

제 4 장 내구성 시험 및 평가

4.1 조사 개요

4.2 콘크리트 내구성시험 결과

제 4 장 내구성조사

4.1 조사 개요

4.1.1 개요

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

본 과업의 재료시험은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편, 국토교통부/국토안전관리원 2024.12)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

가. 재료시험 및 측정 현황

본 과업에서 재료시험을 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험), 철근탐사시험(피복 두께측정), 탄산화깊이 측정 등을 실시하였으며, 각 재료시험 현황은 <표 4.1.1>과 같다.

<표 4.1.1> 재료시험 및 측정 현황

구분	조사항목(세부지침)		수량(개소)				비 고
	상부구조	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시험	• 50m마다	• 50m마다	17	17	17	17	-
철근탐사 시험	• 과업 내용에 의해 조사 및 수량결정		-	-	6	7	탄산화 위치와 동일
탄산화깊이 측 정	• 5경간이내 : 2~3개소 ¹⁾ • 5경간이상 : 3~6개소 ²⁾		6		6	7	

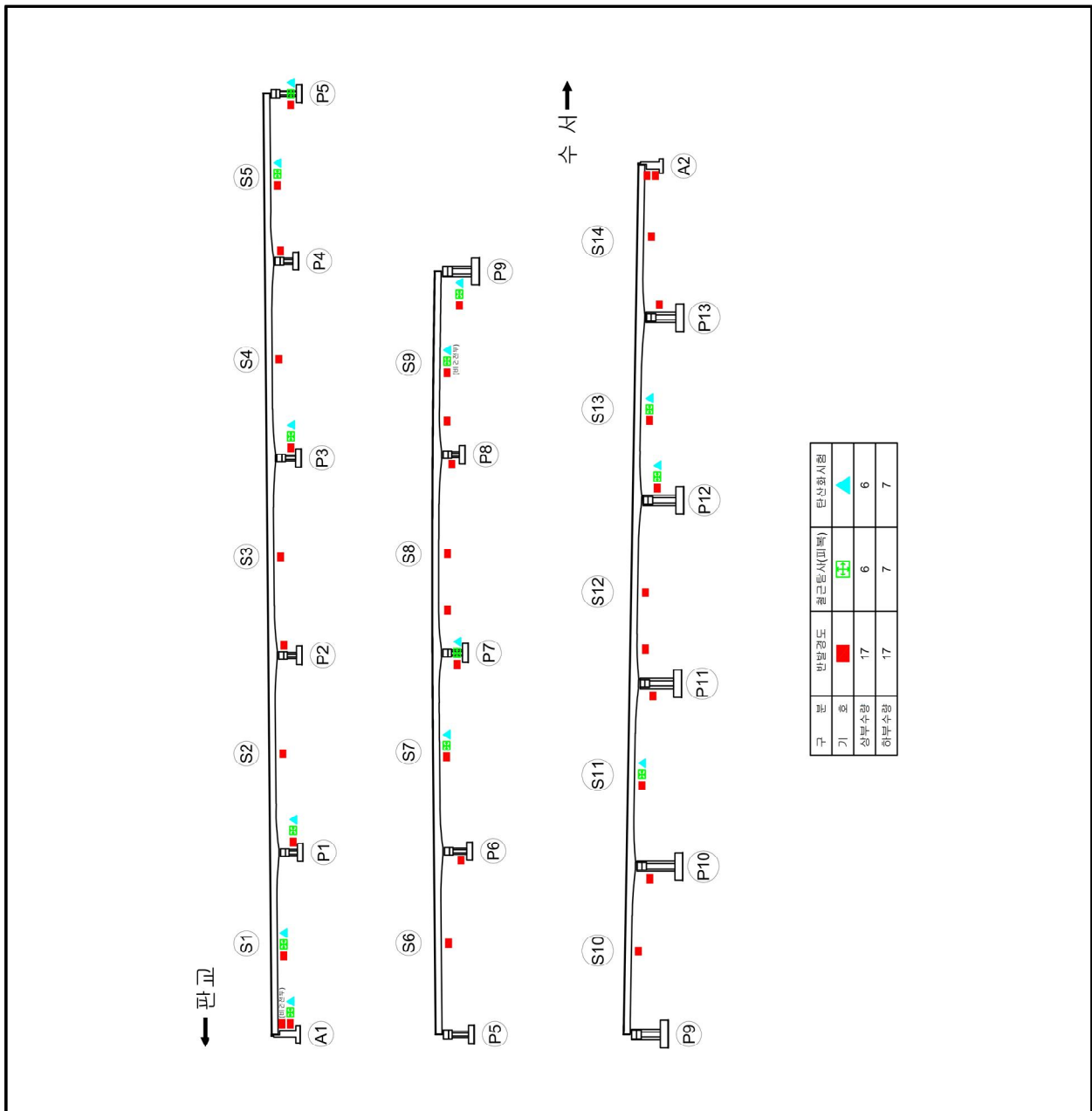
주1) 교량 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시

주2) 교량 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시

나. 재료시험 및 측정 위치 선정사유

상부구조(STB) 및 하부구조 외관조사 결과, 재료시험의 정확한 결과 값을 얻기 위하여 접근성이 용이하고 콘크리트 표면의 요철 및 곰보자국 등을 피하여 외관상 양호한 곳에서 비파괴시험 수행을 원칙으로 하였으며, 일부 불량부에 대해서는 충분한 그라인딩(요철제거) 후 내구성 시험을 실시하였다.

다. 시험 및 측정 위치도



<그림 4.1.1> 재료시험 및 측정 위치도

라. 재료시험 전경



시험 전 먼정리 전경



반발경도 시험 전경 ①



반발경도 시험 전경 ②



철근탐사 시험 전경 ①



철근탐사 시험 전경 ②



측정부 드릴링 전경



탄산화 잔여깊이 측정 전경 ①



탄산화 잔여깊이 측정 전경 ②

<사진 4.1.1> 재료시험 전경

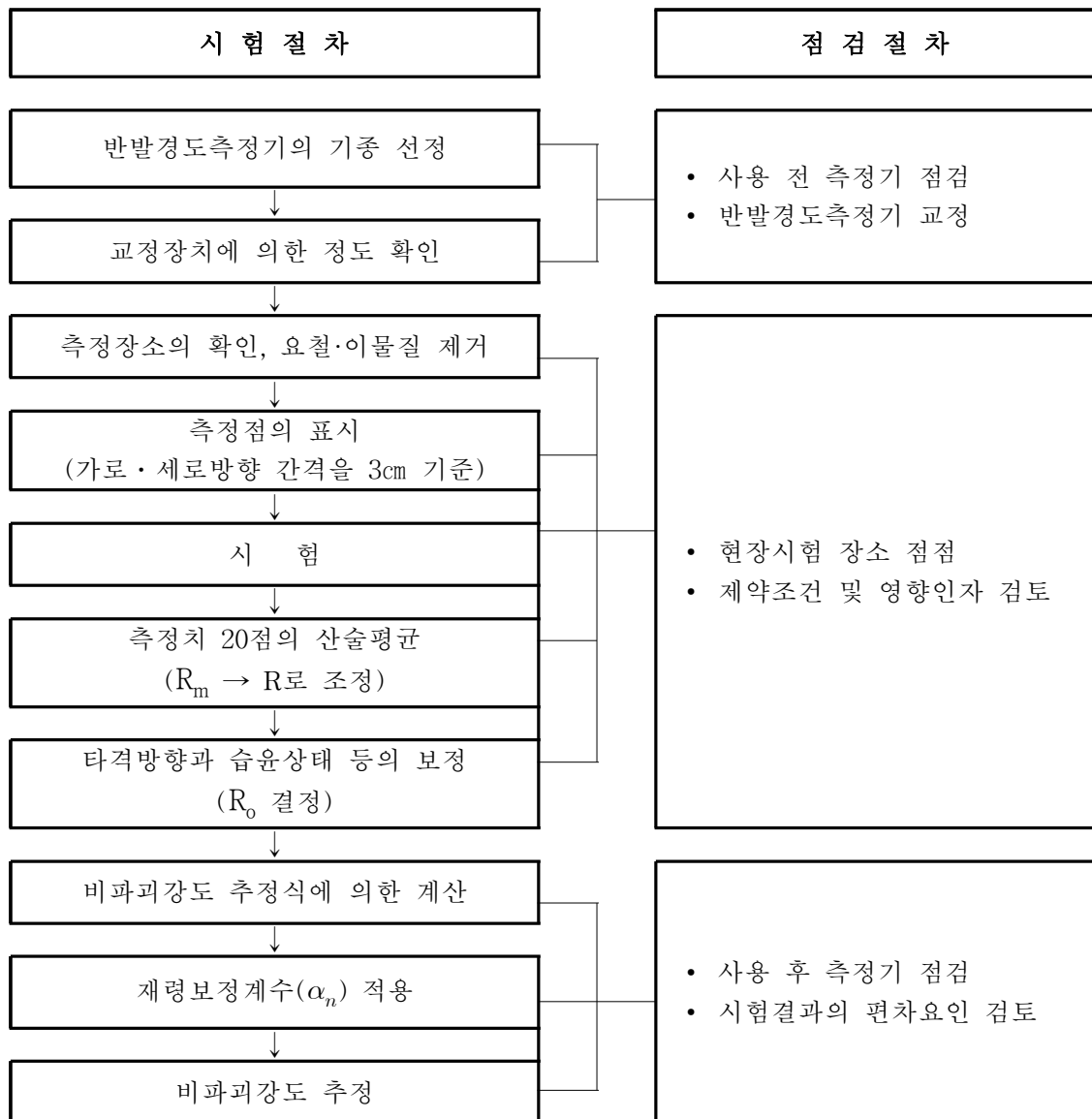
4.1.2 시험내용 및 평가기준

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 타격시, 반발경도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

① 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



<그림 4.1.2> 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.

② 보정반발경도(R_o)

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

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 \ a	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

③ 압축강도의 추정

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

<표 4.1.2> 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분		추 정 식(MPa)	비 고
보통 콘크리트	일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회적용
	동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098$	-
	일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회적용
	U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_o + 0.0932R_o^2) \times 0.098$	-
고강도 콘크리트	한국시설안전공단	$F_c = (17.2R_o - 214) \times 0.098$	-
	과학기술부	$F_c = (15.2R_o - 112.8) \times 0.098$	금회적용
	권영웅 외	$F_c = (2.304R_o - 38.8) \times 0.1$	금회적용

주) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

주) 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전공단(2006.12) 참조

주) 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편, 국토교통부, 국토안전관리원, 2024.12) 참조

④ 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 <표 4.1.3>과 같으며, 2000일 이상의 재령에 대해서는 0.64를 적용한다.

<표 4.1.3> 재령계수 α 의 값

재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	2000	3000
α	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.64	0.63

단, 과학기술부 $R_o = R \times \alpha$ ($\alpha = 6.36/t + 0.7$, t : 28일보다 큰 재령일수)

나. 철근탐사시험

1) 개요

본 시험은 전자파레이더를 이용한 철근탐사 시험기(RC Radar)를 활용하여 철근콘크리트 구조물에 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 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 왕복전파 시간으로부터 반사물체까지의 거리를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다. 원리를 아래 <그림 4.1.3>에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

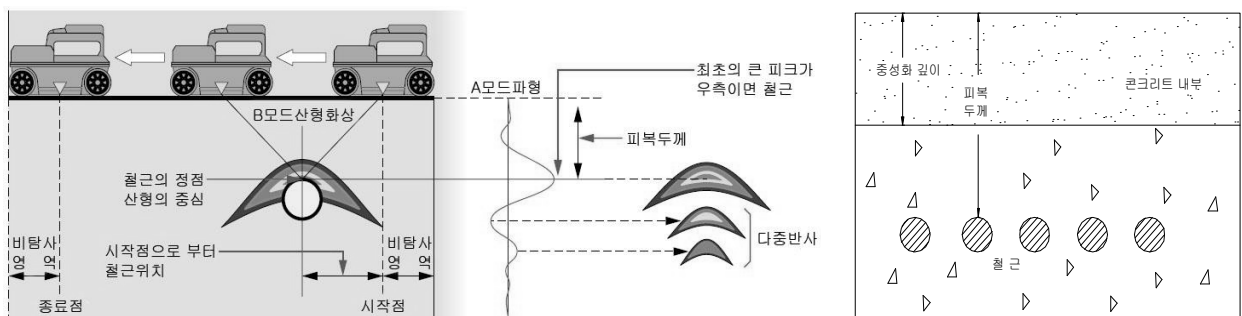
$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m/sec})$$

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.

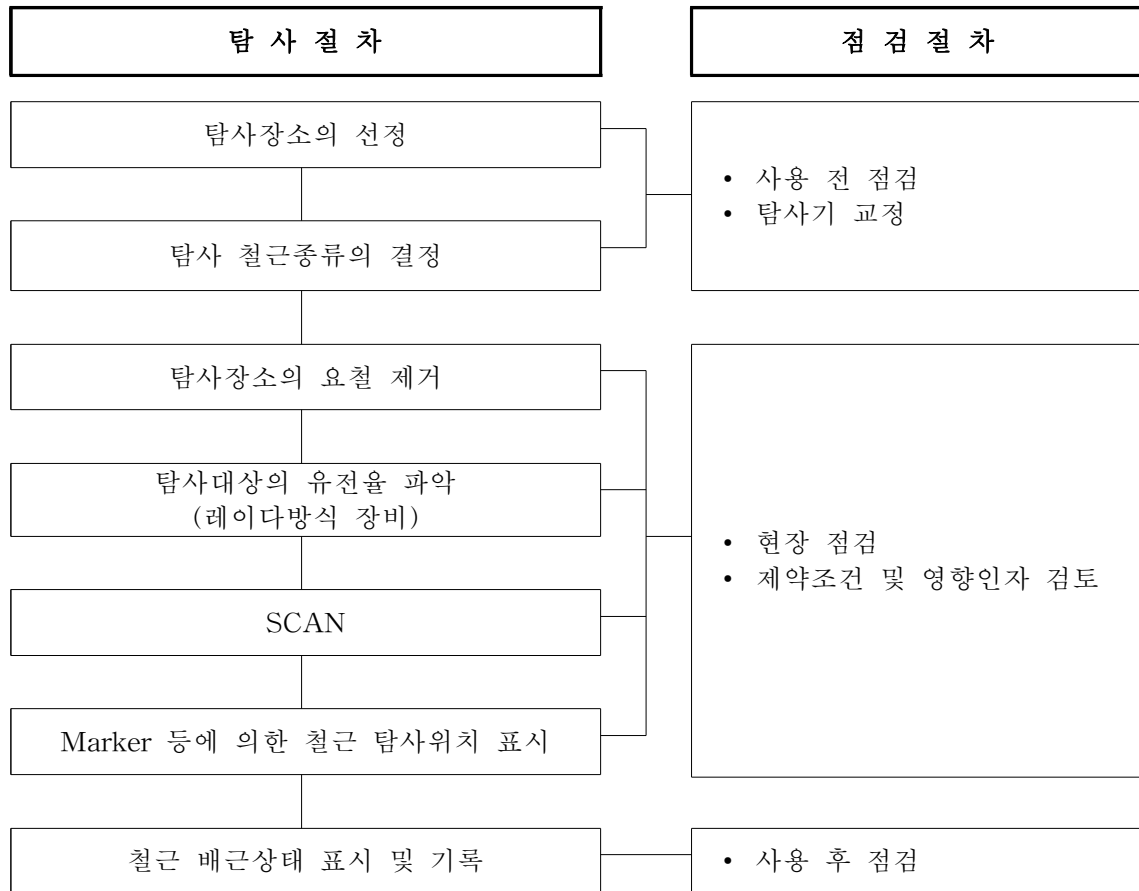
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (\text{m})$$



<그림 4.1.3> 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

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



<그림 4.1.4> 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

4) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

① 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
 - 100mm이하의 피치로 배근되어 있는 경우, 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우

② 적용한계

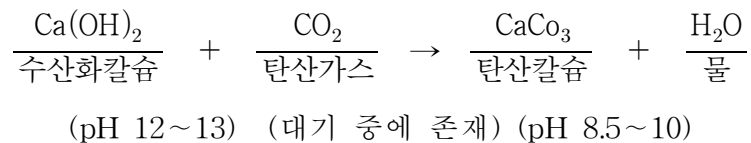
- 탐사대상 물체의 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
- 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우

- 비유전율에 따라 피복두께 차이가 있으므로 탐사 대상물의 비유전율을 추정하기 어려움
- 철근직경과 복철근 및 경사철근의 판독 불가능
- 탐사대상 표면에 요철이 많은 장소는 탐사결과 신뢰성 저하

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 12~13정도의 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.

	STEP 1 • 정상, 재료 및 강도상의 변화는 거의 없음 (약간의 건조수축에 의한 균열)
	STEP 2 • 녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생
	STEP 3 • 철근의 윗면이 팽창함 • 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 제천 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보임
	STEP 4 • 철근 윗면의 피복이 떨어지고, 철근의 노출이 시작됨 • 철근단면적이 감소함
	STEP 5 • 철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출됨 • 내구성능은 없음

<그림 4.1.5> 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

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 4.1.4> 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구분	영향 인자	탄산화 속도
내 적 요 인	시멘트의 종류	- 수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름 - 조강 포틀랜드시멘트<보통 포틀랜드시멘트<중용열 포틀랜드시멘트
	골재의 종류	- 투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름 - 강모래, 강자갈<강모래, 화산골재<화산골재
	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 속도 빠름
환 경 조 건	온 도	- 온도상승 시 탄산화 속도 빠름 20~50℃사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	- 농도가 클수록 탄산화 속도 빠름 - 탄산가스농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습 도	• 상대습도 50~70%에서 탄산화속도가 최대
	실내, 실외	• 실내의 탄산화속도가 빠름

3) 탄산화깊이의 측정

본 과업에서는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 페놀프탈레인법(페놀프탈레인은 pH 지시약의 일종으로 1% 알칼리용액)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 경과년수를 이용하여 역추적으로 구한 후 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하면 콘크리트의 탄산화에 의한 잔존수명을 예측할 수 있다.

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

<표 4.1.5> 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 조건 만족
e	• 0mm미만	• 철근부식도 조사 등을 통해 철근부식 발생 확인

4.2 콘크리트 내구성조사 결과

4.2.1 시험결과 분석

가. 콘크리트 강도시험

본 과업에서는 대상 구조물의 구조부재에 대한 재료의 품질상태와 강도 등을 파악하기 위하여 각종 시험을 수행하였다. 콘크리트 강도를 추정하기 위하여 반발경도시험을 실시하였다. 콘크리트 반발경도시험은 총 34개소(상부구조 17개소, 하부구조 17개소)에서 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

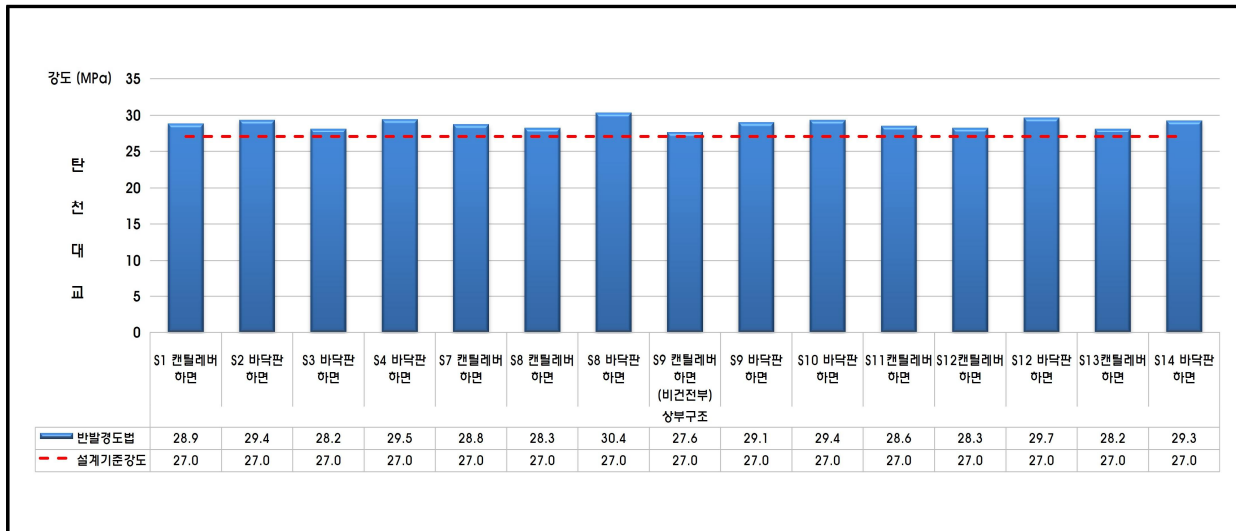
1) 비파괴 강도조사 결과

① 상부구조 비파괴 강도조사 결과

<표 4.2.1> 바닥판 비파괴 강도조사 결과

[단위 : MPa]

시험위치		비파괴시험	반발경도법(MPa)			건전부/ 비건전부	설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (R_o)	일본 재료학회	일본 건축학회	최솟값		
상부 구조	S1 캔틸레버 하면	49.8	28.9	29.6	28.9	건전부	27.0
	S2 바닥판 하면	50.4	29.4	29.9	29.4	건전부	
	S3 바닥판 하면	48.9	28.2	29.2	28.2	건전부	
	S4 바닥판 하면	50.5	29.5	30.0	29.5	건전부	
	S5 캔틸레버 하면	48.5	27.9	29.1	27.9	건전부	
	S6 바닥판 하면	51.7	30.5	30.5	30.5	건전부	
	S7 캔틸레버 하면	49.5	28.8	29.5	28.8	건전부	
	S8 캔틸레버 하면	49.0	28.3	29.3	28.3	건전부	
	S8 바닥판 하면	51.5	30.4	30.5	30.4	건전부	
	S9 캔틸레버 하면	48.1	27.6	28.9	27.6	비건전부	
	S9 바닥판 하면	50.0	29.1	29.8	29.1	건전부	
	S10 바닥판 하면	50.4	29.4	29.9	29.4	건전부	
	S11 캔틸레버 하면	49.3	28.6	29.4	28.6	건전부	
	S12 캔틸레버 하면	49.0	28.3	29.3	28.3	건전부	
	S12 바닥판 하면	50.7	29.7	30.1	29.7	건전부	
	S13 캔틸레버 하면	48.9	28.2	29.2	28.2	건전부	
	S14 바닥판 하면	50.2	29.3	29.9	29.3	건전부	
최솟값		48.1	27.6	28.9	27.6	-	-
최댓값		51.7	30.5	30.5	30.5	-	-

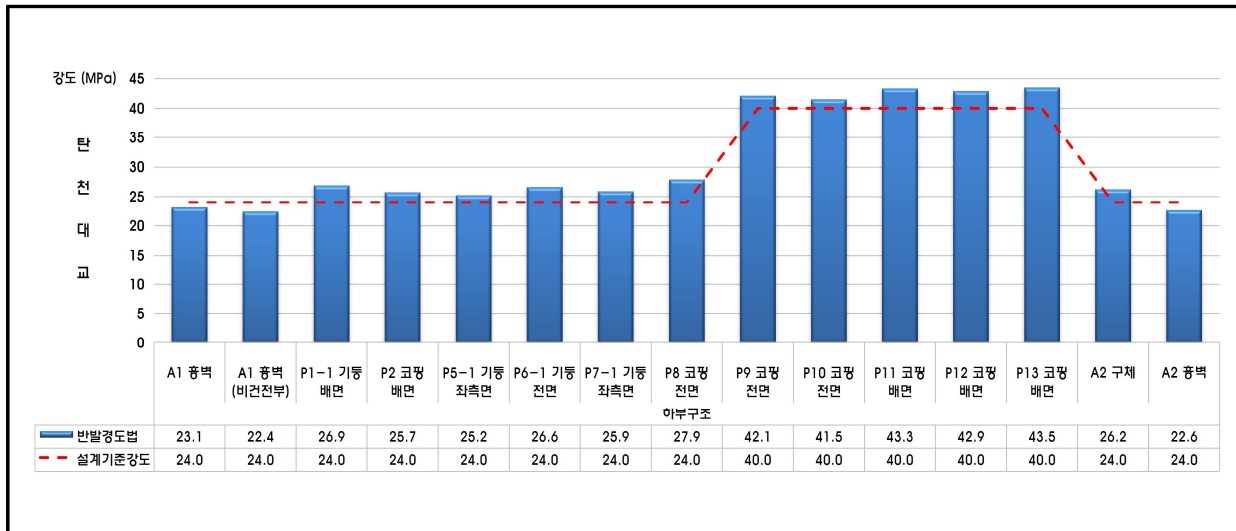


② 하부구조 비파괴 강도조사 결과

<표 4.2.2> 하부구조 비파괴 강도조사 결과

[단위 : MPa]

시험위치		비파괴시험	반발경도법 (MPa)					건전부/ 비건전부	설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (R_o)	일본 재료 학회	일본 건축 학회	권영웅 외 제안식	과학 기술부	최솟값		
하부 구조	A1 흥벽	42.6	23.1	26.3	-	-	23.1	건전부	24.0
	A1 흥벽	41.8	22.4	25.9	-	-	22.4	비건전부	
	P1-1 기둥 배면	47.3	26.9	28.5	-	-	26.9	건전부	
	P2 코핑 배면	45.8	25.7	27.8	-	-	25.7	건전부	
	P3-1 기둥 배면	44.2	24.4	27.0	-	-	24.4	건전부	
	P4 코핑 배면	46.6	26.4	28.2	-	-	26.4	건전부	
	P5-1 기둥 좌측면	45.2	25.2	27.5	-	-	25.2	건전부	
	P6-1 기둥 전면	47.0	26.6	28.3	-	-	26.6	건전부	
	P7-1 기둥 좌측면	46.1	25.9	27.9	-	-	25.9	건전부	
	P8 코핑 전면	48.6	27.9	29.1	-	-	27.9	건전부	40.0
	P9 코핑 전면	51.6	-	-	51.2	42.1	42.1	건전부	
	P10 코핑 전면	51.0	-	-	50.3	41.5	41.5	건전부	
	P11 코핑 배면	52.9	-	-	53.1	43.3	43.3	건전부	
	P12 코핑 배면	52.4	-	-	52.4	42.9	42.9	건전부	
	P13 코핑 배면	53.1	-	-	53.5	43.5	43.5	건전부	
	A2 구체	46.5	26.2	28.1	-	-	26.2	건전부	24.0
	A2 흥벽	42.0	22.6	26.0	-	-	22.6	건전부	
최솟값		41.8	22.4	25.9	50.3	41.5	22.4	-	-
최댓값		53.1	27.9	29.1	53.5	43.5	53.5	-	-



2) 콘크리트 강도조사 결과분석

콘크리트 강도조사 결과를 요약하면 비파괴조사에 의한 강도는 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었다. 비파괴 강도평가는 강도 추정공식값들 중 최솟값을 채택하여 실시하였다. 본 구조물의 콘크리트 강도는 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 평가할 수 있다.

비파괴강도 검토결과, 설계기준강도 대비 상부구조 102.1~112.8%, 하부구조 93.4~116.4%로 반발경도법에 의한 비파괴 추정압축강도는 모두 90% 이상을 상회하는 값으로 분석되었다.

비건전부의 추정강도는 건전부와 비교하여 강도저하는 없는 것으로 분석되었다.

<표 4.2.3> 콘크리트 강도시험 결과분석

구분	시험방법	최소강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
상부구조 (바닥판, 캔틸레버)	반발경도법	27.6~30.5	27.0	102.1~112.8
하부구조 (교대, 교각)	반발경도법	22.4~43.5	24.0, 40.0	93.4~116.4

3) 기존 점검결과 비교

<표 4.2.4> 콘크리트 강도 기존 점검결과 비교

구분		'22년 정밀안전점검	'23년 정밀안전점검	금회('25년) 정밀안전점검	설계기준강도 (MPa)
반발경도법	상부구조	27.7~28.9	29.2~29.8	27.6~30.5	27.0
	하부구조	25.9~26.9	20.4~27.1	22.4~43.5	24.0, 40.0
코어압축 강도시험	하부구조	-	20.2~28.2	-	24.0
결과분석		- 기 정밀안전점검('22, '23년)과 비교·분석한 결과, 하부구조 P9~P13의 경우 고강도석을 고려하지 않았으므로 비교는 불가하였고 그 외 비파괴시험을 통한 콘크리트 강도가 상·하부구조에서 기 점검과 비슷한 강도를 유지하고 있으며, 일부 측정 차이는 시험 위치, 개인오차, 면갈이 방법 등에 의한 것으로 판단됨 - 또한, 기 점검('23년)에서 교대 추정압축강도 시험 시 설계기준강도 90%이하로 측정되어 코어압축강도 시험을 실시하였으며 시험결과 설계기준강도(24.0MPa)의 90%를 상회하는 것으로 확인됨 - 콘크리트 강도시험 시 콘크리트 표면상태가 양호한 건전부와 콘크리트 균열부 백태 손상이 있는 비건전부의 측정결과를 비교한 결과 편차는 있으나 설계기준강도 90% 이상을 확보하고 있어 콘크리트 강도는 양호한 것으로 판단됨			

4) 반발경도 시험보고서

<표 4.2.5> 반발경도 시험보고서

구분	상부구조		하부구조
	바닥판	캔틸레버	
시험일자	'25. 05.13~05.19	'25. 05.13~05.19	'25. 05.13~05.19
시험시간	09:00~18:00	09:00~18:00	09:00~18:00
구조물에서 시험 영역의 위치	바닥판	캔틸레버	교대, 교각
시험 대상 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data sheet에 표기	각 시험개소별 Data sheet에 표기	각 시험개소별 Data sheet에 표기
콘크리트의 설계 조건	fck=27.0MPa	fck=27.0MPa	fck=24.0MPa, 40.0MPa
시험 위치의 표면 상태	양호	양호	양호
시험시의 온도	16.1~19.9℃	16.1~19.9℃	16.1~19.9℃
콘크리트의 재령	재령 : 2190일 이상	재령 : 2190일 이상	재령 : 2190일 이상
콘크리트 내부 함수 상태	표면 건조	표면 건조	표면 건조
반발경도측정기의 종류 및 제품 규격	테스트 햄머 규격: KY-200	테스트 햄머 규격: KY-200	테스트 햄머 규격: KY-200
반발경도측정기의 타격 방향	90°	90°	0°
시험 부위별 반발경도의 평균값	29.5	28.3	25.3 42.7

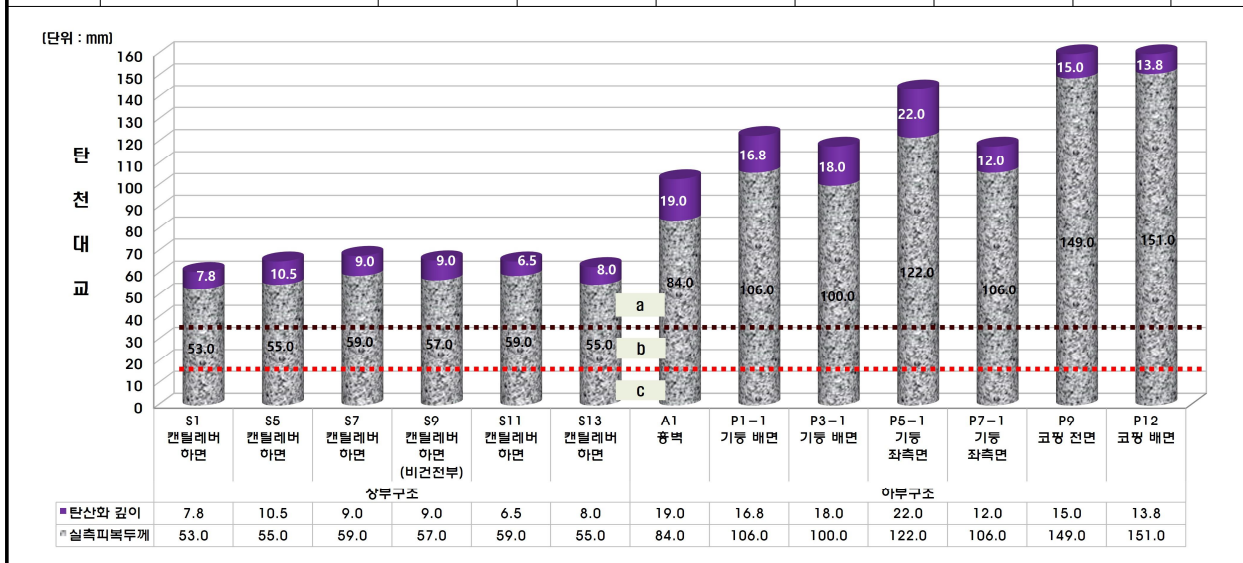
나. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 전동드릴을 이용하여 소정의 깊이로 콘크리트 표면을 천공할 때의 삭공가루에 페놀프탈레인 시약을 분무하여 변색깊이를 버니어캘리퍼스로 측정하였으며, 상부구조(6개소)와 하부구조(7개소)에서 총 13개소를 실시하였고 시험 결과값은 다음과 같다.

1) 탄산화 깊이 측정 결과

<표 4.2.6> 탄산화 깊이 측정 결과

시험위치		탄산화 깊이 (mm)	실측 피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	평가 결과	공용 년수 (년)
상부 구조	S1 캔틸레버 하면	7.8	53.0	45.2	3.184	100년이상	a	6
	S5 캔틸레버 하면	10.5	55.0	44.5	4.287	100년이상	a	
	S7 캔틸레버 하면	9.0	59.0	50.0	3.674	100년이상	a	
	S9 캔틸레버 하면 (비건전부)	9.0	57.0	48.0	3.674	100년이상	a	
	S11 캔틸레버 하면	6.5	59.0	52.5	2.654	100년이상	a	
	S13 캔틸레버 하면	8.0	55.0	47.0	3.266	100년이상	a	
하부 구조	A1 홍벽	19.0	84.0	65.0	7.757	100년이상	a	
	P1-1 기둥 배면	16.8	106.0	89.2	6.859	100년이상	a	
	P3-1 기둥 배면	18.0	100.0	82.0	7.348	100년이상	a	
	P5-1 기둥 좌측면	22.0	122.0	100.0	8.981	100년이상	a	
	P7-1 기둥 좌측면	12.0	106.0	94.0	4.899	100년이상	a	
	P9 코핑 전면	15.0	149.0	134.0	6.124	100년이상	a	
	P12 코핑 배면	13.8	151.0	137.2	5.634	100년이상	a	



주) 철근피복은 실측피복과 설계피복을 비교하여 작은 값을 적용함(실측피복은 철근탐사시험 결과 참조)

2) 탄산화 깊이 측정 결과분석

콘크리트 부재에 대한 탄산화 깊이 측정결과, 실측 피복두께와 비교 시 탄산화 잔여깊이가 30.0mm 이상으로 측정되어 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (2024.12)』의 건전성 평가 기준에 의거 “a”로 평가되었으며, 철근까지의 탄산화 도달시간은 시험개소 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 철근의 부식 우려는 없는 것으로 평가되었다.

또한 콘크리트 표면상태가 양호한 건전부와 캔틸레버 하면 균열부에 나타난 비건전부의 측정결과를 분석한 결과 탄산화 진행에 따른 철근의 부식 우려는 없는 상태이다.

3) 기존 점검결과 비교

<표 4.2.7> 탄산화 깊이 기존 점검결과 비교

구분		'22년 정밀안전점검	'23년 정밀안전점검	금회('25년) 정밀안전점검	비고
탄산화 깊이 측정 (mm)	상부구조	0.8 ~ 3.5	2.9 ~ 5.4	6.5 ~ 10.5	
	하부구조	6.8 ~ 14.2	8.2 ~ 12.2	12.0 ~ 22.0	
결과분석		- 기 정밀안전점검('22, 23년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨 - 콘크리트 표면상태가 양호한 건전부와 캔틸레버 하면 균열부에 나타난 비건전부의 측정결과를 분석한 결과 탄산화 진행에 따른 철근의 부식 우려는 없는 상태임			

4) 탄산화 깊이 시험보고서

<표 4.2.8> 탄산화 깊이 시험보고서

구분		상부구조	하부구조
구조물의 명칭		탄천대교	탄천대교
구조물의 경과 년 수		6년	6년
측정방법		삭공가루를 이용한 측정법	삭공가루를 이용한 측정법
측정면의 종류		노출 콘크리트 표면	노출 콘크리트 표면
시약		페놀프탈레인 1%용액	페놀프탈레인 1%용액
측정기구		버니어 캘리퍼스	버니어 캘리퍼스
시약분무로부터 탄산화깊이 측정까지 시간		직후	직후
탄산화 깊이	측정값	6.5~10.5mm	12.0~22.0mm
	평균값	8.5mm	16.7mm
	최대값	10.5mm	22.0mm
연한 적자색으로 변색된 부분의 유무		유	유

