

## 제 5 장 성과분석



5.1 개 요

5.2 터널구간 조사결과

5.3 터널구간 지질특성 분석결과

5.4 암반분류 평가

5.5 지반등급 산정



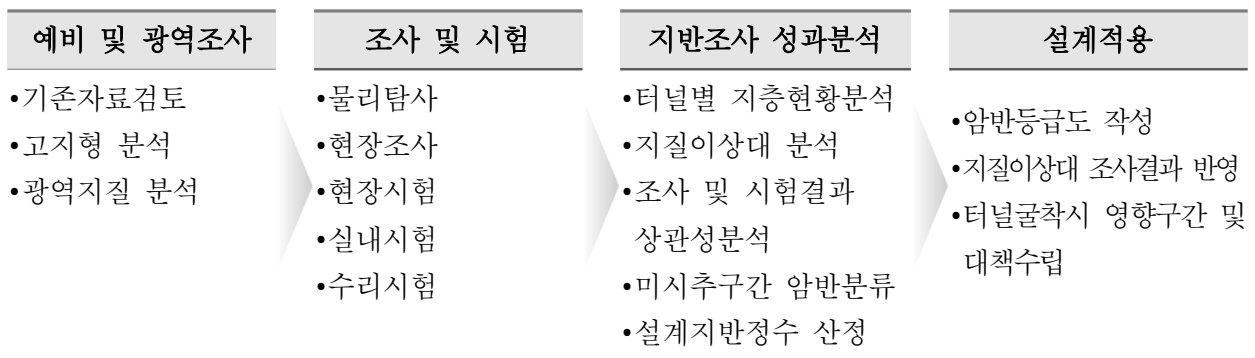
## 제5장 성과분석

## 5.1 개 요

## 5.1.1 터널 현황

구 분	연 장	비 고
터 널	3,198km	
총 연 장(km)	3,198km	
정거장	2개소	

## 5.1.2 분석 흐름



## 5.1.3 중점검토사항

구 분	중점 검토사항	설 계 반 영
지층분포 특성분석	• 시추조사결과를 및 물리탐사를 통한 터널 및 환기구 구간 지층분포 특성분석	• 터널구간 및 개착환기구 구간 지층분포 → 발파패턴 설계 및 가시설 설계
토질 및 기반암의 공학적 특성분석	• 기반암의 물리적 특성 및 강도, 동적특성 및 내구성 파악	• 설계지반정수산정, 강도특성 분석 → 터널단면별 안정검토 및 내진설계 활용
지질위험구간(단층) 특성분석	• 단층파쇄대, 암종경계 등 지질위험구간 터널 영향범위 및 특성분석	• 저비저항대, 단층파쇄대 확인 → 암반등급 하향조정, 보강대책수립
암반등급산정	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RMR, RQD, Q-system 분류 상관성 분석</li> <li>• 시추조사와 물리탐사 상관성분석을 통한 미시추구간 암반등급 산정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널별 암반분류기준 선정, 정량적 암반등급 결정</li> <li>→ 구간별 지보패턴 및 보강량 결정, 지질이상대 구간 보강공법 선정</li> </ul>

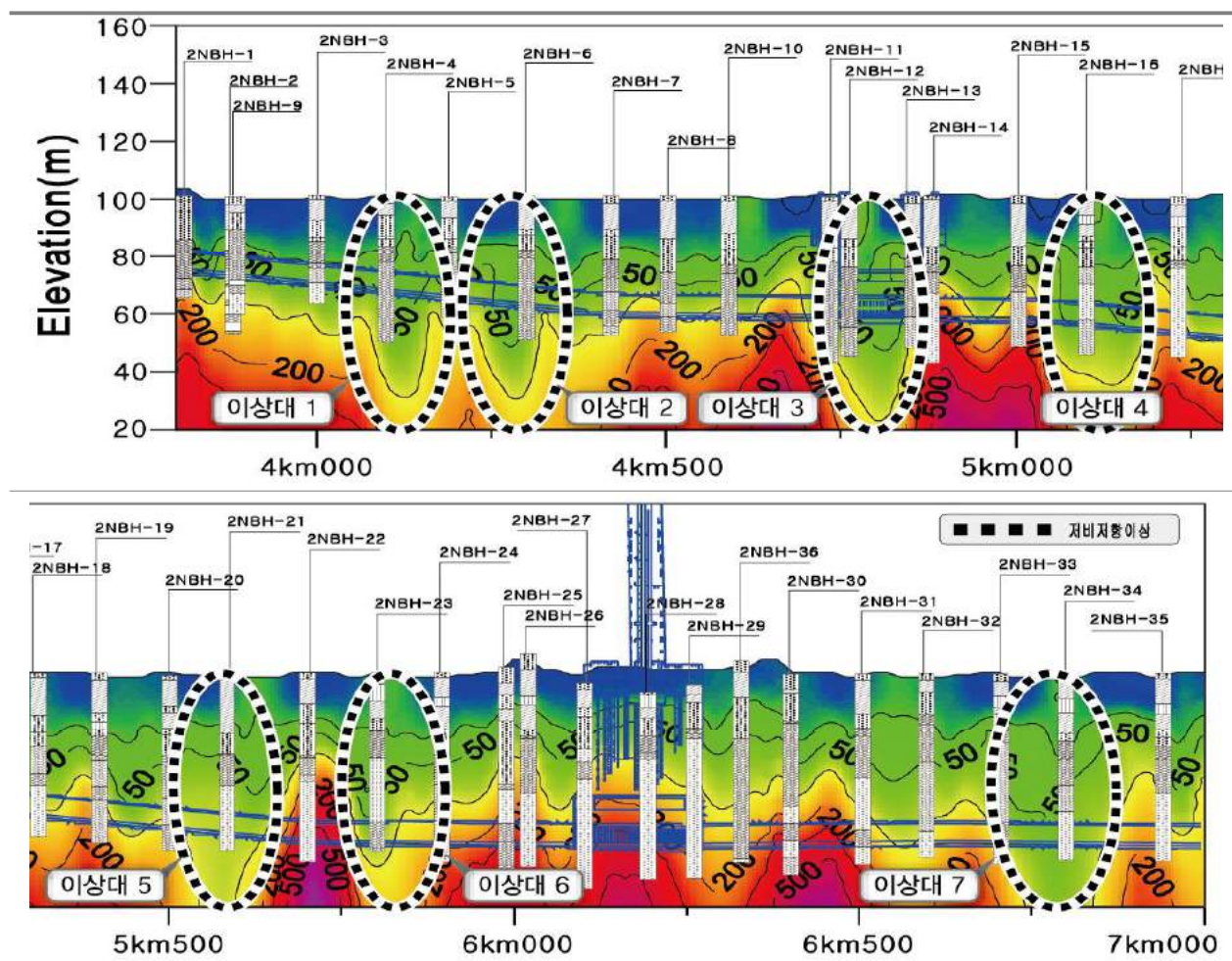


## 5.2 터널구간 조사결과

### 5.2.1 전기비저항탐사 결과

- 탐사구간은 도심구간을 통과하는 구간으로 결과단면 전반적으로 수십~1,000Ωm 내외의 전기비저항 분포를 보임
- STA. 4km+050~4km+150, STA. 4km+250~4km+350, STA. 4km+700~4km+850, STA. 5km+050~5km+150, STA. 5km+550~5km+650, STA. 5km+750~5km+900, STA. 5km+750~5km+900에서 주위 원지반에 비하여 상대적으로 전기비저항값이 낮은 저비저항대가 나타나고 있으며, 소규모 절리나 파쇄대 등에 기인한 결과로 사료됨
- 일반적으로 탐사 결과에 의한 전기비저항값은 기반암의 종류, 지하수위 상태 등에 따라 매우 큰 변화를 보이므로 시추조사를 비롯한 현장조사 및 시험성과와의 비교 분석이 필요할 것으로 판단됨
- 시추조사와 7개소 저비저항이상대의 분석결과 이상대구간 기반암출현 심도는 지반고하 19.3~46.0m, 지하수위 지바고하 3.8~11.0m로 분포하며, 시추결과 단층대, 파쇄대 등 부분적 취약대 발달함

< 전기비저항탐사 결과 >

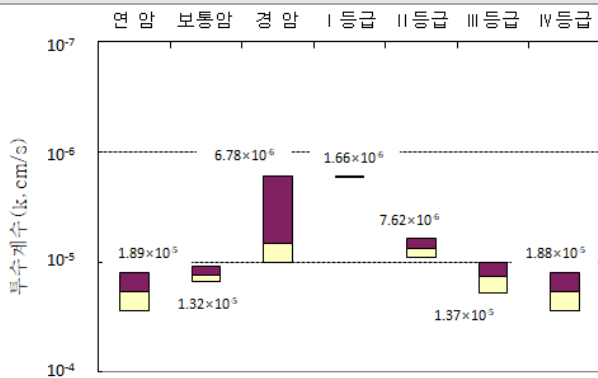


## 5.2.2 현장 및 실내시험 분석결과

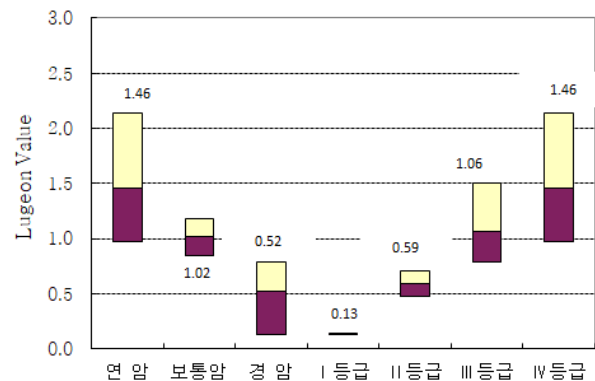
## (1) 암반수압시험 결과

지층	투수계수(cm/s)		Lugeon Value		비고
	범위	평균	범위	평균	
연 암	$1.26 \times 10^{-5} \sim 2.77 \times 10^{-5}$	$1.89 \times 10^{-5}$	0.97~2.14	1.46	
보통암	$1.09 \times 10^{-5} \sim 1.53 \times 10^{-5}$	$1.32 \times 10^{-5}$	0.84~1.18	1.02	
경 암	$1.66 \times 10^{-6} \sim 1.02 \times 10^{-5}$	$6.78 \times 10^{-6}$	0.13~0.79	0.52	
I 등급	$1.66 \times 10^{-6}$	$1.66 \times 10^{-6}$	0.13	0.13	
II 등급	$6.16 \times 10^{-6} \sim 9.08 \times 10^{-6}$	$7.62 \times 10^{-6}$	0.48~0.70	0.59	
III 등급	$1.02 \times 10^{-5} \sim 1.94 \times 10^{-5}$	$1.37 \times 10^{-5}$	0.79~1.50	1.06	
IV 등급	$1.26 \times 10^{-5} \sim 2.77 \times 10^{-5}$	$1.88 \times 10^{-5}$	0.97~2.14	1.46	

지층별 투수계수 평균 분포



지층별 Lugeon 평균 분포



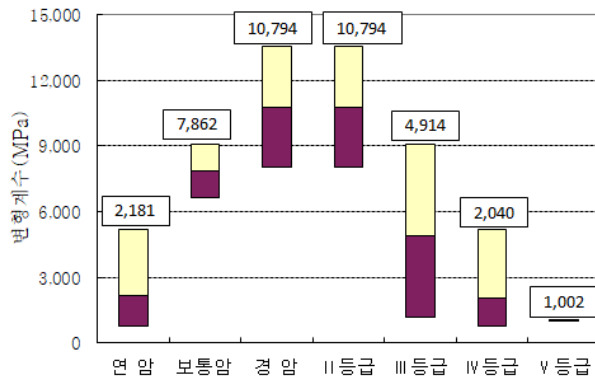
- I ~IV 등급의 투수계수는  $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 의 불투수성을 보임
- I ~IV 등급의 Lugeon Value는 평균 0.13~1.46의 분포를 보임

## (2) 공내재하시험 결과

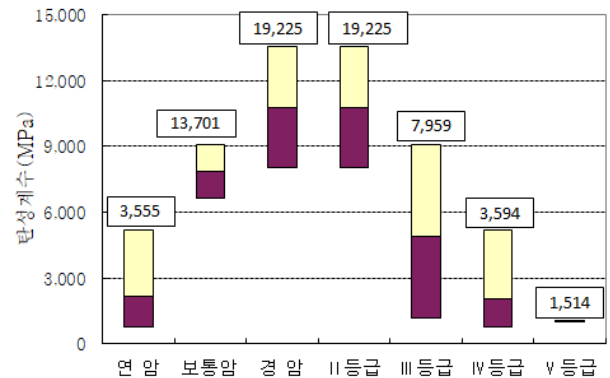
지층	변형계수(MPa)		탄성계수(MPa)		비고
	범위	평균	범위	평균	
연 암	748~5,175	2,181	986~7,910	3,555	
보통암	6,636~9,087	7,862	11,328~16,073	13,701	
경 암	8,013~13,576	10,794	14,968~23,482	19,225	
II 등급	8,013~13,576	10,794	14,968~23,482	19,225	
III 등급	1,187~9,087	4,914	1,721~16,073	7,959	
IV 등급	748~5,175	2,040	986~7,910	3,594	
V 등급	1,002	1,002	1,514	1,514	



지층별 변형계수 평균 분포



지층별 탄성계수 평균 분포



- 연암 변형계수는 평균 2,181MPa, 경암 변형계수는 평균 10,794MPa로 분포
- 터널구간은 주로 II~IV등급에 해당하며, 변형계수는 평균 2,040~10,794MPa의 분포를 보임

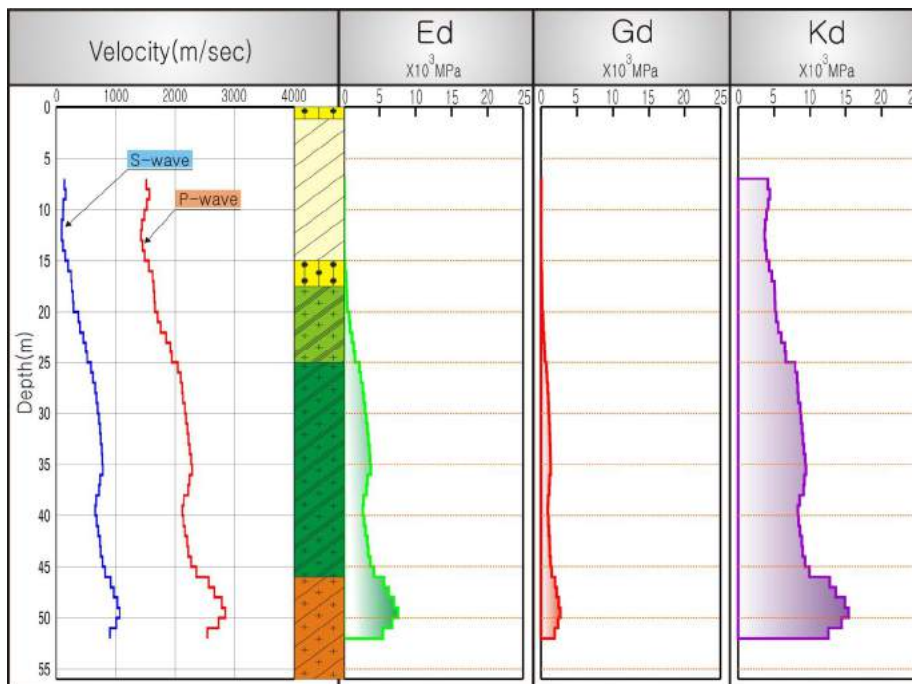
### (3) S-PS 검층 결과

#### 1) 2NBH-12

심도 (m)	지층	탄성파속도(m/sec)		동적물성치(MPa)			동포아송비 $\nu_d$
		Vp	Vs	Gd	Ed	Kd	
1.2~15.0	퇴적층	1,485	120	2.76E+01	8.24E+01	4.01E+03	0.497
15.0~17.5	퇴적층	1,587	222	9.14E+01	2.72E+02	4.51E+03	0.490
17.5~25.0	풍화토	1,765	383	3.01E+02	8.86E+02	5.67E+03	0.475
25.0~46.0	풍화암	2,191	712	1.09E+03	3.15E+03	8.84E+03	0.441
46.0~56.0	연암층	2,686	979	2.26E+03	6.42E+03	1.39E+04	0.424

구간속도 및 심도별 동적물성치

평균 전단파속도 결과

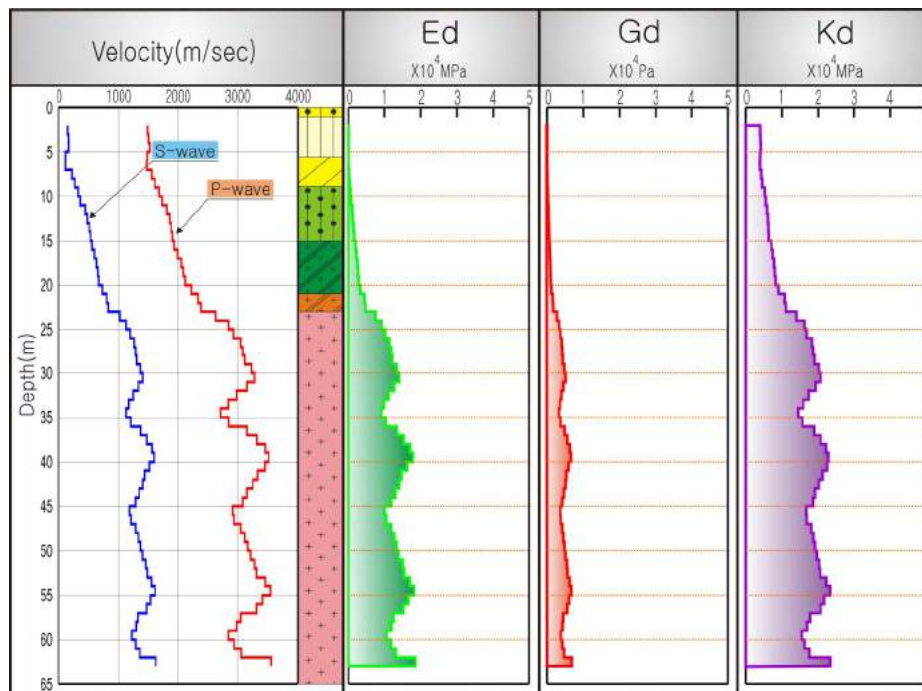


- 토사층(점성토) : 120m/sec
- 토사층(사질토): 222m/sec
- 풍화토 : 383m/sec
- 풍화암 : 712m/sec
- 연암 : 979m/sec

## 2) 2NBH-28

심도 (m)	지층	탄성파속도 (m/sec)		동적물성치 (MPa)			동포아송비 $\nu_d$
		Vp	Vs	Gd	Ed	Kd	
1.0~5.6	퇴 적 층	1,500	148	4.10E+01	1.23E+02	4.08E+03	0.495
5.6~8.9	퇴 적 층	1,546	202	8.30E+01	2.47E+02	4.28E+03	0.491
8.9~15.0	풍 화 토	1,812	443	3.92E+02	1.15E+03	5.85E+03	0.468
15.0~21.0	풍 화 암	2,067	642	8.90E+02	2.57E+03	7.99E+03	0.447
21.0~23.0	연 암	2,356	821	1.58E+03	4.52E+03	1.09E+04	0.431
23.0~65.0	경 암	3,139	1,353	4.72E+03	1.31E+04	1.90E+04	0.386

구간속도 및 심도별 동적물성치



- 토사층(점성토)의 전단파속도( $V_s$ )는 180m/sec의 분포를 보임
- 풍화토의 전단파속도( $V_s$ )는 443m/sec의 분포를 보임
- 풍화암의 전단파속도( $V_s$ )는 642m/sec의 분포를 보임
- 연암의 전단파속도( $V_s$ )는 821m/sec의 분포를 보임
- 경암의 전단파속도( $V_s$ )는 1,353m/sec의 분포를 보임





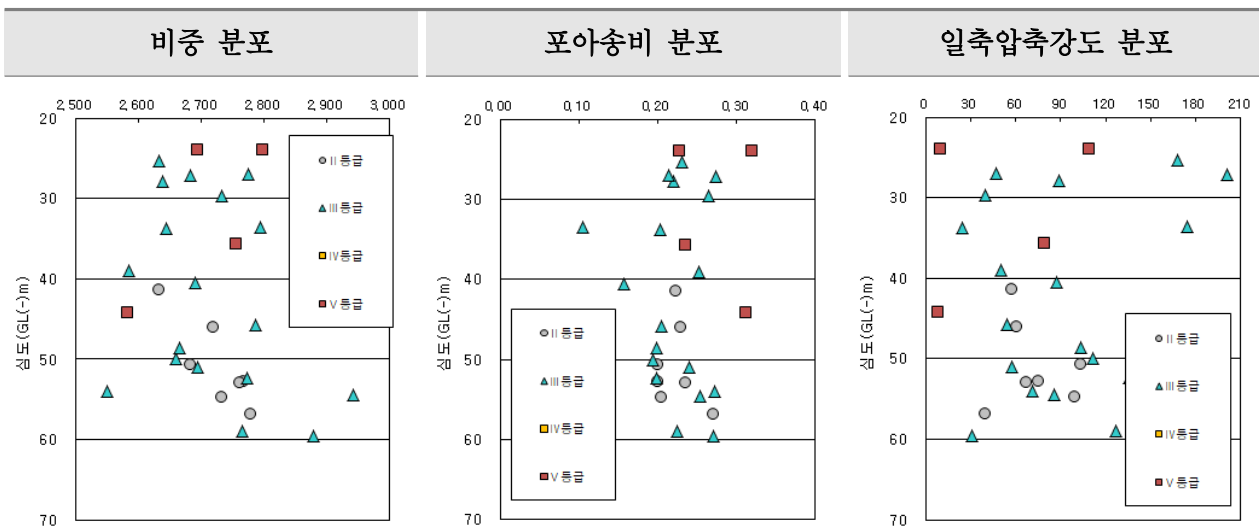
#### (4) 토질물성시험 결과

토 성	함수비(%)		비중		#200체 통과율(%)	
	범 위	평 균	범 위	평 균	범 위	평 균
매립층(SM)	0.9~19.4	12.7	2.655~2.657	2.657	17.8~29.2	25.1
퇴적점성토(ML, CL, CH)	22.5~39.9	31.1	2.657~2.717	2.676	64.5~99.8	95.6
퇴적사질토(SC, SP, SM)	13.6~29.8	24.7	2.631~2.672	2.649	2.4~49.2	22.3
풍화토(SM)	13.0~49.0	28.5	2.644~2.665	2.655	16.4~46.0	32.1

- 토질별 평균 함수비는 퇴적층(점성토) 31.1%, 퇴적층(사질토) 24.7%의 분포를 보임
- 토질별 평균 비중은 퇴적층(점성토) 2.676, 퇴적층(사질토) 2.649의 분포를 보임

#### (5) 암석물성시험 결과

지 층	비중		흡수율(%)		포아송비		일축압축강도(MPa)	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균	범위	평균
파쇄대	2.585	2.585	1.50	1.50	0.312	0.312	8.1	8.1
연 압	2.560~2.884	2.706	0.20~2.19	0.85	0.17~0.32	0.24	10.2~200.9	73.7
보통암	2.632~2.795	2.700	0.10~2.34	0.63	0.11~0.23	0.19	24.6~174.1	99.5
경 압	2.550~2.942	2.731	0.09~3.12	0.71	0.16~0.27	0.23	30.7~103.1	67.8
II 등급	2.633~2.778	2.725	0.09~0.65	0.27	0.20~0.27	0.22	40.1~103.1	71.8
III 등급	2.550~2.942	2.716	0.10~3.12	0.87	0.11~0.27	0.22	24.6~200.9	92.0
IV 등급	2.560~2.884	2.680	0.22~1.90	0.81	0.17~0.31	0.24	11.4~91.0	47.5
V 등급	2.582~2.797	2.707	0.63~1.50	1.20	0.23~0.32	0.27	8.1~109.1	51.6



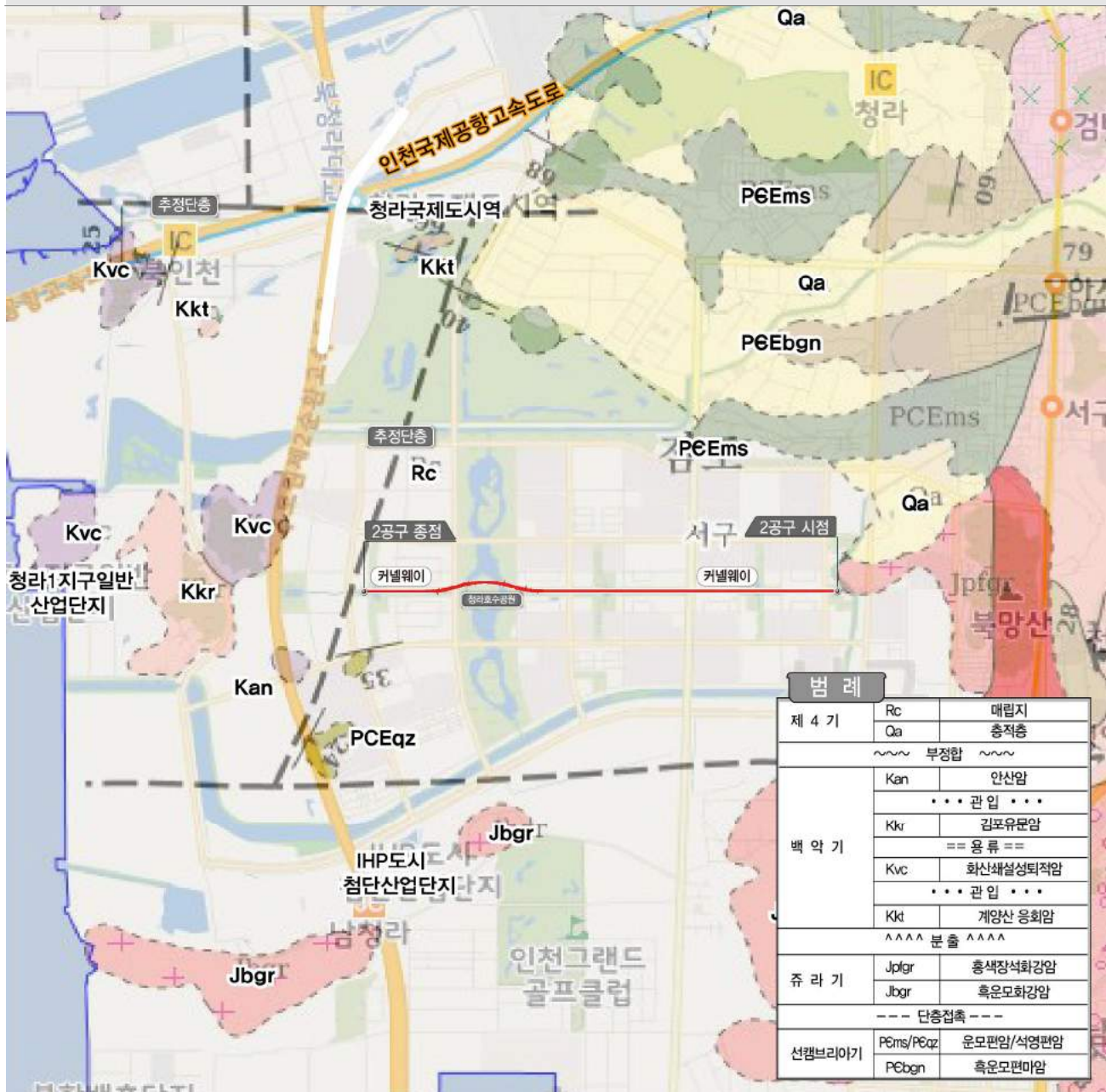
- 기반암의 물리적 성질은 지층별 증가 및 감소의 추세는 있으나, 큰 차이는 없는 것으로 나타남
- 이는 무결암을 대상으로 하는 실내시험 시료의 특성에 기인한 것으로 분석됨
- 기반암의 일축강도는 평균 8.1~99.5MPa로 분포



### 5.3 터널구간 지질특성 분석결과

#### 5.3.1 광역지질 분석결과

1:50,000 지질도(김포도폭)



- 본 과업지역의 광역지질은 선캄브리아기의 변성암류, 줄라기의 화성암류 및 백악기의 화산암으로 대별됨
- 변성암류는 흑운모편마암, 안구상편마암, 운모편암, 석영편암, 규암, 석회암 등이며, 줄라기 화성암류는 흑운모화강암 및 홍색장석화강암, 백악기의 화성암류는 응회암, 유문암과 안산암 등이 발달
- 시추조사 결과 본 과업지역의 기반암은 선캄브리아기의 운모편암, 홍색장석화강암인 것으로 나타남



## (1) 지질각론

### 1) 운모편암

- 김포도폭 북반부에 주로 넓게 분포하며, 야외에서 지표 노두의 심한풍화로 흑운모편마암과의 경계가 모호한 부분도 있으나, 흑운모편마암에 비해 분포지가 넓음
- 본 도폭의 서부 해변에서 백악기의 화산암류와 직접 접함
- 운모편암의 편리는 많은 습곡작용으로 변화가 심하나 이들의 주향과 경사는 대체로  $N70^{\circ}E$ ,  $20^{\circ} \sim 30^{\circ} SE$  또는  $NW$ 임
- 암상은 본 도폭 북쪽의 주본포지에서는 운모질과 우백질 부분의 입자가 강화도나 영종도의 것들과 비교하여 전반적으로 약간 조립질인 편이며, 강화도의 운모편암은 운모의 입자가 작으면서 선상 광물배열 구조를 보이기도 함. 영종도의 것은 운모의 입자가 비교적 큰편이거나, 운모질 부분의 비율이 우백질 부분보다 작은 것도 있음
- 운모편암 내의 석회암은 본 도폭의 남서부 영종도 예단포에서 폭 120M에 연장 약 2Km인 규모로 운모편암의 상부와 석영편암의 하부에 협재하며, 방해석의 순도는 높지 않으나 백색을 띠는 결정질석회암임. 이는 과업지역 시점부 소규모 공동 발달의 원인일 것으로 사료됨

### 2) 홍색장석화강암

- 본암은 충적층으로 인해 경계가 명확지 않으나 기저암을 관입하였다. 또한 본 암은 도폭의 남동쪽인 인천시 북구 임학동 계양산 용결응회암과의 접촉 부근에서 홍색장석화강암의 전석이 분포하나 도시화로 명확한 경계는 확정하기 어려워 구분하지 않았다.
- 본 암은 홍색의 정장석으로 인해 전체적으로 홍색을 띠며 현미경하에서도 많은 정장석이 관찰되고, 이외에 석영, 퍼다이트, 사장석, 흑운모를 함유한다.

### 3) 기반암 시추분석 결과

- 연암 : 기반암인 편암류, 홍색장석화강암의 연암층으로 2NBH-16번공을 제외한 전지점에  $GL(-)11.7 \sim 54.5m$ 에서 분포하며, 전반적으로 완전 풍화~약간 풍화 양상을 보이며, 매우 약함~강함의 강도를 보이며, 채취된 코아의 TCR과 RQD는 각각 3~100%, 0~70%로 나타나며, 부분적으로 절리 및 파쇄대 발달하며, 일부 구간에서 단층대 및 단층영향대 발달
- 보통암 : 기반암인 편암류, 홍색장석화강암의 보통암층으로 2NBH-1, 3, 7, 8, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 30, 32, 33, 34 지점에  $GL(-)24.0 \sim 64.0m$ 에서 분포하며, 전반적으로 심한 풍화~약간 풍화 양상을 보이며, 약함~강함의 강도를 보이며, 채취된 코아의 TCR과 RQD는 각각 75~100%, 0~85%로 나타나며, 부분적으로 절리 및 파쇄가 발달
- 경암 : 기반암인 홍색장석화강암, 편암류의 경암층으로 2NBH-3, 7, 9, 14, 16, 17, 18, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36에서  $GL(-)18.5 \sim 69.0m$ 에서 분포하며, 전반적으로 심한 풍화~신선한 양상을 보이며, 약함~매우 강함의 강도를 보이며, 채취된 코아의 TCR과 RQD는 각각 90~100%, 19~100%로 나타냄





### 4) 충적층 및 매립지

- 본 도폭에서 충적층의 발달은 광범위하며, 한강하류의 전형적인 노년기 지형인 김포도폭 북부의 한강변 및 도폭 서부의 강화도 해협에 인접한 지역 등에 기저암인 선캠브리아기의 변성암류, 유라기의 화강암류 및 백악기 화산암류 등을 부정합으로 하여 넓게 발달함
- 매립지는 충적층과의 관계를 명확하게 경계·확정지울 수 없으나 백악기 화산암류들이 주로 발달하는 소섬들의 주위와 제방 주변부를 매립지로 볼 수 있음

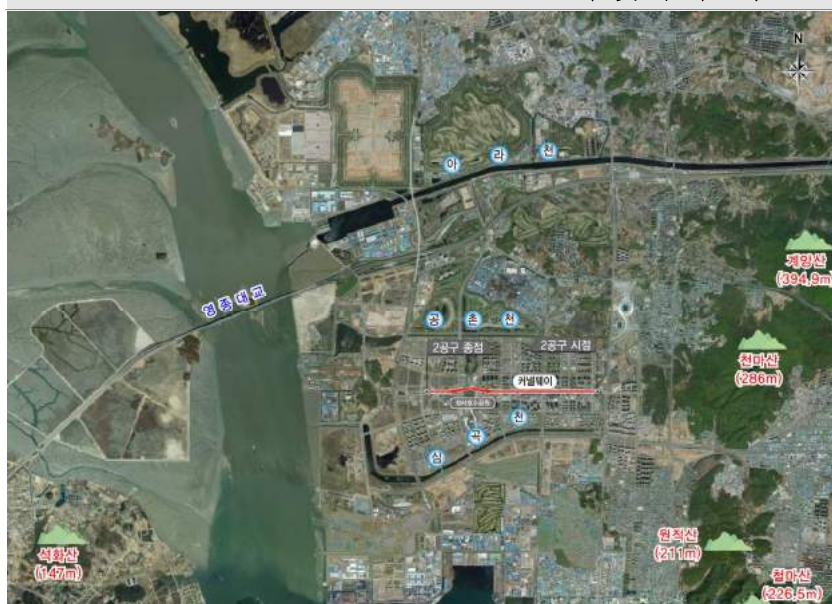


## 5.3.2 고지형 분석

## (1) 분석결과

1963년	1973년
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>과업구간은 간척지로 해안퇴적물로 구성</li> <li>동측 해안선을 따라 염전 발달</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>해안가를 따라 간척사업에 따른 지형변화가 있음</li> <li>남측 울도로 진입하는 도로 확충</li> </ul>
1978년	2000년
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>간척사업에 따라 전답토가 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>영종대교가 개통되었으며, 과업부지 및 북측의 사도, 남측의 울도까지 간척사업이 확장됨</li> </ul>

## 산계 및 수계분석



- 본 과업지역은 대규모 간척사업으로 형성된 지역으로 주요산계는 부지 동측에서 철마산(▲226.5m), 원적산(▲211m), 천마산(▲286m), 계양산(▲394.9m)등이 남북방향으로 발달하며, 수계로는 부지 남측에서 심곡천, 부지를 가로지르는 공촌천, 북측의 아래천이 서측 서해로 유입



## 5.4 암반분류 평가

### 5.4.1 암반분류의 기본방향

- 암반 거동에 영향을 주는 지질, 지질구조, 암석강도 및 응력조건 등의 요소를 확인하고 암반의 단위 구간을 비슷한 거동의 그룹(등급)으로 분류하여 암반분류를 수행함으로써 해석상의 오차를 최소화하고 시공 중에 나타나는 지반변화에 대하여 보다 용이하게 대처할 수 있도록 하는데 목적이 있음.

### 5.4.2 암반분류의 기준

#### (1) 국내 암반분류

- 국내에서는 1982년 서울지하철 3, 4호선의 시공에 NATM 공법을 적용한 이후 도로, 지하철, 철도 등의 터널에 경험적 암반분류를 근간으로 하는 NATM 공법의 적용이 확대되었음.
- 그러나 각 기관별로 설계에 이용된 암반분류 기준들이 시공단계에서 검증 및 분석(암반등급과 보강패턴의 관계 등)에 의한 수정 절차를 거치지 않아 대부분 일관성과 통일성이 없는 기준들이 제시되고 있는 실정임.
- 이러한 사유로 시공시의 막장을 관찰하여 결정한 암반등급과 보강패턴 관계를 통계·분석하여 도출된 RMR과 Q-System을 사용하고 있음.

분류명칭	분류목적	분 류 요 소	검 토	비 고
용역협회기준	시추암석 분 류	• 탄성파속도, • 일축압축강도	• 시추주상도상의 암석종류 기재 이용	한국 기술용역협회
서울시 표준지반분류	토목공사	• SPT, TCR, RQD • 일축압축강도, • 절리면 간격	• 정성적 기준임	서울특별시
서울지하철	터 널	• SPT, TCR, RQD • 일축압축강도, • 절리면 간격 • RMR과 연계	• 서울시 표준지반분류를 근간으로 한 것으로 RMR과 연계시 등급 간격이 일정치 않음	서울지하철 9호선 설계기준(안) (1997)
고속철도	터 널	• 일축압축강도, 탄성파속도 • 변형계수 • 지반강도비 • TCR, RQD • 현장, 육안관찰	• RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 지반등급 결정 가능성 제공	고속철도 시 방 서 지반분류(안)
한국도로공사	터 널	• RQD, RCR, RMR • Q-System • 탄성파속도 • 일축압축강도	• 기존 암반분류 기준을 이용하며, RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 지반등급 결정 가능성 제공	

## (2) RQD에 의한 암반분류

- 코어회수율(TCR: Total Core Recovery)을 발전시킨 개념인 RQD(Rock Quality Designation)는 절리의 발달 간격을 나타내는 지수로서 암반특성을 파악하는 중요한 판단 요소

제안	•Deere(1966)
평가 방법	• $RQD(\%) = (10 \text{ cm 이상인 Core 길이의 합} / \text{총 시추 길이}) \times 100$
장점	•신속하게 불연속면의 간격을 정량화, 주관적인 차이가 적음
단점	•절리의 방향성, 밀착성, 충전물, 지반응력 등을 고려할 수 없음

## 1) 암반등급기준 (Deere, 1966)

암 질	굴착 방법	선택 가능한 지보형식		
		강 지 보	록 볼 트	숏크리트
매우 양호 RQD>90	TBM	• 불필요하나 경우에 따라 소형 철재 지보 • 암반하중 (0.0~0.2)B	• 불필요하나 경우에 따라 설치	• 불필요하나 경우에 따라 국부적으로 타설
	천공 발파	• 불필요하나 경우에 따라 소형 철재지보 • 암반하중 (0.0~0.3)B	• 불필요하나 경우에 따라 설치	• 불필요하나 경우에 따라 국부적으로 타설 두께 50~70 mm
양 호 75<RQD<90	TBM	• 경우에 따라 CTC 1.5~1.8 m의 소형 패턴 철재 지보 • 암반하중 (0.0~0.4)B	• 경우에 따라 CTC 1.5~1.8 m의 패턴 볼트	• 불필요하나 경우에 따라 국부적으로 타설 두께 50~70mm
	천공 발파	• CTC 1.5~1.8m의 소형 철재 지보 • 암반하중 (0.3~0.6)B	• CTC 1.5~1.8m의 패턴 볼트	• 경우에 따라 국부적으로 타설, 두께 50~70 mm
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 50~100 mm
	천공 발파	• 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 100 mm 이상
불 량 25<RQD<50	TBM	• CTC 0.9~1.5m의 중형원형 철재 지보 • 암반하중 (1.0~1.6)B	• CTC 0.9~1.5m의 패턴 볼트	• 천장부와 측벽부에 타설, 두께 100~150 mm 록볼트와 병용
	천공 발파	• 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 150 mm 이상, 록볼트와 병용
매우 불량 RQD<25 (압착성 혹은 팽창성 암반 제외)	TBM	• CTC 0.6m의 중형 또는 대형 철재 지보 • 암반하중 (1.6~2.2)B	• CTC 0.9m의 패턴 볼트	• 전체 면에 타설, 두께 150mm 이상 록볼트와 병용
	천공 발파	• CTC 0.6m의 대형 원형 철재 지보 • 암반 하중 (1.6~2.2)B	• CTC 0.9m의 패턴 볼트	• 전체 면에 타설, 두께 150mm 이상 중형 또는 대형 철재 지보와 병용



## (3) RMR에 의한 암반분류

- 각 터널구간의 터널 단면 암반 상태의 RMR 분류 항목
  - ① 일축압축강도
  - ② RQD
  - ③ 절리 간격(빈도)
  - ④ 절리 상태
  - ⑤ 지하수 조건
  - ⑥ 절리방향과 터널 굴진방향과의 상관관계
- $RMR = (\text{암석강도} + RQD + \text{불연속면 간격} + \text{불연속면 상태} + \text{지하수 조건})$ 의 평점 - 불연속면의 방향에 의한 평점
- 이 암반분류에 따라서 각 암반등급별로 터널 굴착단면이 지보없이 자립할 수 있는 시간인 무지보 자립시간(Stand-up Time)과 터널의 최대 안정 폭을 산정할 수 있음
- RMR분류법은 발파에 의한 시공의 보강 지침이므로 TBM(Tunnel Boring Machine)으로 시공할 때에는 발파보다도 보강 지보량이 적으므로 RMR값과 RSR값의 상관관계로부터 RSR값으로 환산한 후 보정지수를 구하여 보정된 RSR값을 구하고 또 RMR값으로 환산하는 방법을 적용해야 함

## 1) 항목 및 평점(Bieniawski, 1989)

분류매개변수		구 분						
1	점하중강도 (MPa)	> 10	4~10	2~4	1~2	1 미만의 구간은 일축압축시험결과 적용		
	일축압축강도 (MPa)	> 250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	<1
	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	절리간격	> 2 m	0.6 ~ 2 m	0.2 ~ 0.6 m	60~200 mm	< 60 mm		
	평 점	20	15	10	8	5		
4	불연속면 상태	매우거침 불연속, 이격없음 신 선	다소거침, 이격<1mm, 약간풍화	다소거침, 이격<1mm, 심한풍화	매끄러운면, 이격1~5 mm, 홈두께<5 mm, 연속된이격	연약한 홈두께>5 mm, 이격 >5 mm, 연속된 이격		
	평 점	30	25	20	10	0		
5	지 하 수 (ℓ/min)	완전건조	습 윤 (< 10)	젖 음 (10~25)	물방울 떨어짐 (25~125)	물이 흐름 (> 125)		
	평 점	15	10	7	4	0		

## 2) 불연속면의 세부 평점표

항 목	평 점				
불연속면의 길 이	< 1 m	1~3 m	3~10 m	10~20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0
간 격	밀착	< 0.1 mm	0.1~1.0 mm	1.0~5.0 mm	> 5.0 mm
	6	5	4	1	0
거 친 정 도	매우 거침	거침	약간 거침	평평함	매끄러운 경면
	6	5	3	1	0
절리 충전물 (Gouge)	없음	건고한 충전물		연한 충전물	
		건고함 < 5 mm	건고함 > 5 mm	연함 < 5 mm	연함 > 5 mm
	6	4	2	2	0
풍 화 정 도	신선한 암반	약간 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전심한풍화
	6	5	3	1	0

## 3) 절리 방향성에 의한 보정 기준

절리의 주향과 경사		매우 유리	유 리	양 호	불 리	매우 불리
평 점	터 널	0	-2	-5	-10	-12
	기 초	0	-2	-7	-15	-25
	사 면	0	-5	-25	-50	-

## 4) 평점에 의한 암반등급 분류

평 점 합 계	100~80	81~60	61~40	41~20	≤ 21
등 급	I	II	III	IV	V
구 분	매우 우수	우 수	양 호	불 량	매우 불량

## 5) 암반등급에 따른 암반특성

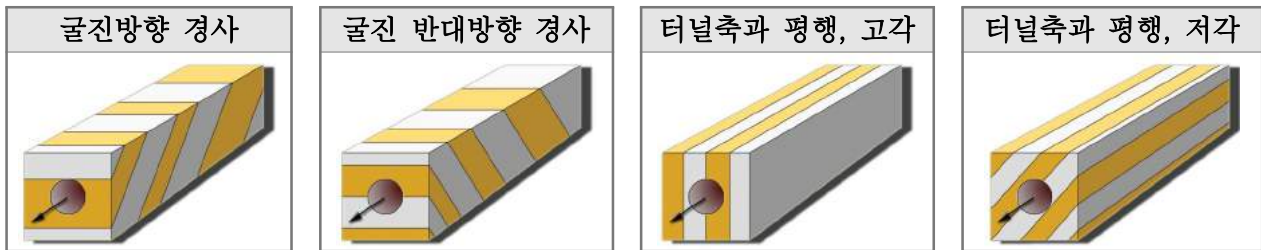
분 류 번 호	I	II	III	IV	V
평균 자립시간	15m 폭으로 20년	10m 폭으로 1년	5m 폭으로 1주일	2.5m 폭으로 10시간	1m 폭으로 30분
암반의 점착력	> 400 kPa	300~400 kPa	200~300 kPa	100~200 kPa	<100 kPa
암반의 마찰각	> 45°	35° ~ 45°	25° ~ 35°	15° ~ 25°	< 15°





6) 절리 방향과 터널 굴진 방향 관계

터널에 대한 불연속면 방향성(주향, 경사)의 영향				불연속면의 주향이 터널축과 평행한 경우에 대한 경사각의 영향		주향이 불규칙하고 경사각이 0~20°
굴진방향으로 경사		굴진 반대방향으로 경사				
경사각 45~90°	경사각 20~45°	경사각 45~90°	경사각 20~45°	경사각 45~90°	경사각 20~45°	
매우 유리	유 리	양 호	불 리	매우 불리	양 호	양 호



7) 평가 항목별 지반조사 자료 활용

No.	분류 항목		지반조사 자료의 활용
1	일축압축강도		<ul style="list-style-type: none"> <li>•실내 암석시험(일축압축강도, 점하중강도) 값을 우선 적용</li> <li>•시추코어 관찰, 해머 타격에 의한 정성적인 분석 실시</li> <li>•동일 지층 및 암상에 대한 자료 참고</li> </ul>
2	RQD		<ul style="list-style-type: none"> <li>•시추코어 측정(암반분류 구간의 평균값 적용)</li> <li>•Televiewer, BIPS탐사 자료 검색으로 코어의 손상 여부 확인</li> </ul>
3	불연속면의 간격		<ul style="list-style-type: none"> <li>•주상도 자료 우선 적용</li> <li>•지표지질조사 자료(Scanline기법에 의한 불연속면 조사자료) 참조</li> <li>•Televiewer, BIPS탐사 자료 활용</li> <li>•RQD와 불연속면 간격과의 상관관계 검토(Priest &amp; Hudson (1976))</li> </ul>
4	불연속면 상태	연속성	•지표지질조사 자료 (조사선 기법에 의한 불연속면 조사자료)의 활용
		간 격	<ul style="list-style-type: none"> <li>•시추코어 관찰</li> <li>•지표지질조사 자료 참조</li> <li>•Televiewer, BIPS 탐사자료 참조</li> </ul>
		충진물	<ul style="list-style-type: none"> <li>•시추코어 관찰</li> <li>•지표지질조사 자료 참조</li> <li>•Televiewer, BIPS 탐사자료 참조</li> </ul>
		거칠기	<ul style="list-style-type: none"> <li>•시추코어 관찰</li> <li>•실내시험 결과 (JRC) 참조</li> </ul>
		풍화도	•시추코어 관찰
5	지하수		<ul style="list-style-type: none"> <li>•수압시험에 의한 투수계수 결과 활용 (IAEG : Anon(1979)의 등급 참조)</li> <li>•유동시험 자료 참조(흐름의 속도와 방향성 참조)</li> <li>•불연속면의 빈도, 점토 물질, 충전물, 파쇄대의 발달상태 참조</li> <li>•경험적 분류 (<math>10^{-4}</math> mm/s 이상 : Flow, <math>10^{-6}</math> mm/s 이상 : Drip, <math>10^{-7}</math> mm/s 이상 : Wet, <math>10^{-8}</math> mm/s 이상 : Damp, <math>10^{-8}</math> mm/s 미만 : Dry)</li> </ul>
6	불연속면 방향에 대한 점수 보정		<ul style="list-style-type: none"> <li>•Televiewer, BIPS탐사 자료의 평사투영해석(터널구간) 결과 적용</li> <li>•지표지질조사, 구역별 조사선 조사(Line Scanning), 주요 절리군(set 1~3)의 통계처리 자료 활용</li> <li>•지질 평면, 단면도 상에서의 지질구조 검토</li> </ul>

## (4) Q-System에 의한 암반분류

- Q-System은 6가지 Parameter로서 다음과 같이 표시됨

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

여기서,

RQD : 암질지수 (Rock Quality Designation)

J<sub>n</sub> : 절리의 수 (Joint Set Number)

J<sub>r</sub> : 절리의 거친 계수 (Joint Roughness Number)

J<sub>a</sub> : 절리의 변질 계수 (Joint Alteration Number)

J<sub>w</sub> : 지하수에 의한 계수 (Joint Water Reduction Factor)

SRF : 응력에 의한 계수 (Stress Reduction Factor)

- 위 식 중 RQD/J<sub>n</sub>은 Block Size 정도를, J<sub>r</sub>/J<sub>a</sub>는 Block간의 Shear Strength 특성을 각각 평가하는 요소이며, J<sub>w</sub>/SRF는 Active Stress 특성을 평가하는 요소임
- Q 값은 틈이 거의 없는 암반에서는 1000, 지극히 연약한 팽창성 암반에서는 0.001 정도의 값을 갖음

## 1) 항목 및 평점

구 분	점 수	비 고
1. 암질지수(Rock Quality Designation)	R.Q.D	
A. 매우불량	0~25	1. RQD값이 10이하 일때는 10으로 계산한다.
B. 불 량	25~50	
C. 양 호	50~75	2. RQD값은 100, 95, 90 등과 같이 5의 간격으로 된 값을 사용하는 것이 편리하다.
D. 우 수	75~90	
E. 매우우수	90~100	
2. 절리군의 수(Joint Set Number)	J <sub>n</sub>	
A. 괴상, 없거나 약간의 절리	0.5~1.0	
B. 1개군	2	
C. 1개군 + 산발적인 절리	3	
D. 2개군	4	
E. 2개군 + 산발적인 절리	6	
F. 3개군	9	
G. 3개군 + 산발적인 절리	12	
H. 4개 혹은 그이상의 절리군, 산발적인 절리, 심하게 절리가 발달된 상태	15	
I. 심하게 파쇄된 암반	20	
3. 절리면의 상태(Joint Roughness Number)	J <sub>r</sub>	
(a) 절리면간의 접촉과		
(b) 10cm 이내의 전단으로 절리면 양쪽이 접촉		
A. 불연속 절리	4	1. 절리군의 평균간격이 3m 이상이면 1.0을 더한다.
B. 거칠거나, 불규칙하고 기복이 있음.	3	
C. 거칠지는 않으나 기복이 있음.	2	
D. 미끄럽고 기복이 있음.	1.5	2. 평탄하고 미끄러운 절리가 주 응력에 대해 가장 불리한 방향으로 발달되었을 경우에는 J <sub>r</sub> =0.5의 값으로 더한다.
E. 거칠거나 불규칙적이며 평탄함.	1.5	
F. 거칠지 않고 평탄함.	1.0	
G. 미끄럽고 평탄함.	0.5	
(c) 전단시에도 절리면의 접촉이 없음		
H. 절리의 벽면이 접촉치 못할 정도로 절리에 점토광물이 포함되어 있을 경우	1.0	
I. 절리의 벽면이 접촉치 못할 정도로 모래, 자갈, 파쇄대가 존재할 경우	1.0	



구 분	점 수	비 고
4. 절리면의 변질정도(Joint Alteration Number)	Ja	
(a) 절리면과의 접촉		
A. 변질이 없고 불투수성	0.75	절리의 잔류 마찰각, $\phi_r$ (개략)  (25° ~ 35° )
B. 절리면이 변하지 않고, 표면에 얼룩이 있는 정도	1.0	
C. 절리면에 불연화 광물의 피복, 사질입자, 무점토성 풍화암	2.0	
D. 실트 혹은 사질점토성 피복, 약간의 무연화성점토 성분	3.0	
E. 연화되었거나 마찰력이 작은 점토성광물의 피복(고령토, 운모, 형석, 활석, 석고, 흑연 및 소량의 팽창성 점토)	4.0	
(b) 10cm 이내의 전단으로 절리면 양쪽이 접촉		
F. 사질입자 부점토성 풍화암	4.0	(25° ~ 30° )
G. 심하게 과압밀된 불연화성 점토 광물의 충전(연속적이나 두께 5mm 미만)	6.0	(16° ~ 24° )
H. 보통 혹은 약간 과압밀된 연화성 점토광물의 충전(연속적이나 두께 5mm미만)	8.0	(12° ~ 16° )
I. 팽창성 점토의 충전(연속적이나 두께가 5mm 미만). Ja의 값은 팽창성 점토 입자 크기가 수분의 혼입량 등의 비율에 따라 변함.	8~12	( 6° ~ 12° )
(c) 전단시에도 절리면의 접촉이 없음		
J.K.L. 풍화 또는 파쇄된 암석이나 점토가 대상으로 존재(J.K.L은 G.H.I와 같이 점토상태에 따라 구분됨)	6, 8 혹은 8~12	( 6° ~ 24° )  ( 6° ~ 24° )
M. 실트, 사질토, 낮은 비연화성 점토	5.0 10, 13	
N.O.P. 두껍고, 연속적인 존재가 대상으로 존재(J.K.L은 G.H.I와 같이 점토상태에 따라 구분됨)	혹은 13~20	
5. 지하수에 의한 계수 (Joint Water Reduction Factor)	Jw	수압 (MPa)
A. 건조 혹은 소량의 유출 (국부적으로 5 l / 분 미만)	1.0	<0.1
B. 적당한 양의 유출과 압력이 있음 가끔 절리내 충전물이 유출	0.66	0.1~0.25
C. 절리내 충전물이 없고 견고한 암석에서 대량의 유출과 높은 압력이 있음	0.5	0.25~1.0
D. 대량의 유출과 높은 압력이 있고 상당량의 절리내 충전물이 유출	0.33	0.25~ 1.0
E. 발파시 극히 많은 양의 유출이나 높은 수압이 있으나 시간에 따라 감소됨	0.2~0.1	> 1.0
F. 발파시 극히 많은 양의 유출이나 높은 수압이 있으나 시간에 따른 감소가 없음	0.1~0.005	> 1.0

구 분	점 수	비 고
6. 응력에 의한 계수(Stress Reduction Factor)	SRF	
(a) 굴착시 터널과 교차될 경우 암반을 이완시킬 수 있을 정도의 연약대		
A. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대의 빈도가 잦은 경우, 매우 이완된 주변암석 (임의의 심도)	10	1.전단대가 공동에 교차하지 않고 단지 영향만 준다면 SRF를 25~50%감소시킴  2. $(5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10)$ 과 같이 심한 이방성을 보이는 초기 응력하에서는 $\sigma_c$ 를 $0.8\sigma_c$ , $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ 일 경우에는 $\sigma_c$ 를 $0.6\sigma_c$ , $\sigma_t$ 를 $0.6\sigma_t$ 로 함 이때 $\sigma_c$ : 일축압축강도 $\sigma_t$ : 인장강도 $\sigma_1$ : 최대주압력 $\sigma_3$ : 최소주압력
B. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대의 빈도가 한번인 경우 (굴착심도 50m 이하)	5.0	
C. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대의 빈도가 한번인 경우(굴착심도 50m 이상)	2.5	
D. 무점토성 견고한 암석내에서 전단대의 빈도가 잦은 경우, 이완된 주변암석 (임의의 심도)	7.5	
E. 무점토성 견고한 암석내의 전단대의 빈도가 한번인 경우(굴착심도 50m이하)	5.0	
F. 무점토성 견고한 암석내의 전단대의 빈도가 한번인 경우(굴착심도 50m이상)	2.5	
G. 느슨한 절리, 심하게 절리된 상태 (임의의 심도)	5.0	
(b) 견고한 암석에서의 응력문제( $\sigma_t/\sigma_1$ , $\sigma_t/\sigma_3$ )		
H. 낮은 응력, 지표부근 ( $>200$ , $>13$ )	2.5	3.터널천반부분의 심도가 터널 폭보다 작은 경우의 자료는 거의 없음. 이때의 SRF 는 2.5에서 5까지 증가시킴
I. 중간 응력(200~10, 13~0.66)	1.0	
J. 높은 응력, 매우 견고한 구조(10~5, 0.66~0.33) (보통 안정하나 절리면에 대해서 불안정 할 수도 있음)	0.5 ~ 2.0	
K. 약간의 rock burst(5~2.5, 0.33~0.16)	5 ~ 10	
L. 심한 rock burst( <2.5, <0.16)	10 ~ 20	
(c) 압착성 암반 : 높은 암반응력의 영향으로 소성변형이 일어나는 경우		
M. 낮은 소성도	5 ~ 10	
N. 높은 소성도	10 ~ 20	
(d) 암석의 팽창 : 한번의 물의 침수에 의한 화학적 팽창성		
O. 낮은 팽창 압력	5 ~ 10	
P. 높은 팽창 압력	10 ~ 20	

주 : Under Excavation in Rock, E.Hoek & E.T.Brown)

< Q값에 의한 암반등급 구분 >

등 급	I	II	III	IV	V
Q 값	>40	40~10	10~4	4~1	<1
구 분	매우 우수	우 수	양 호	불 량	매우 불량



### 5.4.3 암반분류 결과

#### (1) 터널구간 및 개착구간 시추공 암반분류 결과

< 시추코어 암반분류 결과 >

공번	구간	분류구간 (GL.-m)	RQD(%)	RMR	Q	암반등급	비고
2NBH-1	상부0.5	12.7~18.7	—	토사층~풍화암	토사층~풍화암	—	
	터널구간	18.7~27.2	—	풍화암	풍화암	—	
2NBH-2	상부0.5	14.4~20.4	—	토사층~풍화암	토사층~풍화암	—	
	터널구간	20.4~28.8	0~63	풍화암~57	0.088~6.237	Ⅲ~Ⅴ	
2NBH-3	상부0.5	17.8~23.8	13	풍화암~31	풍화암~0.381	Ⅳ	
	터널구간	23.8~32.1	43~65	44~67	2.838~13.000	Ⅱ~Ⅲ	
2NBH-4	상부0.5	18.7~24.7	4	풍화암~25	풍화암~0.111	Ⅳ	
	터널구간	24.7~33.0	0~4	13~24	0.017~0.167	Ⅳ~Ⅴ	
2NBH-5	상부0.5	22.4~28.4	0~1	1	0.008~0.010	Ⅴ	
	터널구간	28.4~36.7	0~23	1	0.008~0.253	Ⅴ	
2NBH-6	상부0.5	25.2~31.2	0~5	18~25	0.083~0.111	Ⅳ~Ⅴ	
	터널구간	31.2~39.5	10~15	31~32	0.196~0.293	Ⅳ	
2NBH-7	상부0.5	28.0~34.0	10~35	24~30	0.222~0.422	Ⅲ~Ⅳ	
	터널구간	34.0~42.3	5~36	29~42	0.293~3.630	Ⅲ~Ⅳ	
2NBH-8	상부0.5	28.5~35.1	0~20	10~44	0.022~1.056	Ⅲ~Ⅴ	
	터널구간	35.1~42.8	13~24	40~47	0.343~1.452	Ⅲ~Ⅴ	
2NBH-9	상부0.5	14.6~20.6	7~20	17~20	0.110~0.220	Ⅴ	
	터널구간	20.6~29.1	0~16	3~17	0.019~0.063	Ⅴ	
2NBH-10	상부0.5	28.6~34.6	0~40	15~38	0.066~0.782	Ⅳ~Ⅴ	
	터널구간	34.6~43.0	0	15~26	0.066~0.117	Ⅳ~Ⅴ	

## &lt; 시추코어 암반분류 결과 &gt;

공번	구간	분류구간 (GL.-m)	RQD(%)	RMR	Q	암반등급	비고
2NBH-11	상부0.5	15.9~25.9	0~6	토사층~23	토사층~0.293	IV	정거장
	터널구간	25.9~45.1	0~33	21~40	0.148~0.645	IV	
2NBH-12	상부0.5	16.0~26.0	—	토사층~풍화암	토사층~풍화암	—	정거장
	터널구간	26.0~44.6	—	풍화암	풍화암	—	
2NBH-13	상부0.5	16.0~26.0	12	토사층~24	토사층~0.106	IV	정거장
	터널구간	26.0~45.1	0~50	20~49	0.117~2.200	III~IV	
2NBH-14	상부0.5	15.9~25.9	—	토사층	토사층	—	정거장
	터널구간	25.9~45.1	7~72	35~66	0.193~9.504	II~IV	
2NBH-15	상부0.5	29.7~35.7	8~50	풍화암~42	풍화암~1.467	III~IV	
	터널구간	35.7~44.1	28~60	43~54	2.288~14.850	III	
2NBH-16	상부0.5	31.4~37.4	30~83	41~65	0.880~8.217	II~III	
	터널구간	37.4~45.8	19~98	42~62	1.320~6.930	II~III	
2NBH-17	상부0.5	34.5~40.5	75~78	72~78	37.500~39.000	II	
	터널구간	40.5~48.8	75~98	65~81	37.500~49.000	I~II	
2NBH-18	상부0.5	36.4~42.4	0~48	20~55	0.220~1.267	III~IV	
	터널구간	42.4~50.7	60~73	61~68	6.000~10.950	II~III	
2NBH-19	상부0.5	38.4~44.4	15~63	37~51	0.587~6.930	III~IV	
	터널구간	44.4~52.7	33~75	41~64	1.452~18.563	II~III	
2NBH-20	상부0.5	40.2~46.2	20~43	30~41	0.391~1.261	III~IV	
	터널구간	46.2~54.5	23~57	36~55	1.115~6.270	III~IV	
2NBH-21	상부0.5	42.7~48.7	50~60	61~62	4.000~4.444	III	
	터널구간	48.7~57.0	45~67	61~70	3.573~25.000	II~IV	
2NBH-22	상부0.5	45.2~51.2	59~79	64~74	9.067~29.500	II~III	
	터널구간	51.2~59.5	56~73	65~72	3.893~9.333	III~IV	
2NBH-23	상부0.5	45.6~51.6	0~13	15~20	0.050~0.084	V	
	터널구간	51.6~60.0	11~23	21~29	0.403~1.687	IV	



< 시추코어 암반분류 결과 >

공번	구간	분류구간 (GL.-m)	RQD(%)	RMR	Q	암반등급	비고
2NBH-24	상부0.5	45.6~51.6	0	6~23	0.022~0.089	IV~V	
	터널구간	51.6~60.2	23~52	46~52	1.518~8.580	III	
2NBH-25	상부0.5	47.9~53.9	57~80	39~65	1.806~10.560	II~III	
	터널구간	53.9~62.6	15~30	32~49	0.440~3.300	III~IV	
2NBH-26	상부0.5	52.7~58.7	60~73	57~62	2.640~7.227	II~III	
	터널구간	58.7~67.4	30~60	43~56	1.056~3.960	IV	
2NBH-27	상부0.5	29.4~39.4	20~65	27~59	0.176~2.860	III~IV	정거장
	터널구간	39.4~58.2	30~73	42~71	0.792~16.222	II~III	
2NBH-28	상부0.5	26.2~36.2	50~63	50~58	2.200~6.237	III	정거장
	터널구간	36.2~55.0	60~90	63~73	6.000~22.500	II	
2NBH-29	상부0.5	28.8~38.8	50~73	52~70	2.200~12.167	II~IV	정거장
	터널구간	38.8~57.6	36~70	55~70	9.067~34.000	II~III	
2NBH-30	상부0.5	46.0~52.0	45~79	43~64	4.950~7.821	III	
	터널구간	52.0~60.7	2~89	7~58	0.042~22.028	II~V	
2NBH-31	상부0.5	45.8~51.8	37~80	52~69	5.550~27.500	II~III	
	터널구간	51.8~60.5	60~80	34~40	0.389~1.000	III~IV	
2NBH-32	상부0.5	45.8~51.8	47~55	52~54	2.068~6.050	III	
	터널구간	51.8~60.2	36~65	43~58	3.960~14.603	III	
2NBH-33	상부0.5	45.8~51.8	30~85	42~66	4.950~14.167	II~III	
	터널구간	51.8~60.2	0~5	6~20	0.017~0.222	IV~V	
2NBH-34	상부0.5	46.2~52.2	46~57	51~55	1.214~2.508	III	
	터널구간	52.2~60.6	26~70	44~59	1.716~11.550	III	
2NBH-35	상부0.5	46.1~52.1	58~78	61~69	5.156~29.000	II	
	터널구간	52.1~60.5	33~72	51~68	4.400~36.000	II~III	
2NBH-36	상부0.5	50.6~56.6	14~23	40~48	1.400~3.833	III	
	터널구간	56.6~65.3	13~30	40~46	3.250~11.250	III	



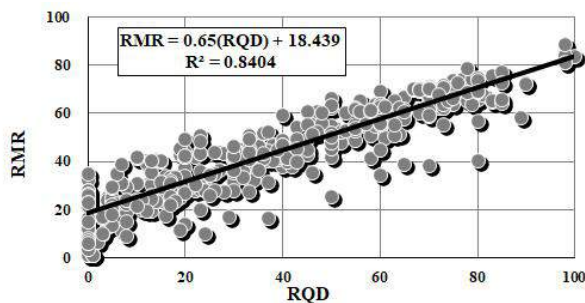
## 5.5 지반등급 산정

### 5.5.1 암반분류 상관성 분석

기본방향 • RQD와 RMR, RMR과 Q-System의 상관성 분석을 통하여 암반분류의 적정성 평가

지 층		RQD(%)		RMR		Q-System	
		점 수	등급	점 수	등급	점 수	등급
연	암	0 ~ 80	V ~ II	6 ~ 53	V ~ III	0.017~11.250	V ~ II
보 통	암	0 ~ 85	V ~ II	23 ~ 66	IV ~ II	0.117~18.563	V ~ II
경	암	19 ~ 100	V ~ I	27 ~ 89	IV ~ I	0.176~98.000	V ~ I

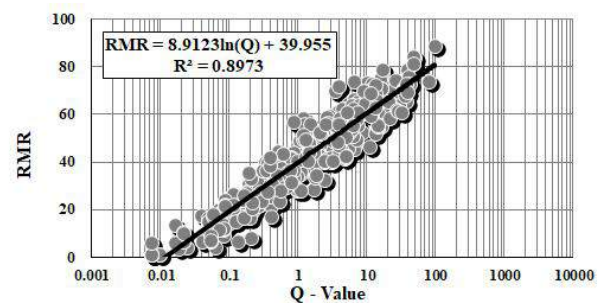
RMR-RQD의 상관관계



RMR과 RQD의 상관관계 분석 결과, 상관계수  $R^2$ 은 0.8404로 매우 높은 상관도를 보임

• 상관식 :  $RMR = 0.65(RQD) + 18.439$

RMR-Q의 상관관계



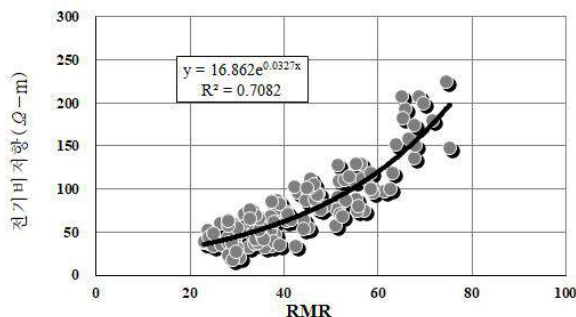
RMR과 Q의 상관관계 분석 결과, 상관계수  $R^2$ 은 0.8973로 높은 상관도를 보임

• 상관식 :  $RMR = 8.91\ln(Q) + 39.955$

### 5.5.2 전기비저항-RMR 상관성 분석

기본방향 • 미시추 구간의 정량적인 암반분류를 위해 시추결과와 지구물리탐사 결과의 상관성 분석  
• RMR과 전기비저항탐사와의 상관성을 이용해 미시추구간의 암반분류 실시

전기비저항과 암반분류(RMR)와의 상관관계



구 분	상관성 분석	
	RMR	전기비저항( $\Omega$ -m)
I 등급	81~100	230 이상
II 등급	61~80	120~230
III 등급	41~60	60~120
IV 등급	21~40	30~60
V 등급	0~20	30 이하

구 분	I 등급	II 등급	III 등급	IV 등급	V 등급
암반분류 (RMR)	81~100	80~61	60~41	40~21	20이하
전기비저항 ( $\Omega$ -m)	230 이상	120~230	60~120	30~60	30 이하

