

Ⅲ

청도2터널(부산)

제 1장 현장조사 및 시험

1.1 외관조사 결과

1.2 내구성 조사 결과

1.3 G.P.R탐사 결과

1.4 측량 결과

1.5 내공변위 결과

제 1장 현장조사 및 시험

청도2터널(부산)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상북도 청도군 청도읍 덕암리~경산시 남천면 하도리에 위치하고 있으며 연장 1,550.0m, 폭 11.7m, 높이 8.4m의 2차선 터널로 이루어져 있고, 평면선형은 직선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 (+)1.5652%의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착구간(시점측 70.0m) + NATM구간(1480.0m)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시점측 갱문은 Bell Mouth가, 종점측 갱문은 면벽 형식으로 이루어져 있으며, 배수방식은 측벽 하부 배수방식이, 환기방식은 자연식+기계식(Jet-Fan)으로 이루어져 있다.

1.1 외관조사 결과

1.1.1 Span별 측점분할 및 시공현황

【표 1.1.1】 Span별 측점분할 및 시공현황

Span No.	이정		연장 (m)	구분	지보 패턴	철근
	시점	종점				
1	68.860	68.868	7.5	개착	개착구간	철근
2	68.868	68.875	7.5	개착		철근
3	68.875	68.882	7.4	개착		철근
4	68.882	68.890	7.6	개착		철근
5	68.890	68.897	7.3	개착		철근
6	68.897	68.905	7.7	개착		철근
7	68.905	68.914	9.0	개착		철근
8	68.914	68.923	9.0	개착		철근
9	68.923	68.930	7.0	개착		철근
10	68.930	68.939	9.0	개착		철근
11	68.939	68.948	9.0	NATM	6	철근
12	68.948	68.957	8.9	NATM		철근
13	68.957	68.966	8.9	NATM	5	무근
14	68.966	68.975	9.1	NATM		무근
15	68.975	68.984	9.0	NATM	4	철근
16	68.984	68.993	9.0	NATM		무근
17	68.993	69.002	9.0	NATM		무근
18	69.002	69.011	9.0	NATM		무근

【표 1.1.1】 Span별 축점분할 및 시공현황(계속)

Span No.	이정		연장 (m)	구분	지보 패턴	철근
	시점	종점				
19	69.011	69.020	9.0	NATM	4	무근
20	69.020	69.029	9.0	NATM		무근
21	69.029	69.038	9.0	NATM		무근
22	69.038	69.047	9.0	NATM		무근
23	69.047	69.056	9.0	NATM		무근
24	69.056	69.065	9.0	NATM		무근
25	69.065	69.074	9.0	NATM		무근
26	69.074	69.083	9.0	NATM	4, 3	무근
27	69.083	69.092	9.0	NATM	3	무근
28	69.092	69.101	9.0	NATM		무근
29	69.101	69.110	9.0	NATM		무근
30	69.110	69.119	9.0	NATM		무근
31	69.119	69.128	9.0	NATM	2	무근
32	69.128	69.137	8.9	NATM		무근
33	69.137	69.146	9.1	NATM		무근
34	69.146	69.155	9.0	NATM		무근
35	69.155	69.164	9.0	NATM		무근
36	69.164	69.173	9.0	NATM		철근(JETFAN)
37	69.173	69.182	9.0	NATM		무근
38	69.182	69.191	9.0	NATM		무근
39	69.191	69.200	9.0	NATM		무근
40	69.200	69.209	9.0	NATM		무근
41	69.209	69.218	9.0	NATM		무근
42	69.218	69.227	9.0	NATM		무근
43	69.227	69.236	9.0	NATM		무근
44	69.236	69.245	9.0	NATM		무근
45	69.245	69.254	9.0	NATM		무근
46	69.254	69.263	9.0	NATM		무근
47	69.263	69.272	9.0	NATM		무근
48	69.272	69.281	9.0	NATM		무근
49	69.281	69.290	9.0	NATM		무근
50	69.290	69.299	8.8	NATM		무근
51	69.299	69.308	9.2	NATM		무근
52	69.308	69.317	9.0	NATM		철근(JETFAN)
53	69.317	69.326	9.0	NATM		무근
54	69.326	69.335	9.0	NATM		무근
55	69.335	69.344	9.0	NATM		무근
56	69.344	69.353	9.1	NATM		무근
57	69.353	69.362	8.9	NATM		무근
58	69.362	69.371	9.0	NATM		무근

【표 1.1.1】 Span별 측점분할 및 시공현황(계속)

Span No.	이정		연장 (m)	구분	지보 패턴	철근
	시점	종점				
59	69.371	69.380	9.0	NATM	2	무근
60	69.380	69.389	9.0	NATM		무근
61	69.389	69.398	9.0	NATM		무근
62	69.398	69.407	9.0	NATM		무근
63	69.407	69.416	9.0	NATM		무근
64	69.416	69.425	9.0	NATM		무근
65	69.425	69.434	9.0	NATM		무근
66	69.434	69.443	9.0	NATM		무근
67	69.443	69.452	9.0	NATM		무근
68	69.452	69.461	9.0	NATM		철근(JETFAN)
69	69.461	69.470	9.0	NATM		무근
70	69.470	69.479	9.0	NATM		무근
71	69.479	69.488	9.0	NATM		무근
72	69.488	69.497	9.0	NATM		무근
73	69.497	69.506	9.0	NATM		무근
74	69.506	69.515	9.0	NATM		무근
75	69.515	69.524	9.0	NATM		무근
76	69.524	69.533	9.0	NATM		무근
77	69.533	69.542	9.0	NATM		무근
78	69.542	69.551	9.0	NATM		무근
79	69.551	69.560	9.0	NATM		무근
80	69.560	69.569	9.0	NATM		무근
81	69.569	69.577	8.0	NATM		무근
82	69.577	69.585	8.4	NATM		무근
83	69.585	69.594	8.6	NATM		무근
84	69.594	69.603	9.1	NATM		철근(JETFAN)
85	69.603	69.613	10.3	NATM	비상주차대	철근
86	69.613	69.623	9.5	NATM		철근
87	69.623	69.633	10.2	NATM		철근
88	69.633	69.642	9.1	NATM	2	철근
89	69.642	69.651	8.6	NATM		무근
90	69.651	69.659	8.0	NATM		무근
91	69.659	69.667	8.0	NATM		무근
92	69.667	69.675	8.0	NATM		무근
93	69.675	69.683	8.2	NATM		무근
94	69.683	69.691	7.9	NATM		무근
95	69.691	69.699	8.0	NATM		무근
96	69.699	69.708	9.0	NATM		무근
97	69.708	69.717	9.0	NATM		무근
98	69.717	69.726	9.0	NATM		무근

【표 1.1.1】 Span별 측점분할 및 시공현황(계속)

Span No.	이정		연장 (m)	구분	지보 패턴	철근
	시점	종점				
99	69.726	69.735	9.1	NATM	2	무근
100	69.735	69.744	9.0	NATM		철근(JETFAN)
101	69.744	69.753	8.9	NATM		무근
102	69.753	69.762	9.0	NATM		무근
103	69.762	69.771	9.1	NATM		무근
104	69.771	69.780	9.0	NATM		무근
105	69.780	69.789	9.0	NATM		무근
106	69.789	69.798	9.0	NATM		무근
107	69.798	69.807	9.0	NATM		무근
108	69.807	69.816	9.0	NATM		무근
109	69.816	69.825	9.0	NATM		무근
110	69.825	69.834	9.0	NATM		무근
111	69.834	69.843	9.0	NATM		무근
112	69.843	69.852	9.0	NATM		무근
113	69.852	69.861	8.9	NATM		무근
114	69.861	69.870	9.0	NATM		무근
115	69.870	69.879	9.1	NATM		무근
116	69.879	69.888	9.0	NATM		철근(JETFAN)
117	69.888	69.897	8.9	NATM		무근
118	69.897	69.906	9.3	NATM		무근
119	69.906	69.915	8.8	NATM		무근
120	69.915	69.924	9.0	NATM		무근
121	69.924	69.933	9.0	NATM		무근
122	69.933	69.942	9.0	NATM		무근
123	69.942	69.951	9.0	NATM		무근
124	69.951	69.960	9.0	NATM		무근
125	69.960	69.969	9.0	NATM		무근
126	69.969	69.978	9.0	NATM		무근
127	69.978	69.987	9.0	NATM		무근
128	69.987	69.996	9.1	NATM		무근
129	69.996	70.005	8.9	NATM		무근
130	70.005	70.014	9.0	NATM		무근
131	70.014	70.023	9.0	NATM	2, 4	무근
132	70.023	70.032	9.0	NATM	4	무근
133	70.032	70.041	9.0	NATM	3	무근
134	70.041	70.050	9.0	NATM		무근
135	70.050	70.059	9.0	NATM	3, 2	무근
136	70.059	70.068	9.0	NATM	2	무근
137	70.068	70.077	9.0	NATM		무근
138	70.077	70.086	9.1	NATM		무근

【표 1.1.1】 Span별 측점분할 및 시공현황(계속)

Span No.	이정		연장 (m)	구분	지보 패턴	철근
	시점	종점				
139	70.086	70.095	8.9	NATM	2	무근
140	70.095	70.104	9.0	NATM		무근
141	70.104	70.113	9.1	NATM		무근
142	70.113	70.122	8.9	NATM		무근
143	70.122	70.131	9.0	NATM		무근
144	70.131	70.140	9.0	NATM		무근
145	70.140	70.149	9.0	NATM		무근
146	70.149	70.158	9.0	NATM		무근
147	70.158	70.167	9.0	NATM		무근
148	70.167	70.176	9.0	NATM		무근
149	70.176	70.185	9.1	NATM		무근
150	70.185	70.194	9.0	NATM		무근
151	70.194	70.203	8.9	NATM		무근
152	70.203	70.212	9.0	NATM		무근
153	70.212	70.221	9.0	NATM		무근
154	70.221	70.230	8.9	NATM		무근
155	70.230	70.239	9.0	NATM		무근
156	70.239	70.248	9.0	NATM		무근
157	70.248	70.257	9.1	NATM		무근
158	70.257	70.266	9.0	NATM		무근
159	70.266	70.275	9.0	NATM	2, 3	무근
160	70.275	70.284	9.0	NATM	3	무근
161	70.284	70.293	9.1	NATM		무근
162	70.293	70.302	8.9	NATM		무근
163	70.302	70.311	9.1	NATM		무근
164	70.311	70.320	9.1	NATM	4	무근
165	70.320	70.329	8.9	NATM		무근
166	70.329	70.338	9.0	NATM		무근
167	70.338	70.347	9.0	NATM		무근
168	70.347	70.356	9.0	NATM		무근
169	70.356	70.365	9.0	NATM	4, 5-1	무근
170	70.365	70.374	9.0	NATM	5-1	무근
171	70.374	70.383	9.0	NATM		무근
172	70.383	70.392	9.0	NATM	6-1	철근
173	70.392	70.401	9.0	NATM		철근
174	70.401	70.410	9.1	NATM		철근
175	70.410	70.413	2.4	NATM	갹문	철근

1.1.2 현장조사 결과

가. 터널 주변 조사

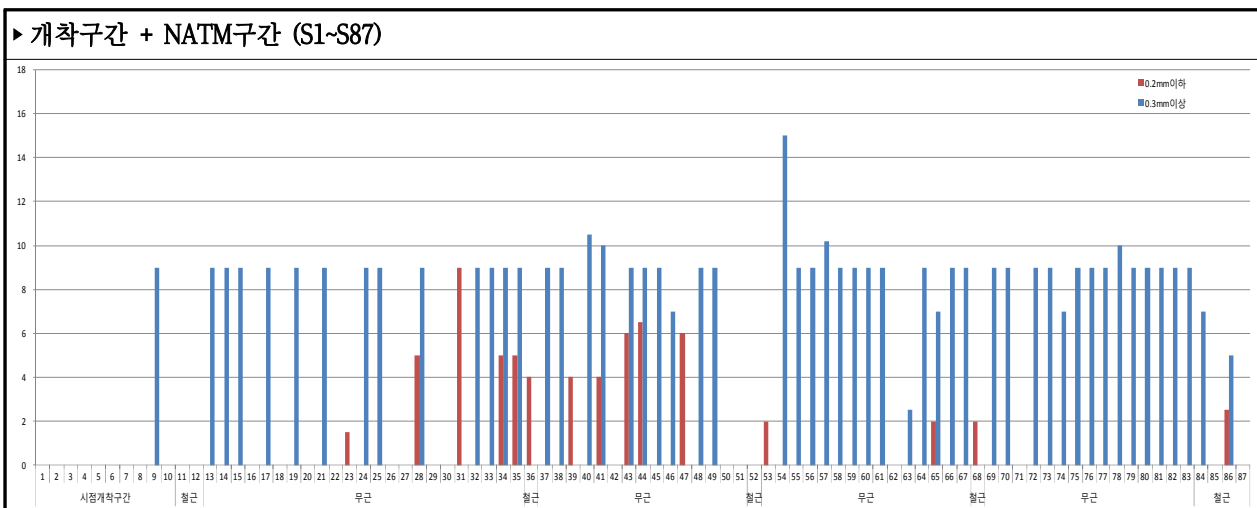
청도2터널(대구)방향(보고서 II 편)에 기술하였음.

나. 콘크리트 라이닝

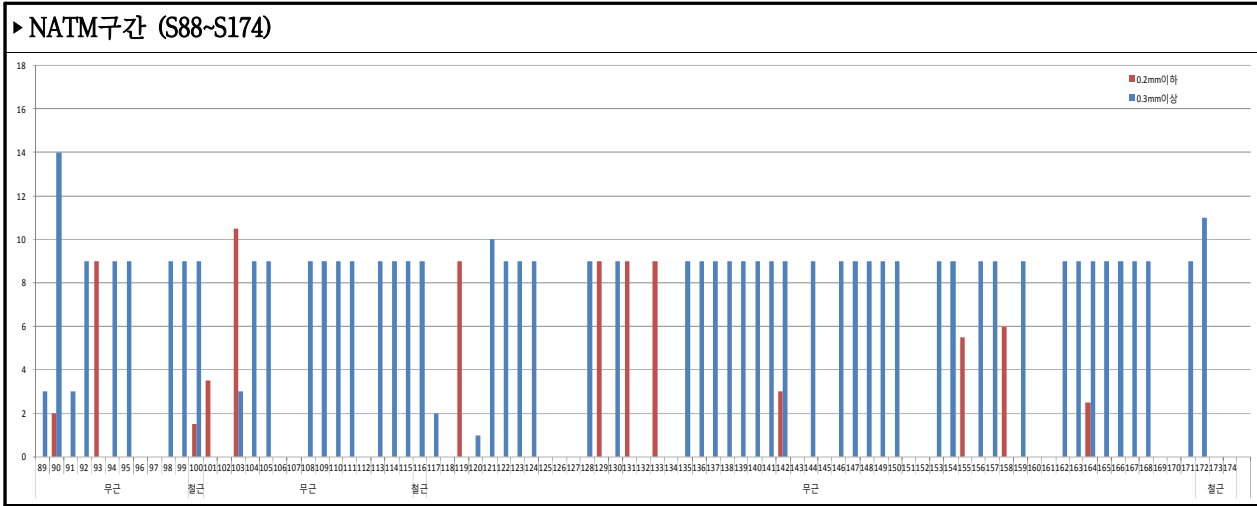
1) 균열

청도2터널(부산)은 중앙부(Span.No.85~87)에 비상주차대 및 피난연결통로가 위치하고 있으며, 암상의 변화가 구간별로 심한편이고 파쇄대나 단층 점토로 판단되는 부분이 터널의 시·중점측에 위치하고 있으므로 터널의 지반조건, 지보타입별, 단면 형식별 균열 발생 빈도수를 비교하여 터널 내 발생 균열에 대한 원인을 분석하였다.

그 결과, 지형적, 구조적으로 불리한 특정 위치에 균열이 집중되지 않고 다양하게 분포하고 있었으며, 균열의 양상은 터널 단면중 가장 취약한 부위인 천단부(시공 특성상 배면공동, 타설불량 등의 발생요소가 많은 부위임)에서 종방향으로 Span의 시공이음부를 경계로 발생위치가 서로 어긋나 있는 상태로 균열의 연속성이 없게 발생되어 있는 것으로 확인되었다. 또한, 라이닝에 대한 응력검토 결과, 발생응력이 허용응력 미만으로 검토되어 터널에 발생된 균열은 시공시 거푸집 탈형시기, 온도 및 건조수축 등이 복합적으로 작용하여 발생된 시공적·환경적 요인에 의한 비구조적인 균열로 판단된다.



【그림 1.1.1】 균열 발생 현황



【그림 1.1.1】 균열 발생 현황(계속)

- 지보패턴별로 균열 발생 현황을 평가한 결과, 단위 m당 균열 연장은 0.1~0.8m로 확인 되었으며, NATM 구간 중 지보패턴 Type-2에서 천단부 및 좌·우측 천정부 종방향 균열 이 단위 m당 균열연장 0.8m로 가장 많이 발생한 것으로 조사되었다.
- 비상주차대 및 피난연결통로 위치의 확폭구간, 불량한 암반으로 철근을 보강한 구간인 지보패턴 type-6에서는 단위 m당 균열 연장이 0.3~0.4m로 전반적으로 균열밀도가 낮은 것으로 확인되었다.
- NATM 구간의 균열은 전체적으로 유사하게 나타났으며, 전반적으로 폭 0.3mm 이상의 균열이 다소 높게 발생한 것으로 확인되었다. 이는, 준공 이후 10년의 공용기간 동안 재료적·환경적 요인에 의하여 균열 폭이 다소 진전되었을 것으로 판단되며, 지반 및 지 보타입이 불리한 구간 또는 확폭으로 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 확인되어 지반 이완 등 외력에 의한 구조적인 손상보다는 시공적·환경적 요인에 의한 비구조적 손상으로 판단 된다.

【표 1.1.2】 지보패턴별 균열발생 빈도

• 지보패턴별 전체 균열발생 연장

구 분	지보패턴	시점 개착	무근				철근		
			T-2	T-3	T-4	T-5	비주대	T-2	T-6
	균열 총연장(m)	9.0	854.2	56.5	105.5	38.0	7.5	21.5	-
	지보타입 연장(m)	70.0	1066.0	82.4	154.5	54.0	30.0	54.0	39.1
	단위 m당 균열연장(m)	0.1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.3	0.4	-
	비율(%)	0.8	78.2	5.2	9.7	3.5	0.7	2.0	-

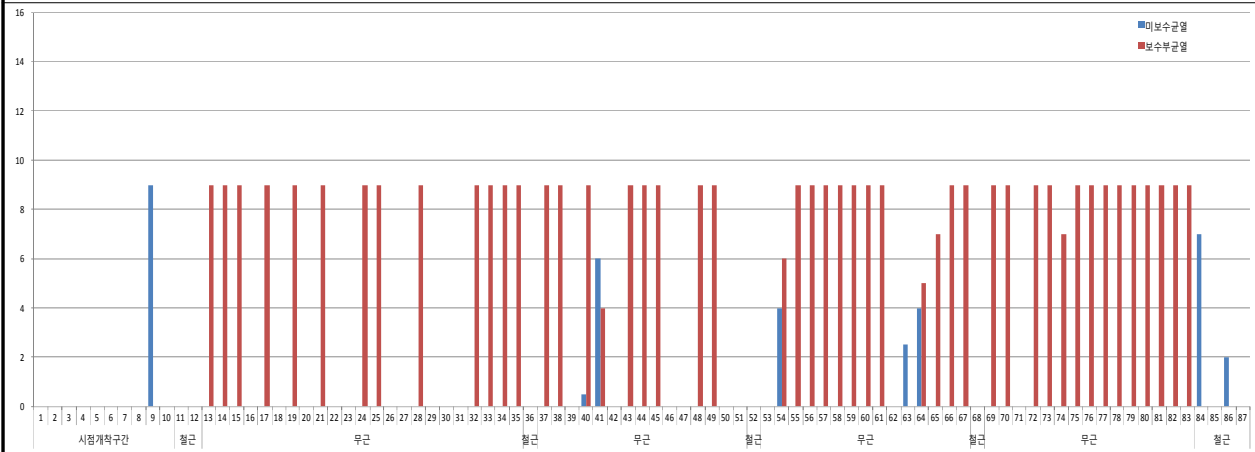
• 지보패턴별 폭 0.3mm이상 균열발생 연장

구 분	지보패턴	시점 개착	무근				철근		
			T-2	T-3	T-4	T-5	비주대	T-2	T-6
	균열 총연장(m)	9.0	740.2	54.0	90.0	38.0	5.0	12.0	-
	지보타입 연장(m)	70.0	1066.0	82.4	154.5	54.0	30.0	54.0	39.1
	단위 m당 균열연장(m)	0.1	0.7	0.7	0.6	0.7	0.2	0.2	-
	비율(%)	0.9	78.1	5.7	9.5	4.0	0.5	1.3	-

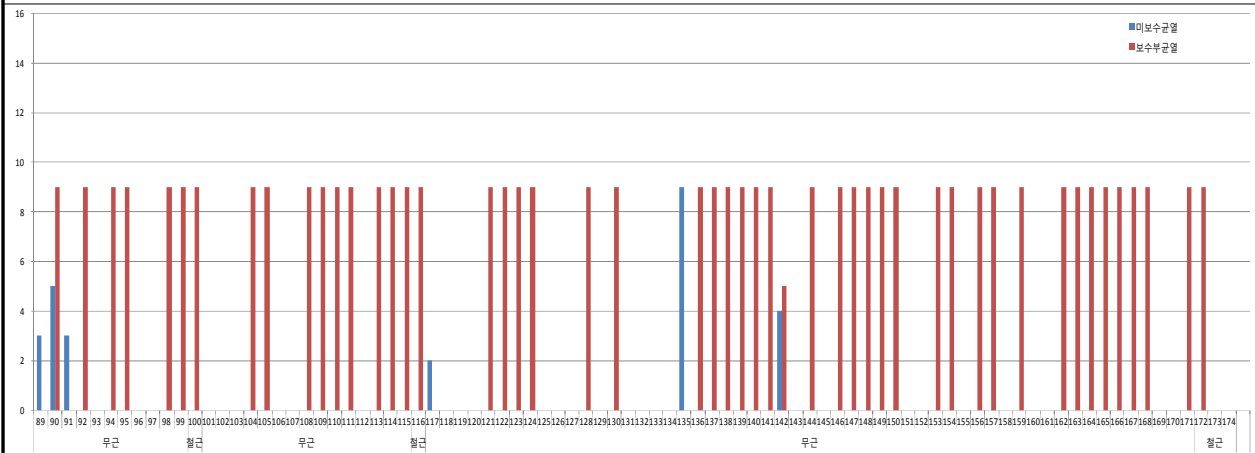
① 종방향 균열

- 종방향 균열은 시공 특성상 배면공동, 타설불량, 라이닝 두께 부족 등으로 인하여 가장 취약한 부위인 천단부 및 좌·우측 천정부에서 발생되었으며, 이는 터널에서 일반적으로 나타나는 형태로써, 지반이완 등 외력에 의한 손상보다는 시공적·환경적·재료적 특성에 의해 발생한 비구조적인 균열로 판단된다.
- 종방향 균열은 균열 집중구간이 없이 터널에 전반적으로 고르게 분포되어 있었으며, 보수부 재균열이 주된 손상으로 확인되었다. 보수부 재균열은 표면처리가 시행된 부위에서 발생되었으며, 이는 보수상태가 미흡하거나, 건조수축 등 시공적·환경적 특성에 의해 균열 폭이 진전되어 재균열이 발생한 것으로 판단되며, 구조적인 문제점은 없는 것으로 판단된다.
- 따라서, 천단부에 발생한 종방향 균열은 구조물의 안전에는 큰 영향이 없는 것으로 판단되나 미 보수시에는 터널 내 오염물질 및 경년열화 등으로 인하여 손상확대 가능성이 있으므로 균열 폭 0.3mm 이상의 균열은 주입공법을, 0.2mm 이하 균열은 적정시기에 표면처리보수를 실시하는 것이 바람직하다.

▶ 개착구간 + NATM구간 (S1~S87)



▶ NATM구간 (S88~S174)



【그림 1.1.2】 종방향 균열 발생 현황



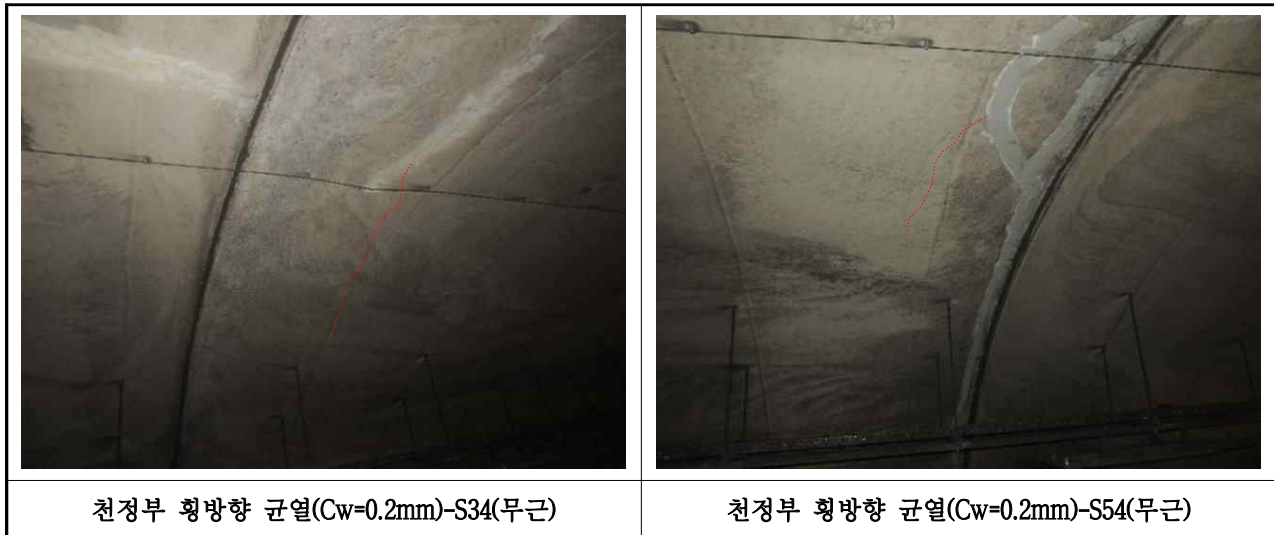
【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1)

	
천정부 종방향 보수부 재균열(Cw=0.3mm)-S91(무근)	천정부 종방향 보수부 재균열(Cw=0.3mm)-S121(무근)
	
천단부 종방향 보수부 재균열(Cw=0.3mm)-S161(무근)	천단부 종방향 보수부 재균열(Cw=0.3mm)-S167(무근)
	
천단부 종방향 보수부 재균열(Cw=0.3mm)-S170(무근)	천단부 종방향 보수부 재균열(Cw=0.3mm)-S171(무근)

【사진 1.1.2】 라이닝 외관조사 결과(2)

② 횡방향 균열

- 라이닝에 발생한 횡방향 균열은 전반적으로 보수가 완료된 상태였으며, 일부 손상들은 천단부에서 발생한 상태였으며, 균열 길이가 짧고 연속성이 없으며 일정한 형태가 없이 불규칙하게 발생한 균열로, 건조수축 및 구속응력 등이 복합적으로 작용하여 발생한 비구조적 손상으로 판단된다. 조사된 손상들은 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3mm 이상 균열은 주입보수를 실시하고 0.2mm 이하 균열은 적정시기에 표면처리보수를 실시하는 것이 바람직하다.



【사진 1.1.3】 라이닝 외관조사 결과(3)

2) 누수 및 백태

- 청도2터널(부산)의 라이닝 및 시공이음부에서는 누수 및 백태가 없는 상태로 확인되었다.

3) 단면손상(철근노출)

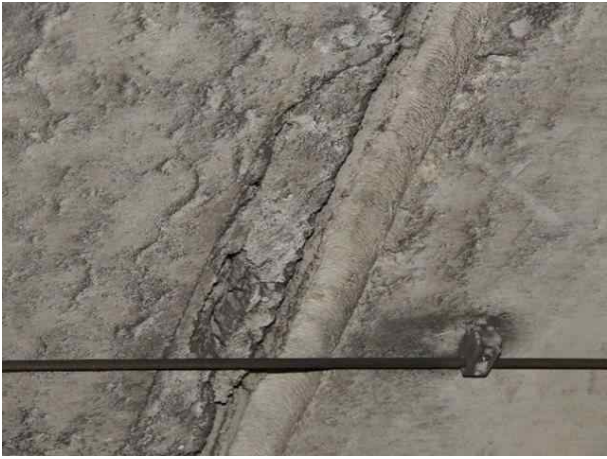
- 청도2터널(부산)의 철근이 배근되어 있는 구간(개착구간, 비상주차대, 피난연락갱, 지보 패턴 6구간, Jetfan 설치구간)의 경우 철근노출은 없는 상태였으며, 철근탐사 결과, 피복 두께는 양호한 상태로 확인되었다.

4) 단면손상(비철근노출)

- 라이닝콘크리트는 전반적으로 양호하였으나, 시공이음부 주변에서 들뜸이 일부 조사되었다. 손상 발생의 원인은 시공 당시 거푸집 마감 불량과 같은 시공관리 미흡과 콘크리트 이어치기시 내부구속 및 양생미흡, 건조수축, 보수미흡에 의한 부착력 저하 등 시공 및 환경적 요인에 의해 발생되었으며, 현재로서는 탈락의 가능성은 미미하지만 탈락할 경우 주행차량의 안전에 영향을 미치므로 깨어내기를 통한 위험요소를 제거하는 것이 바람직하다.

【표 1.1.3】 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황

구분	원인	손상물량	조치방안
들뜸(m ² /개소)	시공미흡+구속응력	5.59/17	깨어내기
보수부 들뜸(m ² /개소)	보수미흡	0.1/1	깨어내기

	
보수부 들뜸-S9, 천정부	시공이음부 들뜸-S72, 어깨부
	
시공이음부 들뜸-S132, 어깨부	시공이음부 들뜸-S151, 천정부

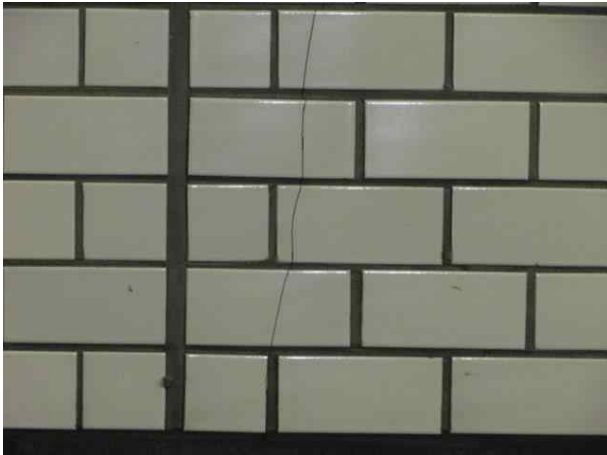
【사진 1.1.4】 라이닝 외관조사 결과(4)

5) 기타(타일, 마감재 손상)

- 타일은 조명효과 향상, 운전자의 시선유도, 마감에 따른 미관성 향상 등의 목적으로 벽체부에 설치하는 마감재로 차량충돌에 의한 파손, 장기 공용에 따른 부착력 저하에 의한 탈락, 라이닝 균열로 인한 타일균열이 조사되었으나, 국부적으로 발생된 경미한 손상으로 기능발휘에는 문제가 없어 부분 보수 보다는 향후 손상 확대시 미관성 등을 고려한 보수계획을 수립하여 일괄 보수 실시가 바람직하다.

【표 1.1.4】기타 손상 발생 현황

구분	원인	손상물량	조치방안
타일균열(개소)	라이닝 균열 발생	23	지속관찰
타일탈락(개소)	부착력 저하	2	지속관찰
타일파손(개소)	차량충돌	65	지속관찰

	
타일균열-S10, 측벽부	타일균열-S112, 공동구 측면
	
타일탈락-S123, 공동구 측면	타일파손-S173, 공동구 측면

【사진 1.1.5】기타 손상 외관조사 결과

다. 공동구

- 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구는 전기설비, 통신설비 등을 공동으로 수용하여 설비 시설에 대한 효율적인 유지관리를 위해 설치된 시설물로 점검결과, 공동구 덮개 파손, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 공동구 덮개 파손은 경미한 상태로 보수조치는 필요하지 않으나, 설비 유지관리, 긴급 점검 및 복구시 이동 통로로 활용할 수 있으므로 덮개 파손의 규모가 클 경우에는 점검자의 안전이동 및 원활한 유지관리를 위해 덮개를 교체해야 할 것으로 판단된다.
- 파손은 경미한 상태이므로 경제성 측면에서 보수보다는 주의관찰이 바람직하다.

【표 1.1.5】 공동구 손상발생 현황

구분	원인	손상물량	조치방안
덮개파손(개소)	물리적인 충격	2	지속관찰
파손(㎡/개소)	물리적인 충격	0.15/1	지속관찰



【사진 1.1.6】 공동구 외관조사 결과

라. 배수시설

1) 개요

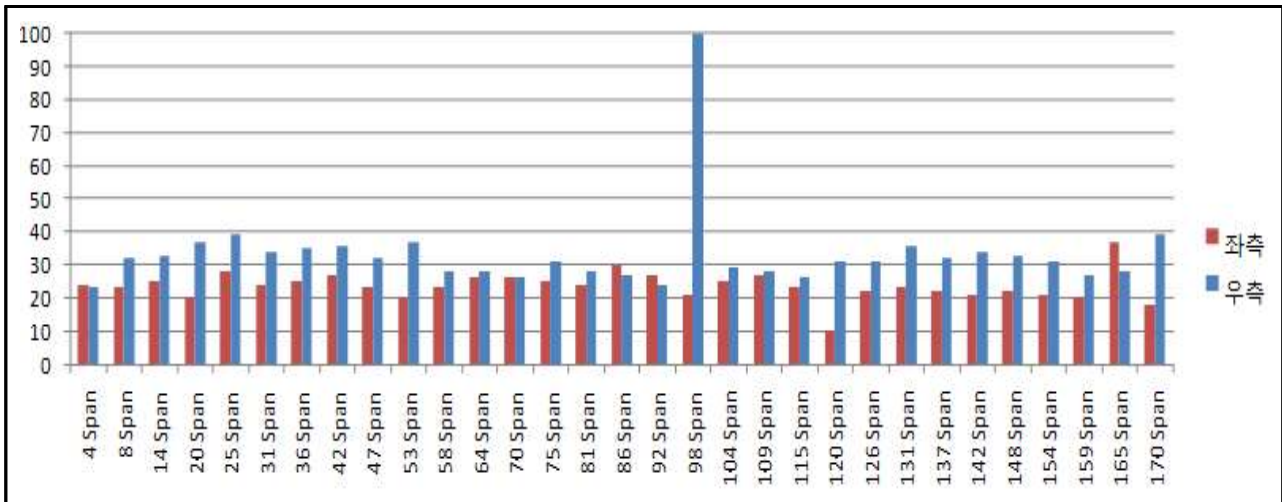
청도2터널(부산)은 배수형 터널로서 유지관리 및 배수구 청소가 용이한 측벽하부 배수방식을 적용하였다. 좌·우 측벽 하부에는 10m마다 횡배수관(유공관 Ø100)을 삽입하여 노면배수관(스파이럴심덕트관 Ø400)에 연결하여 지하수 및 우수를 유도하여 배수되도록 시공되어 있으며, 도로부에는 바닥에 발생하는 양수압을 배제시키기 위하여 노면의 좌·우 양 측면에 지하배수관(아연도 강관 Ø200)이 설치되어 있다. 현장조사 결과, 노면배수관은 유지관리 차원에서 50m마다 유지관리를 위한 집수정이 설치되어 있었으나, 지하배수관은 별도의 유지관리시설이 없는 것으로 확인되었다.

2) 조사결과

- 배수시설은 지하에 매설되어 있는 관계로 유지관리를 위한 집수정을 통하여 노면배수관 및 횡배수관에 대한 육안 점검을 실시하였으며, 지하배수관은 육안 점검이 불가능한 관계로 노면 체수흔적 및 용출수의 발생, 배수구 역류 등을 조사하여 간접적인 건전성을 평가하였다.
- 노면의 체수 및 용출수는 없는 상태로 확인되어 지하배수관의 기능상태는 양호한 것으로 판단된다. 그러나, 지하배수관은 기능불량으로 인한 용출수의 발생이 여러 터널에서 빈번하게 발생되고 있으므로, 용출수, 체수 등과 같은 손상들에 대해 주의관찰을 실시하는 것이 바람직하다.
- 노면배수관은 집수정에 이물질 퇴적이 다소 확인되었으나, 터널의 시점측에서는 지하수 및 우수가 배출되고 있었으며, 횡배수관은 점검 당시 지하수가 유입되고 있지는 않았으나 배수 흔적이 확인되어 배수시설의 기능상태는 양호한 것으로 판단된다. 그러나, 98Span의 우측 집수정은 이물질로 가득 차 있는 것으로 확인되어 원활한 배수 처리를 위해 퇴적물을 제거가 요구된다.

【표 1.1.6】 배수시설 손상발생 현황

구분	S4		S8		S14		S20		S25		S31		S36		S42		S47		S53		S58	
	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
이물질퇴적(cm)	24	23	23	32	25	33	20	37	28	39	24	34	25	35	27	36	23	32	20	37	23	28
구분	S64		S70		S75		S81		S86		S92		S98		S104		S109		S115		S120	
	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
이물질퇴적(cm)	26	28	26	26	25	31	24	28	30	27	27	24	21	100	25	29	27	28	23	26	10	31
구분	S126		S131		S137		S142		S148		S154		S159		S165		S170		-		-	
	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	-	-	-	-
이물질퇴적(cm)	22	31	23	36	22	32	21	34	22	33	21	31	20	27	37	28	18	39	-	-	-	-



【그림 1.1.3】 이물질 퇴적 높이



【사진 1.1.7】 배수시설 외관조사 결과

마. 도로부(포장면)

- 청도2터널(부산)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 미끄럼방지를 위해 횡방향 그루빙(Grooving)이 시공되어져 있고 일정 간격의 신축이음의 설치되어 있다.
- 포장면에서는 스켈링 및 스폐링, 표면박리, 균열, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 스켈링, 스폐링, 표면박리 및 파손은 콘크리트 타설시 불순물 혼입, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중이 복합적으로 작용하여 발생된 손상으로 판단된다. 조사된 손상들은 조속한 보수조치를 요구하지는 않으나 지속적인 차량통행시 요철로 인하여 주행성이 저하되고 사용년수 증가에 따라 손상확대가 우려될 수 있으므로 포장부 보수계획에 따라 적정시기에 보수를 실시하는 것이 바람직하다.
- 포장에 발생한 세로 및 가로방향 균열 및 망상균열은 차량의 반복하중 및 온도균열에 의한 손상이며, 균열 폭이 미세한 상태이므로 보수보다는 주의관찰이 바람직하며, 손상의 진전이 확인될 경우에는 실링보수 또는 주입보수를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 1.1.7】 교면포장 손상발생 현황

구분	원인	손상물량	조치방안
스켈링(㎡/개소)	제설재+불순물 혼입+차량 반복통행	276.4/8	지속관찰
스폴링(㎡/개소)	불순물 혼입+차량 반복통행	2.89/85	지속관찰
표면박리(㎡/개소)	차량 반복통행에 의한 마모	0.04/2	지속관찰
파손(㎡/개소)	물리적인 충격	0.08/3	지속관찰
균열(m/개소)	차량 반복통행+온도균열	6.2/2	지속관찰
망상균열(㎡/개소)	차량 반복통행+온도균열	238.7/28	지속관찰



【사진 1.1.8】 도로부 외관조사 결과

	
이물질 혼입-S33	망상균열-S60
	
스케링-S67	망상균열-S90
	
스폴링-S157	세로방향 균열-S172

【사진 1.1.8】 도로부 외관조사 결과(계속)

바. 부대시설

1) 현황

청도2터널(부산)은 터널 중앙부(Span.No.085~087)에 비상주차대와 피난연결통로(Span.No.086)가 위치하고 있으며, 제트팬은 총 11대가 설치되어 있다.

또한 터널내 사고 발생시 안전 대피 및 비상연락이 가능토록 표지판, 소화시설, 비상전화 등이 설치되어 있고 안전운전을 위해 조명시설이 설치되어 있는 것으로 조사되었다.

	
피난연결통로 전경	조명시설 전경
	
Jet Fan 설치 전경	소화전 전경

【사진 1.1.9】 부대시설 현황

2) 조사결과 및 점검의견

피난연결통로, 및 제트팬, 소화전, 조명시설 및 안전표지판 등 터널내부의 부대시설은 지속적인 유지관리로 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 조사되었다.

아. 외관조사 결과

청도2터널(부산)은 금회 준공 후 10년 이내 실시하는 최초 진단으로 금회 외관조사 결과는 다음과 같다.

【표 1.1.8】 외관조사 결과

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		원인	수량	조치방안	비고
본선 터널	라이닝	균열	0.3mm미만	온도 및 건조수축	62.5m/24개소	지속관찰	
			0.3mm이상	온도 및 건조수축	77.2m/21개소	주입보수	
		보수부 재균열	0.3mm미만	온도 및 건조수축	81.5m/13개소	지속관찰	
			0.3mm이상	온도 및 건조수축	871.0m/101개소	주입보수	
		망상균열		양생미흡, 건조수축	51.0㎡/2개소	지속관찰	
		단면손상 (비철근노출)	들뜸, 박락	양생미흡/온도변화	5.59㎡/17개소	깨어내기	
			보수부 들뜸	보수미흡	0.1㎡/1개소	깨어내기	
		타일균열		라이닝 균열	23개소	지속관찰	
		타일탈락		부착력 저하	2개소	재설치	
		타일파손		차량충돌	65개소	지속관찰	
	공동구	덮개 파손		물리적인 충격	2개소	지속관찰	
		파손		물리적인 충격	0.15㎡/1개소	지속관찰	
	배수시설	집수정 막힘		이물질 퇴적	1개소	청소	
	도로부 (포장면)	스켈링		제설제+불순물혼입	276.4㎡/8개소	지속관찰	
		스폴링		불순물혼입+차량통행	2.89㎡/85개소	지속관찰	
		표면박리		차량 반복통행	0.04㎡/2개소	지속관찰	
		파손		물리적인 충격	0.08㎡/3개소	지속관찰	
		균열		차량 반복통행+온도	6.2m/2개소	지속관찰	
		망상균열		차량 반복통행+온도	238.7㎡/28개소	지속관찰	

1.1.3 이전 상태와 현 상태 비교

【표 1.1.9】 기 점검결과와 손상물량 비교표

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		2013년 정밀점검	금회 진단	증감	비고
본선 터널	라이닝	균열	0.3mm미만	8.0m/3개소	62.5m/24개소	증	
			0.3mm이상	50.0m/13개소	77.2m/21개소	증	
		보수부 재균열	0.3mm미만	27.0m/3개소	81.5m/13개소	증	
			0.3mm이상	166.0m/19개소	871.0m/101개소	증	
		망상균열		-	51㎡/2개소	추가	
		단면손상 (비철근노출)	들뜸, 박락	0.48㎡/12개소	5.59㎡/17개소	증	
			보수부 들뜸	-	0.1㎡/1개소	추가	
		타일균열		14	23개소	증	
		타일탈락		2	2개소	-	
		타일파손		-	65개소	추가	
	공동구	덮개 파손		2	2개소	-	
		파손		-	0.15㎡/1개소	추가	
	배수시설	집수정 막힘		-	1개소	추가	
	도로부 (포장면)	스켈링		73.16㎡/7개소	276.4㎡/8개소	증	
		스폴링		0.69㎡/31개소	2.89㎡/85개소	증	
		표면박리		-	0.04㎡/2개소	추가	
		파손		-	0.08㎡/3개소	추가	
		균열		-	6.2m/2개소	추가	
		망상균열		-	238.7㎡/28개소	추가	

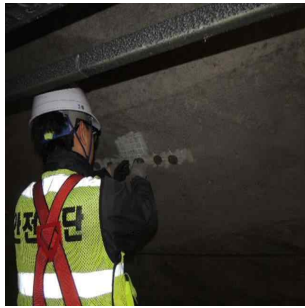
전차 점검 이후 공용기간의 증가 및 점검장비를 이용한 근접조사에 의해 전반적으로 손상이 추가되었으나, 구조적인 손상의 발생은 없는 상태로 확인되었다.

1.2 내구성 조사 결과

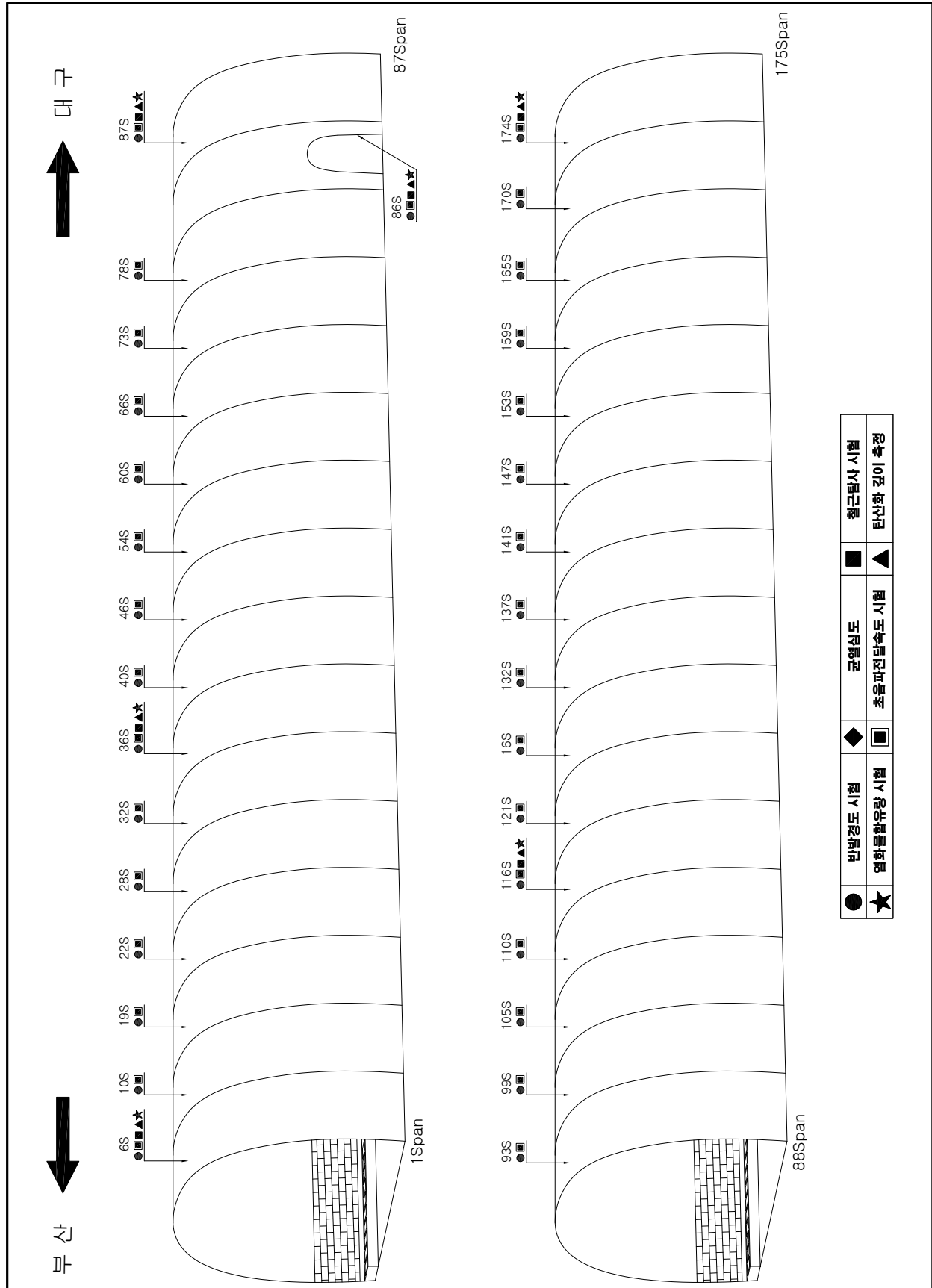
본 과업의 내구성조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였으며, 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정, 염화물함유량시험, 균열깊이 조사 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴 시험 현황은 다음과 같다.

【표 1.2.1】 청도2터널(부산) 콘크리트 비파괴시험 현황

항 목		기준수량	수 량(개소)		비 고
			기준	실시	
측점분할		• 신축이음부 또는 평가단위로 분할 • 5~50m 간격	-	175	
단면측량		• 종 · 횡단측량 및 선형측량 • 총수량 = (총연장/200)+1	9	10	
비파괴 강도	반발경도법	• 총수량 = (총연장/100)×2	32	32	
	초음파법		32	32	
철근탐사시험		• 총연장 1,000미만 = 4개소 • 총연장 1,000이상 = 최초 4개소 + 500m당 1개소 추가	6	6	
탄산화깊이 측정			6	6	
염화물함유량시험			6	6	
균열깊이 조 사		• 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정	-	1	Cw=0.3mm이상 균열

			
반발경도시험	초음파전달속도시험	탄산화 깊이 측정	철근탐사시험

【사진 1.2.1】 콘크리트 내구성조사 전경



【그림 1.2.1】 청도2터널(부산) 콘크리트 내구성조사 위치도

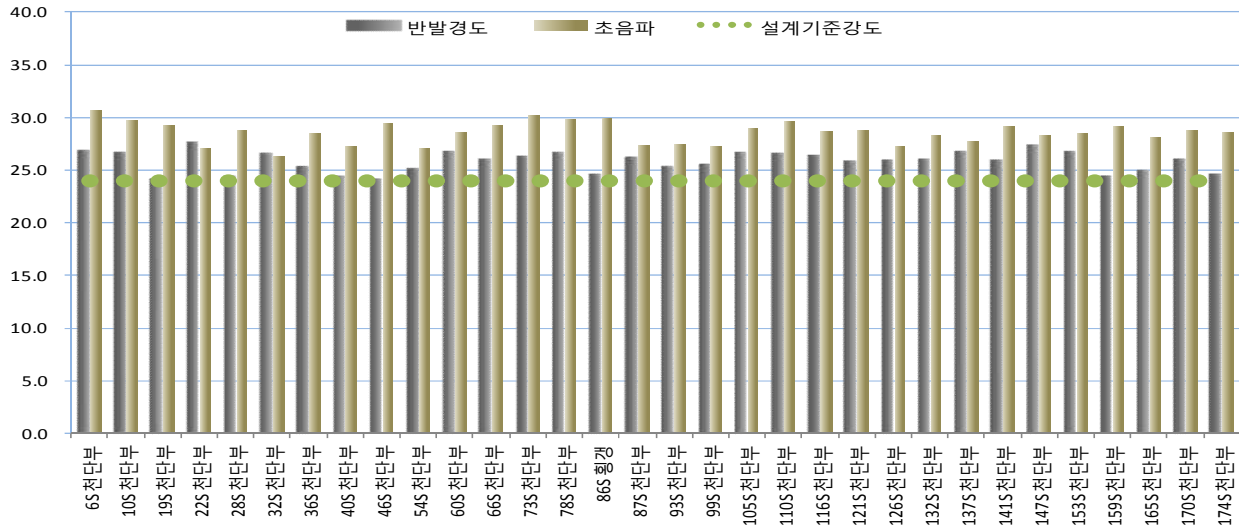
1.2.1 콘크리트 강도시험

청도2터널(부산)의 콘크리트 비파괴강도시험은 반발경도법 및 초음파속도법을 이용하여 총 32개소의 비파괴강도시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

가. 비파괴강도 시험결과

【표 1.2.2】 비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)			초음파속도법(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (R_o)	초음파 속도 (V_d)	식①	식②	평균	식③	식④	평균	
라이닝	S6 천단부	47.1	4.25	26.3	27.4	26.9	28.7	32.7	30.7	24.0
	S10 천단부	46.7	4.21	26.0	27.2	26.6	28.0	31.4	29.7	
	S19 천단부	42.7	4.19	22.8	25.4	24.1	27.6	30.8	29.2	
	S22 천단부	48.3	4.11	27.3	28.0	27.7	25.9	28.2	27.1	
	S28 천단부	43.0	4.18	23.1	25.6	24.4	27.3	30.3	28.8	
	S32 천단부	46.5	4.08	25.9	27.2	26.6	25.3	27.2	26.3	
	S36 천단부	44.6	4.16	24.3	26.3	25.3	27.0	29.9	28.5	
	S40 천단부	43.0	4.12	23.1	25.6	24.4	26.0	28.4	27.2	
	S46 천단부	42.7	4.20	22.8	25.4	24.1	27.8	31.2	29.5	
	S54 천단부	44.4	4.12	24.2	26.2	25.2	25.9	28.3	27.1	
	S60 천단부	46.8	4.17	26.1	27.3	26.7	27.1	30.1	28.6	
	S66 천단부	45.8	4.19	25.3	26.8	26.1	27.6	30.9	29.3	
	S73 천단부	46.2	4.23	25.6	27.0	26.3	28.3	31.9	30.1	
	S78 천단부	46.6	4.21	26.0	27.2	26.6	28.0	31.6	29.8	
	S86 횡갱	43.4	4.22	23.4	25.7	24.6	28.1	31.7	29.9	
	S87 천단부	46.0	4.12	25.5	26.9	26.2	26.1	28.5	27.3	
	S93 천단부	44.5	4.13	24.3	26.2	25.3	26.2	28.7	27.5	
	S99 천단부	44.9	4.12	24.6	26.4	25.5	26.0	28.3	27.2	
	S105 천단부	46.7	4.18	26.0	27.2	26.6	27.3	30.4	28.9	
	S110 천단부	46.5	4.21	25.9	27.2	26.6	27.9	31.3	29.6	
	S116 천단부	46.4	4.17	25.8	27.1	26.5	27.2	30.2	28.7	
	S121 천단부	45.4	4.18	25.0	26.6	25.8	27.3	30.3	28.8	
	S126 천단부	45.7	4.12	25.2	26.8	26.0	26.0	28.3	27.2	
	S132 천단부	45.8	4.16	25.3	26.8	26.1	26.9	29.8	28.4	
	S137 천단부	47.0	4.14	26.3	27.3	26.8	26.4	29.1	27.8	
	S141 천단부	45.6	4.19	25.1	26.7	25.9	27.5	30.8	29.2	
	S147 천단부	48.0	4.16	27.1	27.8	27.5	26.9	29.7	28.3	
	S153 천단부	46.9	4.17	26.2	27.3	26.8	27.0	29.9	28.5	
	S159 천단부	43.0	4.19	23.1	25.6	24.4	27.5	30.7	29.1	
	S165 천단부	44.1	4.15	23.9	26.0	25.0	26.7	29.5	28.1	
	S170 천단부	45.9	4.18	25.4	26.8	26.1	27.2	30.3	28.8	
	S174 천단부	43.4	4.17	23.4	25.7	24.6	27.1	30.0	28.6	
평 균				25.0	26.6	25.8	27.1	30.0	28.5	
표 준 편 차				1.3	0.7	1.0	0.8	1.3	1.1	
변 동 계 수				5.1	2.7	3.9	3.0	4.3	3.7	



【그림 1.2.2】 평균압축강도 추정결과

- 각 시험법에 의한 비파괴강도 검토결과, 설계기준 대비 100.4~127.9%로 반발경도법 및 초음파속도법에 의한 비파괴 추정강도는 모두 100% 이상을 상회하는 값으로 분석되었다.
- 비파괴 추정식에 의해 평가된 강도는 전구간 강도가 설계기준 대비 100%이상으로 조사되어 라이닝 콘크리트 강도는 양호한 것으로 판단된다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 청도2터널(부산) 라이닝에 대한 콘크리트 강도는 공용년 수 경과에 따른 강도 저하는 없는 것으로 판단된다.

【표 1.2.3】 비파괴강도시험 결과분석

구 분	시험방법	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
라이닝	반발경도법	24.1~27.7	24.0	100.4~115.4
	초음파속도법	26.2~30.7	24.0	109.1~127.9

나. 기 점검결과와의 비교

【표 1.2.4】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교

구 분	'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	설계기준강도
반발경도법 라이닝	24.2~28.2	24.1~27.7	24.0
검토의견	■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨.		

1.2.2 철근탐사시험

철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 철근배근간격 및 피복두께 측정을 위해 시·중점 개착구간, 비상주차구간 및 제트펜 설치구간 등의 철근배근 구간의 터널 라이닝에 대해서 총 6개소의 철근탐사 시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

【표 1.2.5】 철근탐사 시험결과

시험위치	철근종류	측정치(mm)		설계치(mm)		비고
		배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
S6 라이닝	주철근	124.0	53.0	125.0	50.0	
	배력철근	198.0	57.0	200.0	50.0	
S36 라이닝(환기팬)	주철근	253.0	58.0	250.0	50.0	
	배력철근	202.0	59.0	200.0	50.0	
S86(횡갱)	주철근	125.0	59.0	125.0	50.0	
	배력철근	203.0	60.0	200.0	50.0	
S87 라이닝	주철근	123.0	50.0	125.0	50.0	
	배력철근	200.0	55.0	200.0	50.0	
S116 라이닝(환기팬)	주철근	245.0	54.0	250.0	50.0	
	배력철근	200.0	55.0	200.0	50.0	
S174 라이닝	주철근	125.0	53.0	125.0	50.0	
	배력철근	200.0	53.0	200.0	50.0	

본 과업대상 터널에 대하여 철근탐사 수행결과, 측정된 철근배근 간격 및 피복두께는 부재별로 설계도서과 비교시 일부 구간에서 미소한 편차는 있으나 대부분의 측정 위치에서 근사한 것으로 측정되었으며, 지속적인 점검 및 관찰을 실시한다면 문제는 없을 것으로 판단된다.

1.2.3 탄산화 깊이 측정

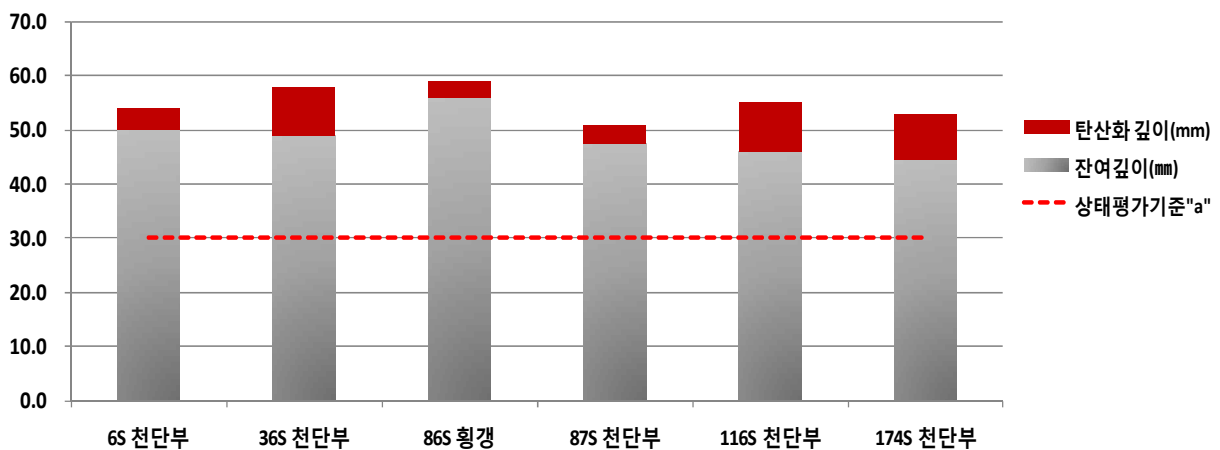
탄산화 깊이 측정은 라이닝에 총 6개소의 탄산화 잔여깊이를 측정하였으며, 실측 최소 피복두께를 적용하기 위해 철근탐사시험과 동일한 위치를 선정하였고, 그 결과는 다음과 같다.

가. 탄산화 깊이 측정결과

【표 1.2.6】 탄산화깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (mm)	실측 피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
라이닝	S6 천단부	4.0	54.0	50.0	a	1.26	1,813	100년이상
	S36 천단부	9.0	58.0	49.0	a	2.85	405	
	S86 횡갱	3.0	59.0	56.0	a	0.95	3,858	
	S87 천단부	3.5	51.0	47.5	a	1.11	2,113	
	S116 천단부	9.0	55.0	46.0	a	2.85	363	
	S174 천단부	8.5	53.0	44.5	a	2.69	379	

깊이(mm)



【그림 1.2.3】 청도2터널(부산) 탄산화깊이 측정결과

콘크리트 부재에 대한 탄산화 깊이 측정결과, 실측 피복두께와 비교시 탄산화 잔여깊이가 30.0mm 이상으로 측정되어 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2012. 10)』의 건전성 평가 기준에 의거 “a”로 평가되었으며, 철근까지의 탄산화 도달시간은 시험개소 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

나. 기 진단결과와의 비교

【표 1.2.7】탄산화깊이 기 점검결과와의 비교

구 분	'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	비 고
라이닝	2.0~4.0	3.0~9.0	
검토의견	■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨.		

1.2.4 염화물함유량 시험

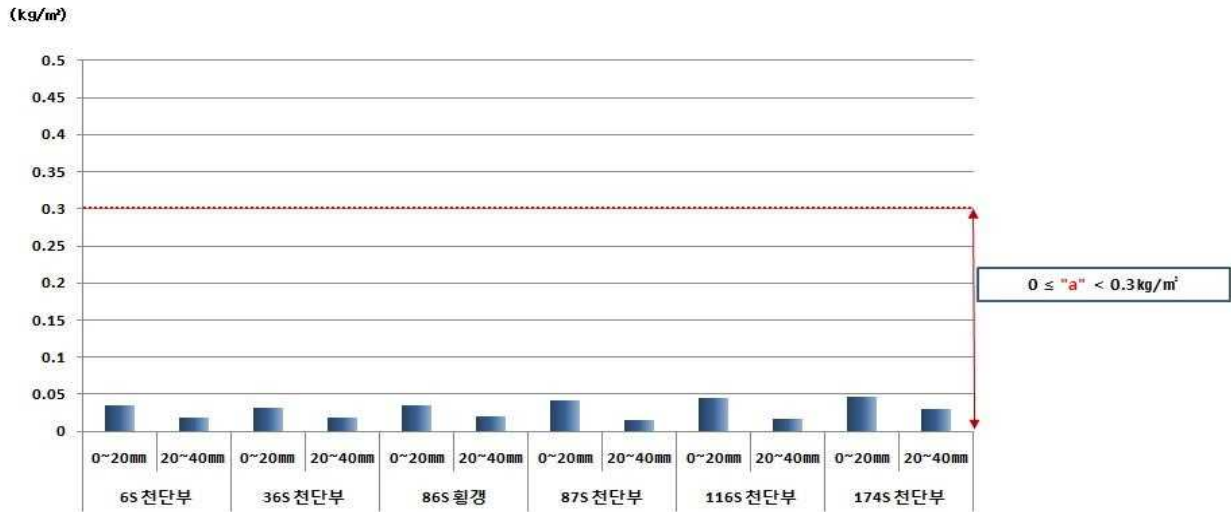
염화물함유량 시험은 라이닝에서 6개소에 대하여 깊이별 시료를 채취하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

【표 1.2.8】염화물함유량 시험결과 및 평가

시험위치		측정 깊이	염화물 함유량		평가 결과	비 고
			CI ⁻ (%)	CI ⁻ (kg/m ³)		
라이닝	S6 천단부	0~20mm	0.0015	0.035	a	
		20~40mm	0.0009	0.019	a	
	S36 천단부	0~20mm	0.0014	0.031	a	
		20~40mm	0.0009	0.019	a	
	S86 횡갱	0~20mm	0.0015	0.035	a	
		20~40mm	0.0009	0.021	a	
	S87 천단부	0~20mm	0.0018	0.041	a	
		20~40mm	0.0007	0.016	a	
	S116 천단부	0~20mm	0.0020	0.045	a	
		20~40mm	0.0008	0.017	a	
	S174 천단부	0~20mm	0.0020	0.046	a	
		20~40mm	0.0013	0.030	a	

※ 콘크리트 환산 염화물 함유량(kg/m³) = 전 염화물 함유량(CI⁻)% / 100 × 콘크리트 단위중량(2,263kg/m³)

콘크리트 시료의 염화물함유량 평가는 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)” 평가기준에 의거하여 수행하였으며, 깊이별 분석결과, 염화물에 의한 부식이 발생할 우려가 없는 상태인 “a” 로 평가되었다.



【그림 1.2.4】염화물시험 측정결과

1.2.5 균열깊이 측정결과

외관조사시 조사된 균열폭 0.3mm이상 균열 중 임의로 대표손상을 선정하였으며, 초음파속도를 이용하여 균열깊이 측정을 실시하였다.

【표 1.2.9】균열깊이 측정결과

시험위치		균열폭 (mm)	전달거리 (mm)	초음파 전달시간 ($\times 10^{-6}$ sec)		균열깊이 (mm)	부재두께 (mm)	비고
				건전부 (To)	균열부 (Tc)			
라이닝	134S 천단부	0.4	100	26.9	71.8	124.0	300.0	무근 콘크리트

균열깊이 측정결과, 측정 대상 균열심도가 부재 두께를 관통하지는 않은 것으로 확인되어 균열로 인한 구조물의 내구성 저하는 경미할 것으로 판단된다.

1.2.6 현장시험 결과 요약

【표 1.2.10】 현장시험 결과 요약

시험명	시 험 위 치		시 험 결 과				비 고
비파괴 강도 (MPa)	부재	시험종류	추정강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)		
	라이닝	반발경도법	24.1~27.7	24.0	100.4~115.4		
		초음파속도법	26.2~30.7		109.1~127.9		
	검토의견		■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨				
철근탐사 (mm)	부재	철근종류	측정치		설계치		
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
	라이닝	주철근	123.0~125.0 198.0~203.0	50.0~59.0	125.0 200.0	50.0	
		배력철근	198.0~203.0	530.0~600.	200.0	50.0	
	검토의견		■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계치과 근사함				
탄산화 잔여깊이 (mm)	부재	탄산화깊이	피복두께	잔여깊이	평가	잔존수명	
	라이닝	3.0~9.0	51.0~59.0	44.5~56.0	a	363~3,858	
	검토의견		■ 탄산화 잔여깊이가 30mm이상인 “a” 로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨				
염화물 함유량	부재	Cl ⁻ (%)		Cl ⁻ (kg/㎡)		평가	
	라이닝	0.0007~0.0020		0.016~0.046		a	
	검토의견		■ 염화물에 의한 부식이 발생할 우려가 없는 상태인 “a” 로 평가됨				
균열 깊이	부재	균열폭		균열깊이		부재두께	
	라이닝	0.4		124.0		300.0	
	검토의견		■ 균열깊이가 부재 두께를 관통하지 않은 것으로 확인되어 균열로 인한 내구성 저하는 경미할 것으로 판단됨				

1.2.7 기 점검('13년)결과 비교

【표 1.2.11】 현장시험 기 점검('13년)결과 비교

시험명	시 험 위 치		시 험 결 과			비 고
비파괴 강도 (MPa)	시험종류	부재	'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	설계기준강도	
	반발경도법	라이닝	24.2~28.2	24.1~27.7	24.0	
	검토의견		■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨 ■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨			
탄산화 잔여깊이 (mm)	부재		'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	평가	
	라이닝		46.0~48.0	44.5~56.0	a	
	검토의견		■ 탄산화 잔여깊이가 30mm이상인 “a” 로 평가되어, 탄산화로 인한 철근의 부식환경은 없는 상태로 평가됨 ■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨.			

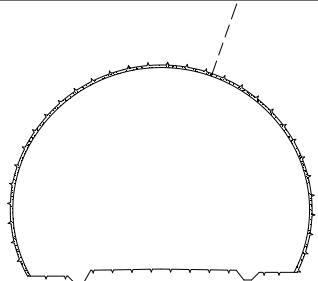
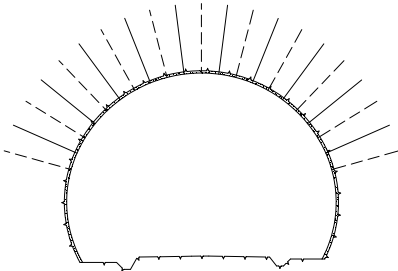
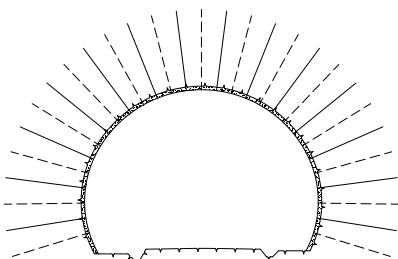
1.3 G.P.R 탐사 결과

GPR탐사 결과와 준공 도서를 비교 분석하여 시공의 적정성 여부를 판단하였으며, 콘크리트 라이닝 배면 공동 두께 및 범위를 추정하여 향후 보수 대책공법 적용시 참고 자료로 활용하였다.

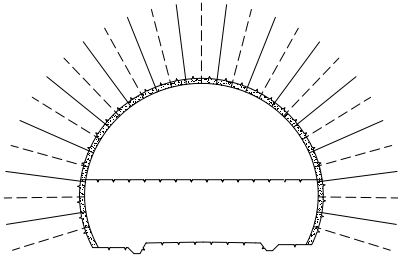
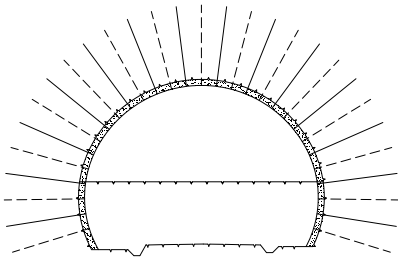
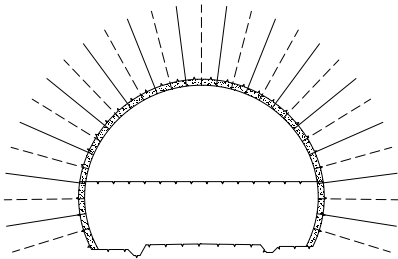
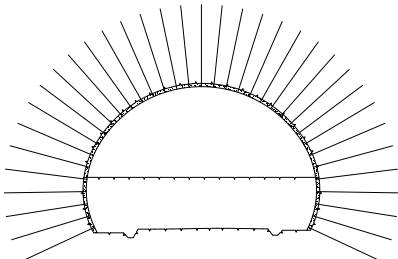
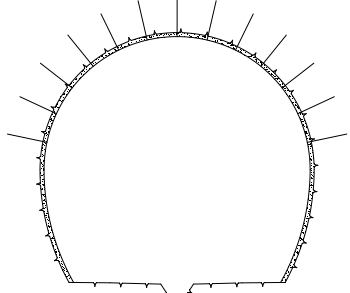
1.3.1 준공도면 검토

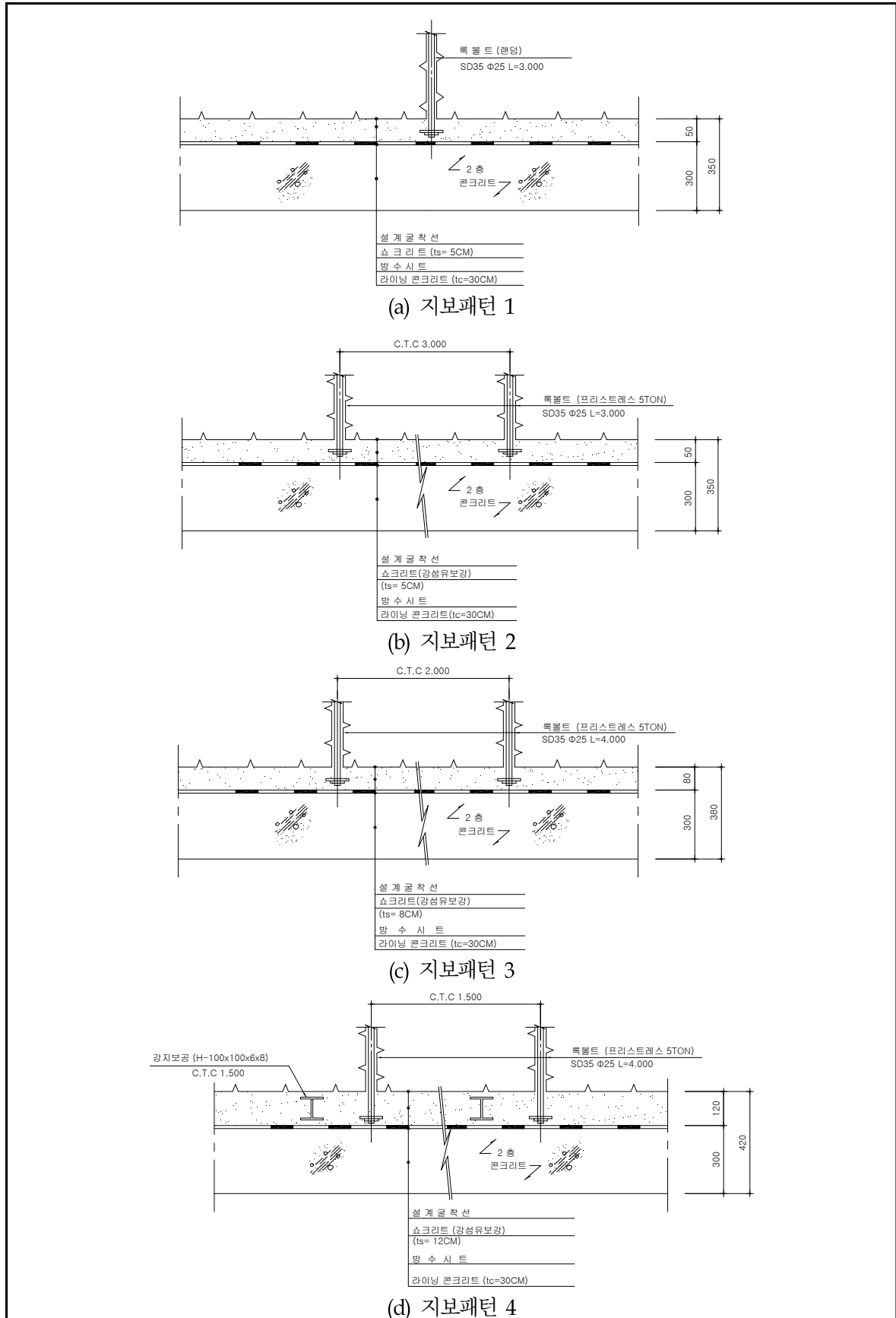
본 터널은 상·하행선으로 되어 있으며 구간별로 동일한 공법으로 시공하였다. 준공도면에서 표준지보공 패턴을 살펴보면 비상주차대 및 피난연결통로를 제외한 총 6가지 형태로 지보패턴 1~6으로 시공되었으며, 라이닝 설계두께는 비상주차대가 400mm, 그 외의 구간은 300mm으로 시공되었다. 각 패턴의 강지보공과 락볼트는 동일한 규격을 사용하였으며 숏크리트 라이닝 내부에 설치되어 있는 강지보공의 규격은 H-100×100×6×8, 락볼트의 규격은 35× ϕ 25로 시공되었다. 강지보공은 지보패턴 4~6 구간에서 0.6~1.5m 간격으로 설치되어 있다.

【표 1.3.1】 표준지보공 패턴

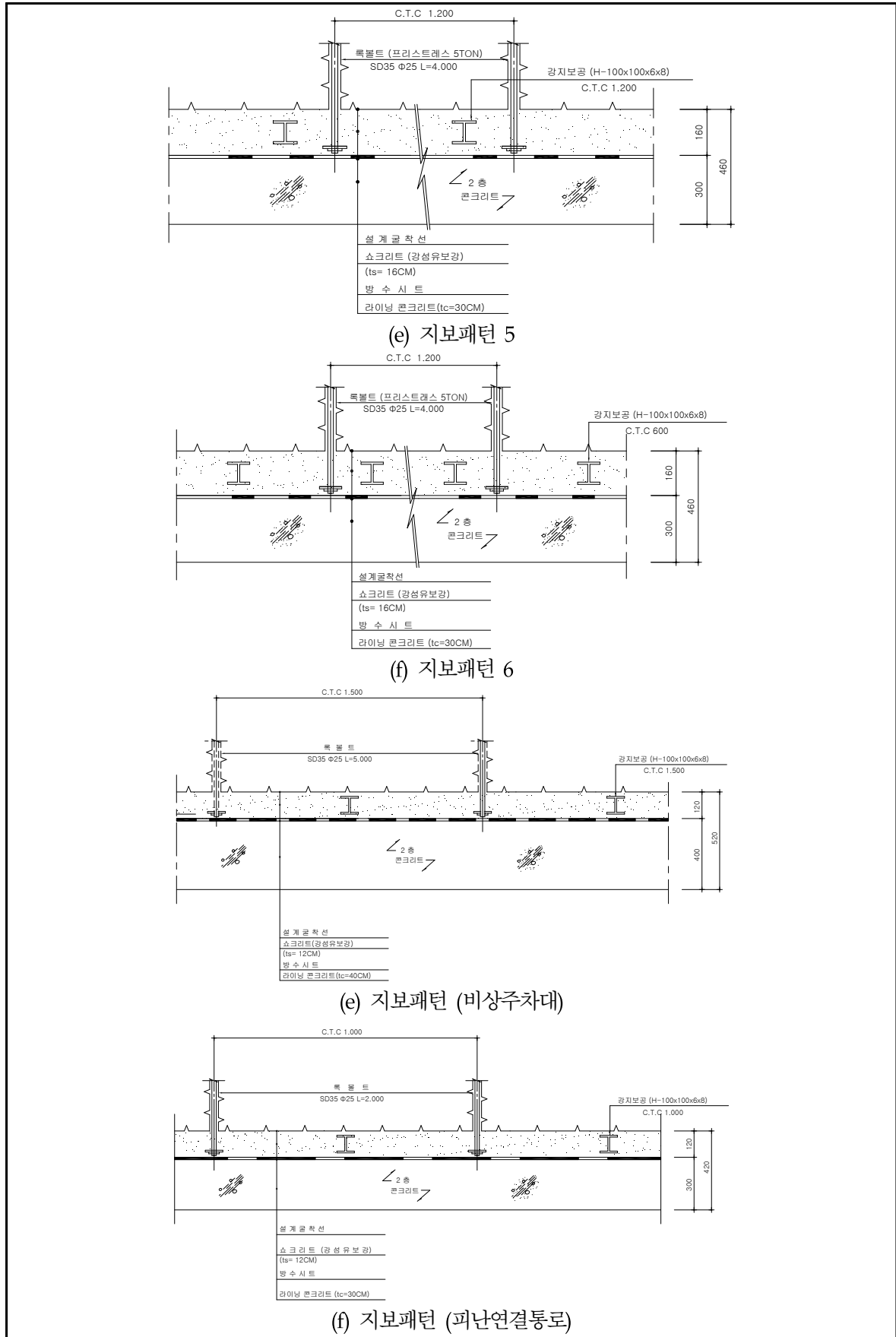
구 분	내 용	개 요 도
지보패턴 1	라이닝 두께 300mm	
	무지보공	
	락볼트 3.0m(Radom)	
지보패턴 2	라이닝 두께 300mm	
	무지보공	
	락볼트 3.0m(CTC 3.0m/1.5m)	
지보패턴 3	라이닝 두께 300mm	
	무지보공	
	락볼트 4.0m(CTC 2.0m/1.5m)	

【표 1.3.1】 표준지보공 패턴 (계속)

구 분	내 용	개 요 도
지보패턴 4	라이닝 두께 300mm	
	강지보공 CTC 1.5m	
	락볼트 4.0m(CTC 1.5m/1.5m)	
지보패턴 5	라이닝 두께 300mm	
	강지보공 CTC 1.2m	
	락볼트 4.0m(CTC 1.2m/1.5m)	
지보패턴 6	라이닝 두께 300mm / 철근보강	
	강지보공 CTC 0.6m	
	락볼트 3.0m(CTC 1.5m/0.6m)	
비상주차대	라이닝 두께 400mm / 철근보강	
	강지보공 CTC 1.5m	
	락볼트 5.0m(CTC 1.5m/1.5m)	
피난연결통로	라이닝 두께 300mm / 철근보강	
	강지보공 CTC 1.0m	
	락볼트 2.0m(CTC 1.0m/1.5m)	



【그림 1.3.1】 표준지보공 패턴도



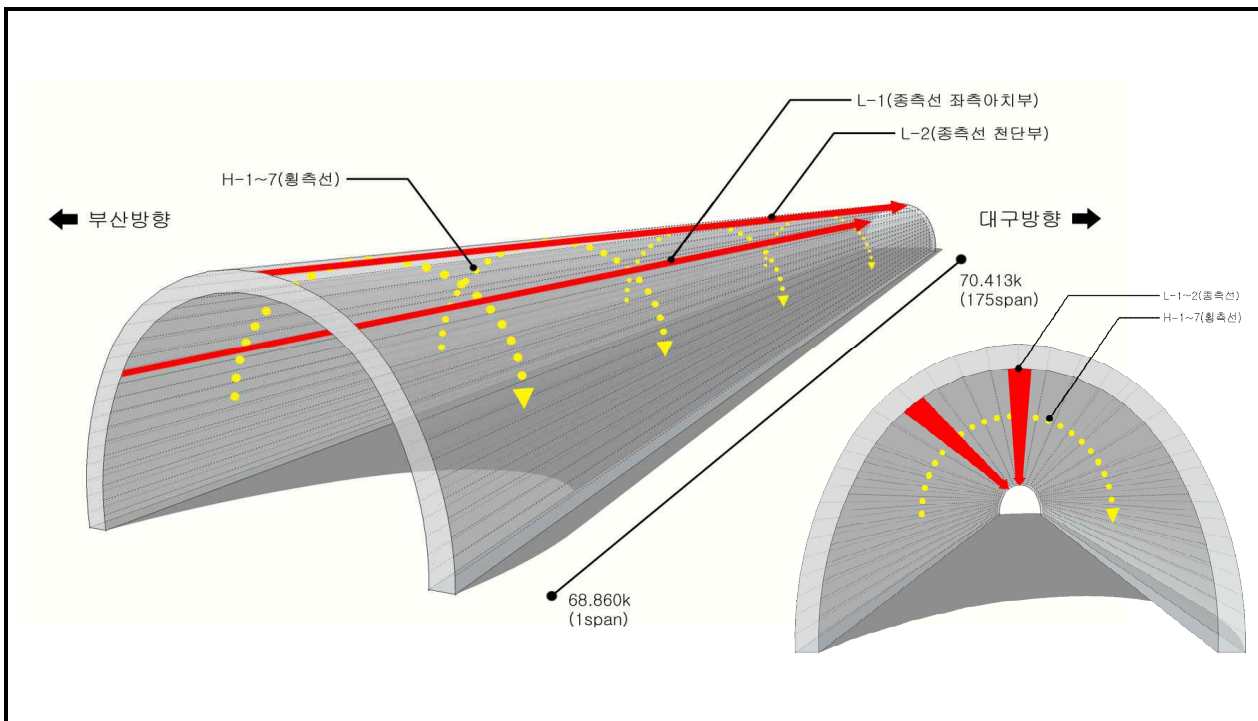
【그림 1.3.1】 표준지보공 패턴도 - 계속

1.3.2 탐사측선 선정 및 연장

청도2터널 부산방향 종측선은 천단부와 좌측어깨부를 탐사하였고, 횡방향 탐사는 약 200m간격으로 7개소씩 탐사를 실시하여 신뢰도를 높였다.

【표 1.3.2】 탐사측선 현황

구 분		측 선	위 치(sta.)	Span	측정부재	탐사심도	비고
청도2터널 (부산)	종 측 선	L 1	68.860K ~ 70.413K	1~175	좌측어깨부	1.0 M	
		L 2	68.860K ~ 70.413K	1~175	중앙천단부	1.0 M	
	횡 측 선	H 1	68.918K	8	좌측→우측	1.0 M	
		H 2	69.205K	40	좌측→우측	1.0 M	
		H 3	69.820K	75	좌측→우측	1.0 M	
		H 4	69.830K	110	좌측→우측	1.0 M	
		H 5	70.100K	140	좌측→우측	1.0 M	
		H 6	70.325K	165	좌측→우측	1.0 M	
		H 7	70.395K	173	좌측→우측	1.0 M	



【그림 1.3.2】 GPR 탐사 측선도

1.3.3 콘크리트 라이닝 두께

콘크리트 라이닝 설계두께는 비상주차대 구간이 400mm이고, 그 외의 구간은 300mm으로 시공되어 있다. 개착 구간 및 철근보강구간에는 대부분의 신호가 철근에서 반사되기 때문에 철근 배면의 상태를 확인하기 어려우므로 철근구간에서의 라이닝 두께는 제외하고 분석하였다.

라이닝 두께부족은 터널 표준시방서 3.3.2항에 의하면 “설계두께의 1/3 혹은 100mm중 작은 값을 초과하지 않는 범위 내에서 시공오차를 허용한다.” 라고 언급되어 있기 때문에 금회 탐사결과를 이용하여 라이닝 두께에 대한 평가시 설계두께보다 1/3 작은값(100mm)를 적용하였다. 따라서, 설계두께 300mm보다 100mm작은 값인 200mm를 기준으로 라이닝 두께를 비교·분석하였다.

· GPR탐사 자료를 분석한 결과, 천단부의 라이닝 두께 범위는 210~360mm, 좌측어깨부의 라이닝 두께 범위는 190~360mm, 횡측선의 라이닝 두께 범위는 280~330mm 로 측정되었다.

· 국부적으로 발생한 라이닝 두께부족 구간을 제외하면 전반적으로 허용치(200mm)를 만족하는 양호한 상태로 탐사되었다.

· 천단부에서는 라이닝 두께가 허용치를 모두 만족하는 양호한 상태이며, 좌측어깨부의 경우, 두께부족 구간을 전체 연장과 비교하여 백분율로 나타내면 0.35% 정도로 탐사되어 두께 부족구간은 비교적 적은 것으로 확인되었다. 취득한 데이터는 분석하여 탐사자료(부록)에 첨부하였으며, 콘크리트 라이닝 두께 현황과 세부적인 구간은 아래 표에 나타내었다.

【표 1.3.3】 콘크리트 라이닝 두께 요약

구분		라이닝 두께(mm)			비고
		측정치	설계치	허용치	
종측선	천단부	210 ~ 360	300	200	
	좌측어깨부	190 ~ 360			
횡측선		280 ~ 330			

【표 1.3.4】 라이닝 두께부족 요약

구분		두께부족구간	탐사연장대비 백분율	
		합계(m)	탐사연장(m)	백분율(%)
종측선	천단부	-	1,553	0.00
	좌측어깨부	5.5	1,553	0.35
횡측선		-	41	0.00
합계		5.5	3,147	0.17

【표 1.3.5】 구간별 라이닝 현황

측정 LINE	관리이정 (부산기점)	Span	설계치(mm)	측정치(mm)		지보패턴	비 고
			라이닝 두께	라이닝 두께		타입	
				천단부	좌측어깨부		
청도2터널 (부산) 종측선	68.868 ~ 68.897	1~5	300	-	-	개착	1~10 개착구간 11~12 철근보강 36,52,68,84 Jet-Fan 85~87 비상주차대 100,116 Jet-Fan 172~175 철근보강 175 갯문
	68.897 ~ 68.939	6~10	300	-	-	개착	
	68.939 ~ 68.984	11~15	300	240~330	280~360	6,5,4	
	68.984 ~ 69.029	16~20	300	240~300	230~330	4	
	69.029 ~ 69.074	21~25	300	220~280	220~330	4	
	69.074 ~ 69.119	26~30	300	250~340	240~360	4,3	
	69.119 ~ 69.164	31~35	300	240~310	220~330	2	
	69.164 ~ 69.209	36~40	300	230~360	220~300	2	
	69.209 ~ 69.254	41~45	300	220~290	220~350	2	
	69.254 ~ 69.299	46~50	300	220~300	200~350	2	
	69.299 ~ 69.344	51~55	300	210~320	190~340	2	
	69.344 ~ 69.389	56~60	300	220~330	230~350	2	
	69.389 ~ 69.434	61~65	300	230~320	250~350	2	
	69.434 ~ 69.479	66~70	300	260~310	260~360	2	
	69.479 ~ 69.524	71~75	300	230~320	230~320	2	
	69.524 ~ 69.569	76~80	300	250~300	260~340	2	
	69.569 ~ 69.613	81~85	300	240~300	230~340	2	
	69.613 ~ 69.659	86~90	300	230~310	220~310	2	
	69.659 ~ 69.699	91~95	300	230~320	190~330	2	
	69.699 ~ 69.744	96~100	300	230~320	210~330	2	
	69.744 ~ 69.789	101~105	300	240~330	240~320	2	
	69.789 ~ 69.834	106~110	300	220~320	210~320	2	
	69.834 ~ 69.879	111~115	300	270~340	260~340	2	
	69.879 ~ 69.924	116~120	300	260~350	230~300	2	
	69.924 ~ 69.969	121~125	300	230~330	250~370	2	
	69.969 ~ 70.014	126~130	300	220~270	190~330	2	
	70.014 ~ 70.059	131~135	300	230~310	230~310	2,4	
	70.059 ~ 70.104	136~140	300	210~330	270~340	2,4,3	
	70.104 ~ 70.149	141~145	300	250~310	220~330	2	
	70.149 ~ 70.194	146~150	300	230~320	230~330	2	
	70.194 ~ 70.239	151~155	300	220~320	250~320	2	
	70.239 ~ 70.284	156~160	300	210~320	260~300	2,3	
	70.284 ~ 70.329	161~165	300	220~350	240~360	3,4	
	70.329 ~ 70.374	166~170	300	260~350	270~370	4,5-1	
	70.374 ~ 70.413	171~175	300	310~290	310~350	5-1,6-1	
청도2터널 (부산) 횡측선	68.918K	8	300	280~310		개착	
	69.205K	40	300	270~320		2	
	69.820K	75	300	280~300		2	
	69.830K	110	300	290~310		2	
	70.100K	140	300	280~330		2	
	70.325K	165	300	290~320		4	
	70.395K	173	300	300~330		6-1	

※ 측정심도는 유전율의 차이로 수cm의 오차가 존재함.

※ 횡측선 자료는 종방향 자료의 참고자료임.

1.3.4 라이닝 두께부족 구간

일반적으로 콘크리트라이닝의 두께 산정은 숏크리트와 콘크리트라이닝의 경계면에서 발생되는 반사파를 탐지하여 콘크리트라이닝의 두께를 분석하게 된다.

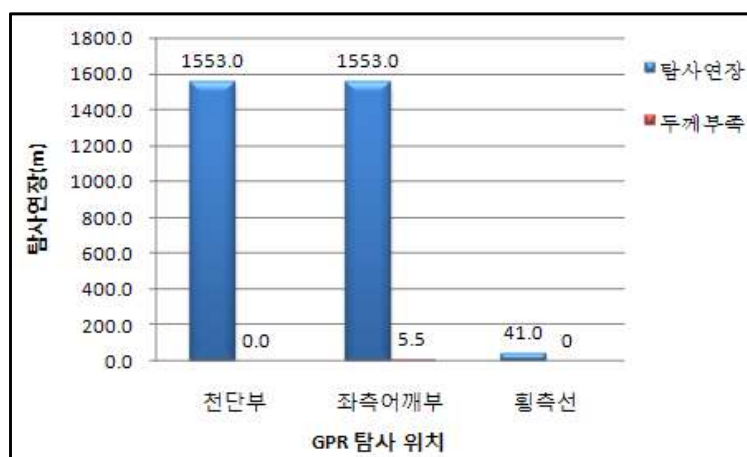
라이닝 두께부족 구간은 전체 연장과 비교하여 백분율로 나타내면 좌측어깨부에서 0.35% (좌측어깨부) 정도로 탐사되어 부족구간은 비교적 적은 것으로 확인되었다.

탐사된 이상신호의 심도 및 형상으로 보아 대부분 콘크리트 라이닝 과 숏크리트 사이의 경계부에서 발생된 들뜸현상으로 추정되나, NATM 터널의 시공적 특성 및 탐사된 이상신호의 연장이 비교적 적은 것을 감안하면 구조물의 안전성에는 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

세부적인 두께부족 탐지 구간은 아래 표에 자세히 나타내었다.

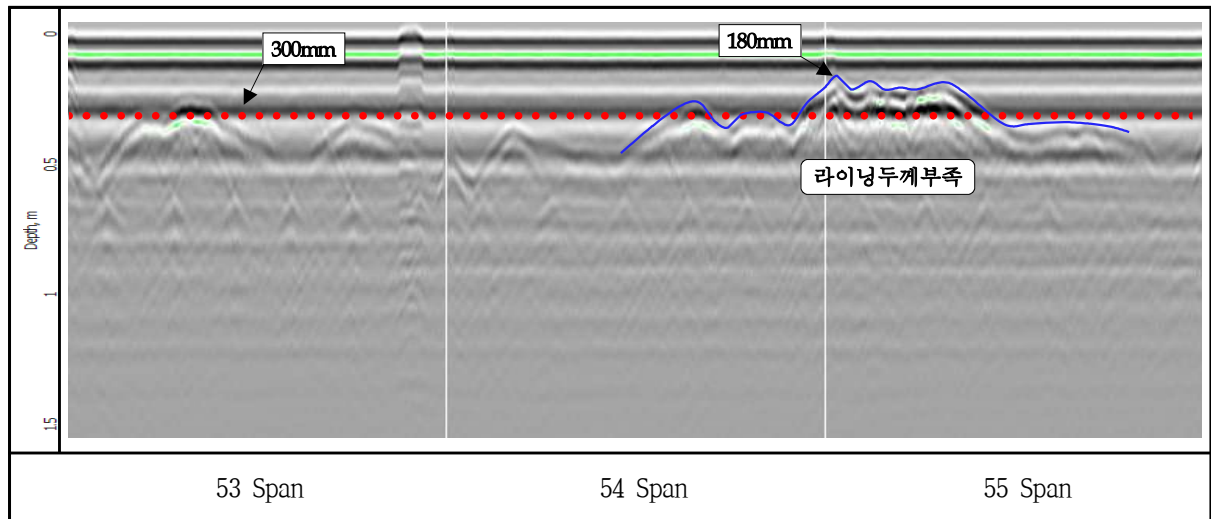
【표 1.3.6】 라이닝 두께부족 구간

구분		두께부족구간				탐사연장대비 백분율	
		위치 (Span)	라이닝두께 (mm)	연장 (m)	합계 (m)	탐사연장 (m)	백분율 (%)
종측선	천단부	-	-	-	-	1,553	0.00
	좌측어깨부	55	190	2.5	5.5	1,553	0.35
		91	190	2.0			
		126	190	1.0			
횡측선		-	-	-	-	41	0.00
합계					5.5	3,147	0.17



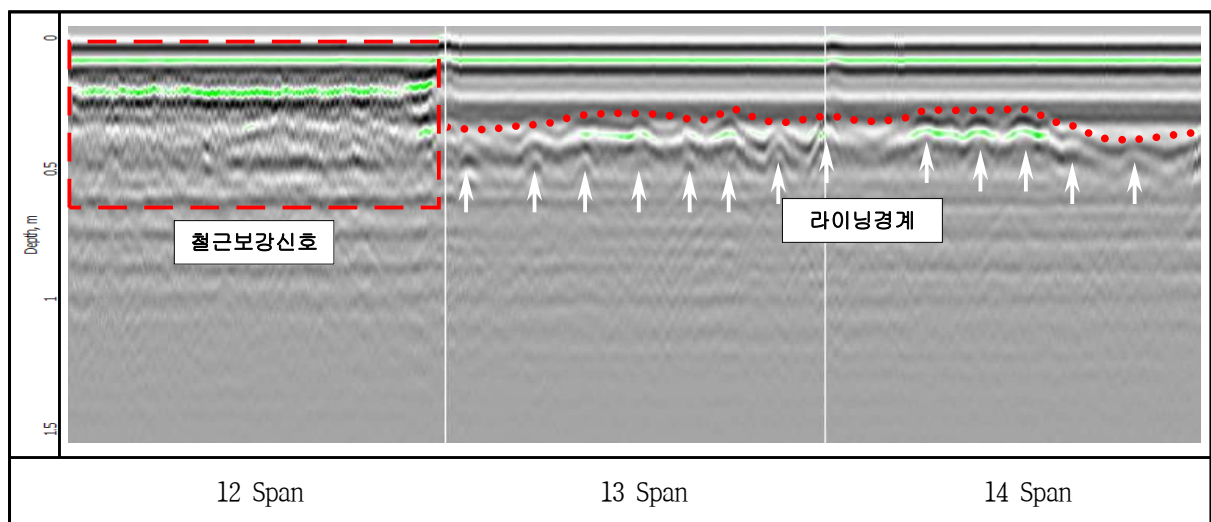
【그림 1.3.3】 라이닝 두께부족 탐지구간 현황도

【그림 1.3.4】은 부산방향 53~55 Span 구간의 좌측어깨부에 대한 GPR탐사 결과로써, 파란색 실선은 라이닝 경계선을 나타내고 있으며, 적색 점선은 라이닝 설계두께를 나타내고 있다. 55 Span에서 일부구간(L=2.5m)에서 라이닝 두께가 부족한 것으로 탐사되었으며, 심도는 190mm 정도로 조사되었다.



【그림 1.3.4】 탐사결과예시(부산방향 53~55 Span)

【그림 1.3.5】은 부산방향 12~14 Span 구간의 천단부에 대한 GPR탐사 결과로써, 12 Span은 철근신호가 탐사되었으며, 대부분의 신호가 철근에서 반사되어 라이닝의 경계가 보이지 않으나, 13,14 Span 구간에서는 지보재로 보이는 신호가 탐사되어 라이닝 경계가 뚜렷히 구분되는 것으로 탐사되었다.



【그림 1.3.5】 탐사결과예시(부산방향 12~14 Span)

1.3.5 강지보공(Steel-Rib)

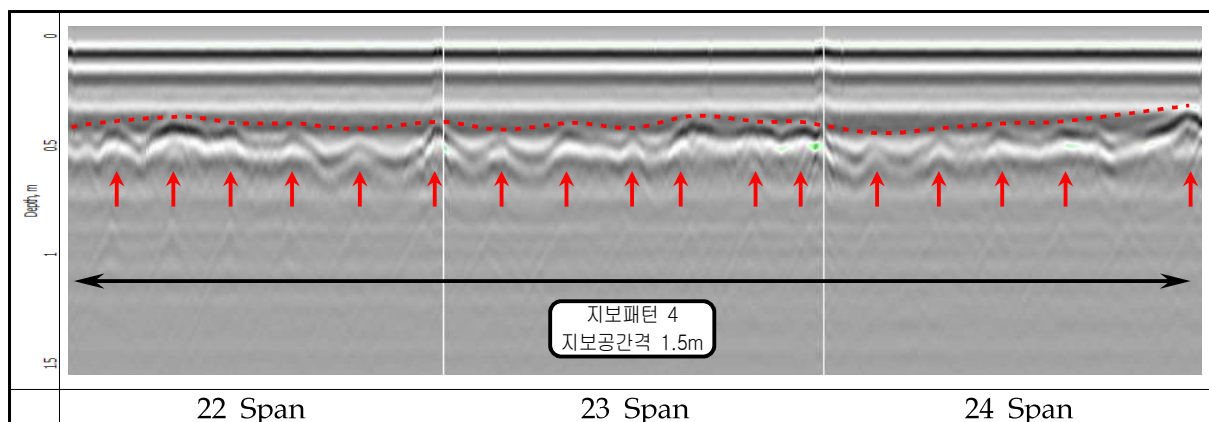
강지보공은 지보패턴4~6구간에 설치되어 있으며, 전체연장대비 강지보공이 설치된 구간은 18.8%로 나타났다. 탐사결과 강지보재는 설계도면과 비교하였을 경우 대부분 설계치를 만족하는 결과를 나타내었고, 강지보재가 탐사되지 않은 구간은 GPR 장비의 특성상 유전을 및 현장 조사여건에 따라 신호의 세기가 뚜렷하지 않은 경우 또는 철근의 간섭으로 확인이 곤란하였다.

강지보공의 탐사구간을 요약하면 다음과 같다.

【표 1.3.7】 강지보공 탐지구간

강지보공 탐지구간						터널전체 연장대비 백분율(%)
지보패턴	위치 (Span)	강지보공간격(m)		연장(m)	합계(m)	
		설계간격	탐사간격			
4, 4-1	15~26	1.5	1.5	105.0	169.5	10.9
	131~132	1.5	1.5	15.0		
	164~169	1.5	1.5	49.5		
5, 5-1	13~14	1.2	1.2	31.2	54.0	3.5
	169~171	1.2	1.2	22.8		
6, 6-1	11~12	0.6	-	11.4	39.1	2.5
	172~174	0.6	-	27.7		
비상주차대	85~87	1.5	-	30.0	30.0	1.9
합계					292.6	18.8

아래는 강지보공의 탐사 예시로 22~24 Span의 좌측어깨부측 탐사 DATA이며, 포물선의 강한신호가 일정한 간격으로 탐사되어 강지보공의 신호가 잘 나타나있다. 22~24 Span은 지보패턴 4로써, 강지보공 간격은 1.5m로 설계도면과 유사하게 탐사되었다.



【그림 1.3.6】 강지보공 탐사 예시

1.3.6 탐사 결과

본 터널에 대한 GPR탐사 결과를 요약하면 다음과 같다.

콘크리트 라이닝 설계두께는 비상주차대 구간이 400mm이고, 그 외의 구간은 300mm으로 시공되어 있다.

GPR탐사 자료를 분석한 결과, 천단부의 라이닝 두께 범위는 210~360mm, 좌측어깨부의 라이닝 두께 범위는 190~360mm, 횡측선의 라이닝 두께 범위는 280~330mm 로 측정되었다.

국부적으로 발생한 라이닝 두께부족 구간을 제외하면 전반적으로 허용치(200mm)를 만족하는 양호한 상태로 탐사되었다.

라이닝부족 구간은 총 탐사연장 3,147m 중에 5.5m로 0.17%이며, 좌측어깨부에서는 0.35%로 정도로 탐사되어 부족구간은 비교적 적은 것으로 확인되었다.

탐사된 이상신호의 심도 및 형상으로 보아 대부분 콘크리트 라이닝 과 숏크리트 사이의 경계부에서 발생한 들뜸현상으로 추정되며, 이는 라이닝 콘크리트 타설시 충분한 압력으로 타설 및 충진을 하지 못하거나, 콘크리트 경화시 수축에 의한 침하가 그 원인으로 사료된다.

허나, NATM 터널의 시공적 특성 및 탐사된 이상신호의 연장이 비교적 적은 것을 감안하면 구조물의 안전성에는 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

강지보공의 경우, 설치된 구간중 철근보강구간을 제외한 구간에서 포물선 형태의 신호로 잘 탐사되었으며, 탐사간격은 설계도면과 유사한 간격으로 확인되었다.

취득한 GPR 데이터는 자료정리 및 분석을 실시하여 부록에 첨부하도록 하였다.

1.4 측량 결과

1.4.1 개요

금번 진단시 청도2터널(부산)의 상태를 보다 명확하게 파악할 수 있도록 무타겟 광파기를 이용하여 종단 및 단면측량을 실시하였다. 청도2터널은 준공 이후 측량자료가 없는 상태이므로 종단측량은 설계도면과 비교하여 이상 유무에 대하여 파악하였으며, 단면측량은 현재 시설한계를 만족하고 있는지 여부에 대하여 검토하였다.

1.4.2 측량 현황

종단측량은 1차로측 측벽 하단에 위치한 배수구와 포장 접합부의 시공이음부를 기준으로 각각의 Span별 종방향 측정을 실시하였다.

단면측량은 Span의 시공이음부 전면 또는 후면을 기준으로 등간격으로 측점위치를 선정(평균 40측점 내외)하여 횡단측량을 실시하였다.



측량 현황

【사진 1.4.1】 측량 현황

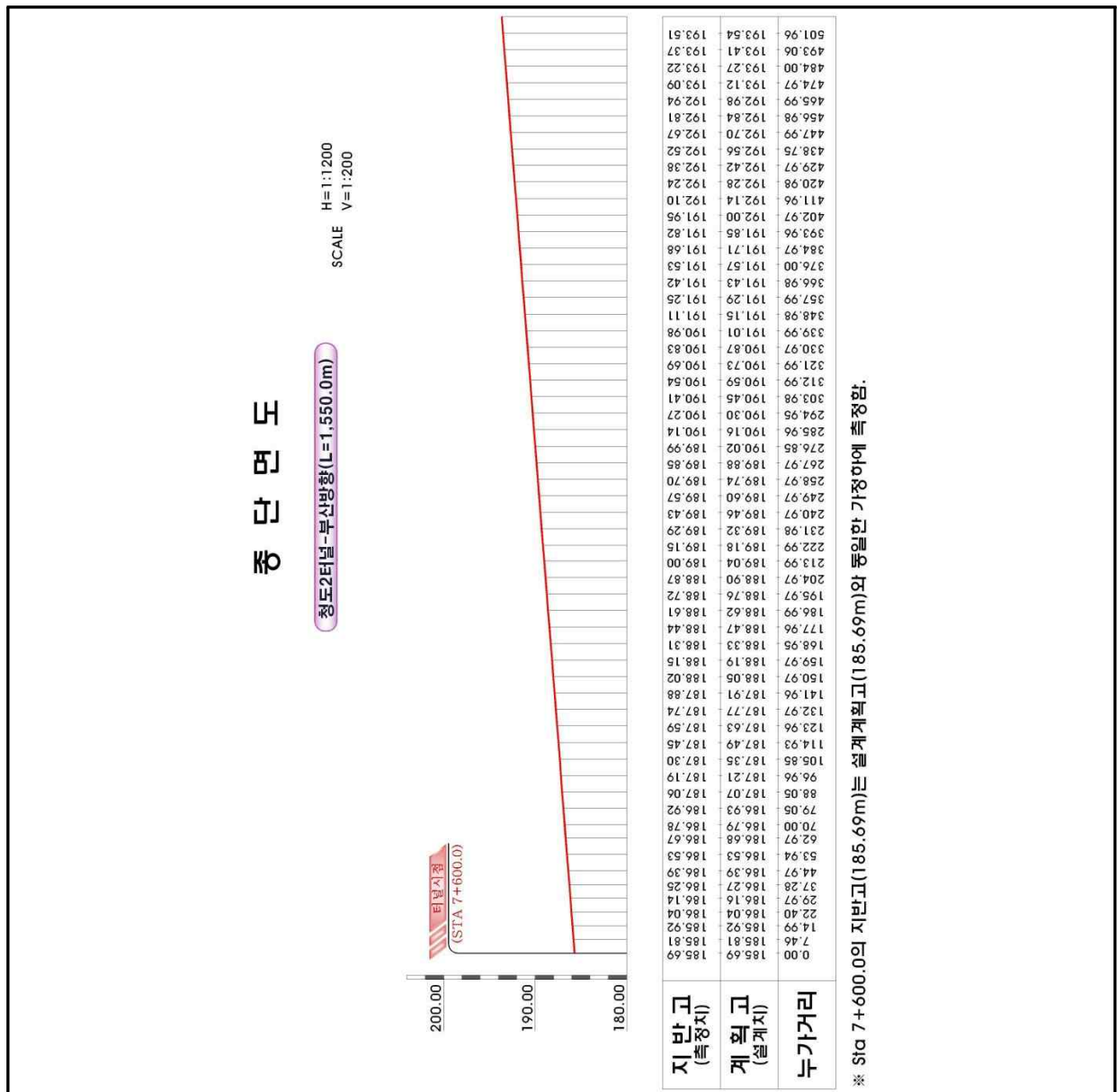
1.4.3 측량 결과 및 분석

가. 종단측량

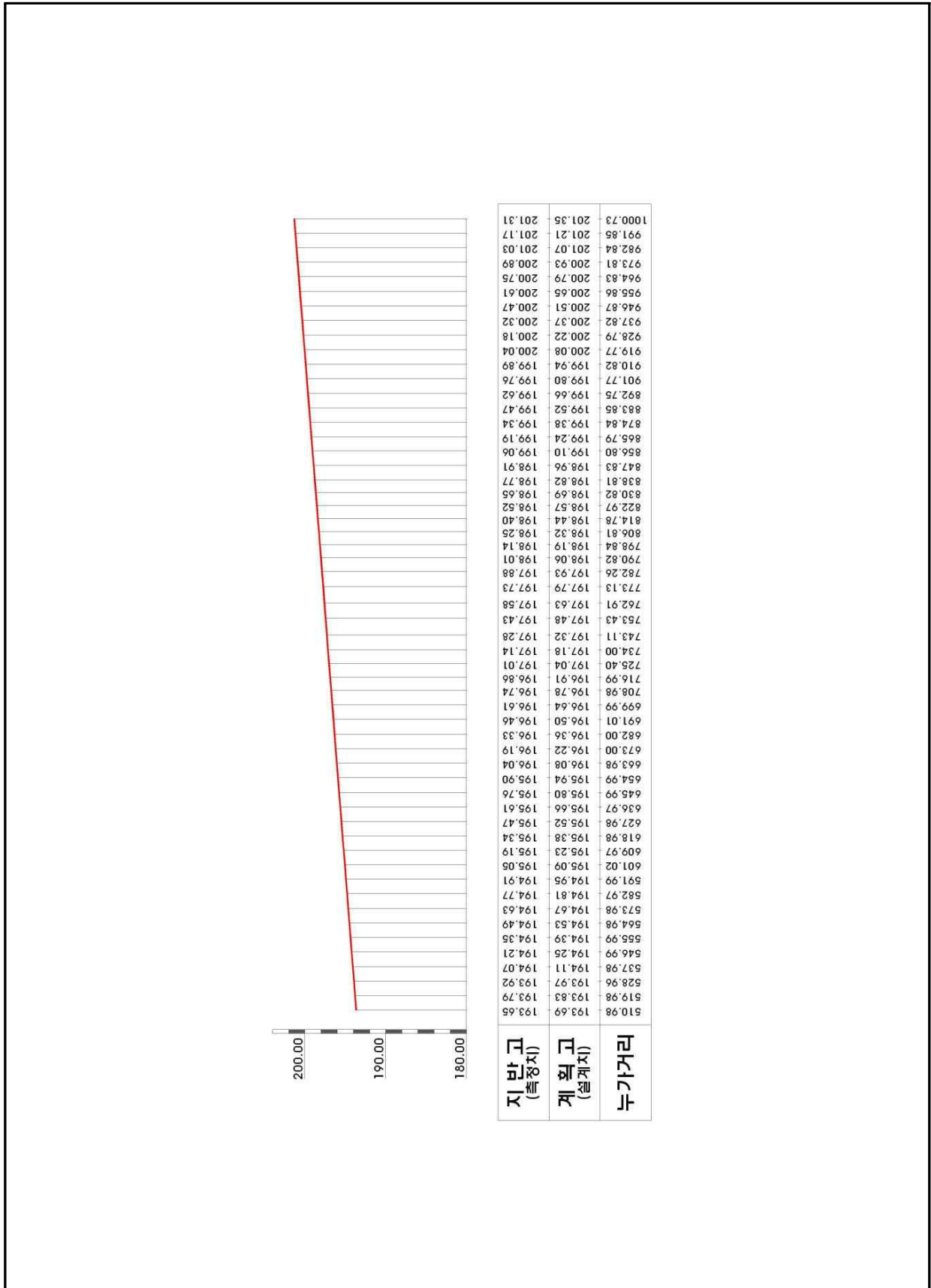
청도2터널(부산)의 설계값과 측량값은 서로 서로 유사한 것으로 확인되어, 터널의 지반침하나 단차와 같은 이상변위는 없는 것으로 판단된다.

【표 1.4.1】 종단측량 결과분석

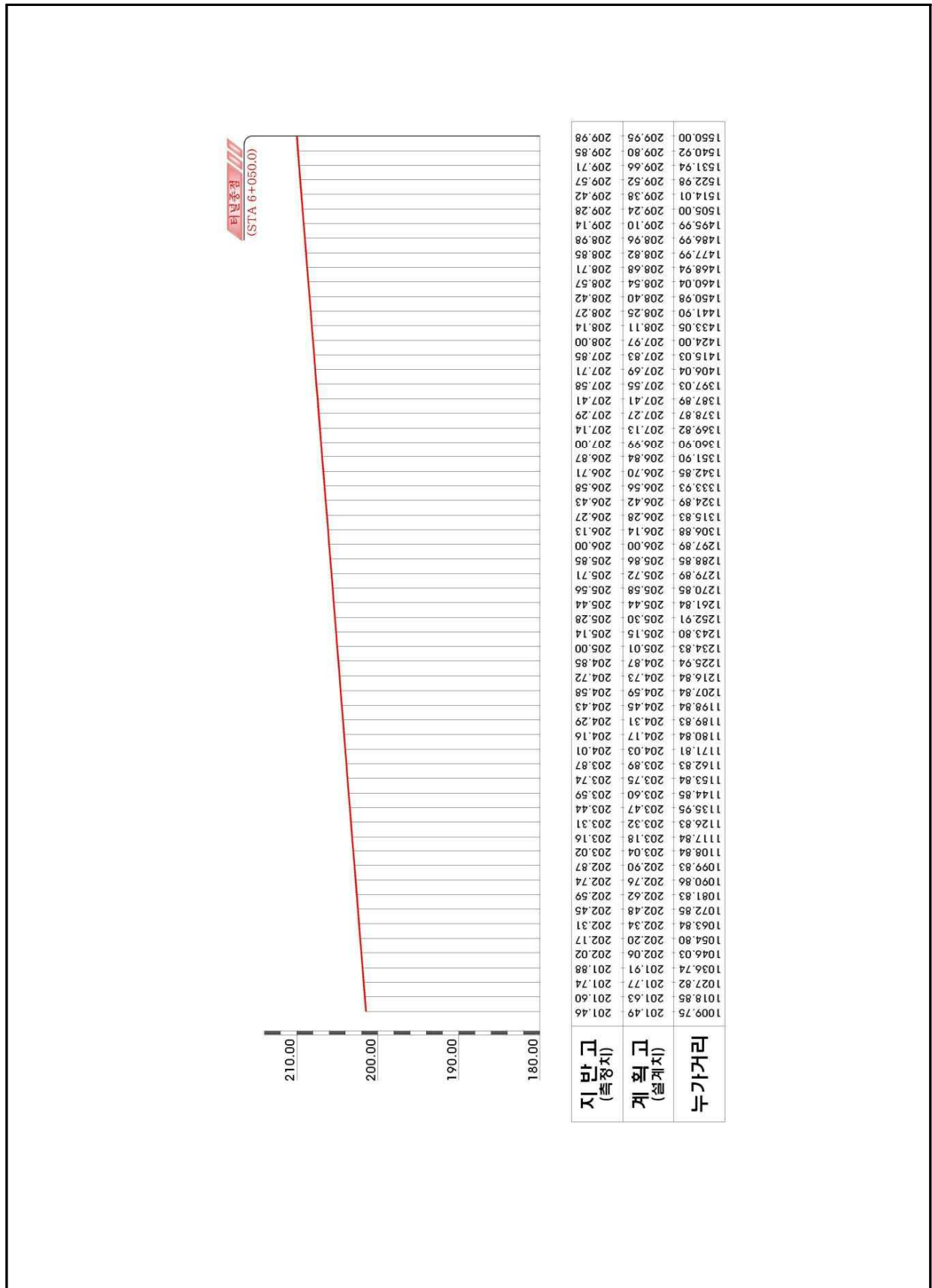
구 분	측량값	설계값	대비
종단구배	1.5670%	1.5652%	0.0018%
연장	1549.997m	1550.00m	0.003m
지반고	209.98m	209.95m	0.03m



【그림 1.4.1】 종단측량 측정결과



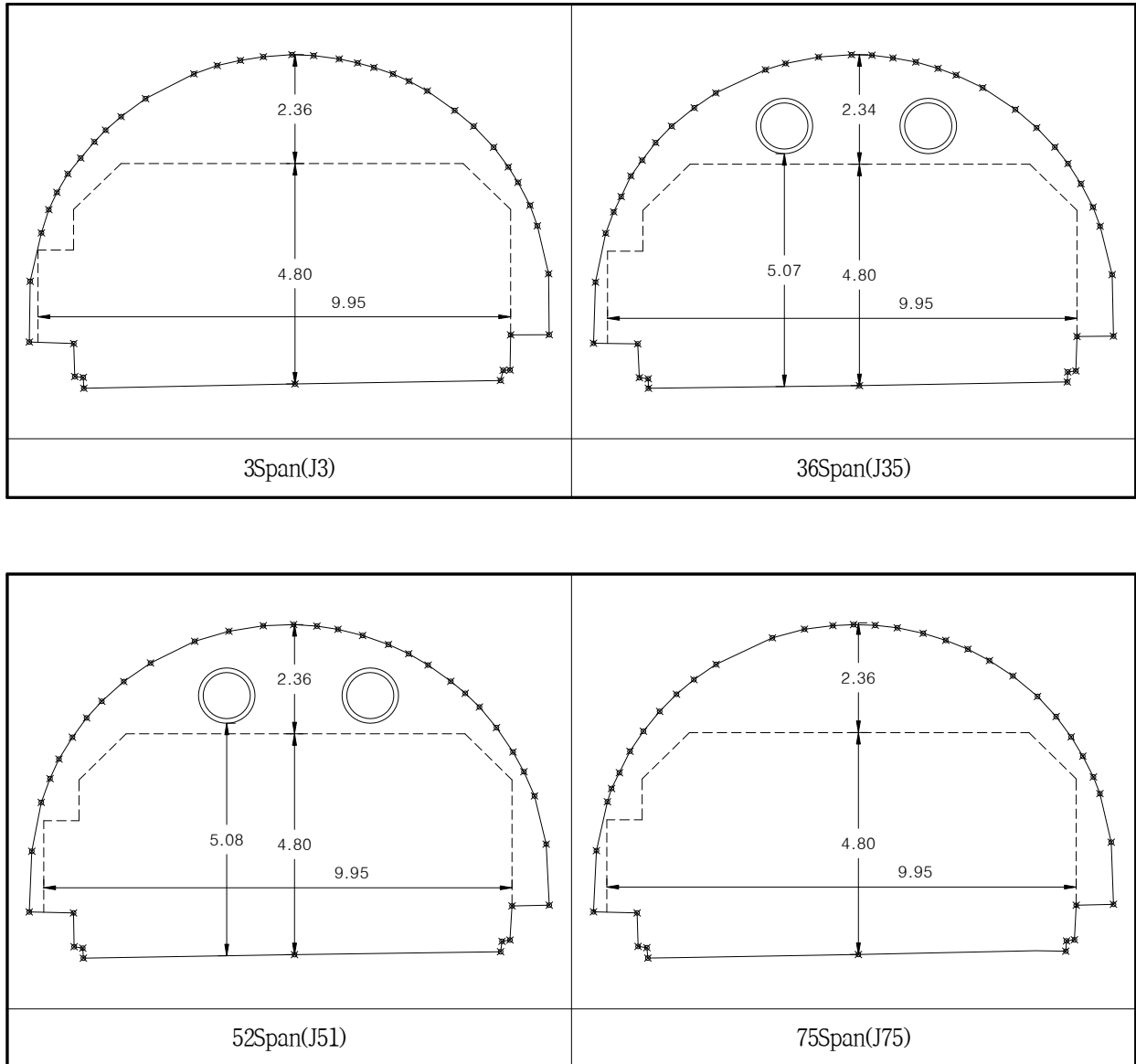
【그림 1.4.1】 종단측량 측정결과(계속)



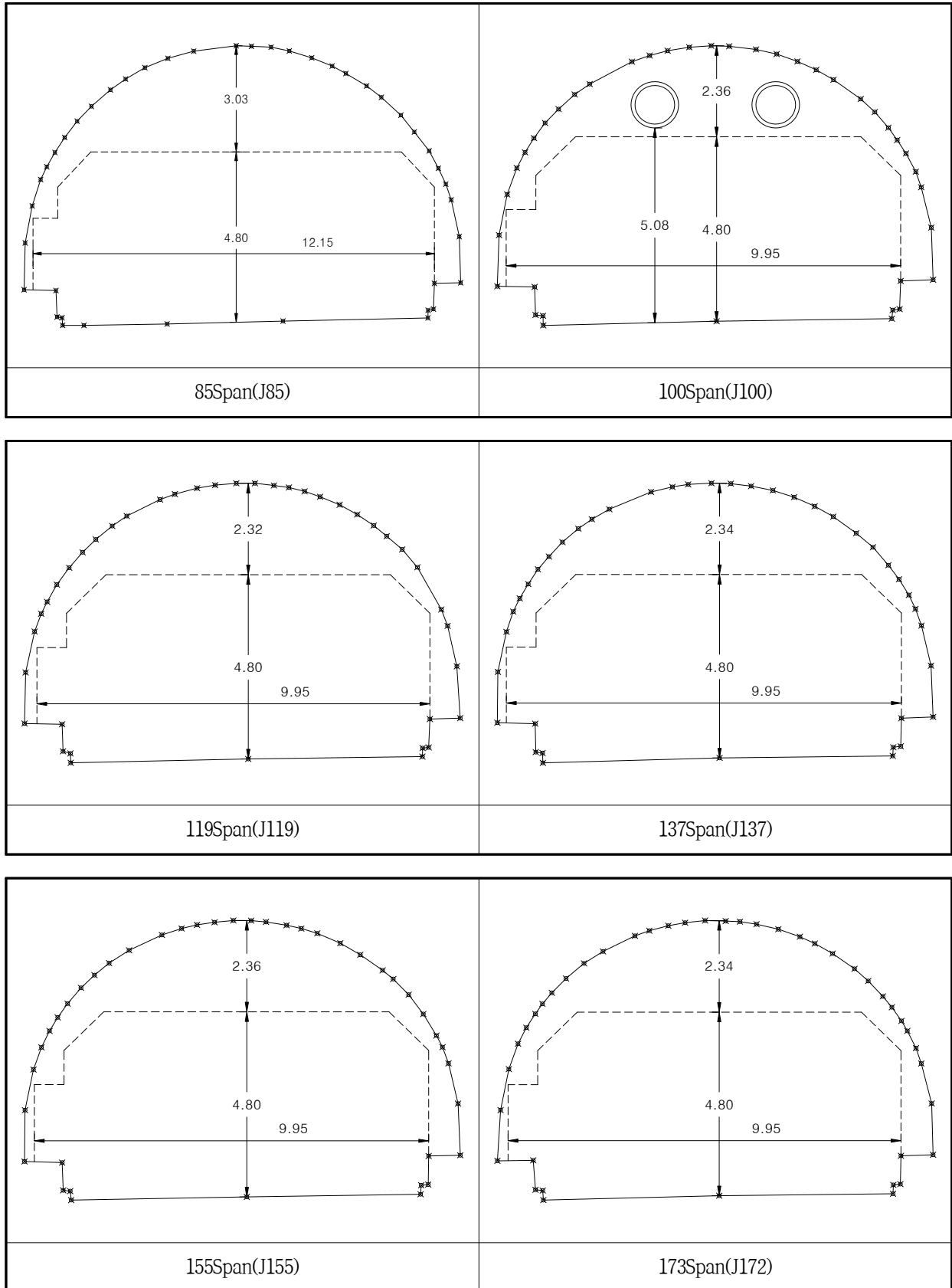
【그림 1.4.1】 종단측량 측정결과(계속)

나. 단면측량

단면측량 결과, 청도2터널(부산)은 전 단면에서 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에 따른 시설한계(높이 4.8m, 폭 9.95~12.15m)를 확보하고 있었으며, 이상변위의 발생은 없는 것으로 확인되었다.



【그림 1.4.2】 단면측량 측정결과



【그림 1.4.2】 단면측량 측정결과(계속)

1.5 내공변위 결과

1.5.1 개 요

공용중인 터널의 내공이 외적하중에 의해 시간경과에 따라 변화할 경우 단면의 변형상태, 변위속도 등을 측정하여 구조물의 안정성 판단을 위한 자료 및 유지관리의 기초자료로 활용하기 위하여 내공변위를 측정하였다. 본 과업에서는 터널 내부의 통행중인 차량을 완전통제를 할 수 없는 관계로 내공변위계를 설치할 수는 없었으며, 무타겟 광파기를 이용하여 일직선 상에 위치한 측벽부의 타일 상단부위를 측정하여 내공변위를 측정하였다.

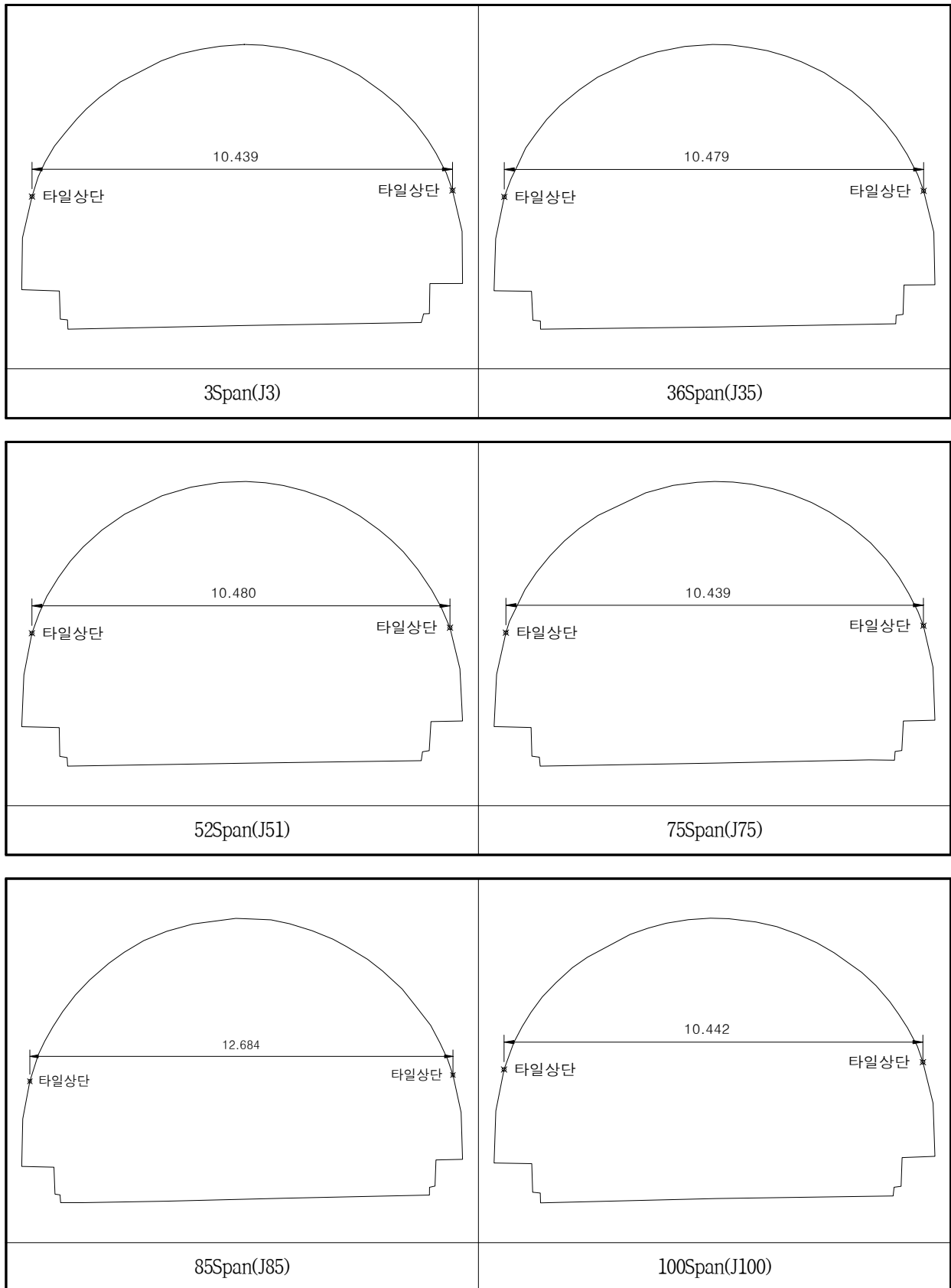
1.5.2 평가기준

준공 이후 터널의 내공변위를 측정한 결과값이 없는 상태이므로 금번 측정값은 초기치로 활용할 수 있도록 하였으며, 향후 진단시에는 3회 반복 측정치의 평균치를 계측치로 사용하고, 15일이나 30일 단위로 측정된 결과를 통해 변위의 진행성 여부(계절적인 일시적인 현상인지, 지반의 변형에 따른 장기적인 현상인지 검토)를 판단한다. 현재, 국내에는 공용중인 터널의 내공변위에 대한 판정기준은 없는 관계로 일본의 도로터널 유지관리편람(1993, 일본도로협회) 또는 도로터널점검보수안내(2001, 도로보전기술센터)의 라이닝의 변상 판정기준을 참조하여 관리하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

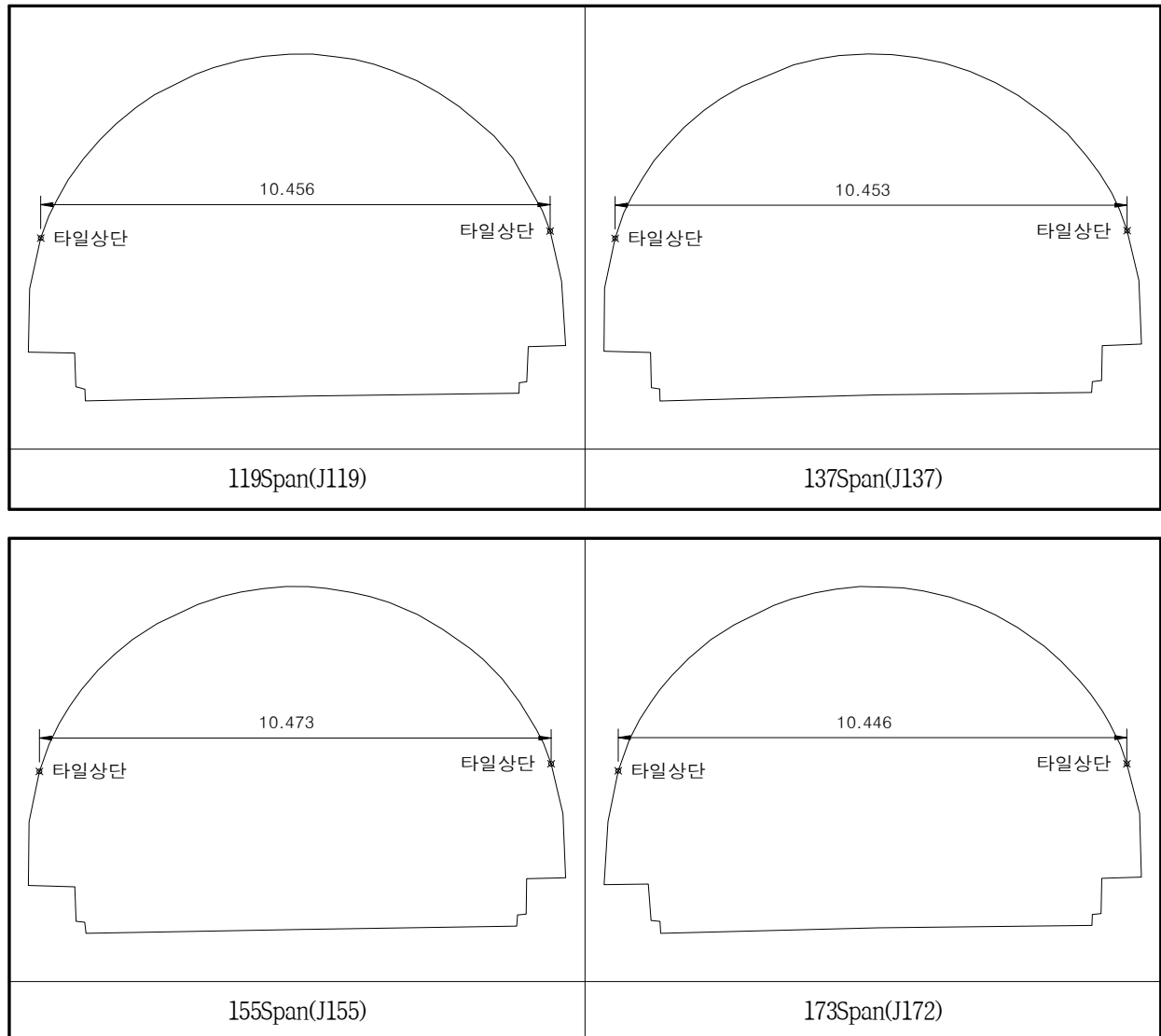
【표 1.5.1】 일본의 내공변위 판정기준

변위	도로터널 유지관리 편람	도로터널점검보수안내
1mm/year 미만	관찰	경미한 변상(관찰대상)
1 ~ 3mm/year	중점관찰 및 계획적인 대책수립	문제발생 가능성(재조사 요구)
3 ~ 10mm/year	조속한 대책수립	안전을 위한 계획적인 대책수립
10mm/year	즉시 대책수립	즉시 대책수립

1.5.3 측정 결과



【그림 1.5.1】 내공변위 측정결과(단위:m)



【그림 1.5.1】 내공변위 측정결과(단위:m)(계속)

