

터널 초저토피고 계곡부 터널보강방안 사례(I)



김낙영
한국도로공사 수석연구원
(ynagkm@ex.co.kr)

1. 서 언

본 구간은 수립이 밀실하게 분포하고 있고 계곡부가 소 규모로 접근하기가 어려운 지형적인 특성을 가지고 있어 계곡부의 형태를 명확하게 파악하기가 쉽지 않은 지형적인 특성이 있는 구간으로 당초 예상보다 토피고가 저토피고로 조사된 초저토피고 계곡부 터널보강사례이다.

1.1 과업수행 방법

본 터널 계곡부 3개소에 대하여 기존 설계자료 및 추가 조사 결과(확인시추조사 및 탄성파탐사)에 대한 검토를 실시하였으며, 현장조사를 실시하고 자료검토 결과와의 종합고찰 및 해석을 통하여 최종대책을 수립·제안하는 순서로 과업을 진행하였다.

표 1. 검토구간 현황

	검토구간		연 장 (m)	최소 토피고 (m)			비 고
				위 치	설 계	실 측	
1구간	상행방향	1+090~170	80m	1+140.0	10.22	4.48	*종단 선형을 기준으로 측정한 값임.
	하행방향	1+110~165	55m	1+145.0	15.92	8.02	
2구간	상행방향	1+395~440	45m	1+416.3	19.34	13.31	
	하행방향	1+389~433	44m	1+412.6	23.63	17.80	
3구간	상행방향	1+693~753	60m	1+725.0	12.89	3.38	
	하행방향	1+687~747	60m	1+700	18.59	10.67	

- 현장답사
 - 지형구조 파악
- 자료검토
 - 지반조건 및 터널설계 자료검토
 - 확인시추조사 및 탄성파탐사(3구간) 자료검토
- 대책방안검토
 - 안정성 해석
 - 보강대책수립

1.2 검토구간

검토구간은 표 1과 같다.

2. 현 황

2.1 지형

본 과업구간은 소백산맥의 중간부에 위치하는 지형으로서 200~500m 내외의 낮은 병반상의 산계로 이어지는 지형을 이루고 있다.

과업지역의 시점부에는 비교적 완만하고 U자 계곡이 발달한 표고가 낮은 노-장년기지형을 이루나 중앙부와 종점부에는 V자 계곡이 발달하여 비교적 경사가 급한 장년기 산악지형이 형성되어 있는데, 시점부에는 풍화에 약한 화강암이 주로 분포되고 중앙부와 종점부에는 풍화에 상대적으로 강한 편마암류가 분포되므로 이러한 지형적 특징을 나타낸다.

이 지역의 산계는 동서방향의 주능선과 북북동-남남서 방향의 부능선으로 형성되며 대체로 북고남저의 산악 지형을 보이는 것이 특징이다. 한포천 북쪽에는 서부에서 동부로 국망산(770.3m)-보련산(764.4m)-국사봉(480.0m)을 잇는 500m이상의 험준한 주능선이 발달하며, 한포천 남쪽에는 매방채산(410m)-자주봉산(438.0m)-평풍산(395.0m)을 잇는 400m내외의 비교적 낮은 주능선이 동서방향으로 발달하고 있다. 북북동-남

남서 방향의 부능선은 서쪽에서 남산(404.4m)-자주봉산(438.0m)-668.0m 고지-보련산(764.4m)을 잇는 능선과 동쪽의 평풍산(395.0m)-노은고개-을관산(394.0m)을 잇는 능선이 한포천을 경계로 단절되었다가 다시 연결된다.

과업지역 일원의 수계는 동-서 방향의 주능선과 북북동-남남서 방향의 부능선 산계의 영향을 받아 북쪽에서는 1차 지류들은 각 방향으로 발달되나 2~3차 지류들은 대체로 남남서 내지 남쪽으로 평행하게 발달하며, 남부에서는 2~3차 지류들이 북북동 내지 북쪽으로 평행하게 흐른다. 이들 2~3차 지류들은 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 남한강의 지류인 한포천에 합류한다.

2.2 지질

과업지역 일원에 분포하는 지층은 선캄브리아기의 경기편마암복합체의 일원인 호상흑운모편마암, 편상편마암, 화강암질편마암과 쥐라기의 흑운모화강암과 백악기의 암맥류 및 제 4기의 충적층으로 구성된다. 노은 제 1터널 시점부 부근부터 종점까지는 편마암류가 주로 분포하며 이 편마암류에는 석영맥, 규장암맥의 산성암맥과 안산암질 암맥 및 섬록암 등의 중성암맥이 관입된다.

그러나 이 지역에 대한 지표지질조사결과 이 지역에 넓게 분포하는 쥐라기 화강암(중생대 흑운모화강암)은 시점부 저지대에 국한하여 분포하고, 대부분 구간에서는 편리가 발달된 편마암이 발달되나 일부 구간에서는 편리의 발달이 미약하여 화강암과 유사한 조직(texture)을 나타내도록 조사시 화강암질편마암으로 분류한 것으로 판단된다.

2.3 본 터널 설계현황

터널 설계현황은 표 2와 같다.

2.4 표준지보패턴

표준 지보패턴은 표 3, 4와 같다.

터널 초저토피고 계곡부 터널보강방안 사례(1)

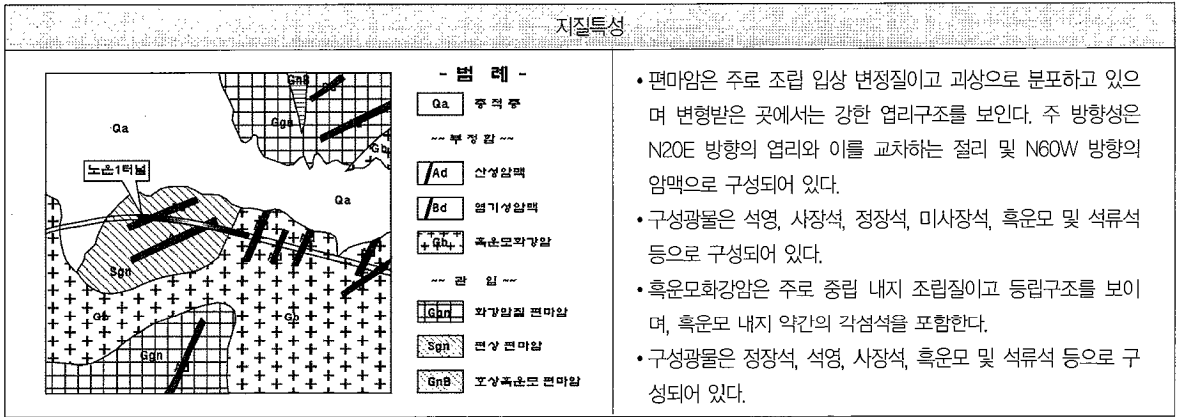


그림 1. 검토구간 지질도

표 2. 터널 설계현황

구분		터널	
터널위치	상행방향	터널위치	STA.1+013 ~ 1+981
		NATM위치	STA.1+020 ~ 1+974
	하행방향	터널위치	STA.0+988 ~ 1+967
		NATM위치	STA.0+995 ~ 1+960
터널연장(m)	상행방향	터널연장	968
		NATM연장	954
		개착터널연장	14
	하행방향	터널연장	979
		NATM연장	965
		개착터널연장	14
갱문형식	시점부	Arch 면벽식	
	종점부	Arch 면벽식	

표 3. 표준지보패턴(1)

형식	본선						비고
	P-1 경암	P-12 보통암	P-3 연암	P-4 풍화암	P-5 풍화토, 파쇄대	P-6 갱구부	
1회굴진장/ 1회지보설치장	3.5m/7.0m	3.5m/3.5m	2.0m/2.0m	상:1.5m/1.5m 하:3.0m/3.0m	상:1.2m/1.2m 하:1.2m/1.2m	상:1.0m/1.0m 하:1.0m/1.0m	
굴착방법	전단면	전단면	전단면	반단면	반단면	반단면	
숫크리트	5cm	5cm	8cm	12cm	16cm	16cm	강섬유보강(P-1 제외)
목볼트	길이	3m	3m	상하부 4m	상하부 4m	상하부 4m	D25(SD35)레진형
	간격	Random Bolt	종방향:2.0m 횡방향:2.0m	종방향:2.0m 횡방향:1.5m	종방향:1.5m 횡방향:1.5m	종방향:1.2m 횡방향:1.5m	
	위치	Random	상부	상·하부	상·하부	상·하부	
간지보공	-	-	-	간격: 1.5m LG-50×20×30	간격: 1.2m LG-70×20×30	간격: 1.0m LG-70×20×30	(격자지보)
내부라이닝	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	
보조공법	-	-	-	필요시 프리그라우팅	필요시 프리그라우팅 및 포아플링	필요시 프리그라우팅 및 포아플링	

표 4. 표준지보패던(2)

형식	본선		본선점속부		피난연결통로		비고	
	P-6-1 갱구부	P-6-2 갱구부	RP-1	RP-2	PRP-1	PRP-2		
1회굴진장/ 1회지보설치장	상:1.0m/1.0m 하:1.0m/1.0m	상:1.0m/1.0m 하:1.0m/1.0m	2.0m/2.0m	상:1.5m/1.5m 하:3.0m/3.0m	2.0m/2.0m	1.5m/1.5m		
굴착방법	반단면	반단면	전단면	반단면	전단면	전단면		
숫크리트	16cm	16cm	12cm	16cm	8cm	12cm	강섬유보강	
로블트	길이	상하부 4m	상하부 4m	4m	4m	3m	3m	D25(SD35) 레진형
	간격	종방향:1.0m 횡방향:1.5m	종방향:1.0m 횡방향:1.2m	종방향:2.0m 횡방향:1.5m	종방향:1.2m 횡방향:1.5m	종방향:2.0m 횡방향:1.5m	종방향:1.5m 횡방향:1.5m	
	위치	상·하부	상·하부	상·하부	상·하부	상부	상·하부	
강지보공	간격: 1.0m LG-70×20×30	간격: 1.0m LG-70×20×30	간격: 1.5m LG-50×20×30	간격: 1.5m LG-70×20×30	-	간격: 1.5m LG-50×20×30		
내부라이닝	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm		
보조공법	강관다단그라우팅 (120°)	강관다단그라우팅 (180°)	-	-	-	-		

2.5 계곡부 현황

터널 계곡부는 3개소로 각 구간 주요주점에 대한 시공측량 횡단면에 의하면, 각 구간의 최소 토피고는 표 5와 같다.

표 5. 구간별 최소 토피고

구간	구간	횡단 최소 토피고(m)		종단 최소 토피고(m)		비고
		위치	실측	위치	실측	
1구간	상행방향	1+090~170	1+142.0	2.14	1+140.0	4.48
	하행방향	1+110~165	1+137.7	7.61	1+145.0	8.02
2구간	상행방향	1+395~440	1+416.3	12.62	1+416.3	13.31
	하행방향	1+389~433	1+412.6	16.91	1+412.6	17.80
3구간	상행방향	1+693~753	1+725.0	3.38	1+725.0	3.38
	하행방향	1+687~747	1+700.0	10.60	1+700.0	10.67

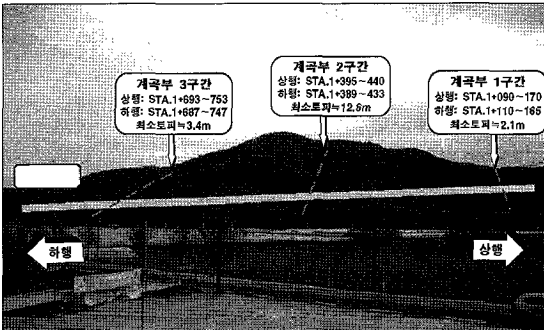


그림 2. 계곡부(저토피구간) 현황도

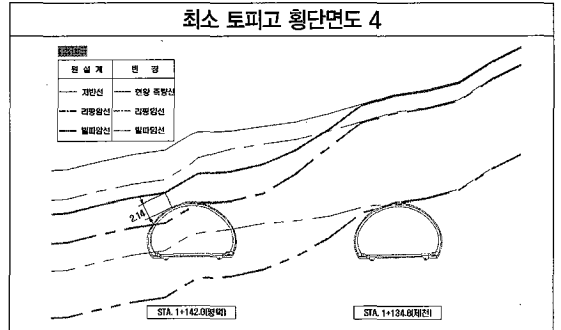


그림 3. 1구간 전경 및 주요 횡단면도

터널 초저토피고 계곡부 터널보강방안 사례(1)

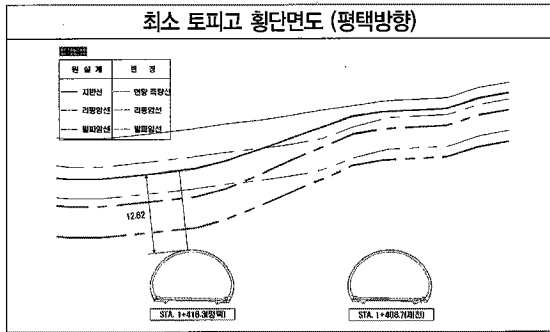


그림 4. 2구간 전경 및 주요 횡단면도

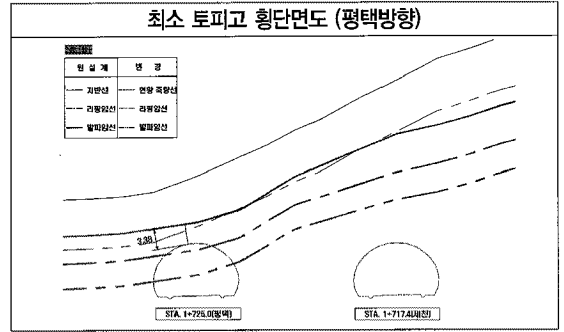


그림 5. 3구간 전경 및 주요 횡단면도

3. 조사결과 분석

3.1 실시설계 조사결과

3.1.1 시추조사결과(TB-1, 1-1, 2, 2-1, 3, 4, 5, 5-1, 6, 6-1)

시추조사는 표 6과 같이 시점부에 4공(TB-1, 1-1, 2,

표 6. 터널 실시설계 시추조사 결과

공 번	위 치(STA.km+m)	지 층	심 도(m)	두께(m)	구 성 상 태	N 치(TCR/QD)
시점부	TB-1 1K+009.027 (우 11.9m) (하향방향)	봉적토	0.0~1.3	1.3	실트질 모래	-
		풍화잔류토	1.3~9.0	7.7	실트질 모래	21/30~50/14
		풍화암	9.0~23.8	14.8	-	50/10~50/2
		연암	23.8~29.0	5.2	화강암질 편마암	(61~82/20~43)
	TB-1-1 0K+089.912 (우 17.8m) (하향방향)	봉적토	0.0~0.5	0.5	실트질 모래	-
		연암	0.5~7.0	6.5	화강암질 편마암	(58~98/0~33)
		풍화암	7.0~16.5	9.5	-	50/9~50/4
	TB-2 1K+039.41 (좌 6.7m) (상향방향)	봉적토	0.0~1.5	1.5	실트질 모래	-
		풍화잔류토	1.5~9.5	8.0	실트질 모래	7/30~50/11
		풍화암	9.5~24.5	15.0	-	50/9~50/2
	TB-2-1 1K+018.306 (좌 21.5m) (상향방향)	봉적토	0.0~0.8	0.8	실트질 모래	-
		풍화잔류토	0.8~10.5	9.7	실트질 모래	45/30~50/14
풍화암		10.5~14.0	3.5	-	50/10~50/7	
중앙부	TB-3 1K+462.591 (좌 12.4m) (상향방향)	봉적토	0.0~0.6	0.6	실트질 모래	-
		풍화잔류토	0.6~4.5	3.9	암편석인 실트질 모래	20/30~21/30
		풍화암	4.5~9.5	5.0	-	50/10~50/4
		연 암	9.5~24.3	14.8	화강암질 편마암	(44~100/5~37)
	경 암	24.3~54.7	30.4	화강암질 편마암 흑운모화강암	(75~100/30~86)	
	TB-4 1K+706.314 (우 13.3m) (하향방향)	표 토	0.0~0.4	0.4	자갈석인 실트질 모래	-
		봉적토	0.4~2.7	2.3	모래석인 실트질 자갈	20/30
		연 암	2.7~6.5	3.8	화강암질 편마암	(95~100/5~47)
경 암		6.5~29.0	22.5	화강암질 편마암	(96~100/28~87)	

표 6. 터널 실시설계 시추조사 결과(계속)

공 번	위 치(STA.km+m)	지 층	심 도(m)	두께(m)	구 성 상 태	N치(TCR/RQD)
중점부	TB-5 1K+939.824 (우 3.2m) (하향방향)	붕적토	0.0~1.0	1.0	실트질 모래	-
		풍화진류토	1.0~6.6	5.6	암편석인 실트질 모래	27/30~50/23
		연 암	6.6~28.0	21.4	화강암질 편마암	(34~100/0~38)
	TB-5-1 1K+959.303 (우 14.0m)(하향방향)	붕적토	0.0~1.4	1.4	실트질 모래	-
		연 암	1.4~15.7	14.3	화강암질 편마암	(65~100/0~58)
	TB-6 1K+953.680 (좌 8.9m) (상향방향)	표 토	0.0~0.3	0.3	실트질 모래	-
		붕적토	0.3~1.0	0.7	실트질 모래	-
		풍화진류토	1.0~11.5	10.5	실트질 모래	2/30~50/13
		풍화암	11.5~19.5	8.0	-	50/4
	TB-6-1 1K+975.268 (좌 11.6m) (상향방향)	연 암	19.5~24.5	5.0	화강암질 편마암	(61~100/0~9)
		붕적토	0.0~1.4	1.4	실트질 모래	-
		풍화진류토	1.4~4.5	3.1	실트질 모래	16/30~23/30
풍화암		4.5~7.0	2.5	-	50/10~50/6	
		연 암	7.0~14.5	7.5	화강암질 편마암	(60~100/0~57)

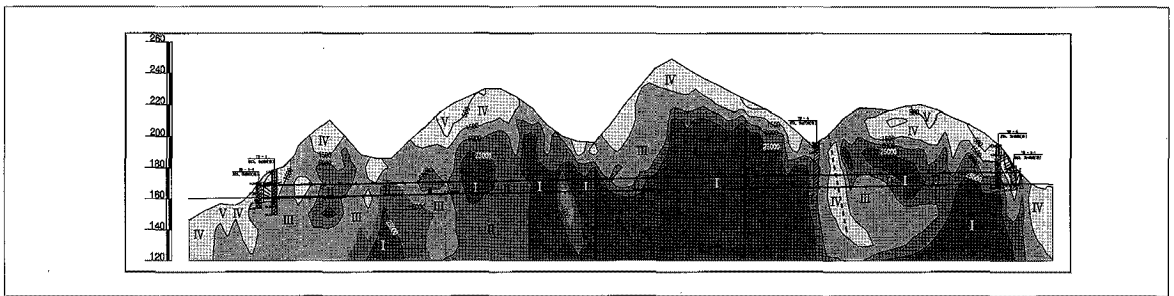


그림 6. 실시설계 전기비저항 탐사 결과도(하향방향)

표 7. 터널 시공 중 시추조사 결과

공 번	위 치(STA.km+m)	지 층	심 도(m)	두께(m)	구 성 상 태	N치(TCR/RQD)
계곡부 3구간	TB-1 1K+710 (하향방향)	붕적토	0.0~4.6	4.6	실트질 모래	-
		풍화암	4.6~8.5	3.9	암편석인 실트질 모래	50/6~50/2
		연 암	8.5~19.0	10.5	섬록암	(77~100/0~63)
	TB-2 1K+720 (상향방향)	경 암	19.0~24.5	5.5	섬록암	(100/77~80)
붕적토		0.0~4.5	4.5	실트질 모래	-	
연 암		4.5~8.0	3.5	섬록암 및 화강암	(83~93/0~43)	
		경 암	8.0~17.0	9.0	섬록암 및 화강암	(85~100/42~77)

2-1), 계곡부 2구간에 1공(TB-3), 계곡부 3구간에 1공(TB-4) 및 중점부에 4공(TB-5, 5-1, 6, 6-1)이 수행되었다. 조사결과상행방향의 지층이 하행방향과 비교하여 층후가 깊게 분포하는 것으로 나타났다.

3.1.2 전기비저항 탐사 결과

전기비저항탐사는 제천방향에 대하여 수행되었으며, 터널 시점 및 중점부의 저비저항 분포대가 같은 것으로 나타났다. 계곡부 3구간(STA. 1+750)은 2,000Ω m이하

의 상대적으로 낮은 비저항 분포를 보이는 지질이상대가 나타났다.

계곡부에 대한 시공 중 시추조사는 3구간에서 각 1공식 총 2공이 수행되었다.

조사결과 터널 상부 굴착선 상부에 연암이 출현하는 것으로 나타났으나, 실시설계 시 조사된 것과 동일하게 암

3.2 시공 중 시추조사 결과

표 8. 터널 시공 중 탄성파 탐사 결과

구 분		평택방향 지층 두께(m)			노선 중심 지층 두께(m)			재천방향 지층 두께(m)				
		최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균		
계곡부 3구간	탄성파	900 m/s 이하(붕적층)		1.9	6.5	4.8	2.7	10.0	6.1	3.6	8.5	6.3
	속도	900~1,200 m/s(풍화암)		0.6	2.0	1.4	1.4	7.9	2.9	1.3	3.2	2.2
		1,200~1,900 m/s(연암)		1.4	3.1	2.2	4.8	14.8	8.0	5.9	10.7	7.7
		1,900 m/s 이상(경암 상부경계)		4.1	11.1	8.4	9.7	28.1	17.1	11.6	19.1	16.2

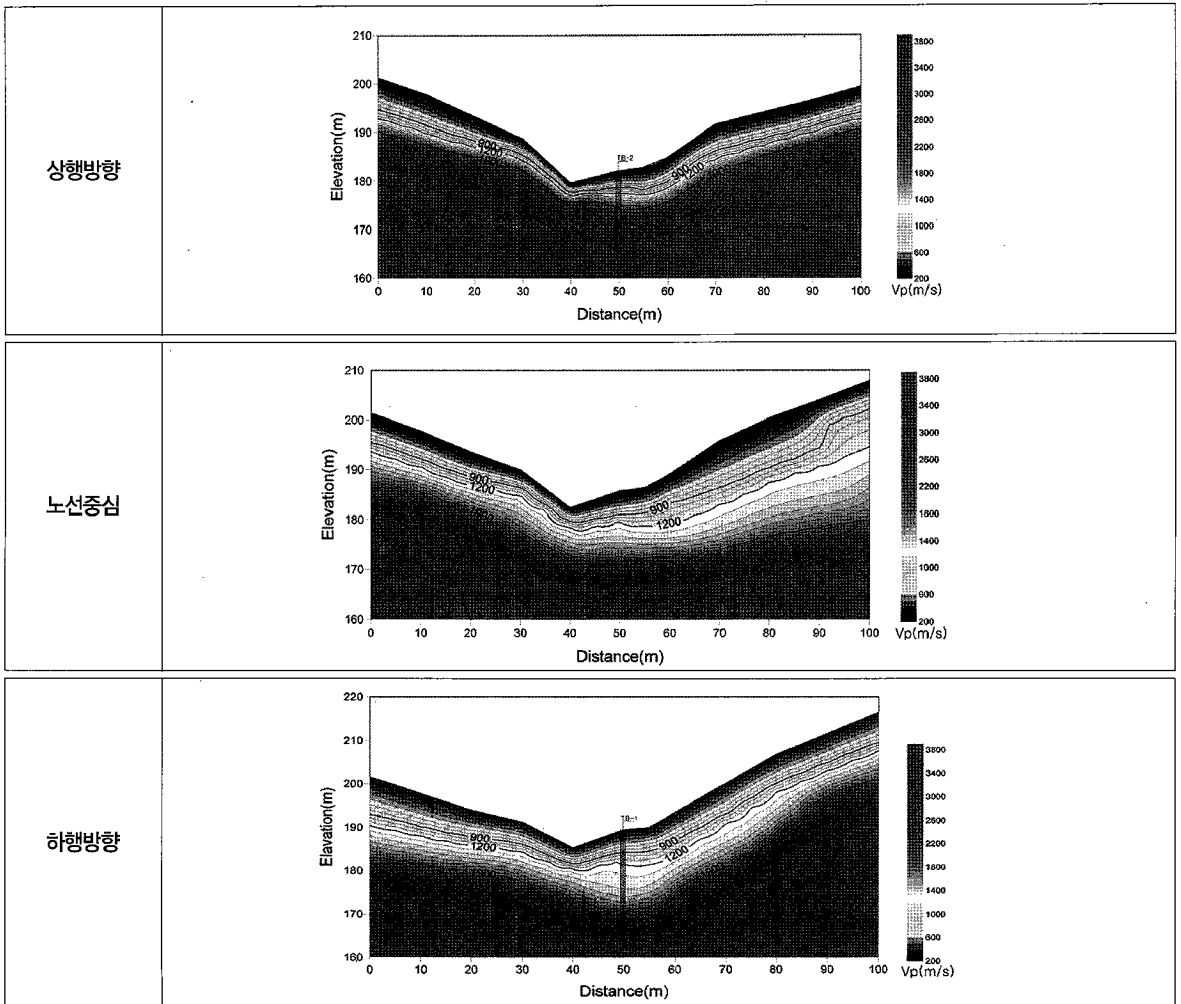


그림 7. 시공 중 탄성파 탐사 결과도

반의 파쇄가 발달되어 있는 것으로 나타났다.

3.3 시공 중 탄성과 탐사

탄성과 탐사는 시공 중 시추조사가 수행된 계곡부 3구간에 대하여 각 축선별 탐사연장 100.0m로 수행되었다. 탐사결과 상행방향과 비교하여 하행방향의 연암 두께가 두껍게 나타나는 것으로 나타났으며, 지층의 형상은 비교적 지표면과 평행한 상태로 분석되었으며 그 결과는 표 8과 같다.

3.4 시공 중 공내재하시험 결과

계곡부 3구간을 구성하고 있는 암반 및 풍화암의 변형계수를 파악하기 위하여 5회의 공내재하시험이 수행되었으며, 그 결과는 표 9, 10과 같다.

3.5 시공 중 암반 실내시험 결과

계곡부 3구간을 구성하고 있는 암반의 물리적 특성을 파악하기 위하여 암석 물성시험 및 삼축압축시험이 수행되었으며, 그 결과는 표 11과 같다.

표 9. 터널 공내재하시험 결과

공 번	위치(STA.km+m)	지 층	심 도(m)	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비 고
계곡부 3구간	TB-1	1K+710 (하행방향)	풍화암	7.0	137	208
			연 암	14.0	1,594	2,685
			경 암	20.0 ~ 21.0	5,650	7,300
	TB-2	1K+720 (상행방향)	연 암	7.0	1,107	2,385
경 암	11.0 ~ 12.0		4,070	5,000		

표 10. 터널 공내재하시험 결과

구 분	공 번	시험심도 (m)	시료 크기 (D×H, mm)	비 중	흡수율 (%)	일축압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비 (ν)	탄성파속도 (m/sec)	
									P-파	S-파
계곡부 3구간	TB-1	13.3 ~ 13.5	52.2×101.6	2.676	0.52	65.61	45.83	0.18	4,046	2,012
	TB-2	6.0 ~ 6.2	52.9×103.2	2.48	0.68	47.88	29.85	0.24	2,127	1,194

표 11. 터널 삼축압축시험 결과

공 번	시험심도(m)	구속압(MPa)	삼축압축강도(MPa)	점착력(MPa)	내부마찰각(degree)
TB-1	16.3~16.7	5.00	120.96	16.05	49.7
		10.00	150.16		
		15.00	184.89		
TB-2	9.8~10.2	5.00	83.32	11.36	46.1
		10.00	150.77		
		15.00	134.66		