

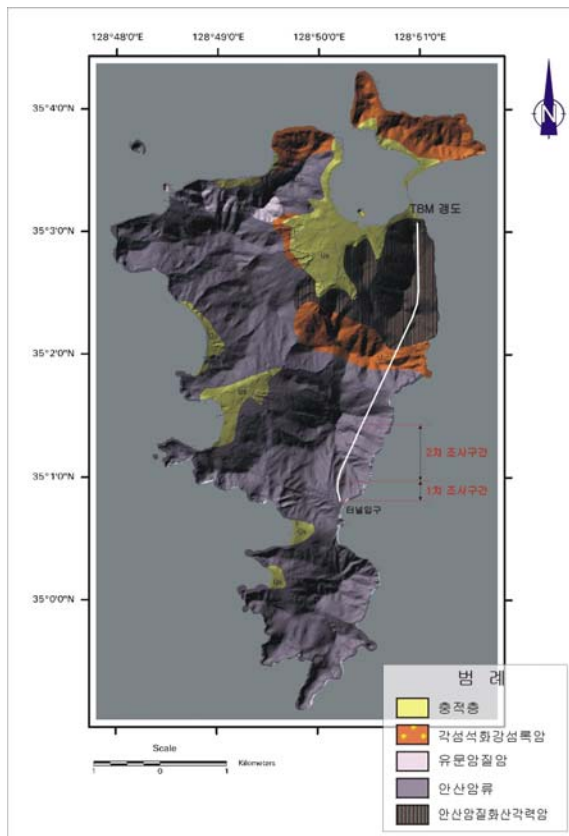
TBM 터널부의 갱내 정밀지질조사에 의한 보강검토

▶ 조사 개요

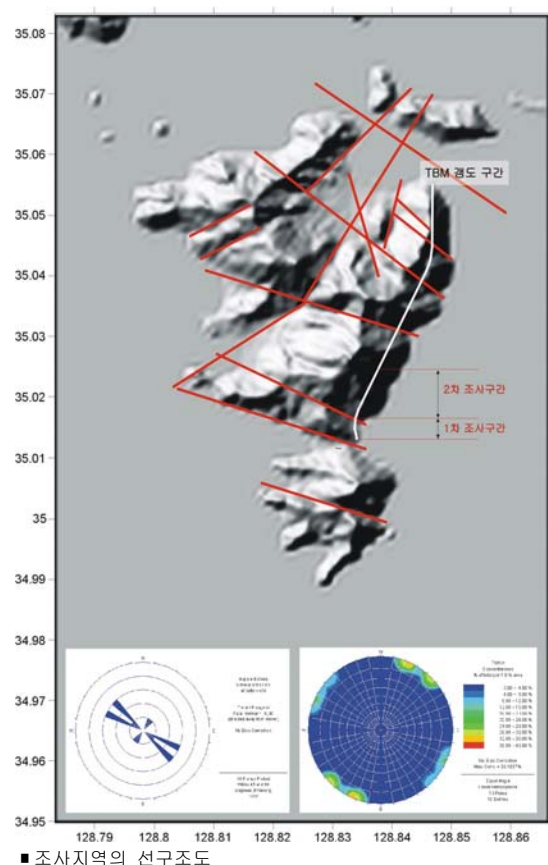
- TBM터널 굴진구간에 대한 지질분포 및 지질구조 발달상태를 확인하고 구간별 암반분류(RMR 분류)하여 TBM터널구간의 보강구간 및 보강방법 등에 대한 기초자료 제공을 위해 지표 지질분포 및 선구조분석, 갱내지질조사(터널내 지질조사 및 불연속면 조사), 현장암반강도시험 등을 실시하였다.
- 조사구간에는 굴진방향과 직교하는 E-W방향의 소규모단층(폭 1.0m 이하)은 터널의 안정성에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료되나, 수조의 단층이 교차하며 특히 단층의 주향이 굴진방향과 유사하고 누수현상이 관찰되는 곳은 극히 불량한 암반상태를 보여주므로 배수공의 설치 등의 적절한 보강대책이 필요
- 갱내지질은 불연속면의 분포에 영향을 받고 있으며 특히 단층대 주변은 단층점토 및 파쇄대가 발달되거나 변질작용이 진행되어 강도저하 및 암반의 약화를 초래하고 있어 터널의 안정성에 주요한 영향을 끼친다. 절리의 경우 연장발달이 미약하고 폐쇄형 절리(closed aperture)로서 상대적으로 터널의 안정성에 대한 영향이 적은 것으로 판단되었다.
- 터널 굴착면의 암질상태가 양호한 암석과 불량한 암석으로 섞여 있을 경우 암반의 평가는 “가장 결정적인 영향을 미치는 상태”를 판별하는 것이 중요하며 특히 암반에 발달한 단층이나 파쇄대는 주변의 높은 강도를 가지는 암석에 상관없이 암반의 안정성에 결정적인 영향을 미친다. 따라서 단층 및 단층파쇄대에 대한 규모, 방향, 누수여부, 단층점토의 발달 등을 체계적으로 조사하여 시공에 즉시 반영하여야 할 것이다.

▶ 지질조사 결과

- 선구조 분석결과 N45-70°W 방향의 선구조가 우세한 가운데 N30-45°E 방향의 선구조가 발달하며, 주 구조선인 NNE방향의 strike-slip fault인 양산단층과 성인적으로 연관을 갖는 것으로 판단
- 갱내지질은 터널 전구간에 신선한 암녹색의 안산암이 분포하며 치밀, 견고한 암석으로 구성되어 있다. 화강암 분포지에 가까워질수록 안산암을 관입한 화강섬록암이 소규모의 돌기(apophysis)상으로 분포하며 관입형태는 화강섬록암-안산암 혼재대(Mixing zone), 안산암-화강섬록암의 뚜렷한 관입접촉부, 단층 관입으로 구분되었으며, 관입시 안산암과의 경계는 전반적으로 뚜렷한 접촉관계(sharp contact)를 보여주며 변질작용이나 교란작용은 크게 진행되지 않았다.



■ 조사지역의 3D 지질도



■ 조사지역의 선구조도

▶ 불연속면 특성조사



- 화강섬록암-안산암 혼재대
- 밝은색을 보여주는 부위는 화강섬록암의 성분을 가진 암석으로서 외견상 산성암맥(또는 규장암)과 유사하며, 육안상 광물의 식별이 힘든 상태이며 이는 화강암의 연변상(Marginal facies)의 특징에 해당



- 어두운 색 부위는 안산암 성분
- 안산암-화강섬록암의 접촉부
- 안산암-화강섬록암이 뚜렷한관입접촉을 하고 있으며 접촉부는 변질 및 교란작용이 진행되지 않아 양호한 상태로 암반 분포
- 당색을 띠는 부위는 화강섬록암
- 어두운 색 부위는 안산암 성분 분포



- 단층의 상반(Hanging wall)은 화강섬록암이 분포하며 단층의 하반(Foot wall)은 안산암이 분포하며 이들은 단층 접촉함
- 단층 접촉부는 단층점도가 발달하고 30°의 저경사를 갖는 단층을 따라 화강암이 관입하였는데 지층분포가 불량하여 steel rib을 시공한 상태임

- 단층파쇄대는 2가지 유형으로 ①파괴작용이 집중되어 단층점도가 충전 되어있으나 단층대의 좌우측(상, 하반) 암반은 대체로 신선한 상태를 유지하는 경우와 ② 파괴작용이 한쪽 암반에 집중되어 단층점도가 충전 되어있으나 단층 좌우측(상하반)중 한쪽면이 약화되어 있는 경우로 구분됨



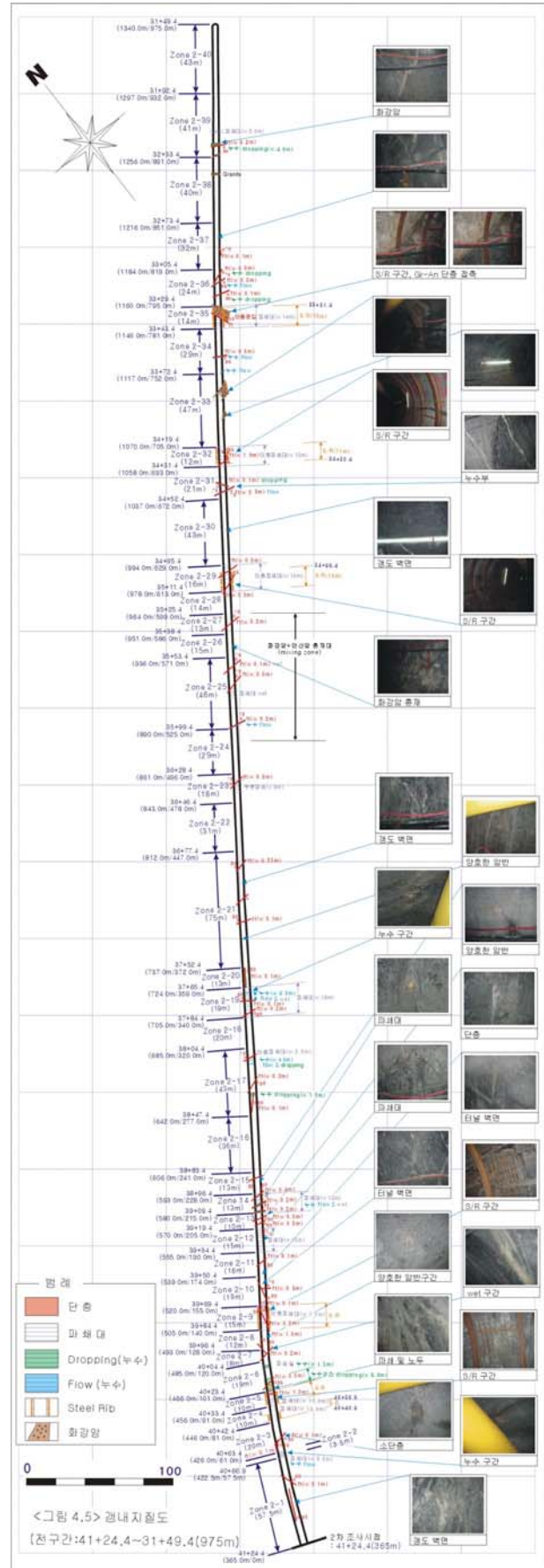
■ 점토충진 절리



■ 방해석 피막절리(백색부)

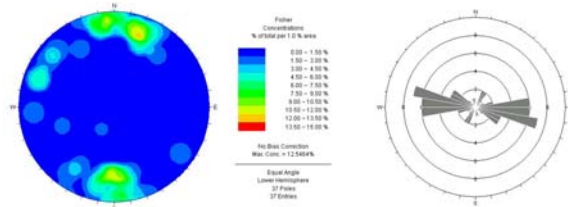
- 단층은 단층활면(slickenside)이 발달하며, 단층점도 내에 단층각력이 포함되기도 하며, 단층점도의 일축압축강도를 측정한 결과 0.1kg/cm² 또는 그 이하로서 이로부터 추정되는 C값은 0.5~0(t/m²)이다. 단층은 터널내에서 양말단이 관찰되지 않는(both end free) 규모로 분포하며 연속성(persistence)은 5m 이상으로 판단되며 RMR 분류시 8m로 적용하였다.

- 절리는 대부분 방해석(calcite)이 충전되어 있고 일부는 점토가 충전되어 있기도 하나, 연속성은 3~5m의 규모로 파악되며, RMR 분류시 4m로 적용하였다. 거칠기는 대체로 smooth-slightly rough로 평가된다.

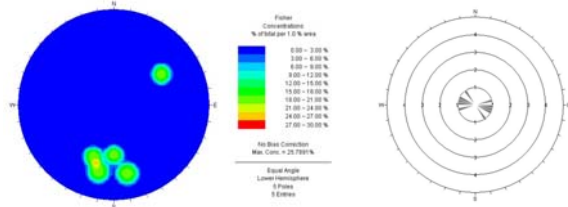


■ 관내지질도

- 단층의 폭은 0.1~1.0m이며 절리간격은 0.1~10mm이며, 절리 및 단층을 포함한 불연속면의 평균간격(spacing)은 0.1~1.6m로서 단층 및 단층파쇄대 구간은 절리간격이 조밀하고 단층대에서 이격될수록 절리간격은 넓게 분포
- 단층 및 단층파쇄대 구간의 풍화도는 highly 등급으로 신선한 구간은 slightly~fresh, 기타구간은 moderately ~slightly 등급으로 구분됨

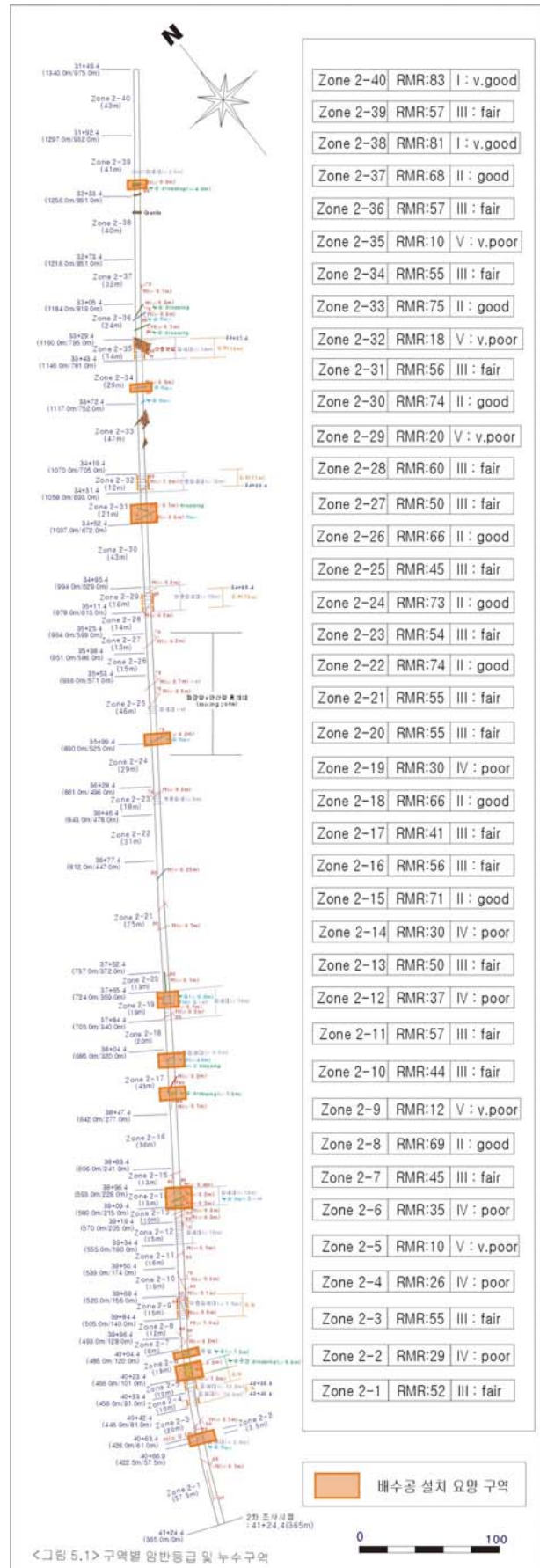


■ 단층의 방향 (위: contour diagram, 아래: rose diagram)



■ 절리의 방향 (위: contour diagram, 아래: rose diagram)

- 갱내에서 누수의 정도는 전체적으로 damp의 상태로 누수구간은 ①wet ②dropping ③flow 등급으로 구분. 누수는 대부분 단층 또는 단층파쇄대 구간에서 발생
- 불연속면의 강도를 추정하기 위해 암반용 슈미트해머를 이용하여 불연속면에 대한 반발경도(SHV)를 측정하였으며, SHV는 측정위치에 따라 넓은 범위의 값을 보여주며, 단층점토는 측정이 불가능한 상태이며 단층이나 파쇄대에 가까울수록 SHV는 낮고(강도 감소) 멀어질수록 높은 SHV값을 보여준다(강도 증가).
- 절리빈도로부터 RQD를 산출하였으며 30.0~100.0%의 범위로 평가됨
- 갱내도의 작성시 암반의 상태, 단층 및 파쇄대의 분포, 누수상태 등을 고려하여 암반의 등급이 변화하는 구간을 기준으로 총 40개의 ZONE으로 구분하였으며, 각 구간에 대해 암반의 일축압축강도, RQD, 풍화도, 절리발달상태 등을 종합하여 기본 RMRb 값을 산정한 다음 불연속면의 자세와 굴진방향과의 관계에 따른 보정인자를 적용하여 최종 RMRf값을 산정하여, 암반 등급을 부여하고, 최종 선정된 RMR값 및 암반등급과 배수공 시공이 필요한 구간을 작성하였음



■ RMR 및 암반등급 및 배수공 시공요망 구역

▶성과 분석

- 누수는 단층 및 단층파쇄대 및 일부 절리발달 구간에서 관찰되며 누수가 확인되는 구간은 배수공을 설치하며 갯내로 유도되도록 하여야 할 것이다.
- 굴진방향과 직교하는 E-W방향의 소규모단층(폭 1.0m 이하)은 터널의 안정성에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료되나, 누수구간은 배수공을 설치하여야 할 것이다.
- 수조의 단층이 교차하며 특히 단층의 주향이 굴진방향과 유사하고 누수현상이 관찰되는 곳은 극히 불량한 암반상태를 보여주므로 적절한 보강대책을 수행되어야 할 것이다.
- 선구조 분석에 의하면 3개의 선구조가 터널굴진 방향과 교차하여 이들 선구조는 지형적으로 계곡부를 이루고, 지질경계선과 일치하므로 터널굴진시 선구조 발달지역에 대한 주의가 요망되며 자세한 갯내조사를 수행하여 시공에 반영하여야 할 것이다.
- 조사지역은 단층이 빈번하게 발달하며 단층의 발달여부가 터널의 안정성에 주영향을 미치고 있으며 특히 구역 11, 13은 단층의 규모가 크거나 수개의 단층이 교차하는 곳으로 별도의 설계정수를 적용할 필요가 있다.
- 터널 굴착면의 암질상태가 양호한 암석과 불량한 암석으로 섞여 있을 경우 암반의 평가는 “가장 결정적인 영향을 미치는 상태”를 판별하는 것이 중요하며 특히 암반에 발달한 단층이나 파쇄대는 주변의 높은 강도를 가지는 암석에 상관없이 암반의 안정성에 결정적인 영향을 미친다. 따라서 단층 및 단층파쇄대에 대한 규모, 방향, 누수여부, 단층점토의 발달등을 체계적으로 조사하여 즉시 시공에 반영하여야 할 것이다.

■ 터널구간의 RMR, 설계 등급 및 지보패턴(대표구간)

ZONE	Sta. No	구간길이 (m)	RMRb	보정	RMRf	등급	Q-value	설계 등급	기존 설계등급 및 지보패턴	
2-1	41+24.4~40+66.9	57.5	57	-5	52	III	4.198	III	III	C
2-2	40+66.9~40+63.4	3.5	39	-10	29	IV	0.577	IV		
2-3	40+63.4~40+42.4	20	60	-5	55	III	5.835	III		
2-4	40+42.4~40+33.4	10	36	-10	26	IV	0.422	IV		
2-5	40+33.4~40+23.4	10	22	-12	10	V	0.085	V		
2-6	40+23.4~40+04.4	19	40	-5	35	IV	0.625	IV		
2-7	40+04.4~39+96.4	8	50	-5	45	III	1.984	III		
2-8	39+96.4~39+84.4	12	69	0	69	II	16.056	II		
2-9	39+84.4~39+69.4	15	24	-12	12	V	0.112	V		
2-10	39+69.4~39+50.4	19	49	-5	44	III	1.741	III		
2-11	39+50.4~39+34.4	16	62	-5	57	III	7.499	III		
2-37	33+05.4~32+73.4	32	68	0	68	II	15.011	II	II	B
2-38	32+73.4~32+33.4	40	81	0	81	I	62.074	I		
2-39	32+33.4~31+92.4	91	62	-5	57	III	7.208	III	III	C
2-40	31+92.4~31+49.4	43	63	0	83	I	77.995	I		