

3.4 콘크리트 내구성조사

3.4.1 개요

가. 개 요

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2018. 06, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

나. 조사 현황 및 위치

1) 조사 현황

본 과업에서 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화 깊이 측정, 염화물함유량시험, 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

〈표 3.43〉 비파괴시험 현황

항 목	조 사 항 목	수량(개소)				비 고
		기준		실시		
		부산	포항	부산	포항	
단면측량	• 총수량 = (총연장 ÷ 200m) + 1개소	9	9	9	9	• 책임기술자 조정 가능
반발경도 시 험	• 총수량 = (총연장 ÷ 100m) × 2개소	32	32	32	32	• 동일 부위 시험 원칙 • 책임기술자가 상향조정 가능
초음파 전달속도시험		32	32	32	32	
철근탐사 시 험	• 총연장 1,000m 미만 = 4개소 • 총연장 1,000m 이상 = 최초 4개소 + 500m당 1개소 추가	6	6	6	6	• 가능한 한 이전의 시험 부위와 중복 피함 • 책임기술자가 상향조정 가능
탄산화 깊이 측정	<상동>	6	6	6	6	• 책임기술자가 상향조정 가능
염화물 함유량시험	<상동>	6	6	6	6	• 책임기술자가 상향조정 가능

※ 현장조사 및 시험 결과 콘크리트 강도에 문제가 없으므로 국부파괴 시험(코어채취)은 협의후 생략함.

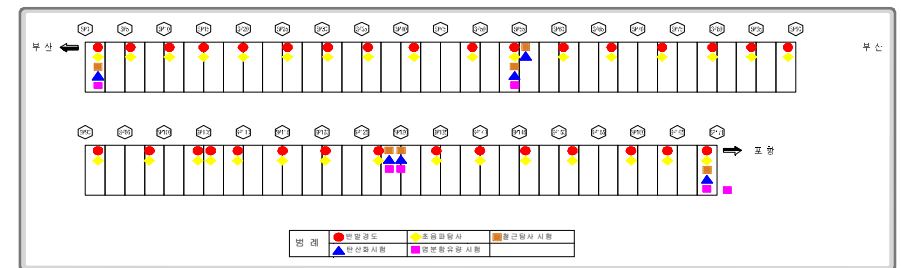
2) 콘크리트 내구성평가 시험 위치 선정사유 및 교정값 확인

터널 라이닝 외관조사 결과, 내구성시험의 정확한 결과값을 얻기 위하여 접근성이 용이하고 콘크리트표면의 요철 및 곰보자국 등을 피하여 외관상 양호한 곳에서 비파괴시험 수행을 원칙으로 하였으며, 일부 불량부에 대해서는 충분한 그라인딩(요철 및 이물질제거) 후 내구성조사를 실시하였다.

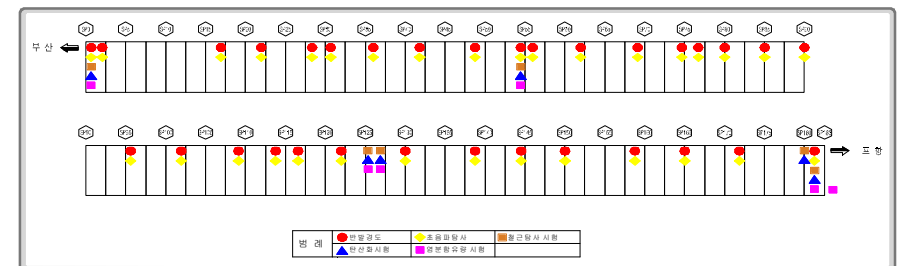
내구성조사 측정 전 슈미트헤머는 테스트엔빌로 교정을 하였고, 초음파 전달속도 측정장비는 표준시험체(Calibration Bar)로 0점 조정을 실시하였다.



3) 콘크리트 내구성조사 위치도



〈그림 3.21〉 콘크리트 내구성조사(부산) 위치도



〈그림 3.22〉 콘크리트 내구성조사(포항) 위치도

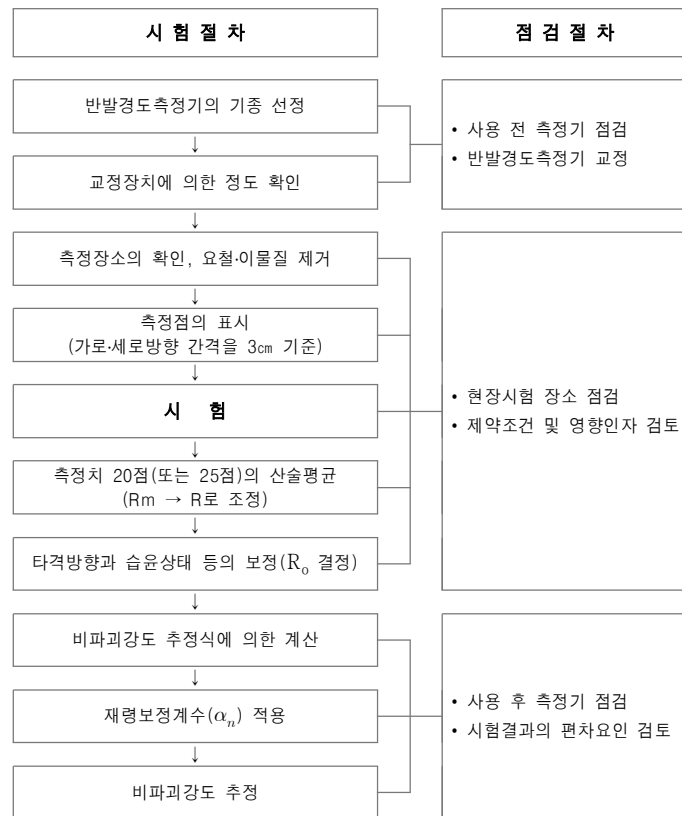
3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도시험

콘크리트의 표면 경도를 측정하여, 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 검사방법이다. 반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용된다. 슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면을 타격 시, 반발경도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

(가) 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



〈그림 3.23〉 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

외관조사 결과에 의해 결정된 측정개소에 대해서 타격점 상호간의 간격은 3cm를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술평균값(R_m)을 구한다. 산술평균값(R_m)에 대해서는 릴렘(RILEM) 규정에 따라 각 반발경도의 값이 $R_m \pm 20\%$ 의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R 을 결정한다.

(나) 보정반발경도(R_0)

〈표 3.44〉 보정반발경도(R_0)

◆ 보정반발경도 : $R_0 = R + \Delta R_1 + \Delta R_2$

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

- 수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 함
- ⇒ 하향 타격(-90°)의 경우 : (+)값으로 보정
- 상향 타격($+90^\circ$)의 경우 : (-)값으로 보정

R	α	보 정 값			
		$+90^\circ$	$+45^\circ$	-45°	-90°
10		-	-	+2.4	+3.2
20		-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30		-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40		-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50		-3.1	-2.1	+1.5	+2.2
60		-2.2	-1.6	+1.3	+1.7

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

- 콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하됨
- ⇒ 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : $\Delta R_2 = +3$ 으로 보정
- 측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : $\Delta R_2 = +5$ 로 보정

(다) 압축강도의 추정

보정반발경도(R_0)로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과 같으며, 제안식의 적용은 시험방법 및 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

〈표 3.45〉 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분	추 정 식(MPa)	비 고
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회 적용(식①)
동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098$	-
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회 적용(식②)
U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_o + 0.0932R_o^2) \times 0.098$	-

※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2018. 06, 국토교통부/한국시설안전공단)

(라) 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 아래 식과 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α 는 아래 표와 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot F_c$$

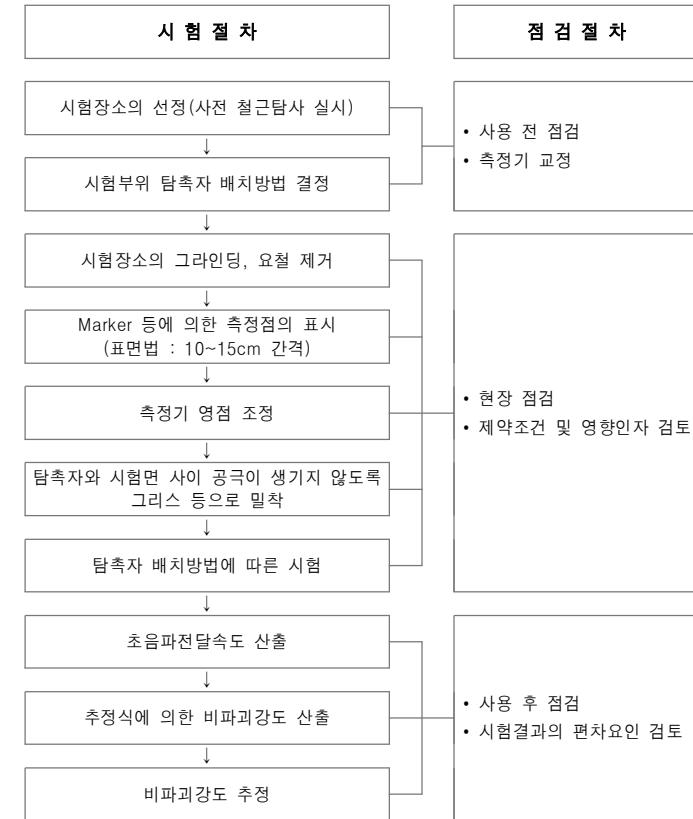
〈표 3.46〉 재령계수 α 값

재령(일)	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일	14일	15일
α	1.90	1.84	1.78	1.72	1.67	1.61	1.55	1.49	1.45	1.40	1.36	1.32
재령(일)	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일	24일	25일	26일	27일
α	1.28	1.25	1.22	1.18	1.15	1.12	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02	1.01
재령(일)	28일	29일	30일	32일	34일	36일	38일	40일	42일	44일	46일	48일
α	1.00	0.99	0.99	0.98	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89
재령(일)	50일	52일	54일	56일	58일	60일	62일	64일	66일	68일	70일	72일
α	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.85	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84
재령(일)	74일	76일	78일	80일	82일	84일	86일	88일	90일	100일	125일	137일
α	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.78	0.76	0.75
재령(일)	150일	175일	200일	250일	300일	350일	400일	500일	750일	1000일	2000일	3000일
α	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

2) 초음파전달속도시험

초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 투과속도로부터 콘크리트의 동적 특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나, 강도 추정의 정확도는 높지 않으며, 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질 비교 또는 균열 깊이를 판정하는 수단으로서 이 방법을 사용하고 있다.

(가) 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차



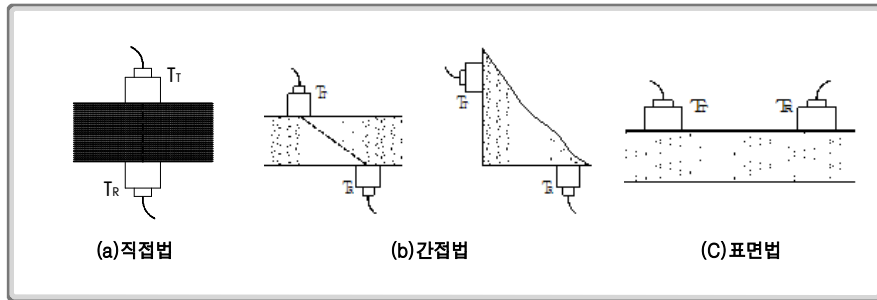
〈그림 3.24〉 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

(나) 초음파전달속도시험에 의한 전달속도 분석

초음파전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 아래 식에 의해서 구한다.

$$\text{전달속도(Velocity)} = \frac{\text{전달길이(Path Length)}}{\text{전달시간(Transit Time)}}$$

초음파전달속도시험을 위한 탐촉자의 배치방법으로는 직접법, 간접법 및 표면법이 있다.



〈그림 3.25〉 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법

표면법과 직접법에서 구한 초음파전달속도는 근사적으로 아래 식과 같은 관계가 있다.

$$V_d \approx 1.05 V_i$$

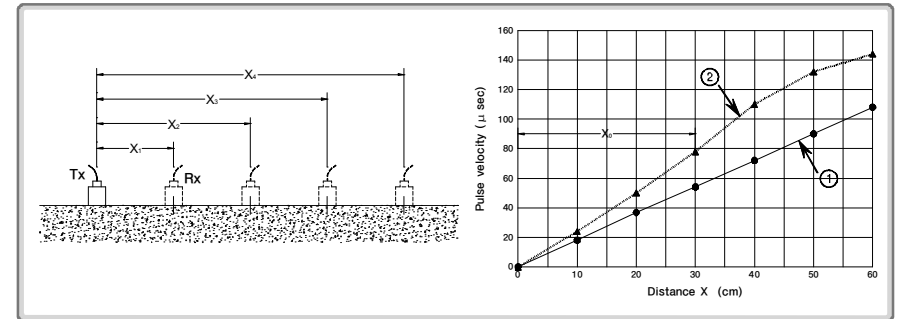
여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파 속도

V_i : 표면법에 의한 초음파 속도

직접법과 표면법의 초음파전달속도는 재료의 종류, 배합, 함수율 등 여러 가지 원인으로 변동을 나타내고 있으며, 보편적으로 현장 콘크리트의 초음파전달속도 관계는 $V_d \approx 1.05 \sim 1.15 V_i$ 의 사이에 있다고 경험적으로 보고되고 있다.

보다 정확한 직접법과 표면법의 초음파전달속도의 관계를 파악하기 위해서는 표면법을 수행한 동일 조건의 구조물이나, 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법) 속도를 측정하여 상관관계에 의해 환산하여 이용하는 방법이 바람직하다.

표면법은 등간격(100~150mm)으로 5점 이상의 측점을 정하고 초음파의 전달거리(X_i)에 따른 전달시간(T_i)을 측정하고, 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 그 기울기를 전달 속도(V_i)로 한다.



〈그림 3.26〉 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정

회귀직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성(有意性)검정에 사용되는 결정계수(Coefficient of determination)를 다음 식에 의해서 계산한다.

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{(\sum (X_i - \bar{X})(T_i - \bar{T}))^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (T_i - \bar{T})^2}$$

여기서, $\bar{X}$, $\bar{T}$ 는 거리 및 전달시간의 평균값

(다) 비파괴강도의 추정

본 과업에서는 r^2 값이 99% 이상이 되는 회귀직선식만을 사용하여 전달속도 V_i 를 계산하였다. 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파전달속도와 압축강도의 상관관계를 도출한 다음 식을 사용하였다.

〈표 3.47〉 기존의 비파괴강도 추정 제안식(초음파전달속도시험)

구 분	추 정 식(MPa)	비 고
일본건축학회	$F_c = (215 V_d - 620) \times 0.098$	금회 적용(식⑧)
일본재료학회	$F_c = (102 V_d - 117) \times 0.098$	-
한전기술연구원	$F_c = (339.1 V_d - 1107) \times 0.098$	-
谷川의 제안식	$F_c = (172.5 V_d - 499.6) \times 0.098$	-

※ V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도(km/s)

※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2018. 06, 국토교통부/한국시설안전공단)

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(2006. 12, 한국시설안전기술공단) 참조

나. 철근탐사시험

1) 개 요

본 시험은 전자파레이더를 이용한 철근탐사 시험기(RC Radar)를 활용하여 철근콘크리트 구조물에 배근된 철근간격, 콘크리트 피복을 측정하기 위해 실시한다.

철근콘크리트 구조물의 부재 내부에 배근되어 있는 철근의 피복두께가 지나치게 작은 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있으므로 철근탐사는 설계 당시와 같이 콘크리트 내에 배근되어 있는 철근의 배근상태 및 피복두께를 파악하기 위하여 실시한다.

2) 측정원리

전자파레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하다. 즉, 콘크리트용 전자파레이더는 임펄스 상의 전자파를 송신안테나로부터 콘크리트 내로 방사하면 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질(비유전율, 도전율)이 다른 물체(철근, 매설관, 공동 등)와의 경계에서 반사한다. 이를 수신안테나로 수신하고, 그에 소요되는 왕복전파시간으로부터 반사물체까지의 거리를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다. 원리를 아래 그림에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

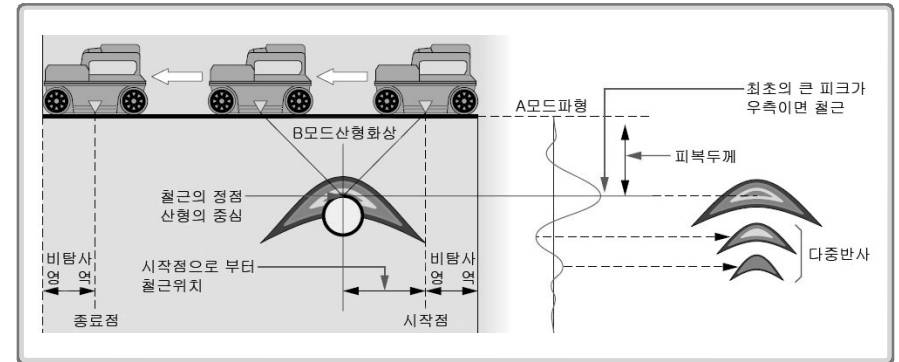
$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m/sec})$$

여기서, C : 진공 중에서 전자파의 속도(3×10^8 m/sec)

ϵ_r : 콘크리트의 상대유전율(6~10)

또한, 반사물체까지의 거리(D)는 송신 시각으로부터 수신 시각까지의 시간차(T)의 측정치와 콘크리트 내부의 전파속도(V)로부터 구할 수 있다.

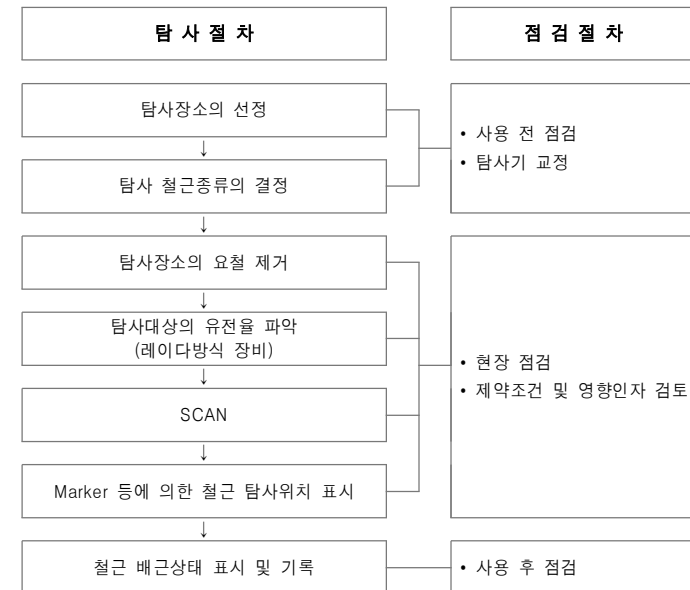
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (\text{m})$$



〈그림 3.27〉 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

철근탐사시험 방법에 대한 절차는 KS F 2734 및 KS F 2735의 규정에 준한다.



〈그림 3.28〉 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

4) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

(가) 탐사조건

- 적용 가능한 조건
 - 탐사심도 200mm 이내
 - 탐사대상 철근지름이 $\phi 6\text{mm}$ 이상
 - 콘크리트의 질이 균일한 곳
 - 철근이 안테나 진행방향과 직교인 경우
- 적용 곤란한 조건
 - 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
 - 100mm 이하의 피치로 배근되어 있는 경우
 - 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우

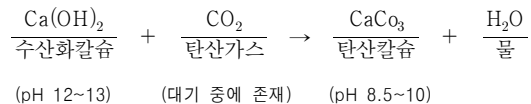
(나) 적용한계

- 탐사대상 물체의 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
- 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우
- 비유전율에 따라 피복두께의 차이가 있으므로 탐사 대상물의 비유전율을 추정하기 어려움
- 철근직경과 복철근 및 경사철근의 판독 불가능
- 탐사대상 표면에 요철이 많은 장소는 탐사결과의 신뢰성 저하
- 안테나의 사용으로 좁고, 짧은 위치의 탐사 불편

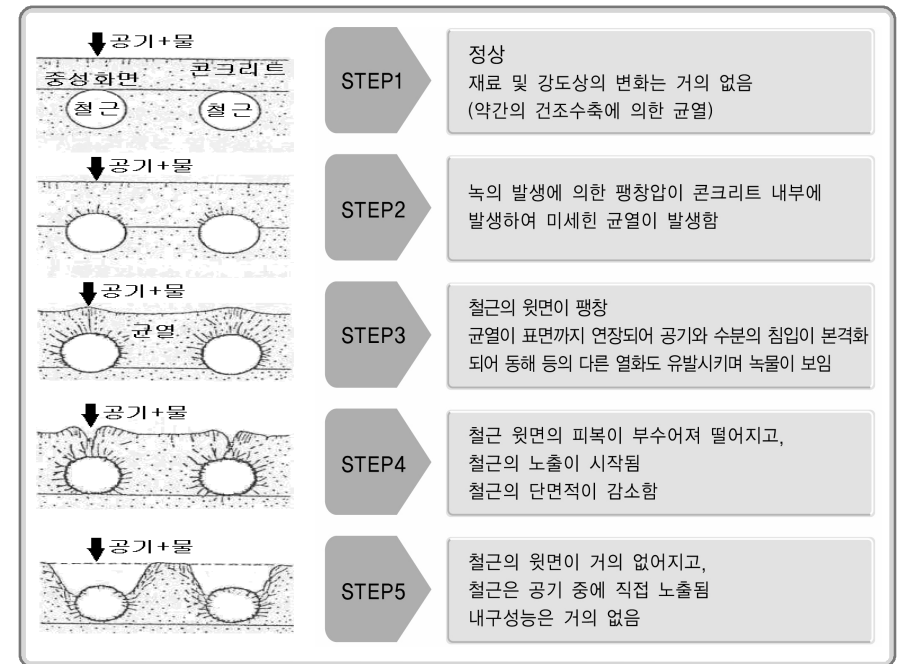
다. 탄산화깊이 측정

1) 개요

탄산화란 콘크리트의 탄산화(Carbonation) 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생하는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.



탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 시멘트의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘(Ca(OH)_2)은 pH 12~13 정도의 강알칼리성을 나타내지만 대기 중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%)와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다. 콘크리트 내부의 pH가 11이상에서 철근은 표면에 $1 \times 10^{-6}\text{mm}$ 두께의 수산화물($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 11보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창압력에 의해 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며 철근의 부착강도 저하, 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 녹의 진행과 함께 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.



〈그림 3.29〉 탄산화에 의한 철근부식 메카니즘

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로서는 환경조건(대기 중의 탄산가스 농도, 온도, 습도, 마감재 등)을 주원인으로 하는 외적요인 및 콘크리트 자체의 성능·품질(함수율, 강도, 시멘트의 종류, 배합조건, 시공조건 등)을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

〈표 3.48〉 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구 분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인	시멘트의 종류	- 수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름 - 조강 포틀랜드시멘트 < 보통 포틀랜드시멘트 < 중용열 포틀랜드시멘트
	골재의 종류	투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름
	계면활성제 종류	동일 물-시멘트비, 동일 슬럼프라면 탄산화 속도와 무관함
	압축강도	압축강도가 낮을수록 탄산화 속도가 빠름
	물-시멘트비	물-시멘트비가 증가하면 탄산화 속도가 빠름
	시공 정밀도	다짐이 불충분할수록 탄산화 속도가 빠름
	콘크리트 결함부	균열부위, 이음부, 손상부위 등에서 탄산화 속도가 빠름
외적 요인	온도	- 온도 상승시 탄산화 속도가 빠름 20~50℃ 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	- 농도가 클수록 탄산화 속도가 빠름 - 탄산가스 농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습도	상대습도 50~70% 에서 탄산화 속도가 최대
	실내, 실외	실내의 탄산화 속도가 빠름

3) 탄산화깊이의 측정

본 과업에서는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 페놀프탈레인법(페놀프탈레인 용액은 pH 지시약의 일종으로 1% 알칼리성용액)을 이용하여 콘크리트의 탄산화 진행 정도를 측정한다.

콘크리트 파단면에 1% 페놀프탈레인 용액을 도포한 후 색의 변화를 관찰하는 방법으로 강알칼리성일수록 짙은 보라색을 띠며 pH 9이하에서는 무색을 나타낸다. 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 버니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

4) 탄산화를 고려한 잔존수명 예측

탄산화 속도는 경과시간(t)의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 $\sqrt{t}$ 법으로 표현된다. 탄산화(C)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = A \times \sqrt{t}$$

여기서, C : 탄산화깊이(mm)

A : 탄산화 속도계수(mm/√년)

t : 재령(년)

여기서 구해진 탄산화 속도계수(A)를 실제 탄산화깊이와 경과 년 수를 이용하여 역추적으로 구한 후 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하면 콘크리트의 탄산화에 의한 잔존수명을 예측할 수 있다.

$$\text{수명예측(년)} = (\text{철근피복} / \text{탄산화 속도계수})^2$$

$$\text{잔존수명예측(년)} = \text{수명 예측 년 수} - \text{경과 년 수}$$

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

〈표 3.49〉 탄산화 상태평가 기준

기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	• 30mm이상	• 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	• 10mm이상 ~ 30mm미만	• 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	• 0mm이상 ~ 10mm미만	• 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 0mm미만	• 철근부식 발생
e	—	—

라. 염화물함유량시험

1) 콘크리트 속의 염분에 대한 일반적 사항

염화물의 콘크리트 침투를 구분해 보면 일반적으로 두 가지로 크게 구분할 수 있다.

하나는 이미 건립된 구조물에 해풍, 해수 및 염화물을 함유한 외부 환경조건에 의해 염화물이 침투 축적되는 경우이고, 다른 하나는 방동대책으로서 염화칼슘(CaCl_2)과 염화나트륨(NaCl)의 살포에 의해 염화물이 침투하는 경우이다.

다음은 콘크리트 제조시에 배합재료로부터 직접 콘크리트에 침투하는 경우, 특히 아직 굳지 않은 프레스 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로서는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다 모래의 사용, ② 경화 촉진제로서 염화칼슘(CaCl_2)의 사용, ③ 염화칼슘(CaCl_2)을 주체로 한 조강형 AE제의 사용, ④ 혼화수로서 해수의 사용 등을 들 수 있다. 이 중 미세정 바다모래에 의한 염분(염화나트륨(NaCl))을 주로 함유한 것의 혼입에 의한 것이 염해 원인의 대부분을 차지하고 있다.

콘크리트 중에 함유하는 염화물은 ① 가용성 염화물(수용성 염화물), ② 전 염화물(산 용해성 염화물)의 2종류로 분류할 수 있다. ①의 가용성 염화물로는 콘크리트에서 물에 의해 유출되는 염화물이고, ②의 전 염화물은 콘크리트를 강한 산으로 용해함으로써 유출되는 염화물이다. 가용성 염화물의 측정은 콘크리트의 세공용액 속에 용해되어 있는 유리 염화물의 양을 구하는 경우로 측정할 수 있고 유출온도 등 시험방법의 자세한 내용은 제안되고 있는 각 방법에 따라 약간 차이가 있다. 일본 콘크리트공학협회(JCI)에서는 가용성 염화물을 「경화콘크리트 중에 함유된 50℃의 온수에 녹는 염화물」이라 정의하여 측정방법을 정하고 있다.

전 염화물량과 가용성 염화물량과의 차이는 시멘트 수화물에 고정되어 있는 염화물로서 판정되어진다.

강제 위치에 대한 염화물 이온의 강제 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적당 양으로서 0.3~1.2kg/m³ 정도이고 이 값은 구조물의 설치 환경조건이나 강제부식 허용량 등의 조건에 따라서 다르다. 예를 들면, 미리 염화물을 혼입한 공시체에 의한 촉진시험 등에서는 0.3~0.6kg/m³ 정도이고 실제 환경의 노출실험에서는 1.2~2.4kg/m³ 정도로 되어 있다. 촉진시험과 실제 환경에서 얻어지는 한계농도의 차이는 시험 공시체와 실제 구조물의 덮개나 물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험 시에 설정되는 고온환경 등 온도의 영향이라고 생각된다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2017.01) 및 콘크리트 표준시방서 내구성조사항에서는 경화콘크리트의 경우 전염화물 기준으로 실제 환경의 노출실험 결과 하한치인 1.2kg/m³

을 강제 부식발생 한계농도로 정하고 있다. 비록, 부식환경에 따른 전염화물량이 1.2kg/m³를 넘더라도 부식이 발생하지 않을 가능성이 있지만 잠재적으로 부식 가능성이 높을 것으로 평가되므로 부식방지를 위한 조치가 검토되어야 할 것이다.

2) 평가기준

(가) 국내 콘크리트 표준시방서 기준

굳지않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/m³이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/m³까지 허용

(나) KDS 14 20 00 콘크리트구조설계(강도설계법)(2018년)

〈표 3.50〉 노출등급에 따른 내구성 허용기준(콘크리트구조설계(강도설계법)<2018>)

노출등급		조 건	최대 수용성 염소이온(Cl ⁻), 시멘트의 질량에 대한 비(%)	
			철근콘크리트	프리스트레스 콘크리트
무시	C0	건조하거나 또는 수분으로부터 보호되는 콘크리트	1.0	0.06
보통	C1	수분에 노출되지만 외부의 염화물에 노출되지 않는 콘크리트	0.30	0.06
심함	C2	제빙화학제, 소금, 염수, 해수 또는 해수 물보라 등과 같은 염화물에 직접적으로 노출되는 콘크리트	0.15	0.06

(다) 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2018.06)

〈표 3.51〉 염화물 상태평가 기준(시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침<2018.06>)

기 준	전염화물 이온량(kg/m ³)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 ≤ 0.3kg/m ³	• 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	• 0.3kg/m ³ < 염화물 < 1.2kg/m ³	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• 1.2kg/m ³ ≤ 염화물 < 2.5kg/m ³	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 ≥ 2.5kg/m ³	• 철근 부식발생

3.4.3 시험결과 및 분석(부산)

초음파속도법은 강도 추정의 정확도가 높지 않은 점을 감안하여 반발경도법에 의한 두 계산식의 평균값을 비파괴강도 값으로 채택하였고 초음파속도에 의한 강도계산식은 비교 값으로 제시하였다.

가. 콘크리트 강도시험

- 온양터널(부산)의 콘크리트 비파괴강도시험은 터널 라이닝에서 반발경도시험(총 32개소) 및 초음파전달속도시험(총 32개소)을 실시하였으며, 검토결과는 다음 표와 같다.



반발경도 시험 전경①



반발경도 시험 전경②



초음파전달속도 시험 전경①



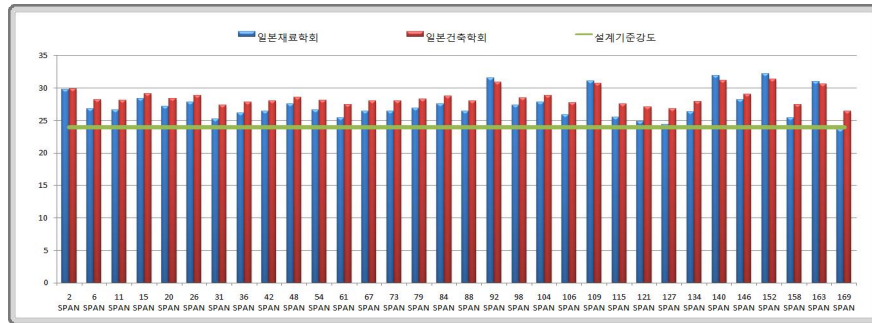
초음파전달속도 시험 전경②

〈사진 3.30〉 비파괴시험법에 의한 콘크리트 강도조사(부산) 전경

1) 비파괴강도 시험결과

〈표 3.52〉 터널 라이닝(부산) 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치	비파괴시험		반발경도법 (MPa)			초음파속도법 (MPa)	설계기준 강도 (MPa)
	반발경도 (R ₀)	초음파속도 (V _a)	식①	식②	평균	식③	
터널 라이닝	2 SPAN	51.4	4.257	29.8	29.9	29.5	24.0
	6 SPAN	47.6	4.188	26.8	28.2	27.5	
	11 SPAN	47.4	4.218	26.6	28.1	27.4	
	15 SPAN	49.7	4.167	28.4	29.1	28.8	
	20 SPAN	48.1	4.145	27.2	28.4	27.8	
	26 SPAN	48.9	4.123	27.8	28.8	28.3	
	31 SPAN	45.7	4.130	25.2	27.3	26.3	
	36 SPAN	46.8	4.141	26.1	27.8	27.0	
	42 SPAN	47.2	4.153	26.4	28.0	27.2	
	48 SPAN	48.5	4.15	27.5	28.6	28.1	
	54 SPAN	47.4	4.094	26.6	28.1	27.4	
	61 SPAN	46.0	4.132	25.4	27.4	26.4	
	67 SPAN	47.1	4.151	26.4	28.0	27.2	
	73 SPAN	47.2	4.193	26.4	28.0	27.2	
	79 SPAN	47.8	4.072	26.9	28.3	27.6	
	84 SPAN	48.6	4.159	27.5	28.7	28.1	
	88 SPAN	47.1	4.247	26.4	28.0	27.2	
	92 SPAN	53.6	4.259	31.5	30.9	31.2	
	98 SPAN	48.3	4.151	27.3	28.5	27.9	
	104 SPAN	49.0	4.137	27.8	28.8	28.3	
	106 SPAN	46.6	4.113	25.9	27.7	26.8	
	109 SPAN	53.0	4.190	31.1	30.7	30.9	
	115 SPAN	46.0	4.094	25.5	27.5	26.5	
	121 SPAN	45.2	4.144	24.8	27.1	26.0	
	127 SPAN	44.6	4.165	24.4	26.8	25.6	
	134 SPAN	47.0	4.218	26.3	27.9	27.1	
	140 SPAN	54.0	4.249	31.9	31.2	31.6	
	146 SPAN	49.5	4.163	28.2	29.0	28.6	
	152 SPAN	54.4	4.244	32.2	31.3	31.8	
	158 SPAN	46.0	4.149	25.4	27.4	26.4	
	163 SPAN	52.9	4.249	31.0	30.6	30.8	
	169 SPAN	43.7	4.109	23.6	26.4	25.0	



〈그림 3.30〉 터널 라이닝(부산) 평균압축강도 추정결과

- 검토결과, 설계기준 대비 104.2~132.5%로 터널 라이닝 전 구간 반발경도법에 의한 비파괴 추정강도는 모두 100% 이상을 상회한 값이 측정되었다.
- 비파괴 추정식에 의해 평가된 강도는 설계기준강도의 90%이상을 만족하면 적절한 것으로 판단함(일본 국토개발기술연구센터)에 따라 전 구간 강도가 설계강도에 100%이상으로 조사되어 터널 라이닝의 콘크리트 강도는 양호한 것으로 판단된다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 문수터널(부산) 터널 라이닝에 대한 콘크리트 강도는 공용년 수 경과에 따른 강도 저하는 없는 것으로 조사되었다.

〈표 3.53〉 비파괴강도(부산) 시험결과 분석

구 분	시험방법	강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
터널 라이닝	반발경도법	25.0~31.8	24.0	104.2~132.5
	초음파속도법	25.5~29.6		106.3~123.3

2) 기 점검결과와의 비교

〈표 3.54〉 비파괴강도(부산) 기 점검결과와의 비교

구 분		'16년 정밀점검	금회 정밀안전진단	설계기준강도
반발경도법(MPa)	터널 라이닝	24.5~31.0	25.0~31.8	24.0
초음파속도법(MPa)	터널 라이닝	—	25.5~29.6	
검토의견		■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀안전진단으로, 기 점검('16년)과 비교·분석하였으며, 초음파속도법은 정밀점검의 기본과업이 아니므로 비교·분석에서 제외하였음. ■ 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물의 강도저하는 없는 것으로 조사됨.		

3) 시험보고서

〈표 3.55〉 반발경도(부산) 시험보고서

구 분	터널 라이닝
시험일자	2018.11.19. ~ 2018.11.23
시험시간	09:00 ~ 18:00
구조물에서 시험 영역의 위치	터널 라이닝
시험 대상 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data sheet에 표기
콘크리트의 설계 조건	$f_{ck}=24.0\text{MPa}$
시험 위치의 표면 상태	양호
시험시의 온도	11.1℃
콘크리트의 재령	재령:3000일 이상
콘크리트 내부 함수 상태	표면 건조
반발경도측정기의 종류 및 제품 번호	테스트 햄머 제품번호: NR-10
반발경도측정기의 타격 방향	90°
시험 부위별 반발경도의 평균값	43.7 ~ 54.4

〈표 3.56〉 초음파전달속도(부산) 시험보고서

구 분	터널 라이닝
시험일자	2018.11.19. ~ 2018.11.23
구조물에서 시험 영역의 위치	터널 라이닝
시험 대상 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data sheet에 표기
콘크리트의 설계 조건	$f_{ck}=24.0\text{MPa}$
초음파 전달경로와 탐촉자 위치에 대한 스케치	표면법을 적용
시험시의 온도	11.1℃
콘크리트의 재령	재령:3000일 이상
콘크리트 내부 함수 상태	표면 건조
장치의 종류, 신뢰도, 주파수 및 주요특징	PUNDIT LAB
초음파 전달속도의 시험값	4.072 ~ 4.259
철근간섭으로 보정된 초음파전달 속도값	—

나. 철근탐사시험

철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 총 6개소에서 실시하였으며, 철근탐사시험 결과, 전반적으로 배근간격은 설계도면과 대체로 유사한 상태이며, 대부분의 개소에서 피복두께가 설계피복보다 크게 나타나나 이로 인한 터널의 안전성 저하 우려는 없는 양호한 상태임.



철근탐사시험 전경①



철근탐사시험 시험 전경②

〈사진 3.31〉 철근탐사시험(부산) 전경

1) 철근탐사 시험결과

〈표 3.57〉 터널 라이닝(부산) 철근탐사 시험결과

위 치		철근종류	배근간격(mm)		피복두께(mm)		비고
구분	측정위치		설계치	측정치	설계치	측정치	
터널 라이닝	1 SPAN	주철근	125	120~125	71	69~72	
		배력철근	150	145~150	89	88~91	
	54 SPAN	주철근	125	125~130	71	70~73	
		배력철근	150	150~155	89	89~93	
	55 SPAN	주철근	125	120~125	71	70~72	
		배력철근	150	150~155	89	87~90	
	128 SPAN	주철근	125	120~125	71	69~72	
		배력철근	150	150~155	89	89~91	
	129 SPAN	주철근	125	125~130	71	71~73	
		배력철근	150	145~150	89	89~92	
	169 SPAN	주철근	125	120~125	71	70~72	
		배력철근	150	150~155	89	90~91	

- 철근탐사 시험결과 배근간격은 설계도면과 대체로 유사한 상태이며, 일부 개소에서 피복두께가 설계피복과 다소 편차를 보이는 것으로 나타나나 이로 인한 터널의 안전성 저하 및 탄산화 진행에 의한 철근부식 우려는 없는 양호한 상태인 것으로 평가되었다.

2) 기 점검결과와의 비교

〈표 3.58〉 철근탐사시험(부산) 기 점검결과와의 비교

구 분			'16년 정밀점검		금회 정밀안전진단	검토의견
철근 탐사 시험 (mm)	터 널 라이닝	배근 간격	주철근	－	120~130	■ 배근간격 및 피복두께 는 설계도면과 유사한 상태로 조사됨.
			배력철근	－	145~155	
		피복 두께	주철근	－	69~73	
			배력철근	－	87~93	
검토의견			■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀안전진단으로, 기 점검 ('16년)시 철근탐사시험은 기본과업이 아니므로 비교·분석이 불가하 였음.			

3) 시험보고서

〈표 3.59〉 철근탐사시험(부산) 시험보고서

구 분	터널 라이닝
시험일자	2018.11.19. ~ 2018.11.23
시험시간	09:00 ~ 18:00
시험장소	문수터널(부산)
시험시의 온도	11.1℃
시험시의 습도	40.1%
시험대상 구조물에 대한 설명	시험조건 양호
시험위치	터널 라이닝
시험한계(잡음의 원인, 장애물 등)	없음
시험값과 필터, 안테나 주파수 등의 매개변수의 표시	진공중에서 전자파의 속도(3×10^8 m/sec), 콘크리트의 비유전율 (6.0)
시험대상 면에서의 안테나 횡단위치, 작동방향 및 범위	각 시험개소별 Data sheet에 표기
정밀도	양호
시험한 철근의 배근상태에 대한 그림	부록참조
참고문헌	콘크리트 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단)

다. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 총 6개소에서 실시하였다. 최소 피복두께와 탄산화 깊이를 비교한 결과, 전 개소의 탄산화 잔여깊이가 30.0mm 이상을 초과한 상태로 측정되어 상태평가“a”로 평가되었다.

또한, 철근까지의 탄산화 도달시간은 시험개소 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 우려가 없는 양호한 상태로 분석되었다.



탄산화 깊이 측정 전경①



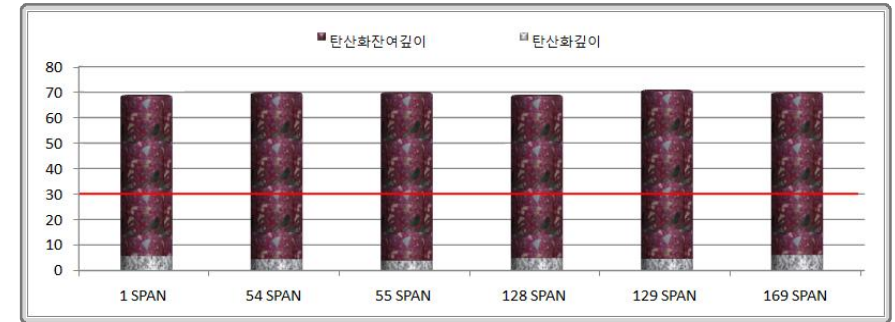
탄산화 깊이 측정 전경②

〈사진 3.32〉 탄산화 깊이 측정 전경

1) 탄산화 깊이 측정결과

〈표 3.60〉 탄산화 깊이(부산) 측정결과 및 평가

시험 위치	탄산화 깊이 (mm)	피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
터널 라이닝	1 SPAN	5.7	69.0	63.3	a	1.809	100년 이상
	54 SPAN	4.5	70.0	65.5	a	1.426	100년 이상
	55 SPAN	3.9	70.0	66.1	a	1.233	100년 이상
	128 SPAN	4.9	69.0	64.1	a	1.559	100년 이상
	129 SPAN	4.6	71.0	66.4	a	1.458	100년 이상
	169 SPAN	6.1	70.0	63.9	a	1.942	100년 이상



〈그림 3.31〉 탄산화 깊이(부산) 측정결과

2) 기 점검결과와의 비교

〈표 3.61〉 탄산화 깊이(부산) 기 점검결과와의 비교

구 분		'16년 정밀점검	금회 정밀안전진단	검토의견
탄산화 진행깊이 (mm)	터 널 라이닝	3.0~4.3	3.9~6.1	■ 측정위치에 따른 편차 공용기간 경과
검토의견		■ 기 점검('16년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 조사됨.		

3) 시험보고서

〈표 3.62〉 탄산화 깊이(부산) 측정 시험보고서

구 분		터널 라이닝
구조물의 명칭		문수터널(부산)
구조물의 경과 년 수		10년
측정방법		콘크리트 분말시료를 이용한 측정법
사용골재의 종류		보통골재
측정면의 종류		노출 콘크리트 표면
시약		페놀프탈레인 1%용액
측정기구		버니어 캘리퍼스
시약분무로부터 탄산화깊이 측정까지 시간		직후
탄산화 깊이	측정값	3.9~6.1mm
	평균값	5.0mm
연한 적자색으로 변색된 부분의 유무		유

라. 염화물함유량 시험

염화물함유량 시험은 라이닝 5개소 및 갱구부 1개소에서 콘크리트 표면과 철근위치까지의 깊이별 시험을 실시하였다. 시험결과, 상태평가 등급은 전개소 'a'등급($0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 이하)로 평가되어, 염화물에 의한 부식발생 가능성은 낮은 상태인 것으로 조사되었다.



염화물 시료채취 ①



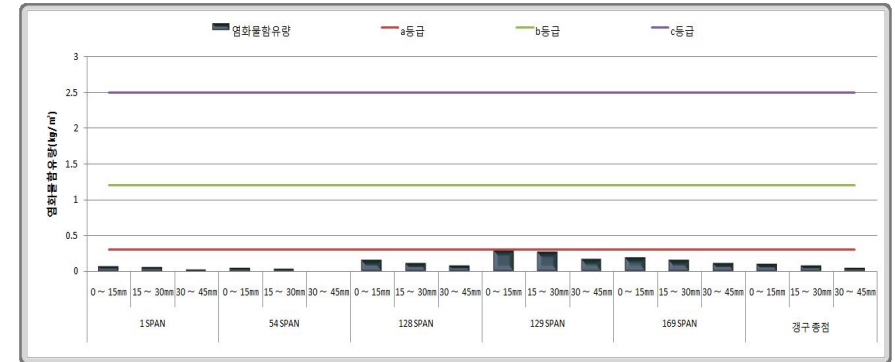
염화물 시료채취 ②

〈사진 3.33〉 염화물함유량 시험 전경

1) 염화물함유량 시험결과

〈표 3.63〉 염화물함유량(부산) 시험결과 및 평가

시험 위치			염화물함유량		평가 결과	비 고
			$\text{Cl}^- (\%)$	$\text{Cl}^- (\text{kg}/\text{m}^3)$		
터널 라이닝	1 SPAN	0 ~ 15mm	0.0032	0.072	a	
		15 ~ 30mm	0.0026	0.059	a	
		30 ~ 45mm	0.0011	0.025	a	
	54 SPAN	0 ~ 15mm	0.0020	0.045	a	
		15 ~ 30mm	0.0016	0.036	a	
		30 ~ 45mm	0.0009	0.020	a	
	128 SPAN	0 ~ 15mm	0.0068	0.154	a	
		15 ~ 30mm	0.0051	0.115	a	
		30 ~ 45mm	0.0037	0.084	a	
	129 SPAN	0 ~ 15mm	0.0130	0.294	a	
		15 ~ 30mm	0.1170	0.265	a	
		30 ~ 45mm	0.0073	0.165	a	
	169 SPAN	0 ~ 15mm	0.0082	0.186	a	
		15 ~ 30mm	0.0069	0.156	a	
		30 ~ 45mm	0.0052	0.118	a	
	갱구 종점	0 ~ 15mm	0.0044	0.100	a	
		15 ~ 30mm	0.0035	0.079	a	
		30 ~ 45mm	0.0021	0.048	a	



〈그림 3.32〉 염화물함유량 시험결과

2) 기 점검결과와의 비교

〈표 3.64〉 염화물함유량(부산) 기 점검결과와의 비교

구 분		‘16년 정밀점검	금회 정밀안전진단	검토의견
염화물 함유량 (kg/m ³)	터 널 라이닝	－	0.020~0.165	■ 측정위치에 따른 편차
	갱구부	－	0.048	
검토의견		■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀안전진단으로, 기 점검(‘16년) 시 염화물함유량 시험은 기본과업이 아니므로 비교·분석이 불가하였음.		

3) 시험보고서

〈표 3.65〉 염화물함유량(부산) 시험보고서

구 분	터널 라이닝
시험개소	라이닝 5개소, 갱구부 1개소
시험일자	2018.11.26. ~ 2018.11.30
염화물 함유량	$0.020\text{kg}/\text{m}^3 \sim 0.165\text{kg}/\text{m}^3$, $0.048\text{kg}/\text{m}^3$
채취시료	콘크리트 분말
채취깊이	0~15mm, 15~30mm, 30~45mm
시험 · 검사방법	KS F 2713

마. 단면측량

터널내부의 단면측량을 실시하여 단면규격 조사 및 건축한계 확보 여부를 검토하였고, 측량 결과를 통하여 보수·보강대책 수립 및 유지관리업무 수행 시에 기초 자료로 활용할 수 있도록 내공단면을 확인하였다.

단면측량은 터널 구간 중 9개소에 대하여 기계점의 좌표를 설정하여 터널방향의 직각방향(횡방향)으로 단면의 측량을 실시하였다.



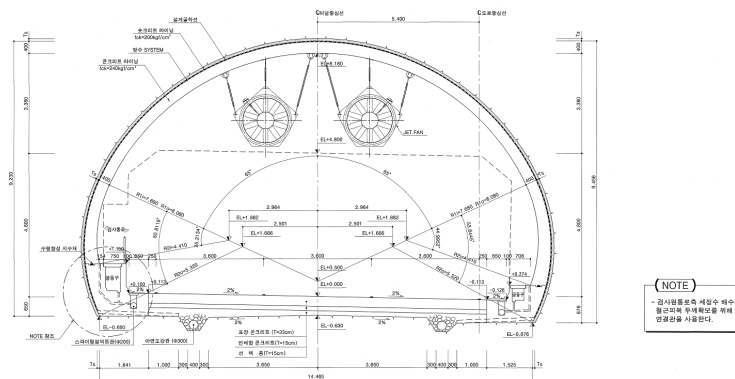
단면측량 전경 ①



단면측량 전경 ②

〈사진 3.34〉 단면측량 전경(부산)

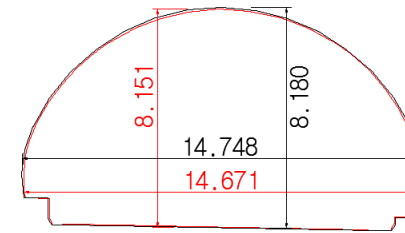
〈표 3.66〉 단면측량(부산) 표준단면도



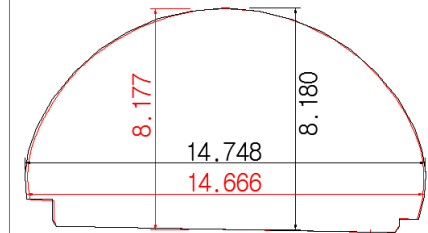
〈표 3.67〉 단면측량(부산) 위치 및 현황

위치	폭 (단위:m)		높이 (단위:m)	
	측량결과	설계치	측량결과	설계치
No.0+19.58	14.671	14.748	8.151	8.180
No.8+5.64	14.666	14.748	8.177	8.180
No.17+5.56	14.738	14.748	8.176	8.180
No.25+6.25	14.722	14.748	8.174	8.180
No.33+1.83	14.705	14.748	8.171	8.180
No.40+10.18	14.702	14.748	8.172	8.180
No.49+3.64	14.697	14.748	8.174	8.180
No.65+8.54	14.695	14.748	8.164	8.180
No.74+10.40	14.678	14.748	8.174	8.180

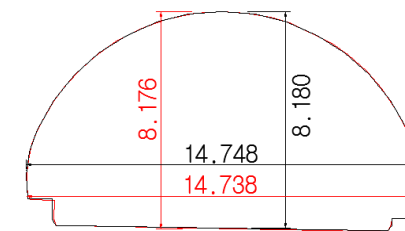
■ : 설계치, ■ : 실측치



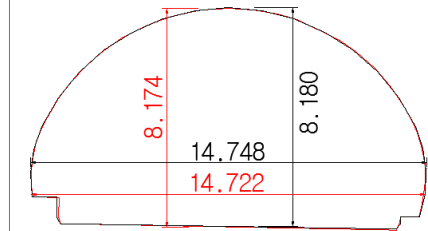
No.0+19.58



No.8+5.64

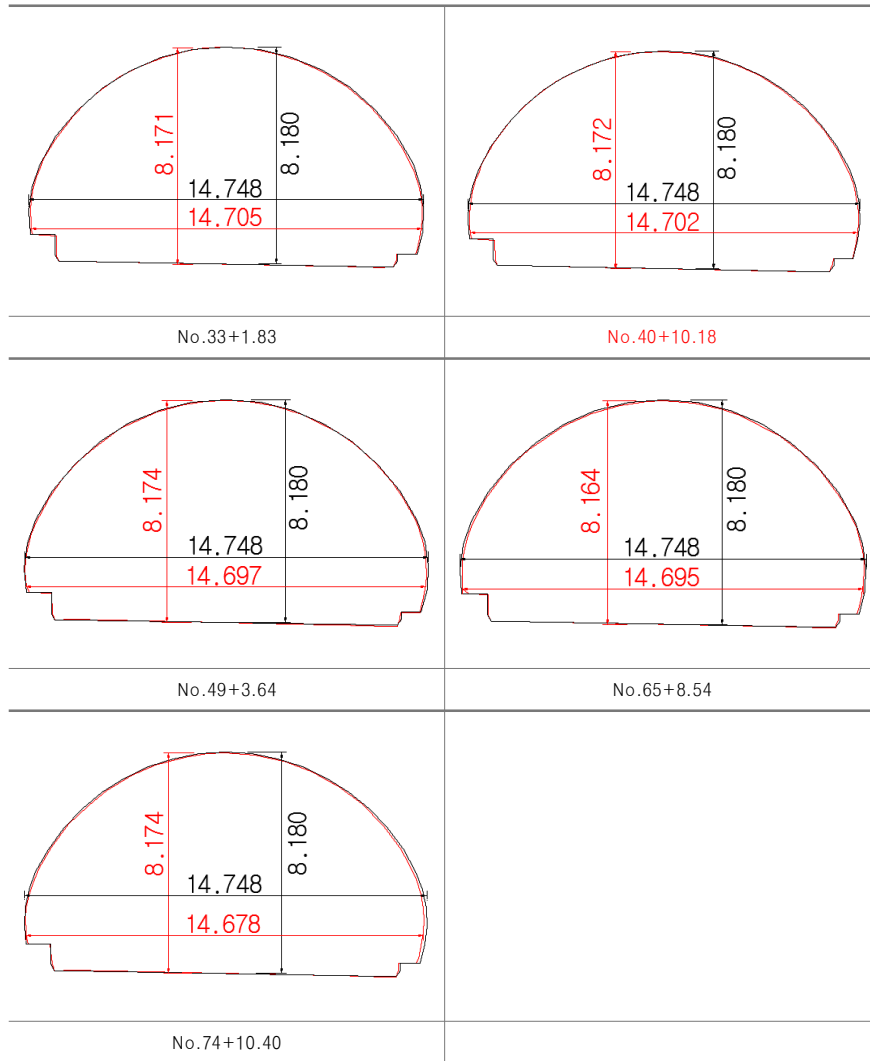


No.17+5.56



No.25+6.25

■ : 설계치, ■ : 실측치



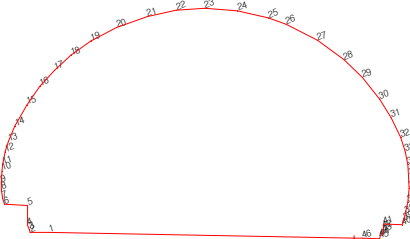
(가) 단면측량 결과

- 단면측량 결과, 건축한계에 저촉되는 구간은 없으며, 설계 값이랑 다소 차이가 있으나 이는 시공시 시공오차와 측정오차로 판단된다. 처짐이나 변형 등의 징후는 없어 구조물의 안전에는 이상이 없을 것으로 판단된다.

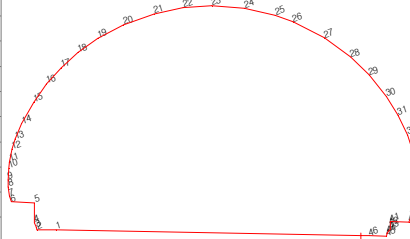
〈표 3.68〉 단면측량 결과(부산)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.0 +19.58	1	10.83	65.22	
	2	11.62	65.20	
	3	11.65	65.30	
	4	11.70	65.46	
	5	11.72	66.19	
	6	12.59	66.22	
	7	12.65	66.43	
	8	12.67	66.79	
	9	12.66	67.11	
	10	12.64	67.55	
	11	12.56	67.99	
	12	12.44	68.38	
	13	12.30	68.74	
	14	12.18	69.03	
	15	11.73	69.80	
	16	11.23	70.47	
	17	10.70	71.05	
	18	10.17	71.51	
	19	9.58	71.95	
	20	8.44	72.58	
	21	7.55	72.91	
	22	6.53	73.15	
	23	5.40	73.26	
	24	4.26	73.19	
	25	3.09	72.94	
	26	2.07	72.56	
	27	1.07	72.02	
	28	0.50	71.61	
	29	0.22	70.96	
	30	0.83	70.26	
	31	1.29	69.58	
	32	1.78	68.63	
	33	1.92	68.13	
	34	2.02	67.64	
	35	2.06	67.25	
	36	2.06	66.76	
	37	2.01	66.26	
	38	1.90	65.78	
	39	1.82	65.50	
	40	1.15	65.49	
	41	1.13	65.25	
	42	1.05	65.09	
	43	1.03	64.99	
	44	0.36	64.99	

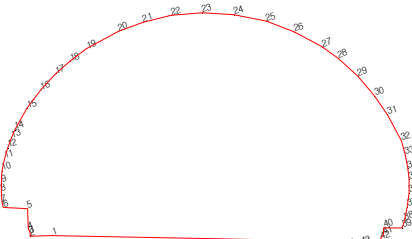
〈표 3.68〉 단면측량 결과(부산)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No. 8 +5.64	1	10.98	65.96	
	2	11.66	65.95	
	3	11.69	66.05	
	4	11.76	66.20	
	5	11.75	66.92	
	6	12.59	66.95	
	7	12.66	67.16	
	8	12.70	67.49	
	9	12.71	67.75	
	10	12.69	68.16	
	11	12.66	68.40	
	12	12.57	68.84	
	13	12.46	69.21	
	14	12.21	69.77	
	15	11.78	70.54	
	16	11.32	71.20	
	17	10.80	71.78	
	18	10.20	72.32	
	19	9.48	72.83	
	20	8.55	73.33	
	21	7.46	73.72	
	22	6.40	73.95	
	23	5.38	74.02	
	24	4.19	73.92	
	25	3.08	73.66	
	26	2.44	73.43	
	27	1.32	72.85	
	28	0.37	72.16	
	29	0.30	71.51	
	30	0.92	70.74	
	31	1.33	70.08	
	32	1.68	69.36	
	33	1.84	68.85	
	34	1.93	68.39	
	35	1.97	67.99	
	36	1.98	67.54	
	37	1.93	67.02	
	38	1.84	66.64	
	39	1.79	66.39	
	40	1.73	66.22	
	41	1.06	66.24	
	42	1.03	65.99	
	43	1.03	65.98	
	44	0.94	65.83	
	45	0.92	65.72	
	46	0.29	65.73	

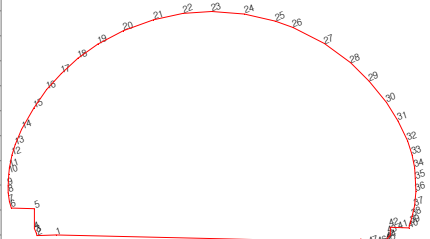
〈표 3.68〉 단면측량 결과(부산)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.17 +5.56	1	10.98	66.83	
	2	11.65	66.83	
	3	11.67	66.91	
	4	11.73	67.08	
	5	11.72	67.79	
	6	12.63	67.82	
	7	12.72	68.01	
	8	12.75	68.32	
	9	12.76	68.76	
	10	12.73	69.11	
	11	12.67	69.45	
	12	12.56	69.89	
	13	12.43	70.24	
	14	12.25	70.64	
	15	11.73	71.51	
	16	11.28	72.10	
	17	10.69	72.74	
	18	10.16	73.21	
	19	9.40	73.75	
	20	8.47	74.22	
	21	7.50	74.57	
	22	6.40	74.81	
	23	5.34	74.89	
	24	4.45	74.83	
	25	3.54	74.67	
	26	2.82	74.46	
	27	1.25	73.72	
	28	0.60	73.28	
	29	0.15	72.61	
	30	0.68	71.99	
	31	1.23	71.18	
	32	1.51	70.65	
	33	1.70	70.23	
	34	1.85	69.74	
	35	1.94	69.33	
	36	1.99	68.97	
	37	2.00	68.43	
	38	1.94	67.92	
	39	1.87	67.57	
	40	1.80	67.29	
	41	1.75	67.08	
	42	1.06	67.10	
	43	1.04	66.85	
	44	0.95	66.70	
	45	0.93	66.58	
	46	0.31	66.60	

〈표 3.68〉 단면측량 결과(부산)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.25 +6.25	1	11.00	67.61	
	2	11.64	67.82	
	3	11.66	67.93	
	4	11.72	68.27	
	5	11.72	68.40	
	6	12.62	68.44	
	7	12.69	68.61	
	8	12.70	68.91	
	9	12.72	69.32	
	10	12.69	69.75	
	11	12.62	69.96	
	12	12.51	70.44	
	13	12.38	70.97	
	14	12.22	71.33	
	15	11.75	72.64	
	16	11.18	72.97	
	17	10.64	73.51	
	18	10.15	73.68	
	19	9.39	74.14	
	20	8.52	74.85	
	21	7.61	75.35	
	22	6.60	75.77	
	23	5.75	75.93	
	24	4.98	76.12	
	25	3.97	75.89	
	26	3.18	75.63	
	27	1.95	74.72	
	28	1.23	74.31	
	29	0.49	73.76	
	30	0.42	73.06	
	31	0.97	72.68	
	32	1.39	71.62	
	33	1.70	71.22	
	34	1.84	70.87	
	35	1.92	70.53	
	36	1.98	69.88	
	37	2.00	69.34	
	38	1.97	68.94	
	39	1.93	68.65	
	40	1.87	68.35	
	41	1.79	67.89	
	42	1.52	67.77	
	43	1.05	67.31	

〈표 3.68〉 단면측량 결과(부산)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.33 +1.83	1	11.02	68.42	
	2	11.63	68.42	
	3	11.65	68.49	
	4	11.71	68.63	
	5	11.72	69.38	
	6	12.60	69.42	
	7	12.65	69.61	
	8	12.67	69.91	
	9	12.68	70.31	
	10	12.66	70.69	
	11	12.56	71.23	
	12	12.45	71.62	
	13	12.31	71.96	
	14	12.21	72.23	
	15	11.78	72.98	
	16	11.09	73.89	
	17	10.58	74.42	
	18	10.13	74.81	
	19	9.37	75.35	
	20	8.55	75.77	
	21	7.72	76.10	
	22	6.73	76.35	
	23	6.16	76.43	
	24	5.38	76.46	
	25	4.39	76.40	
	26	3.45	76.22	
	27	2.65	75.97	
	28	1.73	75.56	
	29	0.82	74.99	
	30	0.06	74.24	
	31	0.71	73.50	
	32	1.26	72.69	
	33	1.70	71.83	
	34	1.82	71.44	
	35	1.90	71.15	
	36	1.96	70.81	
	37	2.00	70.45	
	38	2.00	70.01	
	39	1.98	69.67	
	40	1.92	69.29	
	41	1.82	68.87	
	42	1.77	68.68	
	43	1.05	68.69	
	44	1.04	68.45	
	45	0.94	68.29	
	46	0.93	68.20	
	47	0.30	68.19	

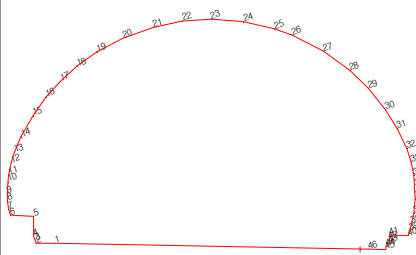
〈표 3.68〉 단면측량 결과(부산)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.40 +10.18	1	10.96	69.17	
	2	11.60	69.27	
	3	11.62	69.33	
	4	11.68	69.46	
	5	11.70	70.21	
	6	12.52	70.23	
	7	12.61	70.46	
	8	12.63	70.72	
	9	12.64	71.04	
	10	12.65	71.45	
	11	12.55	72.83	
	12	12.43	72.37	
	13	12.30	72.69	
	14	12.18	73.05	
	15	11.77	73.72	
	16	11.15	74.43	
	17	10.59	75.11	
	18	10.12	75.60	
	19	9.17	76.25	
	20	7.84	76.88	
	21	6.86	77.12	
	22	6.05	77.25	
	23	5.67	77.31	
	24	4.94	77.25	
	25	3.88	77.07	
	26	3.01	76.77	
	27	1.87	76.13	
	28	0.77	75.63	
	29	0.56	74.98	
	30	0.42	74.26	
	31	1.34	73.69	
	32	1.80	72.85	
	33	1.90	72.62	
	34	1.96	72.41	
	35	1.93	72.13	
	36	2.01	71.70	
	37	2.05	71.33	
	38	2.18	70.88	
	39	2.15	70.51	
	40	1.96	69.92	
	41	1.88	69.67	
	42	1.80	69.48	
	43	1.08	69.49	

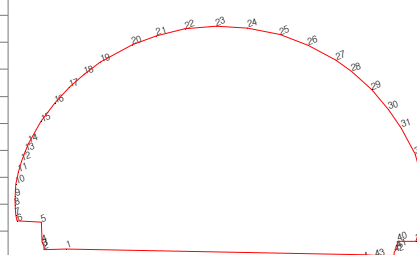
〈표 3.68〉 단면측량 결과(부산)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.49 +3.64	1	10.90	70.05	
	2	11.54	70.04	
	3	11.56	70.14	
	4	11.62	70.27	
	5	11.67	71.02	
	6	12.46	71.04	
	7	12.58	71.24	
	8	12.62	71.53	
	9	12.63	71.85	
	10	12.61	72.25	
	11	12.54	72.63	
	12	12.40	73.18	
	13	12.29	73.50	
	14	12.12	73.86	
	15	11.75	74.52	
	16	11.23	75.24	
	17	10.61	75.92	
	18	10.06	76.40	
	19	9.11	77.06	
	20	7.78	77.67	
	21	6.80	77.93	
	22	5.99	78.06	
	23	5.26	78.10	
	24	4.43	78.06	
	25	3.43	77.88	
	26	2.46	77.58	
	27	1.18	76.94	
	28	0.46	76.44	
	29	0.25	75.79	
	30	0.88	75.07	
	31	1.28	74.50	
	32	1.74	73.66	
	33	1.84	73.43	
	34	1.90	73.22	
	35	1.98	72.94	
	36	2.07	72.51	
	37	2.11	72.16	
	38	2.12	71.69	
	39	2.09	71.32	
	40	1.98	70.73	
	41	1.92	70.48	
	42	1.88	70.29	
	43	1.18	70.30	
	44	1.16	70.05	
	45	1.09	69.90	
	46	1.07	69.79	
	47	0.40	69.80	

〈표 3.68〉 단면측량 결과(부산)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.65 +8.54	1	10.93	71.19	
	2	11.56	71.18	
	3	11.60	71.27	
	4	11.66	71.42	
	5	11.68	72.15	
	6	12.38	72.18	
	7	12.60	72.38	
	8	12.62	72.68	
	9	12.62	72.98	
	10	12.62	73.08	
	11	12.60	73.40	
	12	12.53	73.87	
	13	12.41	74.30	
	14	12.29	74.64	
	15	12.12	75.02	
	16	11.76	75.66	
	17	11.26	76.36	
	18	10.74	76.95	
	19	10.17	77.47	
	20	8.88	78.34	
	21	7.88	78.78	
	22	6.84	79.08	
	23	5.84	79.22	
	24	5.26	79.24	
	25	4.14	79.17	
	26	3.16	78.96	
	27	2.46	78.72	
	28	0.98	77.96	
	29	0.21	77.37	
	30	0.49	76.67	
	31	1.19	75.76	
	32	1.53	75.19	
	33	1.82	74.57	
	34	1.95	74.10	
	35	2.02	73.79	
	36	2.08	73.38	
	37	2.09	73.03	
	38	2.07	72.56	
	39	1.97	71.96	
	40	1.88	71.62	
	41	1.84	71.44	
	42	1.15	71.45	
	43	1.14	71.22	
	44	1.07	71.05	
	45	1.05	70.95	
	46	0.39	70.96	

〈표 3.68〉 단면측량 결과(부산)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.74 +10.40	1	11.01	70.01	
	2	11.65	70.00	
	3	11.68	70.10	
	4	11.75	70.25	
	5	11.83	70.99	
	6	12.63	71.00	
	7	12.67	71.19	
	8	12.72	71.49	
	9	12.73	71.94	
	10	12.70	72.35	
	11	12.60	72.83	
	12	12.46	73.26	
	13	12.23	73.82	
	14	11.77	74.60	
	15	11.13	75.45	
	16	10.41	76.15	
	17	9.71	76.72	
	18	8.77	77.28	
	19	7.92	77.65	
	20	6.82	77.95	
	21	5.98	78.08	
	22	5.35	78.11	
	23	4.23	78.02	
	24	3.15	77.79	
	25	2.15	77.42	
	26	1.10	76.85	
	27	0.25	76.22	
	28	0.56	75.40	
	29	1.17	74.57	
	30	1.50	74.00	
	31	1.79	73.39	
	32	1.94	72.85	
	33	2.04	72.33	
	34	2.06	71.89	
	35	2.04	71.45	
	36	1.95	70.91	
	37	1.85	70.45	
	38	1.79	70.27	
	39	1.12	70.28	
	40	1.13	70.03	
	41	1.05	69.88	
	42	1.03	69.77	
	43	0.37	69.78	

3.4.4 시험결과 및 분석(포항)

초음파속도법은 강도 추정의 정확도가 높지 않은 점을 감안하여 반발경도법에 의한 두 계산식의 평균값을 비파괴강도 값으로 채택하였고 초음파속도에 의한 강도계산식은 비교 값으로 제시하였다.

가. 콘크리트 강도시험

- 일광터널(포항)의 콘크리트 비파괴강도시험은 터널 라이닝에서 반발경도시험(총 6개소) 및 초음파전달속도시험(총 6개소)을 실시하였으며, 검토결과는 다음 표와 같다.



반발경도 시험 전경 ①



반발경도 시험 전경 ②



초음파전달속도 시험 전경 ①



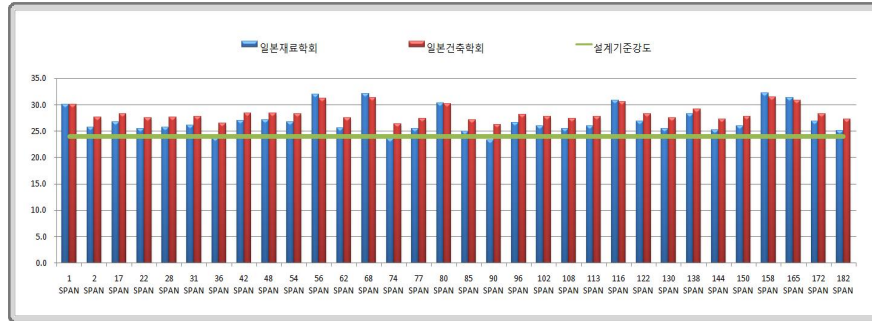
초음파전달속도 시험 전경 ②

〈사진 3.35〉 비파괴시험법에 의한 콘크리트 강도조사 전경

1) 비파괴강도 시험결과

〈표 3.69〉 터널 라이닝(포항) 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치	비파괴시험		반발경도법 (MPa)			초음파속도법 (MPa)	설계기준 강도 (MPa)
	반발경도 (R ₀)	초음파속도 (V _a)	식①	식②	평균	식③	
1 SPAN	51.6	4.244	30.0	30.0	30.0	29.2	24.0
2 SPAN	46.3	4.182	25.7	27.6	26.7	27.9	
17 SPAN	47.6	4.164	26.7	28.2	27.5	27.5	
22 SPAN	46.0	4.107	25.5	27.5	26.5	26.3	
28 SPAN	46.3	4.120	25.7	27.6	26.7	26.6	
31 SPAN	46.8	4.181	26.1	27.8	27.0	27.9	
36 SPAN	43.8	4.096	23.7	26.5	25.1	26.1	
42 SPAN	48.0	4.150	27.0	28.4	27.7	27.2	
48 SPAN	48.1	4.156	27.1	28.4	27.8	27.4	
54 SPAN	47.5	4.171	26.7	28.2	27.5	27.7	
56 SPAN	54.1	4.254	32.0	31.2	31.6	29.5	
62 SPAN	46.1	4.087	25.6	27.5	26.6	25.9	
68 SPAN	54.3	4.259	32.1	31.3	31.7	29.6	
74 SPAN	43.6	4.121	23.6	26.4	25.0	26.6	
77 SPAN	45.9	4.112	25.4	27.4	26.4	26.4	
80 SPAN	52.0	4.279	30.3	30.2	30.3	30.0	
85 SPAN	45.3	4.110	24.9	27.1	26.0	26.4	
90 SPAN	43.3	4.024	23.3	26.2	24.8	24.5	
96 SPAN	47.4	4.201	26.6	28.1	27.4	28.3	
102 SPAN	46.7	4.180	26.0	27.8	26.9	27.9	
108 SPAN	45.9	4.166	25.4	27.4	26.4	27.6	
113 SPAN	46.6	4.134	25.9	27.7	26.8	26.9	
116 SPAN	52.7	4.264	30.8	30.5	30.7	29.7	
122 SPAN	47.7	4.176	26.8	28.2	27.5	27.8	
130 SPAN	46.1	4.072	25.5	27.5	26.5	25.5	
138 SPAN	49.6	4.165	28.3	29.1	28.7	27.5	
144 SPAN	45.6	4.134	25.2	27.3	26.3	26.9	
150 SPAN	46.6	4.110	26.0	27.7	26.9	26.4	
158 SPAN	54.5	4.243	32.2	31.4	31.8	29.2	
165 SPAN	53.2	4.286	31.3	30.8	31.1	30.1	
172 SPAN	47.7	4.172	26.8	28.2	27.5	27.7	
182 SPAN	45.5	4.136	25.1	27.2	26.2	26.9	



〈그림 3.33〉 터널 라이닝(포항) 평균압축강도 추정결과

- 검토결과, 설계기준 대비 103.3~132.5%로 터널 라이닝 전 구간 반발경도법에 의한 비파괴 추정강도는 모두 100% 이상을 상회한 값이 측정되었다.
- 비파괴 추정식에 의해 평가된 강도는 설계기준강도의 90% 이상을 만족하면 적절한 것으로 판단함(일본 국토개발기술연구센터)에 따라 전 구간 강도가 설계강도에 100% 이상으로 조사되어 터널 라이닝의 콘크리트 강도는 양호한 것으로 판단된다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 문수터널(포항) 터널 라이닝에 대한 콘크리트 강도는 공용년 수 경과에 따른 강도 저하는 없는 것으로 조사되었다.

〈표 3.70〉 비파괴강도(포항) 시험결과 분석

구 분	시험방법	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
터널 라이닝	반발경도법	24.8~31.8	24.0	103.3~132.5
	초음파속도법	24.5~30.1		102.1~125.4

2) 기 점검결과와의 비교

〈표 3.71〉 비파괴강도(포항) 기 점검결과와의 비교

구 분		'16년 정밀점검	금회 정밀안전진단	설계기준강도
반발경도법(MPa)	터 널 라이닝	24.1~31.9	24.8~31.8	24.0
초음파속도법(MPa)	터 널 라이닝	－	24.5~30.1	
검토의견		■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀안전진단으로, 기 점검('16년)과 비교·분석하였으며, 초음파속도법은 정밀점검의 기본과업이 아니므로 비교·분석에서 제외하였음. ■ 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물의 강도저하는 없는 것으로 조사됨.		

3) 시험보고서

〈표 3.72〉 반발경도(포항) 시험보고서

구 분	터널 라이닝
시험일자	2018.11.26. ~ 2018.11.30
시험시간	09:00 ~ 18:00
구조물에서 시험 영역의 위치	터널 라이닝
시험 대상 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data sheet에 표기
콘크리트의 설계 조건	$f_{ck}=24.0\text{MPa}$
시험 위치의 표면 상태	양호
시험시의 온도	11.1℃
콘크리트의 재령	재령:3000일 이상
콘크리트 내부 함수 상태	표면 건조
반발경도측정기의 종류 및 제품 번호	테스트 햄머 제품번호: NR-10
반발경도측정기의 타격 방향	90°
시험 부위별 반발경도의 평균값	43.3 ~ 54.5

〈표 3.73〉 초음파전달속도(포항) 시험보고서

구 분	터널 라이닝
시험일자	2018.11.26. ~ 2018.11.30
구조물에서 시험 영역의 위치	터널 라이닝
시험 대상 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data sheet에 표기
콘크리트의 설계 조건	$f_{ck}=24.0\text{MPa}$
초음파 전달경로와 탐촉자 위치에 대한 스케치	표면법을 적용
시험시의 온도	11.1℃
콘크리트의 재령	재령:3000일 이상
콘크리트 내부 함수 상태	표면 건조
장치의 종류, 신뢰도, 주파수 및 주요특징	PUNDIT LAB
초음파 전달속도의 시험값	4.024 ~ 4.286
철근간섭으로 보정된 초음파전달 속도값	—

나. 철근탐사시험

철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 총 6개소에서 실시하였으며, 철근탐사시험 결과, 측정된 배근간격 및 피복두께는 미소한 차이는 있으나 전반적으로 설계도면과 근사한 것으로 확인되었다.



철근탐사시험 전경 ①



철근탐사시험 시험 전경 ②

〈사진 3.36〉 철근탐사시험(포항) 전경

1) 철근탐사 시험결과

〈표 3.74〉 터널 라이닝(포항) 철근탐사 시험결과

위 치		철근종류	배근간격(mm)		피복두께(mm)		비고
구분	측정위치		설계치	측정치	설계치	측정치	
터널 라이닝	1 SPAN	주철근	125	125~130	71	68~70	
		배력철근	150	145~150	89	88~90	
	54 SPAN	주철근	125	125~130	71	71~73	
		배력철근	150	150~155	89	89~90	
	126 SPAN	주철근	125	125~130	71	71~72	
		배력철근	150	150~155	89	88~92	
	128 SPAN	주철근	125	120~125	71	70~73	
		배력철근	150	150~155	89	87~91	
	181 SPAN	주철근	125	120~125	71	69~72	
		배력철근	150	150~155	89	87~90	
	182 SPAN	주철근	125	125~130	71	69~71	
		배력철근	150	150~155	89	88~90	

- 철근탐사 시험결과 배근간격은 설계도면과 대체로 유사한 상태이며, 일부 개소에서 피복두께가 설계피복과 다소 편차를 보이는 것으로 나타나나 이로 인한 터널의 안전성 저하 및 탄산화 진행에 의한 철근부식 우려는 없는 양호한 상태인 것으로 평가되었다.

2) 기 점검결과와의 비교

〈표 3.75〉 철근탐사시험(포항) 기 점검결과와의 비교

구 분				'16년 정밀점검	금회 정밀안전진단	검토의견
철근 탐사 시험 (mm)	터 널 라이닝	배근 간격	주철근	－	120~130	■ 배근간격 및 피복두께 는 설계도면과 유사한 상태로 조사됨.
			배력철근	－	145~155	
		피복 두께	주철근	－	68~73	
			배력철근	－	87~92	
검토의견				■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀안전진단으로, 기 점검 ('16년)시 철근탐사시험은 기본과업이 아니므로 비교·분석이 불가하 였음.		

3) 시험보고서

〈표 3.76〉 철근탐사시험(포항) 시험보고서

구 분	터널 라이닝
시험일자	2018.11.26. ~ 2018.11.30.
시험시간	09:00 ~ 18:00
시험장소	문수터널(포항)
시험시의 온도	11.1℃
시험시의 습도	61.1%
시험대상 구조물에 대한 설명	시험조건 양호
시험위치	터널 라이닝
시험한계(잡음의 원인, 장애물 등)	없음
시험값과 필터, 안테나 주파수 등의 매개변수의 표시	진공중에서 전자파의 속도($3 \times 10^8 \text{m/sec}$), 콘크리트의 비유전율 (6.0)
시험대상 면에서의 안테나 횡단위치, 작동방향 및 범위	각 시험개소별 Data sheet에 표기
정밀도	양호
시험한 철근의 배근상태에 대한 그림	부록참조
참고문헌	콘크리트 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단)

다. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 총 6개소에서 실시하였다. 최소 피복두께와 탄산화 깊이를 비교한 결과, 전 개소의 탄산화 잔여깊이가 30.0mm 이상을 초과한 상태로 측정되어 상태평가“a”로 평가되었다.

또한, 철근까지의 탄산화 도달시간은 시험개소 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 우려가 없는 양호한 상태로 분석되었다.



탄산화 깊이 측정 전경 ①



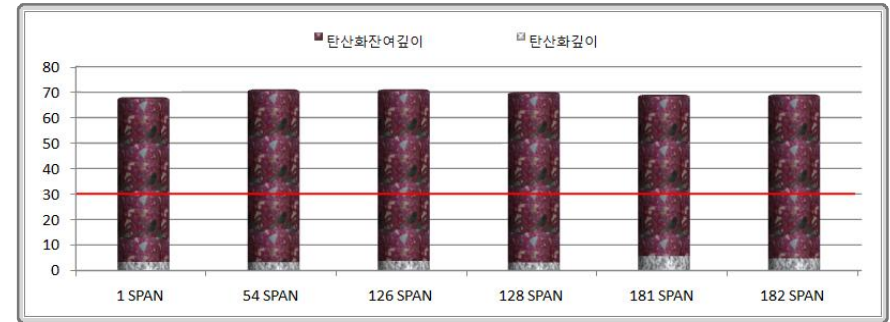
탄산화 깊이 측정 전경 ②

〈사진 3.37〉 탄산화 깊이(포항) 측정 전경

1) 탄산화 깊이 측정결과

〈표 3.77〉 탄산화 깊이(포항) 측정결과 및 평가

시험 위치	탄산화 깊이 (mm)	피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
터널 라이닝	1 SPAN	3.4	68.0	64.6	a	1.063	100년 이상
	54 SPAN	3.3	71.0	67.8	a	1.028	100년 이상
	126 SPAN	3.8	71.0	67.3	a	1.186	100년 이상
	128 SPAN	3.2	70.0	66.8	a	1.015	100년 이상
	181 SPAN	5.7	69.0	63.3	a	1.812	100년 이상
	182 SPAN	4.8	69.0	64.3	a	1.502	100년 이상



〈그림 3.34〉 탄산화 깊이 측정결과

2) 기 점검결과와의 비교

〈표 3.78〉 탄산화 깊이(포항) 기 점검결과와의 비교

구 분		'16년 정밀점검	금회 정밀안전진단	검토의견
탄산화 진행깊이 (mm)	터 널 라이닝	3.5~7.3	3.2~5.7	■ 측정위치에 따른 편차 공용기간 경과
검토의견		■ 기 점검('16년)과 비교 · 분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재 하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으 로 조사됨.		

3) 시험보고서

〈표 3.79〉 탄산화 깊이(포항) 측정 시험보고서

구 분		터널 라이닝
구조물의 명칭		문수터널(포항)
구조물의 경과 년 수		10년
측정방법		콘크리트 분말시료를 이용한 측정법
사용골재의 종류		보통골재
측정면의 종류		노출 콘크리트 표면
시약		페놀프탈레인 1%용액
측정기구		버니어 캘리퍼스
시약분무로부터 탄산화깊이 측정까지 시간		직 후
탄산화 깊이	측정값	3.2~5.7mm
	평균값	4.0mm
연한 적자색으로 변색된 부분의 유무		유

라. 염화물함유량 시험

염화물함유량 시험은 라이닝 5개소 및 갱구부 1개소에서 콘크리트 표면과 철근위치까지의 깊이별 시험을 실시하였다. 시험결과, 상태평가 등급은 전개소 'a'등급($0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 이하)로 평가되어, 염화물에 의한 부식발생 가능성은 낮은 상태인 것으로 조사되었다.



염화물 시료채취 ①



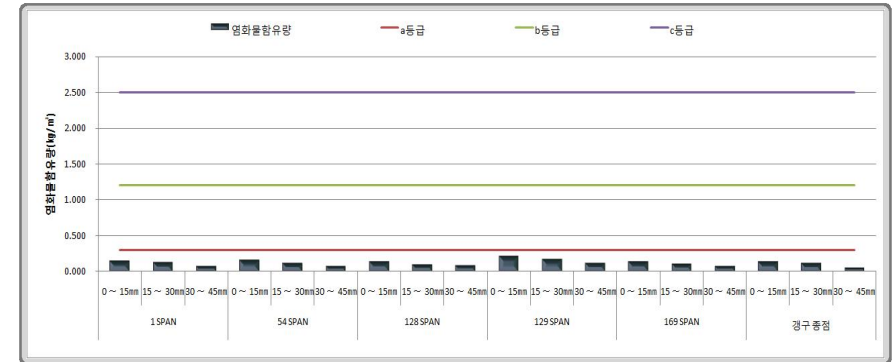
염화물 시료채취 ②

〈사진 3.38〉 염화물함유량(포항) 시험 전경

1) 염화물함유량 시험결과

〈표 3.80〉 염화물함유량(포항) 시험결과 및 평가

시험 위치			염화물함유량		평가 결과	비 고
			Cl ⁻ (%)	Cl ⁻ (kg/m ³)		
터널 라이닝	1 SPAN	0 ~ 15mm	0.0062	0.140	a	
		15 ~ 30mm	0.0053	0.120	a	
		30 ~ 45mm	0.0032	0.072	a	
	54 SPAN	0 ~ 15mm	0.0068	0.154	a	
		15 ~ 30mm	0.0048	0.109	a	
		30 ~ 45mm	0.0029	0.066	a	
	126 SPAN	0 ~ 15mm	0.0056	0.127	a	
		15 ~ 30mm	0.0041	0.093	a	
		30 ~ 45mm	0.0035	0.079	a	
	128 SPAN	0 ~ 15mm	0.0092	0.208	a	
		15 ~ 30mm	0.0074	0.167	a	
		30 ~ 45mm	0.0051	0.115	a	
	182 SPAN	0 ~ 15mm	0.0058	0.131	a	
		15 ~ 30mm	0.0043	0.097	a	
		30 ~ 45mm	0.0031	0.070	a	
	갱구 종점	0 ~ 15mm	0.0060	0.136	a	
		15 ~ 30mm	0.0049	0.111	a	
		30 ~ 45mm	0.0021	0.048	a	



〈그림 3.35〉 염화물함유량 시험결과

2) 기 점검결과와의 비교

〈표 3.81〉 염화물함유량(포항) 기 점검결과와의 비교

구 분		'16년 정밀점검	금회 정밀안전진단	검토의견
염화물 함유량 (kg/m³)	터 널 라이닝	－	0.066~0.115	■ 측정위치에 따른 편차
	갱구부	－	0.048	
검토의견		■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀안전진단으로, 기 점검('16년) 시 염화물함유량 시험은 기본과업이 아니므로 비교·분석이 불가하였음.		

3) 시험보고서

〈표 3.82〉 염화물함유량(포항) 시험보고서

구 분	터널 라이닝
시험개소	라이닝 5개소, 갱구부 1개소
시험일자	2018.11.26. ~ 2018.11.30
염화물 함유량	0.066kg/m ³ ~ 0.115kg/m ³ , 0.048kg/m ³
채취시료	콘크리트 분말
채취깊이	0~15mm, 15~30mm, 30~45mm
시험·검사방법	KS F 2713

마. 단면측량

터널내부의 단면측량을 실시하여 단면규격 조사 및 건축한계 확보 여부를 검토하였고, 측량 결과를 통하여 보수·보강대책 수립 및 유지관리업무 수행 시에 기초 자료로 활용할 수 있도록 내공단면을 확인하였다.

단면측량은 터널 구간 중 9개소에 대하여 기계점의 좌표를 설정하여 터널방향의 직각방향(횡방향)으로 단면의 측량을 실시하였다.



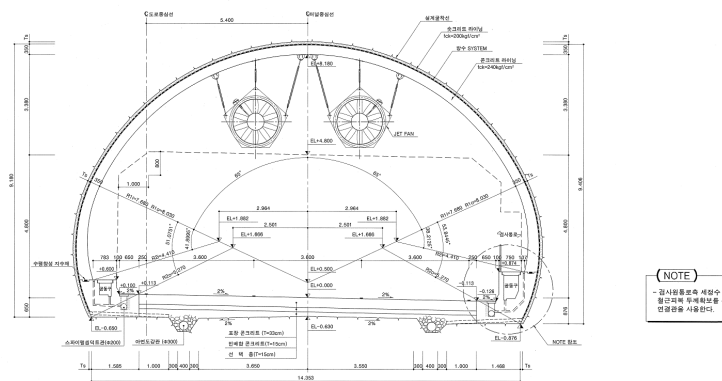
단면측량 전경 ①



단면측량 전경 ②

〈사진 3.39〉 단면측량(포항) 전경

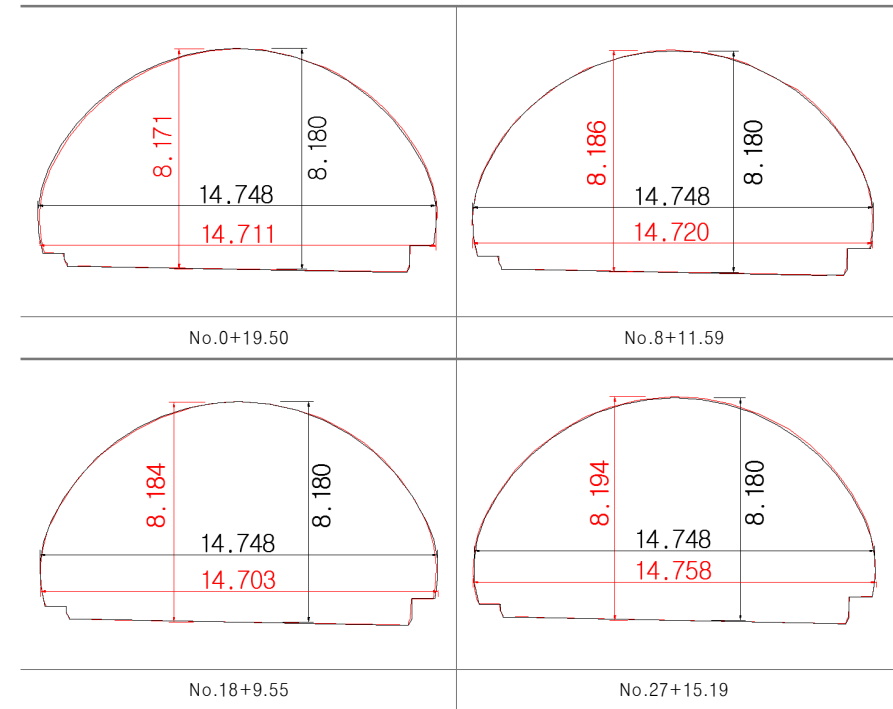
〈표 3.83〉 단면측량(포항) 표준단면도



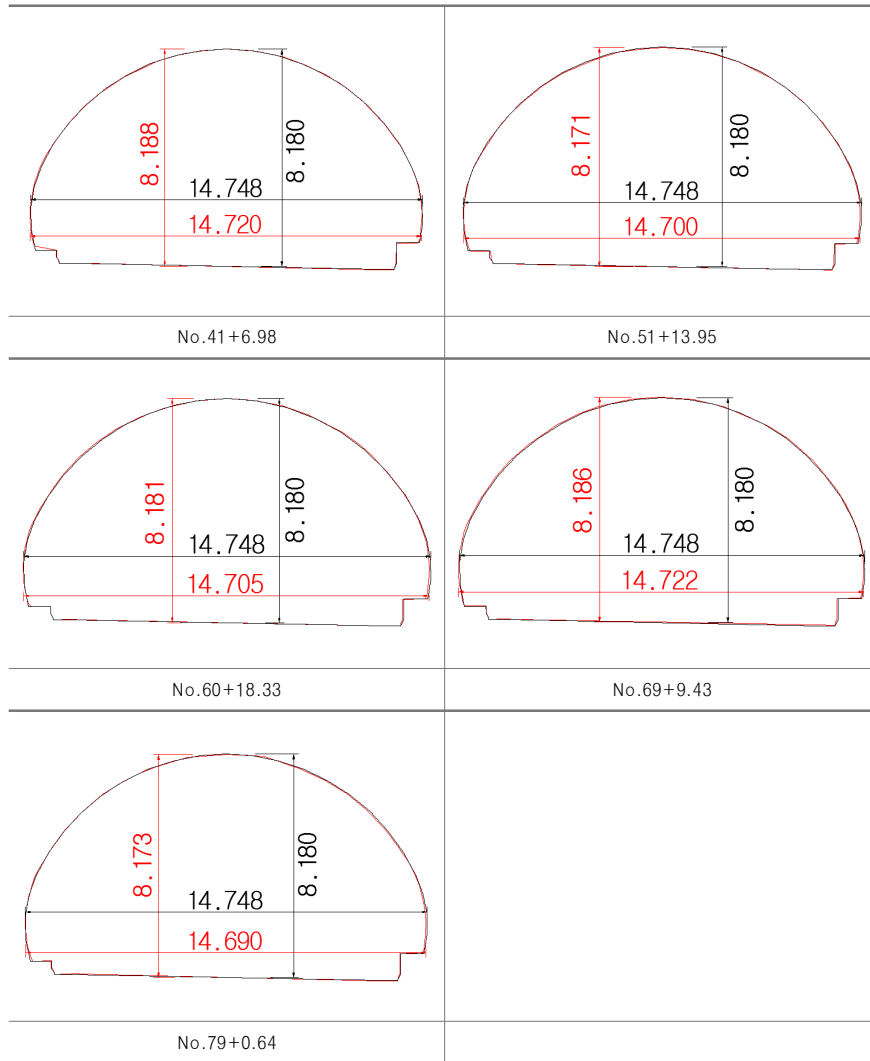
〈표 3.84〉 단면측량(포항) 위치 및 현황

위치	폭 (단위:m)		높이 (단위:m)	
	측량결과	설계치	측량결과	설계치
No.0+19.50	14.711	14.748	8.171	8.180
No.8+11.59	14.720	14.748	8.186	8.180
No.18+9.55	14.703	14.748	8.184	8.180
No.27+15.19	14.758	14.748	8.194	8.180
No.41+6.98	14.720	14.748	8.188	8.180
No.51+13.95	14.700	14.748	8.171	8.180
No.60+18.33	14.705	14.748	8.181	8.180
No.69+9.43	14.722	14.748	8.186	8.180
No.79+0.64	14.690	14.748	8.173	8.180

■ : 설계치, ■ : 실측치



— : 설계치, — : 실측치



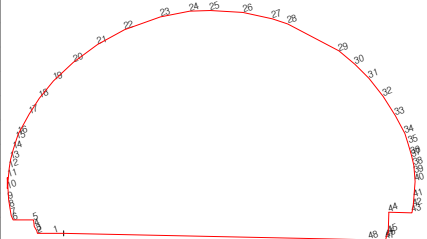
(가) 단면측량 결과

- 단면측량 결과, 건축한계에 저촉되는 구간은 없으며, 설계 값이랑 다소 차이가 있으나 이는 시공시 시공오차와 측정오차로 판단된다. 처짐이나 변형 등의 징후는 없어 구조물의 안전에는 이상이 없을 것으로 판단된다.

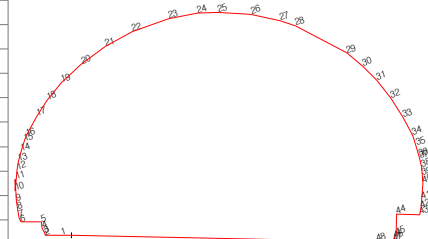
〈표 3.85〉 단면측량 결과(포항)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.0 +19.50	1	0.17	65.07	
	2	0.97	65.05	
	3	0.99	65.13	
	4	1.01	65.17	
	5	1.04	65.23	
	6	1.06	65.29	
	7	1.11	65.54	
	8	1.80	65.55	
	9	1.87	65.74	
	10	1.94	66.13	
	11	1.97	66.42	
	12	1.99	66.72	
	13	1.98	67.03	
	14	1.95	67.32	
	15	1.89	67.71	
	16	1.79	68.10	
	17	1.69	68.38	
	18	1.58	68.65	
	19	1.20	69.36	
	20	0.89	69.83	
	21	0.26	70.60	
	22	0.47	71.29	
	23	1.10	71.77	
	24	2.13	72.36	
	25	3.35	72.81	
	26	4.37	73.02	
	27	5.25	73.10	
	28	6.26	73.06	
	29	7.36	72.85	
	30	8.59	72.42	
	31	9.15	72.14	
	32	10.18	71.45	
	33	10.80	70.91	
	34	11.15	70.54	
	35	11.54	70.07	
	36	12.02	69.36	
	37	12.21	69.02	
	38	12.18	68.52	
	39	12.52	68.30	
	40	12.60	68.05	
	41	12.68	67.73	
	42	12.74	67.41	
	43	12.77	67.14	
	44	12.75	67.05	
	45	12.77	66.84	
	46	12.72	66.47	
	47	12.72	65.80	
	48	11.78	65.84	
	49	11.74	65.13	
	50	11.72	65.05	
	51	11.67	64.95	
	52	11.65	64.85	
	53	11.01	64.86	

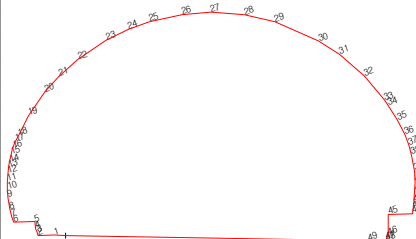
〈표 3.85〉 단면측량 결과(포항)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.8 +11.59	1	0.38	65.83	
	2	0.95	65.82	
	3	0.97	65.92	
	4	1.06	66.08	
	5	1.09	66.31	
	6	1.84	66.31	
	7	1.89	66.47	
	8	1.95	66.76	
	9	2.00	67.05	
	10	2.04	67.44	
	11	2.03	67.85	
	12	1.97	68.18	
	13	1.92	68.49	
	14	1.84	68.84	
	15	1.72	69.21	
	16	1.64	69.40	
	17	1.26	70.13	
	18	0.88	70.70	
	19	0.38	71.32	
	20	0.35	72.00	
	21	1.21	72.63	
	22	2.18	73.18	
	23	3.49	73.63	
	24	4.55	73.83	
	25	5.28	73.87	
	26	6.47	73.80	
	27	7.52	73.56	
	28	8.07	73.38	
	29	9.92	72.40	
	30	10.50	71.92	
	31	11.01	71.41	
	32	11.51	70.78	
	33	11.96	70.08	
	34	12.30	69.44	
	35	12.43	69.07	
	36	12.54	68.68	
	37	12.56	68.58	
	38	12.62	68.28	
	39	12.65	67.99	
	40	12.67	67.70	
	41	12.63	67.10	
	42	12.60	66.81	
	43	12.55	66.58	
	44	11.73	66.59	
	45	11.70	65.85	
	46	11.63	65.70	
	47	11.61	65.60	
	48	11.00	65.61	

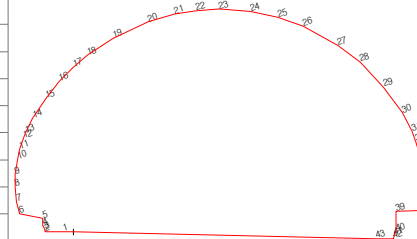
〈표 3.85〉 단면측량 결과(포항)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.18 +9.55	1	0.34	66.80	
	2	0.98	66.79	
	3	1.00	66.88	
	4	1.09	67.04	
	5	1.09	67.27	
	6	1.84	67.27	
	7	1.91	67.43	
	8	2.00	67.83	
	9	2.03	68.10	
	10	2.05	68.42	
	11	2.05	68.82	
	12	2.01	69.16	
	13	1.96	69.42	
	14	1.87	69.80	
	15	1.75	70.15	
	16	1.66	70.35	
	17	1.32	70.99	
	18	0.85	71.71	
	19	0.39	72.28	
	20	0.17	72.85	
	21	0.60	73.19	
	22	1.53	73.81	
	23	2.45	74.26	
	24	3.69	74.65	
	25	4.59	74.79	
	26	5.27	74.83	
	27	6.44	74.76	
	28	7.46	74.53	
	29	8.36	74.22	
	30	9.28	73.76	
	31	9.97	73.30	
	32	10.71	72.66	
	33	11.31	71.97	
	34	11.82	71.23	
	35	12.26	70.40	
	36	12.42	69.97	
	37	12.53	69.58	
	38	12.60	69.17	
	39	12.64	68.74	
	40	12.62	68.24	
	41	12.57	67.82	
	42	12.53	67.55	
	43	12.53	67.54	
	44	11.72	67.55	
	45	11.68	66.80	
	46	11.61	66.65	
	47	11.61	66.57	
	48	10.98	66.58	

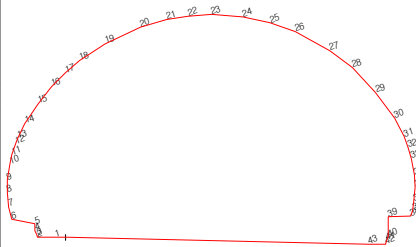
〈표 3.85〉 단면측량 결과(포항)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.27 +15.19	1	0.09	67.72	
	2	0.96	67.70	
	3	0.99	67.80	
	4	1.07	67.95	
	5	1.09	68.19	
	6	1.83	68.19	
	7	1.92	68.38	
	8	2.01	68.78	
	9	2.05	69.13	
	10	2.06	69.37	
	11	2.05	69.69	
	12	2.03	69.97	
	13	1.97	70.36	
	14	1.90	70.66	
	15	1.81	70.94	
	16	1.66	71.31	
	17	1.35	71.89	
	18	1.02	72.42	
	19	0.51	73.08	
	20	0.17	73.78	
	21	1.14	74.51	
	22	2.04	75.01	
	23	2.91	75.36	
	24	3.95	75.62	
	25	5.30	75.75	
	26	6.35	75.69	
	27	7.37	75.48	
	28	8.37	75.14	
	29	9.29	74.68	
	30	9.49	74.56	
	31	10.30	73.96	
	32	10.87	73.42	
	33	11.34	72.87	
	34	11.80	72.21	
	35	12.28	71.33	
	36	12.40	71.00	
	37	12.48	70.73	
	38	12.57	70.37	
	39	12.62	70.04	
	40	12.65	69.76	
	41	12.65	69.49	
	42	12.63	69.11	
	43	12.58	68.69	
	44	12.54	68.47	
	45	11.72	68.45	
	46	11.68	67.73	
	47	11.61	67.57	
	48	11.59	67.47	
	49	10.99	67.48	

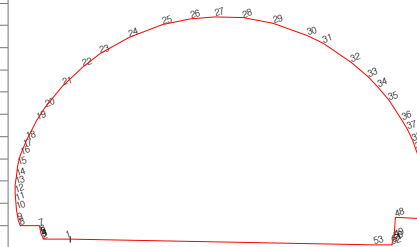
〈표 3.85〉 단면측량 결과(포항)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.41 +6.98	1	0.37	69.09	
	2	1.02	69.09	
	3	1.04	69.17	
	4	1.11	69.33	
	5	1.11	69.57	
	6	1.95	69.74	
	7	2.06	70.19	
	8	2.11	70.72	
	9	2.12	71.17	
	10	2.03	71.73	
	11	1.95	72.08	
	12	1.82	72.47	
	13	1.75	72.67	
	14	1.48	73.20	
	15	1.00	73.92	
	16	0.51	74.55	
	17	0.01	75.05	
	18	0.50	75.49	
	19	1.43	76.11	
	20	2.71	76.70	
	21	3.66	76.98	
	22	4.44	77.10	
	23	5.29	77.16	
	24	6.42	77.07	
	25	7.41	76.86	
	26	8.33	76.54	
	27	9.59	75.85	
	28	10.39	75.24	
	29	11.24	74.34	
	30	11.92	73.40	
	31	12.27	72.73	
	32	12.42	72.34	
	33	12.54	71.95	
	34	12.65	71.33	
	35	12.67	70.91	
	36	12.63	70.40	
	37	12.59	70.05	
	38	12.51	69.85	
	39	11.70	69.82	
	40	11.69	69.10	
	41	11.63	68.95	
	42	11.61	68.83	
	43	10.98	68.84	

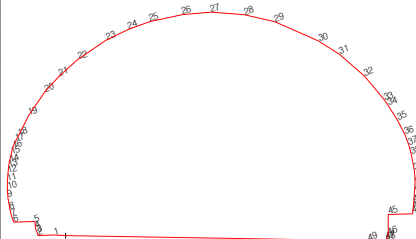
〈표 3.85〉 단면측량 결과(포항)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.51 +13.95	1	0.35	70.12	
	2	1.04	70.12	
	3	1.04	70.20	
	4	1.11	70.33	
	5	1.12	70.60	
	6	1.87	70.60	
	7	1.95	70.75	
	8	2.05	71.15	
	9	2.09	71.46	
	10	2.12	71.74	
	11	2.12	72.04	
	12	2.10	72.42	
	13	2.04	72.74	
	14	1.97	73.08	
	15	1.89	73.34	
	16	1.76	73.68	
	17	1.42	74.30	
	18	0.86	75.14	
	19	0.39	75.69	
	20	0.08	76.15	
	21	0.80	76.73	
	22	1.57	77.22	
	23	2.72	77.72	
	24	3.61	77.99	
	25	4.42	78.12	
	26	5.28	78.17	
	27	6.26	78.11	
	28	7.11	77.96	
	29	8.11	77.65	
	30	9.28	77.07	
	31	9.92	76.64	
	32	10.48	76.19	
	33	11.01	75.63	
	34	11.18	75.44	
	35	11.62	74.85	
	36	11.97	74.31	
	37	12.26	73.72	
	38	12.41	73.33	
	39	12.50	73.03	
	40	12.56	72.76	
	41	12.61	72.47	
	42	12.64	72.07	
	43	12.64	71.77	

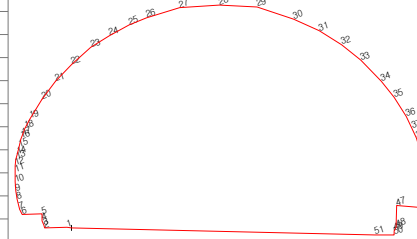
〈표 3.85〉 단면측량 결과(포항)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.60 +18.33	1	0.41	70.87	
	2	1.06	70.85	
	3	1.07	70.93	
	4	1.14	71.09	
	5	1.14	71.34	
	6	1.88	71.34	
	7	1.97	71.50	
	8	2.07	71.88	
	9	2.11	72.09	
	10	2.13	72.28	
	11	2.14	72.48	
	12	2.15	72.78	
	13	2.14	73.08	
	14	2.08	73.48	
	15	2.00	73.82	
	16	1.93	74.08	
	17	1.87	74.24	
	18	1.78	74.43	
	19	1.51	74.96	
	20	1.05	75.70	
	21	0.67	76.19	
	22	0.11	76.78	
	23	0.50	77.31	
	24	1.30	77.85	
	25	2.15	78.28	
	26	2.98	78.59	
	27	4.15	78.85	
	28	5.26	78.94	
	29	6.19	78.87	
	30	7.28	78.66	
	31	8.26	78.33	
	32	9.48	77.68	
	33	10.11	77.22	
	34	10.58	76.81	
	35	11.18	76.14	
	36	11.66	75.52	
	37	12.03	74.93	
	38	12.25	74.47	
	39	12.38	74.11	
	40	12.50	73.73	
	41	12.54	73.51	
	42	12.60	73.16	
	43	12.63	72.72	
	44	12.62	72.52	
	45	12.60	72.19	
	46	12.58	72.03	
	47	12.55	71.83	
	48	12.49	71.63	
	49	11.65	71.61	
	50	11.65	70.87	
	51	11.59	70.73	
	52	11.59	70.64	
	53	10.93	70.65	

〈표 3.85〉 단면측량 결과(포항)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.69 +9.43	1	0.42	70.28	
	2	1.01	70.26	
	3	1.03	70.36	
	4	1.10	70.52	
	5	1.12	70.76	
	6	1.89	70.75	
	7	1.96	70.93	
	8	2.02	71.22	
	9	2.09	71.63	
	10	2.11	71.91	
	11	2.12	72.21	
	12	2.10	72.51	
	13	2.07	72.73	
	14	2.04	72.90	
	15	1.98	73.19	
	16	1.92	73.42	
	17	1.83	73.64	
	18	1.73	73.86	
	19	1.35	74.60	
	20	0.75	75.46	
	21	0.25	76.02	
	22	0.44	76.63	
	23	1.46	77.32	
	24	2.26	77.72	
	25	3.03	78.00	
	26	4.21	78.26	
	27	5.25	78.33	
	28	6.47	78.24	
	29	7.57	77.99	
	30	9.16	77.29	
	31	9.91	76.81	
	32	10.82	76.02	
	33	11.53	75.16	
	34	11.68	74.97	
	35	12.01	74.44	
	36	12.27	73.91	
	37	12.41	73.54	
	38	12.51	73.19	
	39	12.62	72.60	
	40	12.65	72.19	
	41	12.64	71.84	
	42	12.61	71.48	
	43	12.58	71.25	
	44	12.55	71.05	
	45	11.69	71.03	
	46	11.67	70.28	
	47	11.61	70.13	
	48	11.61	70.05	
	49	10.95	70.07	

〈표 3.85〉 단면측량 결과(포항)(계속)

단면	측점	금회 진단		단면측량결과
		X좌표	Y좌표	
No.79 +0.64	1	0.15	67.89	
	2	0.97	67.86	
	3	1.00	67.96	
	4	1.07	68.12	
	5	1.07	68.37	
	6	1.78	68.35	
	7	1.87	68.55	
	8	1.97	68.91	
	9	2.01	69.21	
	10	2.04	69.53	
	11	2.04	69.89	
	12	2.03	70.12	
	13	2.00	70.36	
	14	1.97	70.52	
	15	1.90	70.80	
	16	1.82	71.10	
	17	1.78	71.22	
	18	1.69	71.48	
	19	1.50	71.83	
	20	1.06	72.55	
	21	0.58	73.18	
	22	0.00	73.80	
	23	0.72	74.41	
	24	1.38	74.84	
	25	2.09	75.23	
	26	2.73	75.50	
	27	3.93	75.86	
	28	5.38	75.95	
	29	6.74	75.89	
	30	8.07	75.45	
	31	9.01	75.02	
	32	9.81	74.52	
	33	10.52	73.95	
	34	11.26	73.19	
	35	11.72	72.60	
	36	12.17	71.92	
	37	12.38	71.47	
	38	12.53	71.11	
	39	12.60	70.86	
	40	12.68	70.51	
	41	12.74	70.11	
	42	12.77	69.73	
	43	12.75	69.32	
	44	12.71	69.00	
	45	12.70	68.84	
	46	12.66	68.62	
	47	11.81	68.67	
	48	11.80	67.90	
	49	11.73	67.75	
	50	11.72	67.61	
	51	11.02	67.61	

3.5 현장조사 및 시험 결과요약

3.5.1 외관조사 결과요약

바. 외관조사 결과

〈표 3.86〉 외관조사 손상수량 집계(부산)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
라 이 닝	균열	• 건조수축과 온도변화에 의한 것으로 폭 0.3mm미만 균열, 0.3mm이상 균열이 조사됨.
	누수 및 백태	• 상태 양호.
	단면손상	• 콘크리트 라이닝 및 벽체에서 철근노출 손상이 조사됨.
	측벽부 타일마감	• 전반적으로 양호한 상태이나 일부에서 타일탈락 및 타일파손의 손상이 조사됨.
공동구	• 공동구 벽체에 폭 0.3mm이상 및 미만의 균열, 파손, 파손(철근노출), 굽힘 등의 손상이 조사되었고, 공동구 덮개 파손, 난간 파손이 다수 조사됨.	• 건조수축과 온도변화에 의한 것으로 구조물의 내구성에는 영향을 미치지 않는 부재로써 국부적으로 발생한 공동구 벽체의 손상은 주기적인 점검을 통해 손상의 확대여부에 따라 보수함이 바람직함. • 터널내 차량 사고로 인해 공동구벽체, 덮개, 난간 파손이 발견되었으며 터널기능에는 문제가 없지만 사고구간은 보수하는 것이 바람직함.
배수시설	• 배수로 콘크리트에서 폭 0.3mm 이상 및 미만의 균열, 파손이 조사되었고, 배수구 본체에서 토사퇴적 및 배수구 스틸 그레이팅 부식이 다수 조사됨.	• 배수로 상면에서 발생한 폭 0.3mm 이상 및 미만의 균열, 파손은 터널에 미치는 영향이 없어 보수보단 지속적인 관리가 필요하고, 토사퇴적은 원활한 배수를 위해 일괄적 청소가 필요하며, 부식에 대해서는 지속적인 주의관찰을 통한 유지관리가 필요함.
시·중점부 갭문	• 상태 양호.	• 구조물의 안전을 저해할 만한 별다른 손상은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인됨.
사면 및 외부배수로	• 상태 양호.	• 배수로 모두 원활한 배수가 이루어지고 사면 내 지반변형, 구조물변형 등의 징후는 없는 양호한 상태로 확인됨.
포장면	• 포장면 균열, 포장 파손, 재료분리 등의 손상이 조사됨.	• 차량의 반복하중 및 중차량에 의한 충격에 의한 것으로 조사된 손상에 대해서는 범위가 확대될 가능성이 있으므로 지속적인 유지관리가 필요함.
피난연락경	• 상태 양호.	• 구조물의 안전을 저해할 만한 별다른 손상은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인됨.
부속시설	• 전반적으로 양호한 상태이나 조명유리 파손이 조사됨.	• 터널의 구조적 안전성과 내구성에 영향은 없지만, 터널 내 주행차량의 안전한 통행을 위하여 주기적인 유지관리가 필요함.

〈표 3.87〉 외관조사 손상수량 집계(포항)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
라 이 닝	균열	• 0.3mm미만 균열, 0.3mm이상 균열이 조사됨.
	누수 및 백태	• Sp181구간에서 백태가 조사됨.
	단면손상	• 콘크리트 라이닝 일부에서 경미한 박락, 파손, 보수재 박리가 조사됨.
	측벽부 타일마감	• 전반적으로 양호한 상태이나 일부에서 타일탈락 및 타일파손의 손상이 조사됨.
공동구	• 공동구 벽체에 폭 0.3mm이상 및 미만의 균열, 파손 등의 손상이 조사되었고, 공동구 덮개 파손, 난간볼트 망실이 조사됨.	• 건조수축과 온도변화에 의한 것으로 구조물의 내구성에는 영향을 미치지 않는 부재로써 국부적으로 발생한 공동구 벽체의 손상은 주기적인 점검을 통해 손상의 확대여부에 따라 보수함이 바람직함.
배수시설	• 배수로 콘크리트에서 폭 0.3mm 이상 및 미만의 균열, 파손이 조사되었고, 배수구 본체에서 토사퇴적 및 배수구 스틸 그레이팅 부식이 다수 조사됨.	• 배수로 상면에서 발생한 폭 0.3mm 이상 및 미만의 균열, 파손은 터널에 미치는 영향이 없어 보수보단 지속적인 관리가 필요하고, 토사퇴적은 원활한 배수를 위해 일괄적 청소가 필요하며, 부식에 대해서는 지속적인 주의관찰을 통한 유지관리가 필요함.
시·중점부 갭문	• 상태 양호.	• 구조물의 안전을 저해할 만한 별다른 손상은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인됨.
사면 및 외부배수로	• 상태 양호.	• 배수로 모두 원활한 배수가 이루어지고 사면 내 지반변형, 구조물변형 등의 징후는 없는 양호한 상태로 확인됨.
포장면	• 포장면 균열, 망상균열, 포장 파손, 재료 분리 등의 손상이 조사됨.	• 차량의 반복하중 및 중차량에 의한 충격에 의한 것으로 조사된 손상에 대해서는 범위가 확대될 가능성이 있으므로 지속적인 유지관리가 필요함.
피난연락경	• 라이닝에서 0.3mm미만 균열, 파손이 조사됨.	• 장기적인 내구성 확보를 위하여 0.3mm미만 균열은 표면처리공법, 파손은 단면보수가 필요함.
부속시설	• 상태 양호.	• 터널의 구조적 안전성과 내구성에 영향은 없지만, 터널 내 주행차량의 안전한 통행을 위하여 주기적인 유지관리가 필요함.

사. 외관조사 손상수량 집계

〈표 3.88〉 외관조사 손상수량 집계(부산)

구 분		결합 및 손상, 열화내용	단위	수 량	조치방안
라이닝	천단부	· 종균열(0.3mm이상)	m/개소	33.0 / 8	주입보수
		· 종균열(0.3mm미만)	m/개소	24.9 / 17	표면처리
		· 횡균열(0.3mm미만)	m/개소	8.9 / 8	표면처리
		· 사균열(0.3mm이상)	m/개소	16.0 / 6	주입보수
		· 사균열(0.3mm미만)	m/개소	74.6 / 26	표면처리
		· 보수부재균열(0.3mm이상)	m/개소	12.0 / 1	주입보수
		· 보수부재균열(0.3mm미만)	m/개소	262.8 / 38	표면처리
		· 철근노출	m ² /개소	0.25 / 7	단면보수(방청)
	벽체부	· 횡균열(0.3mm이상)	m/개소	6.8 / 26	주입보수
		· 횡균열(0.3mm미만)	m/개소	2.3 / 11	표면처리
		· 파손	m ² /개소	0.02 / 1	단면보수
		· 타일탈락	개소	9	타일 재시공
		· 타일파손	개소	1	주의관찰
	공동구	· 균열(0.3mm이상)	m/개소	52.6 / 76	주의관찰
		· 균열(0.3mm미만)	m/개소	335.6 / 379	주의관찰
		· 망상균열	m ² /개소	1.2 / 1	주의관찰
		· 파손	m ² /개소	3.81 / 39	단면보수
· 파손 및 철근노출		m ² /개소	0.75 / 1	단면보수(방청)	
· 굽힘		m ² /개소	0.6 / 1	주의관찰	
· 덮개파손		개소	114	재설치, 주의관찰	
· 난간파손		m/개소	46.0 / 2	재설치	
· 난간지주탈락		개소	1	주의관찰	
배수로	· 균열(0.3mm이상)	m/개소	43.4 / 74	주의관찰	
	· 균열(0.3mm미만)	m/개소	49.0 / 86	주의관찰	
	· 파손	m ² /개소	0.5 / 5	주의관찰	
배수시설	· 집수구토사퇴적	개소	49	청소	
	· 그레이팅부식	m ² /개소	16.85 / 50	주의관찰	
포장부	· 포장균열	m/개소	11.6 / 5	주의관찰	
	· 포장파손	m ² /개소	0.8 / 21	주의관찰	
	· 포장재료분리	m ² /개소	0.6 / 2	주의관찰	
기타시설	· 조명커버파손	개소	1	주의관찰	

〈표 3.89〉 외관조사 손상수량 집계(포항)

구 분		결합 및 손상, 열화내용	단위	수 량	조치방안
라이닝	천단부	· 종균열 (0.3mm이상)	m/개소	54.0 / 17	주입보수
		· 종균열 (0.3mm미만)	m/개소	72.5 / 23	표면처리
		· 횡균열 (0.3mm이상)	m/개소	0.5 / 1	주입보수
		· 횡균열 (0.3mm미만)	m/개소	12.1 / 7	표면처리
		· 사균열 (0.3mm이상)	m/개소	1.5 / 1	주입보수
		· 사균열 (0.3mm미만)	m/개소	7.0 / 6	표면처리
		· 보수부재균열 (0.3mm이상)	m/개소	33.0 / 4	주입보수
		· 보수부재균열 (0.3mm미만)	m/개소	318.0 / 37	표면처리
		· 망상균열	m²/개소	2.0 / 1	주의관찰
		· 박락	m²/개소	0.03 / 1	단면보수
		· 보수재박리	m²/개소	0.3 / 1	주의관찰
	벽체부	· 종균열 (0.3mm이상)	m/개소	0.5 / 1	주입보수
		· 횡균열 (0.3mm이상)	m/개소	37.6 / 68	주입보수
		· 횡균열 (0.3mm미만)	m/개소	1.9 / 8	표면처리
		· 사균열 (0.3mm이상)	m/개소	0.2 / 1	주입보수
		· 백태	m²/개소	0.75 / 2	주의관찰
		· 파손	m²/개소	0.04 / 2	단면보수
		· 타일탈락	개소	15	타일 재시공
		· 타일파손	개소	3	
		공동구	· 균열 (0.3mm이상)	m/개소	121.5 / 135
· 균열 (0.3mm미만)	m/개소		164.0 / 153	주의관찰	
· 보수부재균열 (0.3mm미만)	m/개소		2.3 / 3	주의관찰	
· 파손	m²/개소		0.48 / 9	단면보수	
· 덮개 파손	개소		42	주의관찰	
· 난간볼트망실	개소		2	주의관찰	
배수로	· 균열 (0.3mm이상)	m/개소	21.9 / 50	주의관찰	
	· 균열 (0.3mm미만)	m/개소	34.2 / 48	주의관찰	
	· 파손	m²/개소	0.36 / 4	주의관찰	
	· 박리	m²/개소	5.0 / 1	주의관찰	
배수시설	· 집수구토사퇴적	개소	64	청소	
	· 그레이팅부식	m²/개소	36.3 / 63	주의관찰	
포장부	· 포장균열	m/개소	194.7 / 88	주의관찰	
	· 포장망상균열	m²/개소	9.0 / 3	주의관찰	
	· 포장파손	m²/개소	1.49 / 28	주의관찰	
	· 포장재료분리	m²/개소	2.1 / 2	주의관찰	
피난연락경	· 균열 (0.3mm미만)	m/개소	0.9 / 3	표면처리	
	· 파손	m²/개소	0.02 / 1	단면보수	

아. 기 점검(2016년) 결과와의 비교

〈표 3.90〉 외관조사 기 점검 결과와의 비교(부산)

결함 및 손상내용		2016년 점검		금회 진단		증 감	비 고
		물량	단위	물량	단위		
라이닝	천단부	균열 (cw=0.3mm이상)	109.2	m	49.0	m	▼ 60.2
		균열 (cw=0.3mm미만)	129.6	m	108.4	m	▼ 21.2
		보수부재균열(cw=0.3mm이상)	—	—	12.0	m	▲ 12.0
		보수부재균열(cw=0.3mm미만)	—	—	262.8	m	▲ 262.8
		철근노출	—	—	0.25	m'	▲ 0.25
	벽체	균열 (cw=0.3mm이상)	—	—	6.8	m	▲ 6.8
		균열 (cw=0.3mm미만)	—	—	2.3	m	▲ 2.3
		파손	0.06	m'	0.02	m'	▼ 0.04
		타일탈락	3	EA	9	EA	▲ 6
		타일 파손	—	—	1	EA	▲ 1
	공동구	균열 (cw=0.3mm이상)	—	—	52.6	m	▲ 52.6
		균열 (cw=0.3mm미만)	321.8	m	335.6	m	▲ 13.8
		망상균열	—	—	1.2	m'	▲ 1.2
		파손	3.12	m'	3.81	m'	▲ 0.69
		파손 및 철근노출	—	—	0.75	m'	▲ 0.75
		굽힘	—	—	0.6	m'	▲ 0.6
		덮개 파손	2	EA	114	EA	▲ 112
		난간 파손	—	—	46.0	m	▲ 46.0
배수로	배수로	균열 (cw=0.3mm이상)	—	—	43.4	m	▲ 43.4
		균열 (cw=0.3mm미만)	—	—	49.0	m	▲ 49.0
		파손	—	—	0.5	m'	▲ 0.5
배수시설	배수시설	집수구토사퇴적	—	—	49	EA	▲ 49
		그레이팅부식	—	—	16.85	m'	▲ 16.85
포장부	포장부	포장균열	—	—	11.6	m	▲ 11.6
		포장파손	0.05	m'	0.8	m'	▲ 0.75
		포장재료분리	—	—	0.6	m'	▲ 0.6
기타시설	기타시설	조명커버 파손	—	—	1	EA	▲ 1
검토의견	■ 기 점검(2016년) 이후 일부 손상에 대한 보수가 이루어진 것으로 확인되었으나, '정밀점검'과 '정밀안전진단'의 차이로 인한 기존조사 누락 및 신규손상 증가로 금회 조사를 통해 손상이 추가적으로 조사됨.						

〈표 3.91〉 외관조사 기 점검 결과와의 비교(포항)

결함 및 손상내용		2016년 점검		금회 진단		증 감	비 고
		물량	단위	물량	단위		
라이닝	천단부	균열 (cw=0.3mm이상)	60.9	m	56.0	m	▼ 4.9
		균열 (cw=0.3mm미만)	103.7	m	91.6	m	▼ 12.1
		보수부재균열(cw=0.3mm이상)	—	—	33.0	m	▲ 33.0
		보수부재균열(cw=0.3mm미만)	—	—	318.0	m	▲ 318.0
		망상균열	—	—	2.0	m'	▲ 2.0
	벽체	박락	0.06	m'	0.03	m'	▼ 0.03
		보수재박리	—	—	0.3	m'	▲ 0.3
		균열 (cw=0.3mm이상)	—	—	38.3	m	▲ 38.3
		균열 (cw=0.3mm미만)	—	—	1.9	m	▲ 1.9
		백태	—	—	0.75	m'	▲ 0.75
		파손	—	—	0.04	m'	▲ 0.04
		타일탈락	6	EA	15	EA	▲ 9
		타일 파손	—	—	3	EA	▲ 3
	공동구	균열 (cw=0.3mm이상)	1.3	m	121.5	m	▲ 120.2
		균열 (cw=0.3mm미만)	65.7	m	164.0	m	▲ 98.3
		보수부재균열(0.3mm미만)	—	—	2.3	m	▲ 2.3
		파손	—	—	0.48	m'	▲ 0.48
		덮개 파손	5	EA	42	EA	▲ 37
		난간볼트망실	—	—	2	EA	▲ 2
배수로	배수로	균열 (0.3mm이상)	—	—	21.9	m	▲ 21.9
		균열 (0.3mm미만)	—	—	34.2	m	▲ 34.2
		파손	—	—	0.36	m'	▲ 0.36
배수시설	배수시설	박리	—	—	5.0	m'	▲ 5.0
		집수구토사퇴적	—	—	64	EA	▲ 64
포장부	포장부	그레이팅부식	—	—	36.3	m'	▲ 36.3
		포장균열	28.0	m	194.7	m	▲ 166.7
		포장망상균열	—	—	9.0	m'	▲ 9.0
		포장파손	1.95	m'	1.49	m'	▼ 0.46
피난갱	피난갱	포장재료분리	—	—	2.1	m'	▲ 2.1
		균열 (0.3mm미만)	—	—	0.9	m	▲ 0.9
		파손	—	—	0.02	m'	▲ 0.02
검토의견	■ 기 점검(2016년) 이후 일부 손상에 대한 보수가 이루어진 것으로 확인되었으나, '정밀점검'과 '정밀안전진단'의 차이로 인한 기존조사 누락 및 신규손상 증가로 금회 조사를 통해 손상이 추가적으로 조사됨.						

3.5.2 내구성조사 결과요약

자. 금회 진단 내구성조사 결과요약

〈표 3.92〉 금회 진단 내구성조사 결과요약(부산)

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
비파괴 강도 (MPa)	터 널 라이닝	반발경도법		25.0~31.8	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용 년 수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하는 없는 것으로 조사됨.
		초음파법		25.5~29.6	
철근탐사 (mm)	터 널 라이닝	배근 간격	주철근	120~130	■ 전반적으로 배근간격은 설계도면 과 대체로 유사한 상태이며, 대부 분의 개소에서 피복두께가 설계피 복보다 크게 나타나나 이로 인한 터널의 안전성 저하 우려는 없는 양호한 상태임.
			배력철근	145~155	
		피복 두께	주철근	69~73	
			배력철근	87~93	
탄산화 진행깊이 (mm)	터 널 라이닝		3.9~6.1		■ 잔여깊이 30mm이상의 'a등급' 으 로 탄산화로 인한 내구성 저하 가 능성은 없는 것으로 검토됨.
염화물 함유량시험 (kg/m³)	터 널 라이닝		0.020~0.165		■ 철근위치에서의 염화물함유량은 'a' 등급으로 염화물에 의한 부식이 발 생할 우려가 없는 상태임.
	갯구부		0.048		
단면측량	터널 라이닝		양호		■ 건축한계에 저촉되는 구간은 없으 며 터널 단면은 준공도면과 대체 로 유사함.
종합평가	■ 비파괴강도 측정결과 공용 년 수 경과에 따른 구조물의 강도 저하는 없는 상태이며, 탄 산화깊이 및 염화물함유량 시험, 철근부식도 시험 결과 철근부식으로 인한 구조물의 내 구성 저하 우려는 없는 상태임.				

〈표 3.93〉 금회 진단 내구성조사 결과요약(포항)

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
비파괴 강도 (MPa)	터 널 라이닝	반발경도법		24.8~31.8	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용 년 수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하는 없는 것으로 조사됨.
		초음파법		24.5~30.1	
철근탐사 (mm)	터 널 라이닝	배근 간격	주철근	120~130	■ 전반적으로 배근간격은 설계도면 과 대체로 유사한 상태이며, 대부 분의 개소에서 피복두께가 설계피 복보다 크게 나타나나 이로 인한 터널의 안전성 저하 우려는 없는 양호한 상태임.
			배력철근	145~155	
		피복 두께	주철근	68~73	
			배력철근	87~92	
탄산화 진행깊이 (mm)	터 널 라이닝		3.2~5.7		■ 잔여깊이 30mm이상의 'a등급' 으 로 탄산화로 인한 내구성 저하 가 능성은 없는 것으로 검토됨.
염화물 함유량시험 (kg/m³)	터 널 라이닝		0.066~0.115		■ 철근위치에서의 염화물함유량은 'a' 등급으로 염화물에 의한 부식이 발 생할 우려가 없는 상태임.
	갯구부		0.048		
단면측량	터널 라이닝		양호		■ 건축한계에 저촉되는 구간은 없으 며 터널 단면은 준공도면과 대체 로 유사함.
종합평가	■ 비파괴강도 측정결과와 공용 년 수 경과에 따른 구조물의 강도 저하는 없는 상태이며, 탄산화깊이 및 염화물함유량 시험, 철근부식도 시험 결과 철근부식으로 인한 구조물의 내구성 저하 우려는 없는 상태임.				

차. 기 점검(2016년) 결과와의 비교

〈표 3.94〉 내구성조사 기 점검 결과와의 비교(부산)

구 분			2016년 점검결과	금회 진단결과	비 고	
반발경도법 (MPa)	터 널 라이닝	반발경도법	24.5~31.5	25.0~31.8	■ 기 점검 결과와 유사한 값을 나타내며 공용 년 수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하 없음. ■ 기 점검시 초음파시험 미실시로 비교불가	
		초음파법	－	25.5~29.6		
철근탐사 (mm)	터 널 라이닝	배 근 간격	주철근	－	120~130	■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀 안전진단으로, 기 점검('16년)시 철근탐사시험은 기본과업이 아니므로 비교·분석이 불가하였음.
			배력철근	－	145~155	
		피 복 두께	주철근	－	69~73	
			배력철근	－	87~93	
탄산화 진행깊이 (mm)	터 널 라이닝		3.0~4.3	3.9~6.1	■ 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 조사됨	
염화물 함유량시험 (kg/m³)	터 널 라이닝		－	0.020~0.165	■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀 안전진단으로, 기 점검('16년)시 염화물 함유량 시험은 기본과업이 아니므로 비교·분석이 불가하였음.	
	갱구부		－	0.048		
검토의견			■ 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도 대비 100%이상으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이 측정결과, 터널 라이닝은 상태평가 “a” 로 검토되어 현 상태에서 탄산화에 의한 철근부식의 우려는 없는 상태임.			

〈표 3.95〉 내구성조사 기 진단 결과와의 비교(포항)

구 분			2016년 점검결과	금회 진단결과	비 고	
반발경도법 (MPa)	터 널 라이닝	반발경도법	24.1~31.9	24.8~31.8	■ 기 점검 결과와 유사한 값을 나타내며 공용년 수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하 없음. ■ 기 점검시 초음파시험 미실시로 비교불가	
		초음파법	—	24.5~30.1		
철근탐사 (mm)	터 널 라이닝	배근 간격	주철근	—	■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀 안전진단으로, 기 점검('16년)시 철근탐사시험은 기본과업이 아니므로 비교·분석이 불가하였음.	
			배력철근	—		145~155
		피복 두께	주철근	—		68~73
			배력철근	—		87~92
탄산화 진행깊이 (mm)	터 널 라이닝		3.5~7.3	3.2~5.7	■ 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 조사됨.	
염화물 함유량시험 (kg/m ³)	터 널 라이닝		—	0.066~0.115	■ 본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀 안전진단으로, 기 점검('16년)시 염화물 함유량 시험은 기본과업이 아니므로 비교·분석이 불가하였음.	
	갱구부		—	0.048		
검토의견			■ 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도 대비 100%이상으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이 측정결과, 터널 라이닝은 상태평가 “a” 로 검토되어 현 상태에서 탄산화에 의한 철근부식의 우려는 없는 상태임.			