 잔류강도, 한계간극비 등을 구함
- Mohr-Coulomb의 파괴기준에 의해 강도정수(c , ϕ) 산정

(2) 원리 및 방법

- 직접전단시험(KS F2343)은 상·하부가 분리된 전단상자 속에 시료를 넣고 연직하중을 가한 다음 상·하부면을 따라 전단되도록 하는 방법이다. 연직응력(σ) 및 전단응력(τ)은 아래 식으로 구할 수 있다.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \tau = \frac{S}{A} \quad \text{여기서, } P : \text{연직하중(kgf)} \quad A : \text{전단면적(cm}^2\text{)}$$

- 이와 같은 식을 이용하여 연직응력을 3, 4회 바꾸어 각 연직응력에 대한 최대전단저항값을 구하고 이들 점을 연결하면 이 선이 Mohr-Coulomb의 파괴포락선이 되므로 점착력과 전단저항각을 구할 수 있음
- 배수조건에 따른 직접전단시험의 종류
 - 급속시험(Quick Test) : 연직하중으로 인하여 시료가 압밀되기 전에 급속히 전단시킨다. 만일 흙이 점착성이 있고 포화되어 있다면 과잉간극수압이 발생된다.
 - 압밀급속시험(Consolidated Quick Test) : 연직하중을 가하고 연직변위가 정지할 때까지 기다린 다음 흙을 급속히 전단
 - 압밀완속시험(Consolidated Slow Test) : 연직응력을 가한 다음 침하가 정지할 때까지 기다린 다음 간극수압이 발생하지 않도록 천천히 전단

(3) 적용현황 및 결과 활용

- 시험굴 조사에 채취한 시료를 대상으로 비탈면구간 총 15회 실시
- 타 자료들과 비교·분석하여 쌓기 비탈면 설계에 강도 정수값으로 활용

3.4.2 실내 암석시험

가. 암석물성 및 역학 시험

(1) 목 적

- 암석의 공학적 특성을 규명하기 위하여 시추조사시 채취된 암석시료에 대해 실내암석시험을 실시
- 비중, 밀도, 흡수율, 탄성파속도, 일축압축, 인장강도, 삼축압축 등의 실내시험 수행

(2) 원리 및 방법

- 비중 및 흡수율시험(KS F2503)
 - 암석의 단위중량 결정이나 암석의 적부판정을 위하여 실시하고, 흡수율시험은 암석의 내부 공극을 알기 위하여 수행

$$\text{겉보기 비중} = \frac{\text{시험편의 완전건조 비중}}{\text{공극을 포함하는 단위외형체적}}$$

$$\text{흡수율(\%)} = \frac{\text{침수된 시험편의 중량} - \text{건조된 시험편의 중량}}{\text{시험편의 비중}}$$

- 탄성파 속도 측정
 - 시험편의 탄성파속도를 측정하기 위하여 New Sonic Viewer Model 5271-A(OYO社)를 사용, 측정 방법은 시험편의 양면에 Transducer를 접촉시키고 Pulse를 발생시켜 압축파(P파) 및 전단파(S파)의 전파시간을 측정하여 다음식에 의하여 속도를 산출함

$$V_p = L/T_p \quad V_s = L/T_s$$

여기서, V_p : P파 속도 T_p : P파 전파시간 V_s : S파 속도

T_s : S파 전파시간 L : 시험편의 길이

- 일축압축강도 시험
 - 일축압축강도 시험은 ASTM/D2938, 탄성계수와 포아송비는 ASTM/D3149에 따라 160톤 용량의 MTS 315 System을 사용하여 시험편의 축방향으로 압축을 가한 후 파괴될 때의 하중을 측정

$$\text{일축압축강도(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{\text{파괴시의 하중(kgf)}}{\text{시험편의 단면적(cm}^2\text{)}}$$

- 인장강도 시험(ASTM/D2936)
 - 시험용 시험편은 Core를 (직경 : 높이 = 1:0.5~0.8) 디스크형이 되도록 절단한 후 압축시험용 시험편과 같은 방법으로 성형한다. ISRM 시험법에 의하여 디스크 절단면에 평행한 방향으로 코아의 원주곡면부에 가압하여, 파괴시하중과 시험편 규격으로부터 인장강도를 구한다.
 - 시험편의 직경과 길이를 각각 D, L이라 할 때 인장강도 S(kgf/cm²)는 다음 식으로 구한다.

$$S = 2P / (\pi D L)$$

- 삼축압축강도 시험(ASTM/D2850)
 - 동일한 성질을 갖는 3~4개의 시험편에 지중의 응력상태를 고려, 축압 및 축하중을 증가시켜 최대 삼축 압축응력의 변화를 구하는 시험
 - Mohr의 파괴포락선을 작도하여 점착력과 내부마찰각을 산정

(3) 적용현황 및 결과 활용

- 암석물성 : 터널구간 16회, 교량구간 13회, 비탈면구간 12회, 총 41회 실시
- 일축압축시험 : 터널구간 68회, 교량구간 26회, 비탈면구간 12회, 총 106회 실시
- 삼축/인장강도시험 : 터널구간 8회 실시
- 암석의 밀도, 흡수율, 함수비, 포화도, 간극비, 투수성 등의 공학적 특성 상세 파악
- 암석의 포아송비, 탄성계수 등 암반 변형특성 파악을 통해 암반분류 기초자료 제공

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

나. 점하중 강도시험

(1) 목 적

- 암석의 점하중 지수(I_{S50})를 파악하여 암석의 강도특성 평가를 위해 실시

(2) 원리 및 방법

- 시추에 의한 암석시료에 점하중을 가하여 시료내에 인장력을 유발시켜 암석이 파괴에 이르도록 하는 시험방법(ASTM/D5731)으로 이 결과를 이용하여 일축압축강도를 산출
- 일반적으로 암석의 인장강도는 일축압축강도의 1/10~1/15 정도로 매우 작은데 점하중강도와 일축압축 강도와는 비교적 양호한 상관관계를 나타냄
- 점하중 지수(I_{S50})은 다음과 같은 식을 이용하여 구함

$$I_{S(50)} = F \cdot I_s$$

여기서, $I_{S(50)}$: 보정한 점하중 지수(I_{S50}) (kgf/cm²) F : 보정 계수

I_s : 점하중 지수(I_{S50}) (kgf/cm²)

(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 125회, 교량구간 82회, 비탈면구간 38회, 총 245회 실시
- 일축압축강도와 점하중강도와의 관계 규명
- 점하중지수 (I_{S50})를 통해 시료성형이 어려운 시편의 일축압축강도 값 추정

다. 절리면 전단시험

(1) 목 적

- 절리면의 JRC, JCS, 전단강성, 수직강성, 최대마찰각, 잔류마찰각, 점착력 등의 특성값 산정
- 절리면의 강도정수 산정 및 불연속체 해석의 입력자료로 활용

(2) 원리 및 방법

- 자연상태에서 채취되어 전단상자의 모양인 직육면체 형태로 몰딩시켜 시험
- 전단시험방향은 타원의 전단면의 전단이 용이한 장축방향으로 시험을 실시
- 전단력을 단계적으로 늘려갈 수도 있으나, 전단변위를 제어하기 위해 대개 연속적으로 작용
- 최대강도에 도달하기 전에 대략 10회 정도의 측정이 이루어져야 하며 전단변위속도는 1회의 측정 건에 10분동안 0.1mm/min 보다 작게 실시
- 최대강도에 도달한 후 힘-변위 곡선을 그리기 위해 0.5~6.0mm 단위의 전단변위마다 측정
- 시험편이 일정한 수직응력하에서 전단되고 1cm의 전단변위에 대해 5% 이하의 전단응력의 변화를 보이는(적어도 4번의 연속적인) 측정값이 나타나면 잔류강도값을 구할 수 있음
- 시험종료 후 전단면을 노출시켜 전단면적을 측정

$$\text{전단응력} : \tau = \frac{P_s}{A}, \quad \text{수직응력} : \delta_n = \frac{P_n}{A}$$

여기서, P_s : 전체전단력 P_n : 전체수직력 A : 전단력의 접촉면적

(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 2회, 비탈면구간 8회, 총 10회 실시
- 절리면의 강도정수 산정 및 불연속체 해석의 입력자료로 활용
- 암반사면의 안정성 분석 및 불연속을 고려한 기초 안정성 검토시 활용

라. Swelling/Slaking 시험

(1) 목 적

- 암석의 건습반복에 따른 풍화저항성(Weatherability) 및 흡수팽창에 대한 내구성 평가
- 암석의 팽창특성을 평가하여 터널 안정성 분석 및 시공 후 암석 팽창에 의한 구조물 위험성 예측에 활용

(2) Slaking 시험의 원리 및 방법

- 중량을 정확히 측정한 40~60g의 대표적인 암괴 10개를 시험장치의 드럼(2.0mm 표준철망으로 된 길이 100mm, 직경 140mm의 원통관)에 넣고 105℃의 온도로 2~6시간 노건조시킴
- 드럼을 20rpm으로 10분간 회전시킨 후 드럼을 수조에서 꺼내 105℃의 온도로 노건조시킴
- 냉각후 중량을 최소 2회 측정하여 최종건조중량을 초기중량으로 나누어 인내풍화지수 산정
- 최종 건조중량을 초기중량으로 나누어 Slaking 내구성지수를 구하며, 총 5번의 Cycle에 걸쳐 수행
- 2번째 Cycle에서의 Slaking 내구성지수(Id_2)를 다음 공식으로 구함

$$Id_2 = (C - D) / (A - D) \times 100(\%)$$

여기서, Id_2 : Slaking 내구성 지수(건습 2번 반복), A : 초기(시료 + 드럼)중량

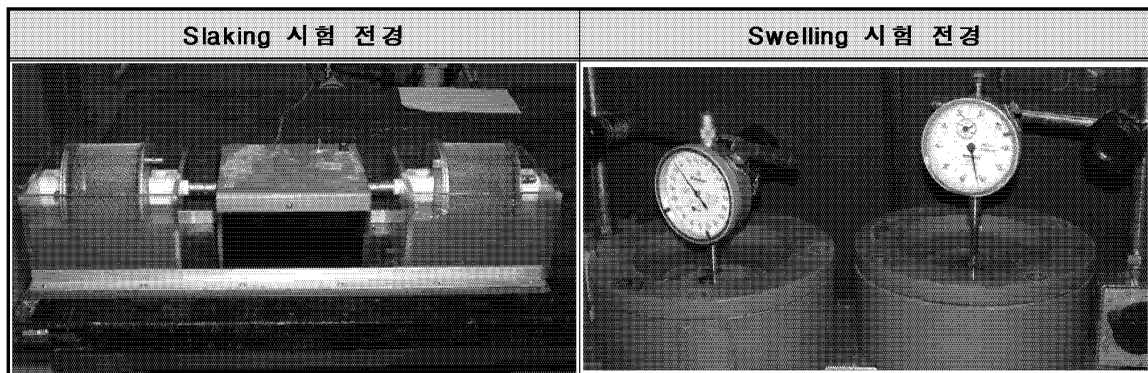
C : 최종(시료 + 드럼)중량, D : 드럼중량

- Gamble에 의한 Slaking 특성분류

구 분	Id_1 : 1회 10분간 회전 후 잔류량(%)	Id_2 : 2회 10분간 회전 후 잔류량(%)
지극히 내구성이 있음	> 99	> 98
고내구성	98 ~ 99	95 ~ 98
중-고 정도의 내구성	95 ~ 98	85 ~ 95
중 정도의 내구성	85 ~ 95	60 ~ 85
저 내구성	60 ~ 85	30 ~ 60
지극히 낮은 내구성	< 60	< 30

(3) Swelling 시험의 원리 및 방법

- 시험방식은 원주방향에 대해 구속한 채로 시험하는 방식과 비구속 방식이 있음
- 원주상의 공시체를 공시체 축에 일치하도록 측정점을 정하고 지압판 및 변위계를 Setting 함
- 공시체가 수침될 때까지 Cell에 물을 채우고 변화량이 일정할 때까지 시간결과에 따른 변위 측정
- 측정방향의 흡수팽창율 공식 : $I = d/L \times 100(\%)$ (여기서, d = 최대팽창량, L = 초기길이)



- 비탈면구간 5회 실시
- Slaking시험 : 암석의 풍화에 대한 저항능력 평가
- Swelling시험 : 터널구간 암석의 팽창특성을 평가하고 안정성 분석에 활용

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계

마. AE/ DRA 시험

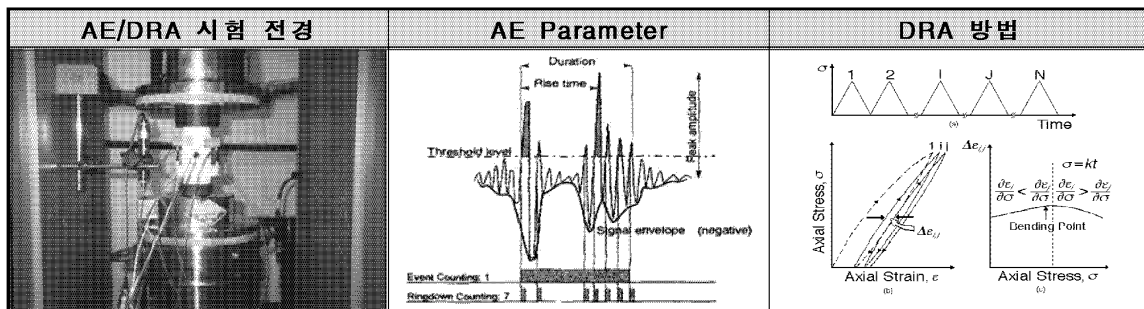
(1) 목 적

- 현지암반의 초기응력상태 파악 및 축압계수 산정을 위해 실시
- 수압파쇄시험 결과와 비교하여 초기응력과 축압계수를 산정하여 터널구간 수치해석시 반영

(2) 원리 및 방법

- AE(Acoustic Emission) 시험
 - 미소파괴음 신호는 재료의 손상과 관련된 갑작스런 변형에너지 방출시에 발생하는 탄성파로서, 대부분이 결정 및 고결 입자들로 파괴면의 형성과 함께 각종 에너지가 발생하는 에너지 방출의 한 형태로서 발생하는 탄성파가 미소파괴음이다. 이러한 미소파괴음은 매질내를 전파하여 재료의 표면에 부착된 압전재료 형태의 AE센서에 도달하여 전기적 신호로 변화되어 취득한다.
 - AE 계수(Ringdown Count) : AE 타격음이 검출한계를 교차한 횟수로 그냥 계수라고도 한다. 이러한 AE 계수는 미소파괴음 신호의 세기에 대한 평가기준이 된다.
 - AE 에너지(PAC 에너지) : 지속시간동안의 AE Hit 파형 포락선 밑의 면적에 해당하는 측정값으로, Duration과 진폭에 민감하고, 검출한계 설정값이나 구동 주파수에는 덜 의존적이기 때문에 AE 계수보다 더 많이 사용된다.
- DRA(Deformation Rate Analysis) 시험
 - DRA 방법에서는 두 번 이상의 주기압축하중을 시료에 가하여 주기별 편차변형을 측정한다. 주기하중 시험을 통해 얻은 축방향 변형률의 차와 응력과의 관계를 나타내는 그래프에서 변곡점을 나타내고 변곡점에서의 응력이 암반의 현지 응력을 나타낸다고 Yamamoto(1991)에 의해 제안하였다.
 - Kuwahara et al.(1990)에 따르면, 보다 큰 비탄성 변형을 속도는 미세균열의 보다 큰 활동을 의미한다. Yamamoto et al.(1991)은 변형을 차함수(Strain Difference Function)라 불리는 함수를 제안하였으며, 이를 통해 주기 재하에서의 시료의 변형률 속도의 변화를 추적하였다. 함수 $\Delta e_{ij}(\sigma)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta e_{ij}(\sigma) = e_j(\sigma) - e_i(\sigma), (j > i)$$
 여기서, $e_i(\sigma)$ 는 i 번째 주기에서 작용한 축변형률
 - 암석내의 응력분포의 비균일성은 현지응력 상태하에서 가장 최소화된다는 가정, 그리고 응력 비 균일성의 증가에 따라 비탄성 변형률과 그 변형률 속도는 증가한다는 가정에 DRA를 통한 현지 응력추정을 제안함



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 2회 실시
- 암반의 초기응력 및 축압계수에 대한 수치해석 입력치 산정에 활용

바. 이방성시험

(1) 목 적

- 암석의 탄성계수를 방향에 따라서 영향을 받는 정도를 측정하여 암석의 이방성 정도를 평가

(2) 원리 및 방법

- 이방성은 절리, 파쇄, 단층 등 암체 형성 후 응력을 비등방으로 받은 것과 층리, 균열, 편리 등의 암석 고유의 이방성에 의한 것으로 구분
- 이방성 측방향의 탄성계수를 측정하여 그 비에 따라 이방성정도를 평가하고 암반의 구조해석시 이방성 고려 여부 판단
- 2개의 Rosette Strain Gauge를 사용하여 6개의 Strain을 측정
- 측정의 신뢰도를 확보하기 위하여 층리면에 수직이며 시험편 중앙 높이 지점은 2개(그림의 정면과 배면) 뿐이므로 2개의 Strain Rosette를 사용하여 6개의 Strain(A, B, C 및 E, F, G)을 측정
- 층리면에 수평한 지점(그림의 좌측면)에 시험편 가로축에 수평한 방향에 제4의 Strain(D 또는 ε_D)을 측정

$$\frac{1}{E_1} = \frac{1}{2A} (y_1 - \frac{2B}{D} y_2 + y_3), \quad \frac{1}{E_2} = \frac{1}{D} y_2, \quad \frac{1}{G_{12}} = \frac{1}{2C} (y_1 - y_2)$$

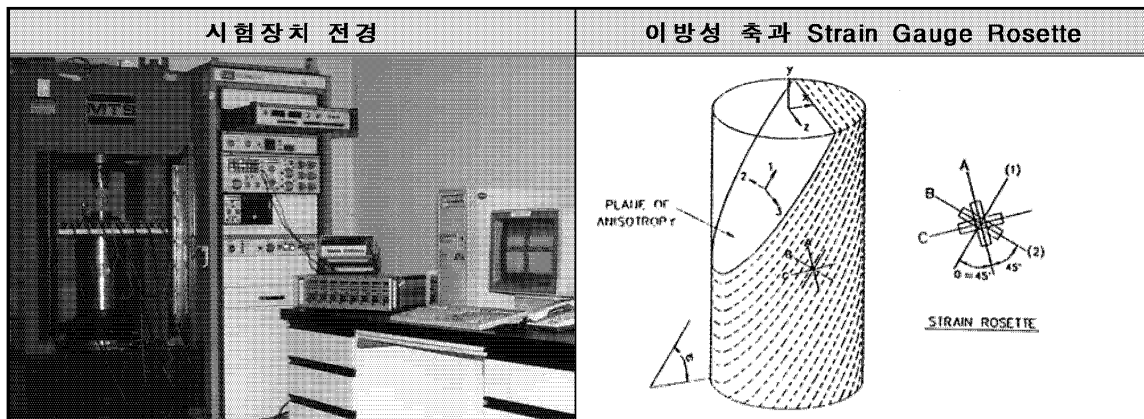
$$v_{13} = -\frac{E_1(E_2 y_4 + v_2 \cos^2 \phi)}{E_2 \sin^2 \phi}, \quad v_{13} = \frac{-(\varepsilon_D + \varepsilon_x)}{2\varepsilon_y}, \quad v_{21} = v_{12} \frac{E_2}{E_1}$$

여기서,

$$A = \frac{1 - \sin 2(\phi + \theta)}{4} = \frac{\sin^2 \phi}{2}, \quad B = \frac{1 - 2v_2 + \sin 2(\phi + \theta)}{4} = \frac{\cos^2 \phi - 2v_2}{2}$$

$$C = \frac{\sin^2(\phi + \theta) - \cos^2(\phi + \theta)}{4} = \frac{\sin \phi \cos \phi}{2}, \quad D = \cos^2 \phi - v_2 \sin^2 \phi$$

$$y_1 = \frac{\varepsilon_A}{\sigma_y}, \quad y_2 = \frac{\varepsilon_B}{\sigma_y}, \quad y_3 = \frac{\varepsilon_C}{\sigma_y}, \quad y_4 = \frac{\varepsilon_D}{\sigma_y}$$



(3) 적용현황 및 결과 활용

- 터널구간 2회 실시
- 공사구간 내에 나타나는 기반암의 이방성 정도를 평가하여 설계에 반영
- 암반변형계수를 산정하여 터널 안정성 해석에 활용

상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시계획

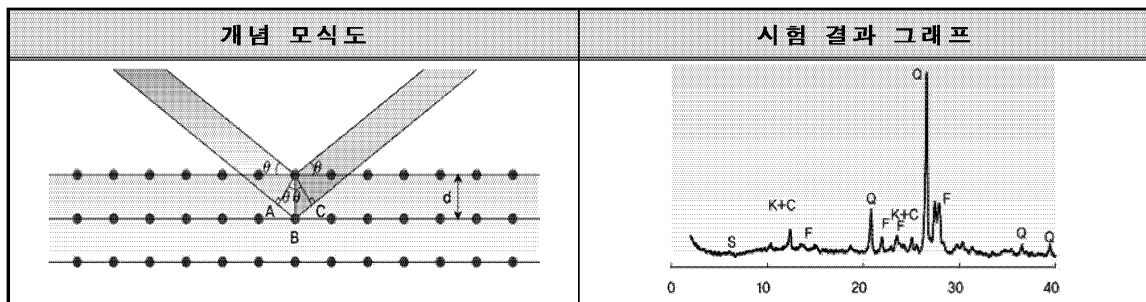
사. X-선 회절분석

(1) 목적

- 암석을 구성하는 주요구성광물에 대한 감정과 결정도에 대한 정보를 정성적으로 판별하기 위해 실시
- 화산암질 퇴적암류의 기질이나 맥암류의 석기 등 육안이나 현미경상에서 구별할 수 없는 미정질 또는 은미정질의 광물에 대한 정확한 정보를 획득

(2) 원리 및 방법

- 본 시험은 기반암의 공학적인 성질에 대한 기초자료를 제공하고자 풍화민감도시험과 병행, X선 회절현상을 이용하여 결정의 구조를 밝히거나 회절도를 이용, 시료의 광물조성을 정성적으로 분석하기 위하여 실시
- 야외에서 채취한 암석시료는 각각 시편을 만든 후, 구성 광물을 결정구조를 통해 확인하기 위하여 X-선 회절분석을 실시
- 분석에 사용한 X-선은 Ni필터를 통과시킨 $\text{CuK}\alpha(\lambda=1.5405\text{\AA})$ 이었으며, 고니오미터(gonio-meter)의 Scanning speed는 $5^\circ/\text{min}$, $2\sim 50^\circ$ 2θ 구간을 분석
- 분석의 정확성과 정밀도를 유지하기 위하여 석영을 표준시료로 사용하여 회절선의 좌우편차를 보정한 후 실시



- 터널구간 3회 실시
- 광물의 성분 분석을 통한 압축 특성 및 팽창성 분석

사. 본선암 유용성 시험

(1) 목 적

- 터널 및 비탈면 굴착시 발생암에 대한 유용성 여부 판단

(2) 원리 및 방법

시 험 방 법	시 험 규 격
비중, 흡수율	KS F2503
마모시험	KS F2508
안정성시험	KS F2507
알칼리 잠재 반응시험	KS F2545
아스팔트 피막박리 저항성시험	KS F2380

- 터널구간 2회, 비탈면구간 5회, 총 7회 실시
- 흙쌓기재, 포장재, 콘크리트 골재로서 사용 가능성 여부 판단
- 본선암 유용성 여부를 판단