3.6 현장시험 결과

3.6.1 개 요

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 안전점검·진단 교량편(2021.12, 국토교통부/국토안전관리원)』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, 탄산화깊이 측정, 염화물함유량시험, 균열깊이측정 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

[표 3.76] 현장시험 항목

구 분	조 사 내 용
반발경도 시험	반발경도시험을 통하여 구조물의 압축강도를 비파괴로 추정하여 결과 도출
초음파 전달속도 시험	콘크리트 초음파 전달속도 시험은 콘크리트의 구성 성분, 다짐 정도, 숙성도 등을 파악하여 콘크리트의 품질 평가 및 분석
철근탐사 시험	철근탐사시험은 철근의 간격 및 피복두께를 측정하여 설계도면에 부합되는지 분석함
탄산화 깊이 측정	콘크리트 내에 매입된 철근을 부식시킬 수 있는 탄산화의 영향을 파악하기 위하여 페놀프탈레인용액의 분무에 의한 탄산화 깊이를 측정함
염화물함유량 시험	주변한경(해안) 및 시공시 해사 사용에 따른 염화물함유량 검토
균열깊이 조사	균열 관통여부 및 철근까지 도달하는지 여부 조사

[표 3.77] 콘크리트 비파괴시험 현황

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	•철근콘크리트: 2개소/50m •강합성교: 1개소/50m	•1개소/연장50m •교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	21	11	26	14	연장비 70.24% 적용한 값임. 접속교 30개소 주경간교 10개소
초음파 전달속도시험	•철근콘크리트: 2개소/50m •강합성교: 1개소/50m	•1개소/연장50m •교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	21	11	26	14	
철근탐사 시 험	•철근콘크리트: 2개소/50m •강합성교: 1개소/50m	•1개소/연장50m •교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	21	11	27	14	
탄산화 깊이 측정	•5경간 이내: 4~6개소[1)] •5경간 이상: 6~9개소[2)]		3	3	4	5	접속교 4개소 주경간교 5개소
염화물 함유량시험	•3개소 이상[3)]		1	2	4	5	접속교 4개소 주경간교 5개소
균열깊이 조 사	•부재의 중요도를 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		-		-	2	접속교 1개소 주경간교 1개소

주1) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시 **주2) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 3개소 이상 실시**
주3) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시
※ L=300.0m를 넘는 교량으로 연장비 70.24%를 적용하였음.
500m 80%, 1,000m 60%, 2,000m 40% 적용

- 총 연장 : $80\% - (\frac{744m - 500m}{1,000 - 500m}) \times (80\% - 60\%) = 70.24\%$
- 상부구조는 2개소/50m 이므로 29.76개소, 하부구조는 1개소/50m 이므로 14.88개소 그러므로 총 44.64개소
- 44.64개소 x 70.24% = 31.36개소(최소수량)

2) 조사 사진

반발경도 시험

초음파 전달속도시험

철근탐사 시험

탄산화 시험

염화물 시료 채취

균열 깊이 측정

3) 시험항목별 조사위치 선정사유

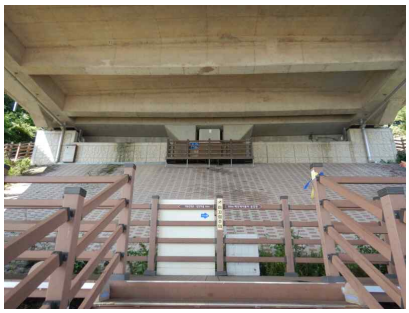
① 상부구조

- 콘크리트 비파괴시험은 바닥판하면, 거더, 가로보에서 실시하였고, 반발경도시험과 초음파 전달속도시험을 동일부위에서 실시하였다. 측정값의 오차나 오류를 줄이기 위하여 표면부를 피하여 그라인딩 한 후 시험기준에 따라 측정하였다.
- 또한, 철근탐사 시험과 탄산화 깊이 측정을 동일부위에서 실시하여 내구성능 평가를 위한 기초자료로 활용하였다.

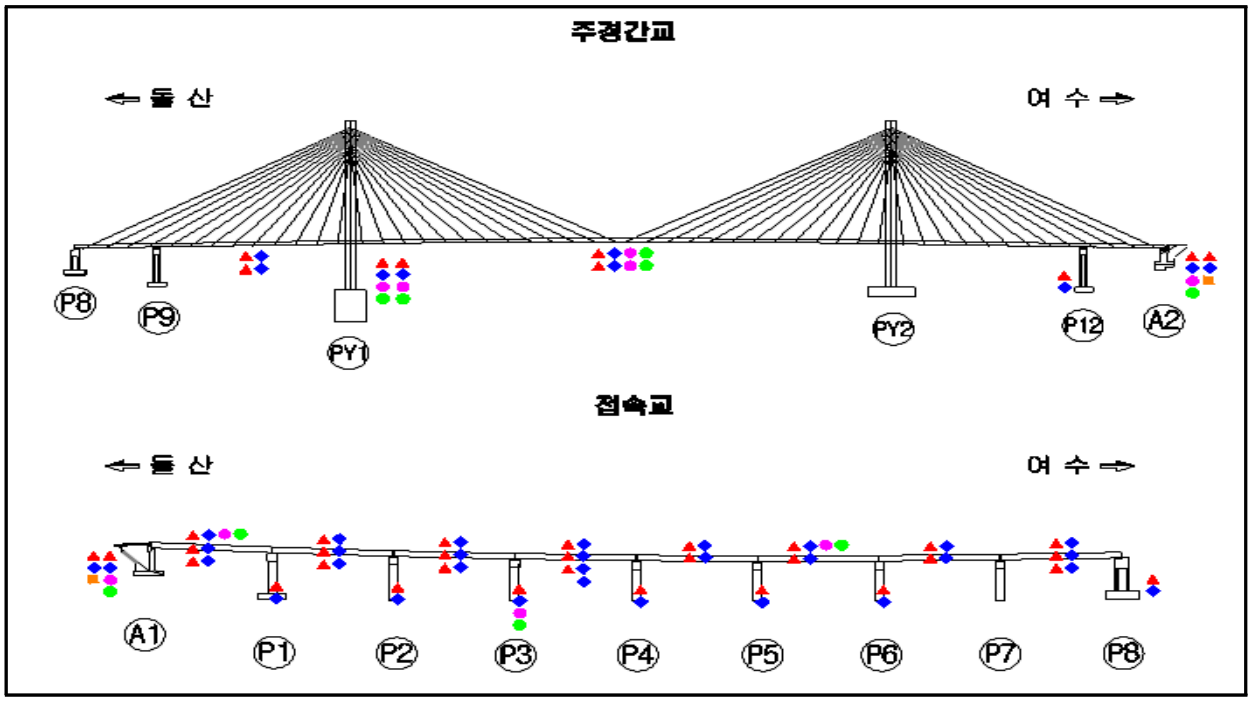
접속교 바닥판하면	접속교 거더 및 가로보	주경간교 바닥판하면

② 하부구조

- 콘크리트 비파괴시험은 교대, 교각, 주탑에서 실시하였으고, 반발경도시험과 초음파 전달속도시험을 동일부위에서 실시하였으며, 측정값의 오차나 오류를 줄이기 위하여 표면부를 피하여 그라인딩 한 후 시험기준에 따라 측정하였다.
- 또한, 철근탐사 시험과 탄산화 깊이 측정을 동일부위에서 실시하여 내구성능 평가를 위한 기초자료로 활용하였다.

		
교대(A1)	교대(A2)	교각(P6)

4) 콘크리트 내구성조사 위치도



[그림 3.61] 콘크리트 내구성조사 위치도

[표 3.78] 콘크리트 비파괴시험 범례

구 분	항 목	구 분	항 목
▲	반발경도, 초음파 전달속도 시험	●	탄산화 깊이 측정
◆	철근탐사 시험	●	염화물함유량 시험
■	균열깊이 시험	-	-

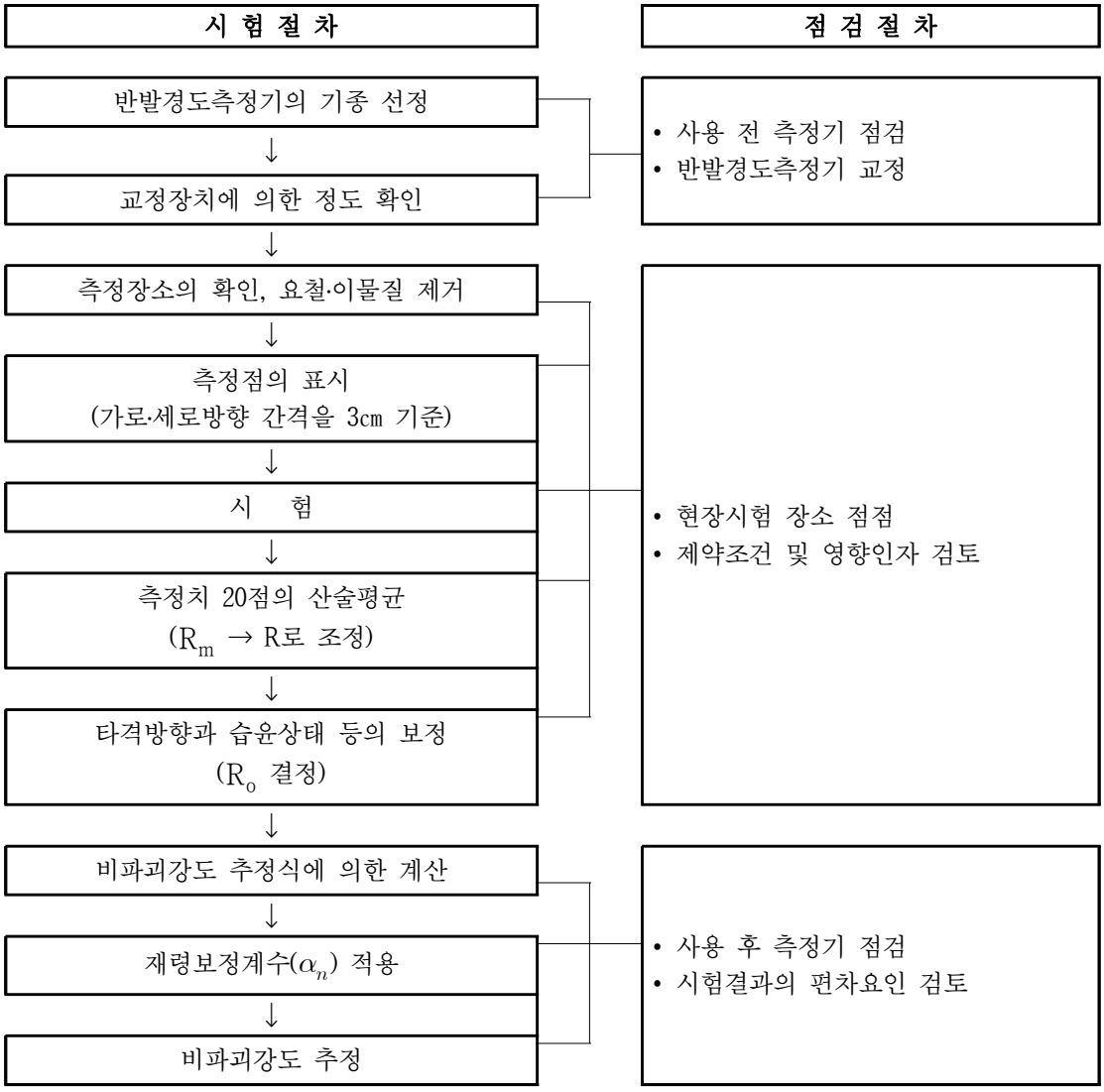
3.6.2 시험내용 및 평가기준

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.

① 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



[그림 3.62] 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

외관조사 결과에 의해 결정된 측정개소에 대해서 타격점 상호간의 간격은 3㎝를 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 R을 결정한다.

② 보정반발경도(R_o)

[표 3.79] 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°)의 경우 : (-)값으로 보정

R \ α	보 정 값			
	+90°	+45°	-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 : ΔR_2 = +3으로 보정

측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : ΔR_2 = +5로 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 3.80] 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분		추 정 식(㎫)	비 고
보통 콘크리트	일본재료학회	Fc = {-18.0 + 1.27 × Ro}	
	일본건축학회	Fc = {(7.3Ro + 100)×0.098}	
고강도 콘크리트	권영웅 외	Fc = {(2.304Ro - 38.80)}	금회 적용(식①)
	과학기술부	Fc = {(15.2Ro - 112.8) × 0.098}	금회 적용(식②)
※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 교량편(2021.12, 국토교통부/국토안전관리원)			

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 α는 아래 [표 3.81]과 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

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

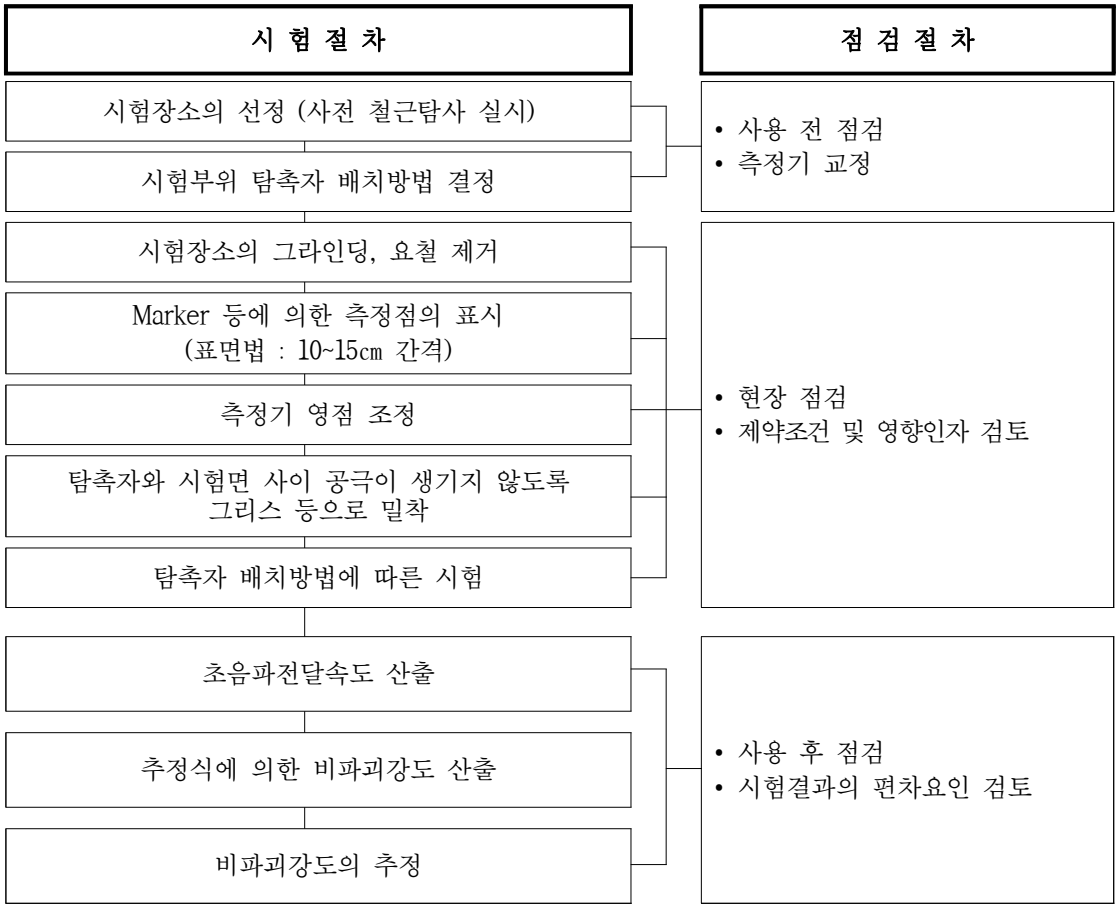
[표 3.81] 재령계수 α값

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

① 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차



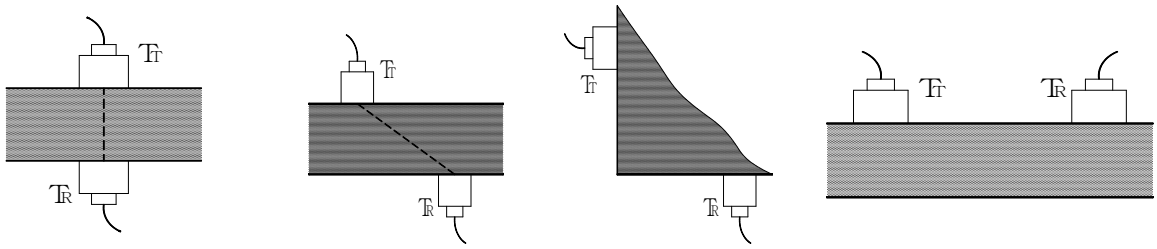
[그림 3.63] 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

② 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.



(a)직접법 (b)간접법 (C)표면법

[그림 3.64] 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법

표면법과 직접법에서 구한 초음파전달속도는 근사적으로 아래 식과 같은 관계가 있다.

$V_d \approx 1.05 V_i$

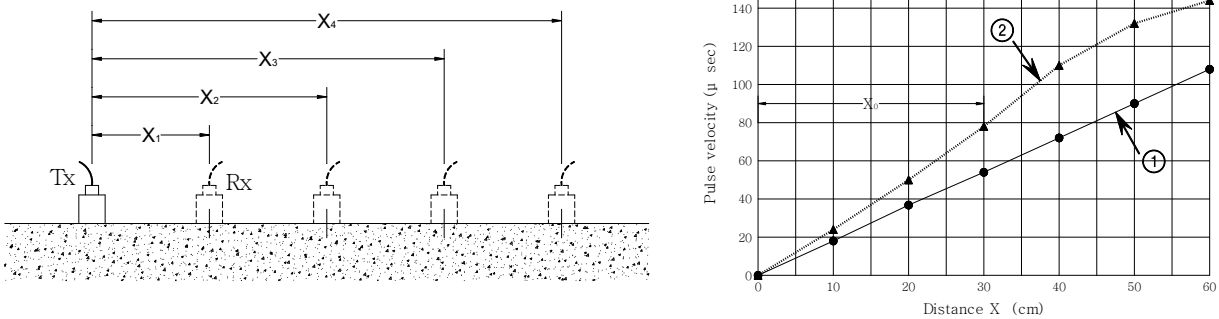
여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파 속도

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



[그림 3.65] 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.

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

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

③ 비파괴강도의 추정

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

[표 3.82] 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(식③)
일본재료학회	$F_c = (102\,V_d - 117) \times 0.098$	금회 적용(식④)
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(㎞/s)
※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 교량편(2021.12, 국토교통부/국토안전관리원)

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 [그림 3.66]에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

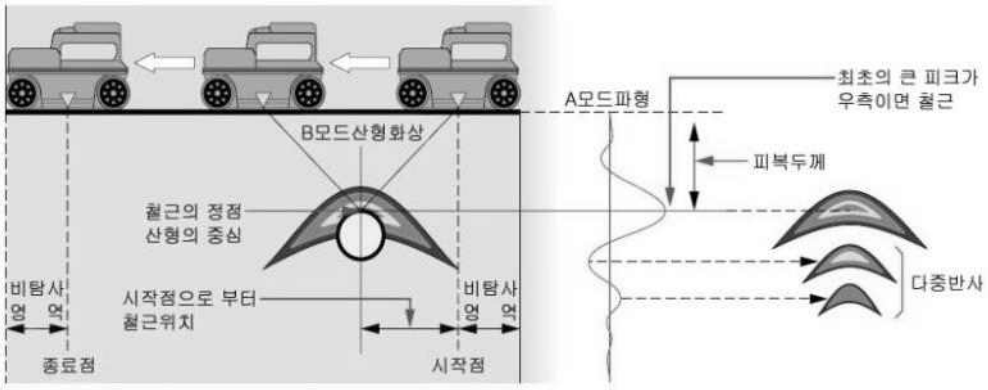
$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

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.

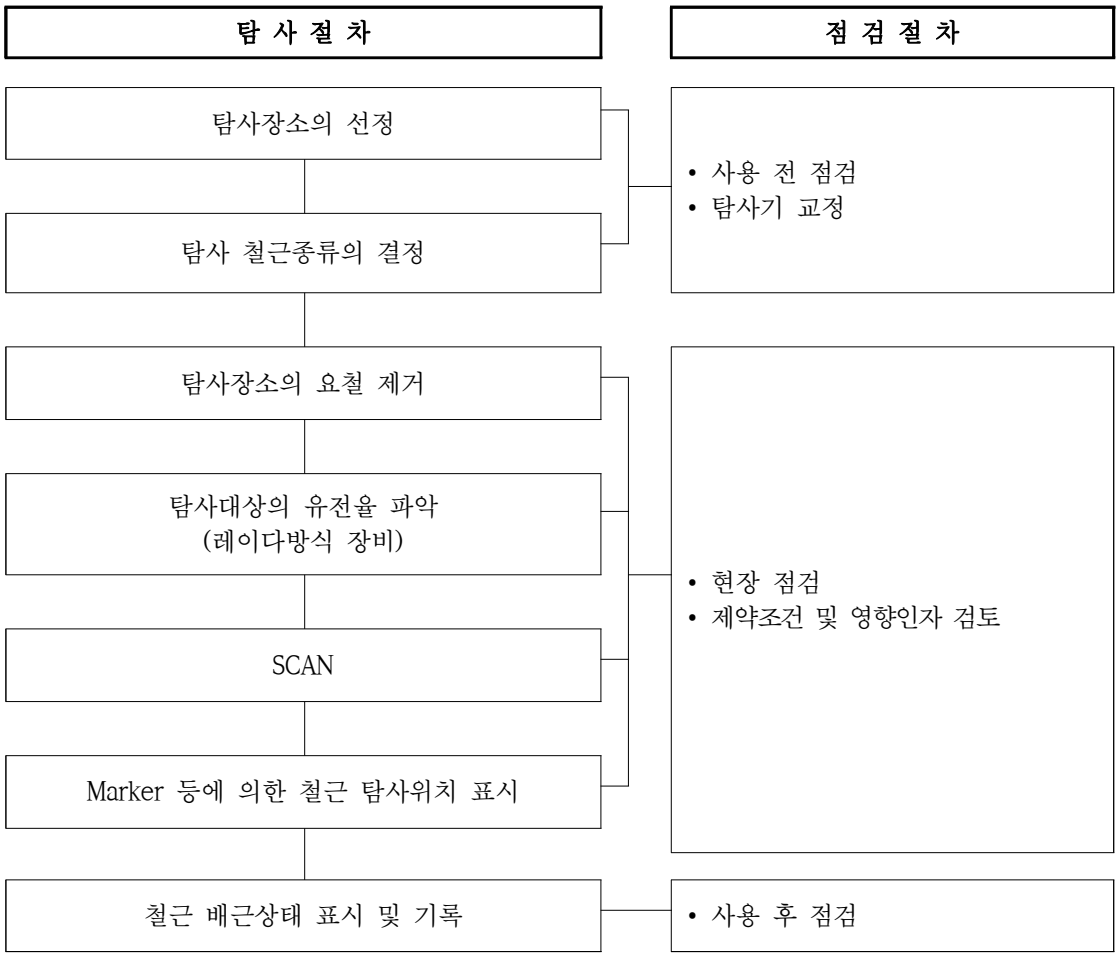
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



[그림 3.66] 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

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



[그림 3.67] 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

4) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

① 탐사조건

- 적용 가능한 조건
  - 탐사심도 200㎜이내
  - 탐사대상 철근지름이 ø6㎜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
  - 100㎜이하의 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 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

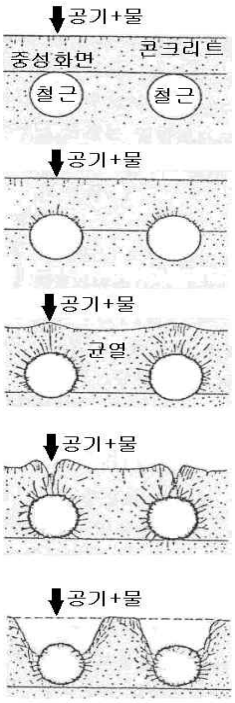
1) 개 요

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

$$\underset{\text{수산화칼슘}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{탄산가스}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{탄산칼슘}}{CaCo_3} + \underset{\text{물}}{H_2O}$$

(pH 12~13) (대기 중에 존재) (pH 8.5~10)

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 1×10^{-6}㎜ 두께의 수산화물($\gamma-Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) 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 동해 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 3.68] 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로는 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 3.83] 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구분	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

[표 3.83] 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인(계속)

구분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인	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 ° C 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(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(㎜)

A : 탄산화 속도계수(㎜/ $\sqrt{년}$)

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.

수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화 속도계수)^2

잔존수명예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

[표 3.84] 탄산화 상태평가 기준

기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	• 30㎜이상	• 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	• 10㎜이상 ~ 30㎜미만	• 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	• 0㎜이상 ~ 10㎜미만	• 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 0㎜미만	• 철근부식 발생
e	-	-

라. 염화물함유량시험

1) 콘크리트 속의 염분에 대한 일반적 사항

염화물의 콘크리트 침투를 구분해 보면 일반적으로 두가지로 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 프레쉬 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 것)의 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 염화물로써 판정되어진다.

강재 위치에 대한 염화물 이온의 강재 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적당 양으로서 0.3~1.2kg/m³ 정도이고 이 값은 구조물의 설치 환경조건이나 강재부식 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.

시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 교량편(2021.12, 국토교통부/국토안전관리원) 및 콘크리트 표준시방서 내구성조사편에서는 경화콘크리트의 경우 전염화물 기준으로 실제 환경의 노출실험 결과 하한치인 1.2kg/m³ 을 강재 부식발생 한계농도로서 정하고 있다. 비록, 부식환경에 따른 전염화물량이 1.2kg/m³ 를 넘더라도 부식이 발생하지 않을 가능성이 있지만 잠재적으로 부식 가능성이 높을 것으로 평가되므로 부식방지를 위한 조치가 검토되어야 할 것이다.

2) 평가기준

① 국내 콘크리트 표준시방서 기준

굳지않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/㎥이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/㎥까지 허용

② 콘크리트 구조기준(2012년)

[표 3.85] 염화물 평가기준(콘크리트 구조기준(2012))

부재의 종류	최대 수용성 염소이온(Cl^-), 시멘트의 중량에 대한 비(%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근콘크리트	0.15
건조상태 또는 습기로부터 차단된 철근콘크리트	1.00
기타 철근콘크리트	0.30

③ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 교량편(2021.12, 국토교통부/국토안전관리원)

[표 3.86] 염화물 상태평가 기준(시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2021.12))

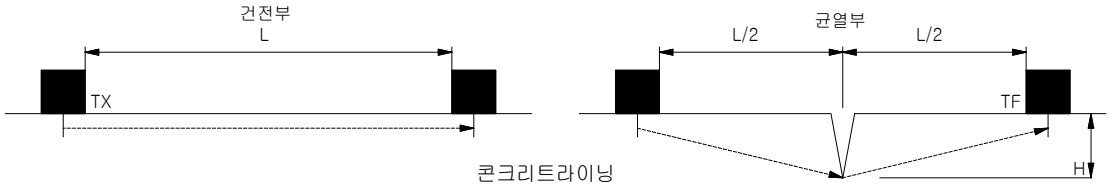
기 준	전염화물 이온량(kg/m³)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 < 0.3kg/m³	• 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	• 0.3kg/m³ < 염화물 ≤ 1.2kg/m³	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• 1.2kg/m³ < 염화물 ≤ 2.5kg/m³	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 ≥ 2.5kg/m³	• 철근 부식발생
e	-	-

마. 콘크리트 균열깊이 측정

1) 개 요

콘크리트 내의 균열이나 공극이 있는 경우 초음파의 전달경로가 균열 또는 내부공극 주위를 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지게 된다. 이러한 특성을 이용하여 균열 깊이나 내부 공극을 탐지할 수 있다.

본 과업에서는 외관조사를 바탕으로 대표적인 균열부를 선정하였으며, 초음파를 이용한



[그림 3.69] 초음파 속도법을 이용한 균열깊이 측정방법(TX:발진자, TR:수진자)

콘크리트 구조물에서는 초음파를 이용해 균열깊이를 측정하는데 가장 일반적으로 이용되고 있는 Tc - To법을 적용하여 측정하였다.

Tc - To법은 종파용 발·수진자를 균열을 중심으로 등간격인 L/2로 설치하였을 때, 균열 선단부를 회절한 초음파의 전파시간 Tc 와 균열이 없는 부분의 발·수진자의 거리 L의 전파시간 To 로부터 균열깊이를 구하며, 이 방법의 균열깊이 탐사 결과는 15% 정도의 오차를 가지고 있으며, 그 상관 관계식은 다음과 같다.

$$\text{균열깊이}(H) = X\sqrt{(\frac{T_c}{T_o})^2 - 1}$$

여기서, $T_o = \frac{2X}{V}$: 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도

$T_c = \frac{2\sqrt{X^2+H^2}}{V}$: 균열면의 초음파 전달속도, $X = \frac{L}{2}$

바. 케이블 장력측정

1) 케이블 장력측정 방법

케이블의 장력측정은 하중계(Load Cell)를 케이블 장착구에 설치하여 하중을 측정하는 방법(직접계측방법)이 가장 정확하나 시공 또는 비용적인 측면에서 구조물에 장착하여 상시 측정하기는 어려운 점이 있다. 현재 통상적으로 사용되는 다른 방법은 케이블의 가속도 신호로부터 고유진동수를 추출하여 장력 추정 공식을 이용한 측정방법(간접계측방법)이 있으며 케이블의 종류에 관계없이 장력을 간단하게 측정할 수 있는 장점이 있다.

따라서 본 과업에서는 케이블의 가진에 의한 진동가속도를 측정하여 고유진동수와 장력의 관계식에서 장력을 산정하는 진동법을 사용하였으며, 이 방법은 특히 공용중인 교량의 케이블에 대한 장력을 측정하는 경우에 적합한 방법이라 할 수 있다.

통상 케이블은 측정 시 외부에서 발생하는 활하중이나 강풍 등과 같은 하중이 작용하면 외부하중에 의한 강제진동이 교량에 도입됨에 따라 케이블의 고유진동에 의한 안정적인 응답을 구할 수 없으므로 정확한 장력을 구할 수 없다. 따라서 일시적인 이상 진동에 의한 파형을 피하기 위하여 통행량이 적은 야간 시간대를 이용하였으며, 한 개소에서 진동계측을 수회 측정하여 케이블의 안정적인 고유진동수를 획득할 수 있도록 하였다.

2) 케이블 장력측정 절차

계측센서 부착	‣ 각 케이블당 접근이 가능한 위치 선정 ‣ 1축가속도계 설치
계측데이터 수집	‣ 고무망치 등을 이용한 인위적인 타격 후 신호 취득 ‣ 동적데이터로거 이용, 진동가속도 측정 ‣ 초당 200개의 데이터 습득
신호분석	‣ 계측신호 → FFT분석 → 고유진동수 도출
케이블 장력산정	‣ 진동방정식 법에 의한 장력 산출

[그림 3.70] 케이블 장력측정 절차

3) 케이블 장력측정 사용기기

[표 3.87] 센서 및 측정기기

구 분	모 델	사 양	제조회사	비 고
정, 동적 측정장비	EDX-200A	○ 범위 : ±50000 μstrain ○ 정밀도 : ±0.2 μstrain ○ 응답주파수 : 100kHz(Max) ○ 16bit A/D converter	일본 KYOWA	
가속도계	174-07	○ 용량 : ±2g ○ 응답주파수 : 300Hz ○ 허용온도 : -50~+125℃	미국 SDI	
노트북	LG U-460	○ CPU : Core i5 1.8GHz ○ 메모리 : 8GB(DDR3 1600) ○ 저장장치 : SSD 256G	한국 LG	

4) 케이블 장력 측정 전경

교량 전경	가속도계 설치
케이블 타격(가진)	데이터 습득

5) 케이블 장력산정 방법

① 개요

사장교 케이블의 장력에 관한 정보는 주형의 profile에 관한 정보와 함께 사장교의 시공상태, 연혁 및 손상정도를 추정함에 있어 결정적인 기여를 한다. 즉 현재 도입되어 있는 케이블의 장력정보로부터 불균등 사하중 분포, 시공오차, 온도효과, 기학적 현상의 변화 등에 의해 추가적으로 발생하는 응력분포를 추정할 수가 있다.

사장교의 케이블 장력은 pull out test 등 직접적인 방법으로 측정하는 것이 가장 정확한 방법이나 수백여 톤에 달하는 인장력을 도입할 만한 jacking system을 구성하는 것이 비용이 과다하게 소요되므로 통상적으로 케이블의 진동응답에서 얻어지는 동적특성으로부터 케이블의 장력을 추정하는 방법을 많이 쓰고 있다.

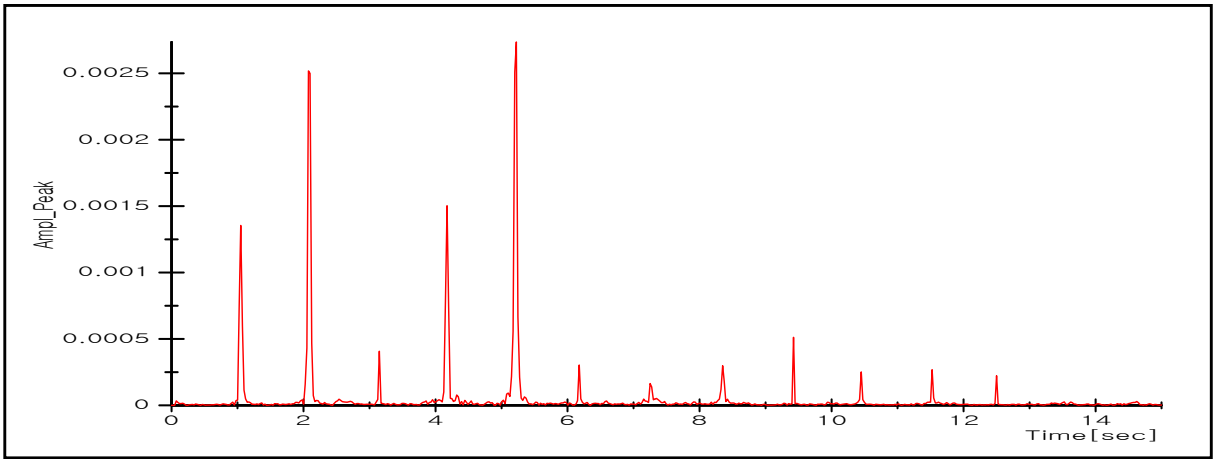
일반적으로 진동법에 의한 케이블 장력산정 방법은 장력측정의 신뢰도를 높이기 위하여 여러 개의 고차진동모드를 조합하여 장력을 추정하는 방법을 사용한다.

② 케이블 장력산정 방법

케이블에 부착된 가속도계로부터 가속도신호를 이용하여 FFT((Fast Fourier Transform)분석을 통하여 1차~n차의 고유진동수를 추출한다. 추출된 고유진동수를 [그림 5.99] 와 같이 그래프를 작성하여 1차 회귀곡선을 구한다. 이때의 기울기와 Y 절편 값을 장력추정 공식에 대입하여 케이블 장력을 산출한다.

[표 3.88] 장력 추정 공식(진동법)

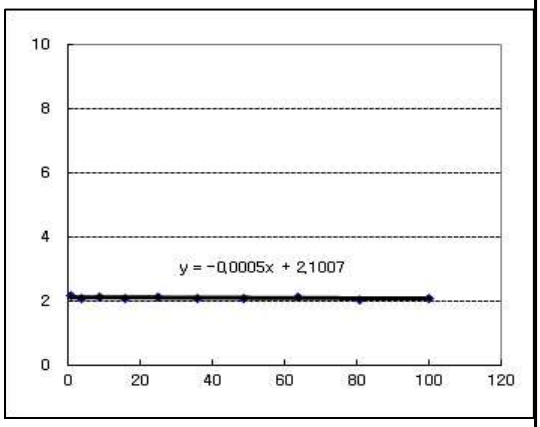
구 분	내 용	
적용이론	‣ 휨강성을 고려한 케이블의 진동방정식을 고차 모드에 의한 장력의 2차 회귀분석 식으로 도출	
적용공식	‣ 진동방정식 $\frac{w}{g}\frac{\partial^2 z}{\partial z^2} + EI\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} - T\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0$ ‣ 미분방정식 일반해 ; $T = \frac{4WL^2}{g} \cdot (\frac{f_n}{n})^2 - \frac{EI\pi^2}{L^2} n^2$ ‣ 1차 회귀 항으로 표현 $(\frac{f_n}{n})^2 = \frac{Tg}{4WL_{eff}^2} + \frac{EI\pi^2}{4wL_{eff}^2} n^2$ $T = \frac{4WL^2}{g} b$, $EI = \frac{4WL^4}{\pi^2 g} a$	W : 단위케이블 중량(tonf/m) g : 중력가속도(m/sec2) z : 케이블의 처짐량(m) EI : 케이블의 휨강성(tonf.m2) x : 케이블의 길이방향에 따른 좌표(m) T : 케이블의 장력(tonf) Leff : 케이블의 유효진동길이(m) n : 진동모드의 차수 fn : n차모드의 진동수(Hz)



[그림 3.71] Fast Fourier Transform 결과 일례(측경간 시점 좌측 CS13)

n	fn	n^2	(f/n)^2	기울기(a)	절편(b)
1	1.050	1	1.10	0.00002	1.087
2	2.075	4	1.08		
3	3.149	9	1.10		
4	4.175	16	1.09		
5	5.225	25	1.09		
6	6.177	36	1.06		
7	7.251	49	1.07		
8	8.350	64	1.09		
9	9.424	81	1.10		
10	10.449	100	1.09		
11	11.523	121	1.10		
12	12.500	144	1.09		
13					

(a) 각 차수별 고유진동수



(b) 고유진동수의 1차 회귀곡선

[그림 3.72] 각 차수별 고유진동수 및 1차 회귀곡선 일례(측경간 시점 좌측 CS13)

상기의 FFT 결과 및 회귀분석 결과를 이용하여 케이블 장력을 추정하면, 그 결과는 다음과 같다.

[표 3.89] 케이블 제원 및 회귀분석 결과 일례(측경간 시점 좌측 CS13)

케이블 No.	단위중량 (kN/m)	유효길이 (m)	기울기 (a)	Y-절편 (b)	케이블장력 (kN)
측경간 시점 좌측 CS13	0.064	128.840	0.00002	1.087	4708.97

3.6.3 시험결과 및 분석

1) 콘크리트 강도시험

- 거북선대교는 콘크리트 부재의 압축강도가 30.0Mpa 이상이므로 반발경도는 고강도식(권영웅 외, 과학기술부)을 적용하였으며, 초음파속도는 일본재료학회, 일본건축학회식을 적용하였다.
- 본 교량의 콘크리트 비파괴 강도 시험(반발경도법, 초음파 전달속도시험)은 총 40개소(상부구조: 26개소, 하부구조: 14개소)를 실시하였으며, 검토결과는 다음과 같다.

① 시험결과

[표 3.90] 상부구조 콘크리트 비파괴 강도 시험결과

시험위치			비파괴시험		반발경도법(MPa)		초음파속도법(MPa)		설계기준강도(MPa)	비 고
			반발경도(R_o)	초음파속도(V_d)	식①	식②	식③	식④		
상부구조	접속교	S1 캔틸레버	41.28	4.80	35.5	32.4	35.5	34.2	30.0	비건전부
		S2 캔틸레버	41.72	4.78	36.1	32.8	35.1	34.0		건전부
		S3 캔틸레버	41.88	4.92	36.3	32.9	38.0	35.4		건전부
		S4 캔틸레버	41.82	4.87	36.3	32.9	36.9	34.9		건전부
		S5 캔틸레버	41.82	4.70	36.3	32.9	33.5	33.2		건전부
		S6 캔틸레버	40.42	4.69	34.2	31.5	33.3	33.2		비건전부
		S7 캔틸레버	42.04	4.99	36.6	33.1	39.4	36.0		건전부
		S8 캔틸레버	41.55	4.88	35.9	32.6	37.2	35.0		건전부
		S1 G8 거더(좌벽)	52.20	5.49	51.3	42.8	49.4	40.8	40.0	건전부
		S2 G3 거더(좌벽)	50.40	5.45	48.7	41.1	48.6	40.4		건전부
		S3 G6 거더(좌벽)	51.45	5.47	50.2	42.1	49.0	40.6		건전부
		S4 G4 거더(좌벽)	49.60	5.49	47.6	40.3	49.4	40.8		비건전부
		S5 G1 거더(좌벽)	52.15	5.46	51.3	42.8	48.8	40.5		건전부
		S6 G1 거더(우벽)	49.95	5.45	48.1	40.7	48.7	40.4		건전부
		S7 G1 거더(우벽)	49.90	5.49	48.0	40.6	49.5	40.8		건전부
		S7 G3 거더(우벽)	51.60	5.43	50.5	42.3	48.3	40.3		건전부
		S8 G5 거더(우벽)	49.90	5.45	48.0	40.6	48.6	40.4		건전부

[표 3.90] 상부구조 콘크리트 비파괴 강도 시험결과(계속)

시험위치			비파괴시험		반발경도법(MPa)		초음파속도법(MPa)		설계기준강도(MPa)	비 고
			반발경도(R_o)	초음파속도(V_d)	식①	식②	식③	식④		
상부구조	접속교	S1 CB1 가로보(전면)	42.10	4.99	36.7	33.2	39.4	36.0	30.0	건전부
		S2 CB3 가로보(배면)	42.40	4.91	37.1	33.4	37.8	35.3		건전부
		S3 CB3 가로보(전면)	42.25	4.76	36.9	33.3	34.8	33.8		건전부
		S4 CB3 가로보(전면)	41.75	5.11	36.2	32.8	41.9	37.2		건전부
		S8 CB2 가로보(배면)	41.50	4.83	35.8	32.6	36.2	34.6		비건전부
	주경간교	S10 바닥판하면	49.49	5.49	47.4	40.2	49.4	40.8	40.0	건전부
		S11 바닥판하면	48.95	5.44	46.6	39.7	48.3	40.3		비건전부
		S10 G1 거더(우벽)	50.40	5.45	48.7	41.1	48.5	40.4		건전부
		S11 CB37 가로보(배면)	50.15	5.41	48.3	40.9	47.9	40.1		건전부

[표 3.91] 하부구조 콘크리트 비파괴 강도 시험결과

시험위치			비파괴시험		반발경도법(MPa)		초음파속도법(MPa)		설계기준강도(MPa)	비 고
			반발경도(R_o)	초음파속도(V_d)	식①	식②	식③	식④		
하부구조	접속교	A1 구체	42.50	4.85	37.2	33.5	36.6	34.7	30.0	건전부
		A1 흉벽	41.65	4.80	36.0	32.7	35.6	34.2		비건전부
		P1 기둥	43.10	4.80	38.1	34.1	35.6	34.2		건전부
		P2 기둥	42.60	4.84	37.4	33.6	36.4	34.6		건전부
		P3 기둥	42.30	4.73	37.0	33.4	34.1	33.5		건전부
		P4 기둥	42.25	4.90	36.9	33.3	37.5	35.1		건전부
		P5 기둥	43.80	4.72	39.1	34.8	33.9	33.4		건전부
		P6 기둥	41.95	4.81	36.4	33.0	35.7	34.3		건전부
	주경간교	P8 기둥	46.90	4.92	43.6	37.8	38.1	35.4	35.0	건전부
		P12 기둥	46.35	4.99	42.8	37.2	39.4	36.1		비건전부
		A2 구체	42.70	4.96	37.5	33.7	38.8	35.8	30.0	건전부
		A2 흉벽	41.35	4.86	35.6	32.4	36.7	34.8		비건전부
		PY1 좌측 주탑내부	51.30	5.50	50.0	42.0	49.5	40.9	40.0	비건전부
		PY1 우측 주탑내부	51.55	5.42	50.4	42.2	48.1	40.2		건전부

상부구조

[그림 3.73] 상부구조 콘크리트 비파괴 강도 시험결과

상부구조

[그림 3.73] 상부구조 콘크리트 비파괴 강도 시험결과(계속)

하부구조

[그림 3.74] 하부구조 콘크리트 비파괴 강도 시험결과

[표 3.92] 비파괴 강도 시험결과 분석

구 분	위 치		평균강도(A)		설계기준 강도(B)	A/B×100(%)	
			반발경도	초음파속도		반발경도	초음파속도
상부 구조	접속교	바닥판	31.5~33.1	33.2~36.0	30.0	105.0~110.3	110.7~120.0
		거더	40.3~42.8	40.3~40.8	40.0	100.8~107.0	100.8~102.0
		가로보	32.6~33.4	33.8~37.2	30.0	108.7~111.3	112.7~124.0
	주경 간교	바닥판	39.7~40.2	40.3~40.8	40.0	99.3~100.5	100.8~102.0
		거더	41.1	40.4	40.0	102.8	101.0
		가로보	40.9	40.1	40.0	102.3	100.3
하부 구조	접속교	교대	32.7~33.5	34.2~34.7	30.0	109.0~111.7	114.0~115.7
		교각	33.0~34.8	33.4~35.1	30.0	110.0~116.0	111.4~117.2
	주경 간교	교대	32.4~33.7	34.8~35.8	30.0	108.0~112.3	116.0~119.3
		교각	37.2~37.8	35.4~36.1	35.0	106.3~108.0	101.1~103.1
		주탑	42.0~42.2	40.2~40.9	40.0	105.0~105.5	100.5~102.3

- 반발경도법은 권영웅 외, 과학기술부 식 중 추정 압축강도가 작은 값의 식을 사용하였으며, 초음파속도법은 일본건축학회, 일본재료학회 중 추정 압축강도가 작은 값의 식을 사용하였다.
- 콘크리트 비파괴 강도시험 측정결과, 반발경도법에 의한 상부구조는 설계기준 강도의 99.3 ~ 111.3%, 초음파속도법에 의한 상부구조는 설계기준강도의 100.3 ~ 124.0%, 반발경도법에 의한 하부구조는 설계기준강도의 105.0 ~ 116.0%, 초음파에 의한 하부구조는 설계기준강도의 100.5 ~ 119.3%으로 설계기준 강도강도 90%이상을 상회하는 것으로 측정되었다.
- 본 교량의 외관조사 결과, 상·하부 구조 대부분 콘크리트 열화가 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 금회 실시한 콘크리트 강도시험은 건전부 및 비건전부에서 실시하였으며, 설계기준강도 90% 이상으로 측정되어 콘크리트 강도는 양호한 것으로 분석되었다.

② 기 점검 결과와의 비교·분석

[표 3.93] 비파괴 강도 기 점검 결과와의 비교

구 분			기 점검(2021년)		금회 정밀안전진단		비 고
			반발경도	초음파속도	반발경도	초음파속도	
상부구조	접속교	바닥판	31.2~33.0	-	31.5~33.1	33.2~36.0	설계강도 : 30.0
		거더	39.2~42.7	-	40.3~42.8	40.3~40.8	설계강도 : 40.0
		가로보	-	-	32.6~33.4	33.8~37.2	설계강도 : 30.0
	주경간교	바닥판	36.9~43.2	-	39.7~40.2	40.3~40.8	설계강도 : 40.0
		거더	36.5~44.0	-	41.1	40.4	설계강도 : 40.0
		가로보	-	-	40.9	40.1	설계강도 : 40.0
하부구조	접속교	교대	33.6	-	32.7~33.5	34.2~34.7	설계강도 : 30.0
		교각	28.6~35.2	-	33.0~34.8	33.4~35.1	설계강도 : 30.0
	주경간교	교대	32.8	-	32.4~33.7	34.8~35.8	설계강도 : 30.0
		교각	35.7~40.6	-	37.2~37.8	35.4~36.1	설계강도 : 35.0
		주탑	37.8~42.8	-	42.0~42.2	40.2~40.9	설계강도 : 40.0
비 고	•기 점검(2021년)과의 비교・분석 결과, 초음파속도법은 기 점검 미측정으로 인해 비교가 불가하나 반발경도법의 경우 측정위치에 따른 일부 차이는 있으나 전반적으로 양호한 콘크리트 강도를 확보, 유지하고 있는 것으로 분석되었다.						

2) 철근탐사시험

- 철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 총 40개소(상부구조: 26개소, 하부구조: 14개소)에서 실시하였으며, 설계도면 대비 적정 여부를 검토하였다.
- 철근탐사 결과를 설계도면과 비교한 결과, 배근간격 및 피복두께는 설계도면과 전반적으로 유사한 것으로 분석되었다.

① 시험결과

[표 3.94] 상부구조 철근탐사 시험결과

시험위치			철근종류	배근간격(㎜)		피복두께(㎜)		비 고
				설계치	측정치	설계치	측정치	
상부구조	접속교	S1 캔틸레버	횡방향철근	100	90	32.0	33.0	
			종방형철근	125	108	48.0	50.0	
		S2 캔틸레버	횡방향철근	100	93	32.0	33.0	
			종방형철근	125	118	48.0	53.0	
		S3 캔틸레버	횡방향철근	100	92	32.0	34.0	
			종방형철근	125	110	48.0	50.0	
		S4 바닥판하면	횡방향철근	200	195	32.0	39.0	
			종방향철근	125	128	48.0	53.0	
		S4 캔틸레버	횡방향철근	100	93	32.0	32.0	
			종방형철근	125	115	48.0	53.0	

[표 3.94] 상부구조 철근탐사 시험결과(계속)

시험위치			철근종류	배근간격(㎜)		피복두께(㎜)		비 고
				설계치	측정치	설계치	측정치	
상부구조	접속교	S5 캔틸레버	횡방향철근	100	89	32.0	34.0	
			종방형철근	125	111	48.0	51.0	
		S6 캔틸레버	횡방향철근	100	92	32.0	36.0	
			종방형철근	125	118	48.0	54.0	
		S7 캔틸레버	횡방향철근	100	93	32.0	33.0	
			종방형철근	125	110	48.0	50.0	
		S8 캔틸레버	횡방향철근	100	90	32.0	33.0	
			종방형철근	125	106	48.0	49.0	
		S1 G8 거더(좌벽)	수직철근	200	212	32.0	33.0	
			수평철근	200	195	48.0	56.0	
		S2 G3 거더(좌벽)	수직철근	300	303	32.0	38.0	
			수평철근	200	191	48.0	59.0	
		S3 G6 거더(좌벽)	수직철근	300	306	32.0	34.0	
			수평철근	200	187	48.0	50.0	
		S4 G4 거더(좌벽)	수직철근	300	300	32.0	44.0	
			수평철근	200	193	48.0	64.0	
		S5 G1 거더(좌벽)	수직철근	300	291	32.0	35.0	
			수평철근	200	193	42.0	52.0	
		S6 G1 거더(우벽)	수직철근	300	308	32.0	32.0	
			수평철근	200	190	48.0	53.0	
		S7 G1 거더(우벽)	수직철근	300	304	32.0	35.0	
			수평철근	200	194	48.0	52.0	
		S7 G3 거더(우벽)	수직철근	300	306	32.0	40.0	
			수평철근	200	193	48.0	58.0	
		S8 G5 거더(우벽)	수직철근	200	203	32.0	42.0	
			수평철근	200	197	48.0	58.0	
		S1 CB1 가로보(전면)	수직철근	125	121	32.0	48.0	
			수평철근	200	218	48.0	76.0	
		S2 CB3 가로보(배면)	수직철근	250	256	32.0	33.0	
			수평철근	250	250	48.0	49.0	
		S3 CB3 가로보(전면)	수직철근	250	245	32.0	34.0	
			수평철근	250	238	48.0	57.0	
		S4 CB3 가로보(전면)	수직철근	250	257	32.0	40.0	
			수평철근	250	245	48.0	56.0	
		S8 CB2 가로보(배면)	수직철근	250	249	32.0	35.0	
			수평철근	250	240	48.0	58.0	
	주경간교	S10 바닥판하면	횡방향철근	125	125	62.0	63.0	
			종방형철근	125	119	78.0	82.0	
		S11 바닥판하면	횡방향철근	125	127	62.0	62.0	
			종방형철근	125	118	78.0	83.0	
		S10 G1 거더(우벽)	수직철근	125	128	65.5	66.0	
			수평철근	125	118	84.5	86.0	
		S11 CB37 가로보(배면)	수직철근	250	244	62.0	62.0	
			수평철근	300	299	78.0	84.0	

[표 3.95] 하부구조 철근탐사 시험결과

시험위치			철근종류	배근간격(㎜)		피복두께(㎜)		비 고
				설계치	측정치	설계치	측정치	
하부구조	접속교	A1 구체	수직철근	200	206	85.5	95.0	
			수평철근	100	111	114.5	122.0	
		A1 흉벽	수직철근	200	188	42.0	73.0	
			수평철근	200	207	58.0	96.0	
		P1 기둥	수직철근	100	108	84.0	115.0	
			수평철근	150	147	68.0	90.0	
		P2 기둥	수직철근	100	110	209.0	218.0	
			수평철근	150	148	190.0	190.0	
		P3 기둥	수직철근	100	111	209.0	214.0	
			수평철근	150	145	190.0	195.0	
		P4 기둥	수직철근	100	112	161.0	166.0	
			수평철근	300	309	142.0	143.0	
		P5 기둥	수직철근	100	109	161.0	172.0	
			수평철근	300	286	142.0	150.0	
		P6 기둥	수직철근	100	115	209.0	213.0	
			수평철근	300	307	190.0	190.0	
	주경간교	P8 기둥	수직철근	125	132	135.5	149.0	
			수평철근	300	294	116.5	123.0	
		P12 기둥	수직철근	125	126	135.5	147.0	
			수평철근	300	288	110.5	113.0	
		A2 구체	수직철근	250	238	135.5	136.0	
			수평철근	150	152	164.5	175.0	
		A2 흉벽	수직철근	250	247	120.5	124.0	
			수평철근	150	149	139.5	144.0	
		PY1 좌측 주탑내부	수직철근	125	112	64.0	73.0	
			수평철근	150	159	45.0	50.0	
		PY1 우측 주탑내부	수직철근	125	114	64.0	70.0	
			수평철근	150	160	45.0	49.0	

② 기 점검 결과와의 비교·분석

- 기 점검(2021년)시 정밀안전점검의 선택과업인 철근탐사시험을 실시하지 않아, 기 점검과의 비교가 불가능 하였으나, 배근간격 및 피복두께 모두 설계도면과 유사한 것으로 분석되었다.

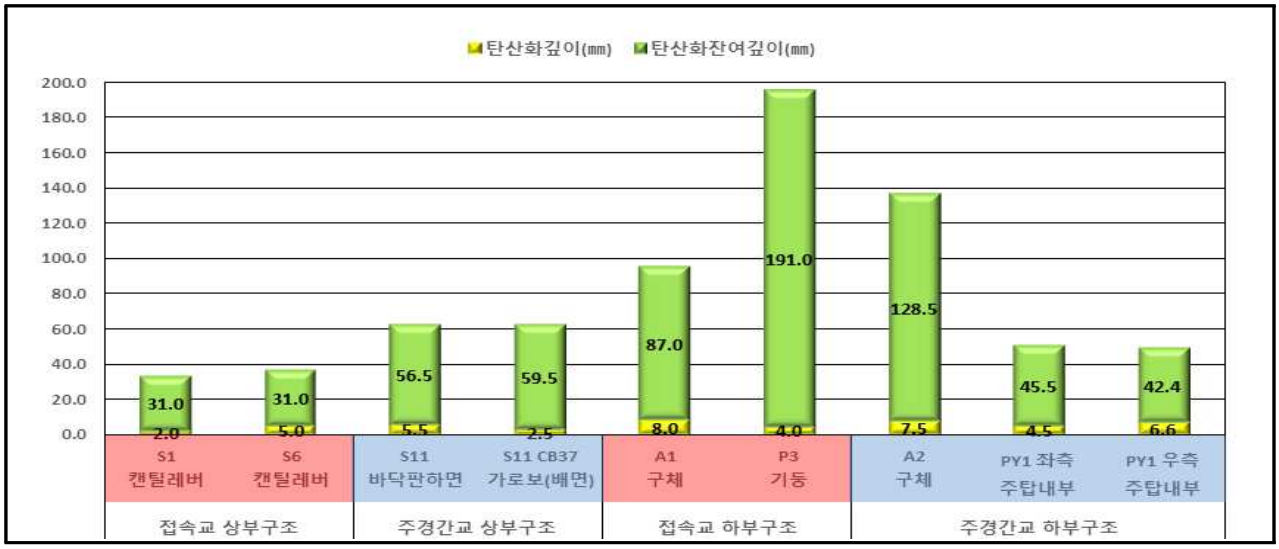
3) 탄산화 깊이 측정

- 탄산화 깊이 측정은 총 9개소(상부구조: 4개소, 하부구조: 5개소)에서 실시하여 최소피복두께와 탄산화깊이를 비교하여 내구성 저하여부 및 상태평가 자료로 활용하였다.
- 탄산화깊이 측정결과, 탄산화 잔여깊이가 30mm이상으로 분석되어 a등급(탄산화에 의한 부식발생 우려 없음)의 상태이며, 또한 철근까지의 탄산화 도달시간은 시험개소 모두 100년 이상으로 산정되었다.

① 측정결과

[표 3.96] 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치			탄산화 깊이 (㎜)	실측 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)
상부 구조	접속교	S1 캔틸레버	2.0	33.0	31.0	a	0.632	100년 이상
		S6 캔틸레버	5.0	36.0	31.0	a	1.581	
	주경 간교	S11 바닥판하면	5.5	62.0	56.5	a	1.739	
		S11 CB 37가로보(배면)	2.5	62.0	59.5	a	0.791	
하부 구조	접속교	A1 구체	8.0	95.0	87.0	a	2.530	
		P3 기둥	4.0	195.0	191.0	a	1.265	
	주경 간교	A2 구체	7.5	136.0	128.5	a	2.372	
		PY1 좌측 주탑내부	4.5	50.0	45.5	a	1.423	
		PY1 우측 주탑내부	6.6	49.0	42.4	a	2.087	



[그림 3.75] 탄산화 깊이 측정결과

② 기 점검 결과와의 비교·분석

- 기 점검(2021년)과의 비교 · 분석결과, 측정위치에 따른 미미한 차이가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단된다.

[표 3.97] 탄산화 깊이 기 점검 결과와의 비교

구 분		기 점검(2021년)	금회 정밀안전진단	비 고
		탄산화 잔여깊이(mm)	탄산화 잔여깊이(mm)	
상부구조	접속교	30.5~36.0	31.0	·측정위치에 따른 편차
	주경간교	41.1~47.3	56.5~59.5	
하부구조	접속교	33.2~84.3	87.0~191.0	
	주경간교	88.1~144.5	42.4~128.5	

4) 염화물함유량 시험

- 염화물함유량 시험은 총 9개소에서 시료를 채취하였으며, 채취한 시료를 깊이별 염화물함유량 시험을 실시하였고 그 결과를 이용하여 상태평가 자료로 활용하였다.
- 시료 깊이별 염화물함유량 시험 평가결과, 상부구조 및 하부구조 전 개소 표면부 ~ 철근부에서 b등급으로 평가되어 철근부에서는 철근 부식 등의 우려가 낮은 상태로 평가되었다.

[표 3.98] 염화물 함유량 시험결과 및 평가

시험위치				실측 피복두께(㎜)	염화물 함유량		평가 결과	비 고
					Cl^-(%)	Cl^-(kg/㎥)		
상부구조	접속교	S1 캔틸레버	표면부	33.0	0.0301	0.681	b	
			중앙①		0.0254	0.575	b	
			중앙②		0.0201	0.455	b	
			철근부		0.0135	0.306	b	
		S6 캔틸레버	표면부	36.0	0.0284	0.643	b	
			중앙①		0.0233	0.527	b	
			중앙②		0.0185	0.419	b	
			철근부		0.0162	0.367	b	
	주경간교	S11 바닥판하면	표면부	62.0	0.0342	0.774	b	
			중앙①		0.0265	0.600	b	
			중앙②		0.0214	0.484	b	
			철근부		0.0154	0.349	b	
		S11 CB37	표면부	62.0	0.0397	0.898	b	
			중앙①		0.0331	0.749	b	
			중앙②		0.0247	0.559	b	
			철근부		0.0156	0.353	b	

※ 콘크리트 환산 염화물 함유량(kg/㎥) = 전 염화물 함유량(Cl^-)% / 100 × 콘크리트 단위중량(2,263kg/㎥)

[표 3.98] 염화물 함유량 시험결과 및 평가(계속)

시험위치				실측 피복두께(㎜)	염화물 함유량		평가 결과	비 고
					Cl^-(%)	Cl^-(kg/㎥)		
하부 구조	접속교	A1 구체	표면부	95.0	0.0278	0.629	b	
			중앙①		0.0216	0.489	b	
			중앙②		0.0178	0.403	b	
			철근부		0.0144	0.326	b	
		P3 기둥	표면부	195.0	0.0300	0.679	b	
			중앙①		0.0260	0.588	b	
			중앙②		0.0224	0.507	b	
			철근부		0.0141	0.319	b	
	주경 간교	A2 구체	표면부	136.0	0.0307	0.695	b	
			중앙①		0.0251	0.568	b	
			중앙②		0.0217	0.491	b	
			철근부		0.0146	0.330	b	
		PY1 주탑외부	표면부	120.0	0.0411	0.930	b	
			중앙①		0.0326	0.738	b	
			중앙②		0.0241	0.545	b	
			철근부		0.0166	0.376	b	
		PY1 주탑내부	표면부	49.0	0.0320	0.724	b	
			중앙①		0.0249	0.563	b	
			중앙②		0.0175	0.396	b	
			철근부		0.0136	0.308	b	

※ 콘크리트 환산 염화물 함유량(kg/㎥) = 전 염화물 함유량(Cl^-)% / 100 × 콘크리트 단위중량(2,263kg/㎥)

② 기 점검 결과와의 비교·분석

- 기 점검(2021년)시 정밀안전점검의 선택과업인 염화물 함유량 시험을 실시하지 않아, 기 점검과의 비교가 불가능하였다.

5) 균열깊이 측정

- 균열깊이측정은 조사된 균열 손상들 가운데 비교적 정도가 심하다고 판단되는 부위에 대해 균열깊이를 측정하였으며, 그 결과 균열깊이 32.9㎜(A1 흉벽), 30.1㎜(A2 흉벽)으로 조사되어, 콘크리트 철근부식이 없는 양호한 상태(Dc(피복두께)/2 > 균열깊이)로 평가되었다.

① 측정결과

[표 3.99] 균열깊이 측정결과

시험위치		균열폭 (㎜)	초음파 전달시간 ($\times 10^{-6}$ sec)		균열깊이 (㎜)	피복두께 (㎜)	비 고
			건전부(To)	균열부(Tc)			
A1 교대	흉벽	0.2	24.8	29.7	32.9	73.0	-
A2 교대	흉벽	0.2	28.7	33.5	30.1	124.0	-

② 기 진단 결과와의 비교·분석

- 금회 진단에서 최초 균열깊이를 측정한 곳으로 비교·분석은 불가하나 금회 측정한 균열깊이 데이터를 활용하여 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

6) 케이블 장력 산정 결과

① 고유진동수 분석

[표 3.100] 케이블의 1st~7th 고유진동수

계측일 : 2022.10.13.21:35～10.14.01:45 대기온도 : 16.4～18.7℃ 상대습도 : 61.3～66.9%

케이블 번호		고유진동수(Hz)						
		1	2	3	4	5	6	7
CS구간 측경간 시점 좌측	CS10	1.392	2.759	4.175	5.518	6.885	8.228	9.619
	CS11	1.294	2.588	3.882	5.151	6.470	7.788	9.058
	CS12	1.147	2.295	3.467	4.614	5.762	6.909	8.081
	CS13	1.050	2.075	3.149	4.175	5.225	6.177	7.251
CS구간 측경간 시점 우측	CS10	1.392	2.783	4.175	5.566	6.885	8.264	9.680
	CS11	1.294	2.588	3.857	5.176	6.470	7.715	8.911
	CS12	1.172	2.319	3.491	4.614	5.786	6.909	8.081
	CS13	1.050	2.100	3.125	4.175	5.225	6.274	7.300
CS구간 측경간 종점 좌측	CS10	1.367	2.759	4.102	5.493	6.812	8.179	9.570
	CS11	1.270	2.563	3.833	5.103	6.386	7.666	8.936
	CS12	1.135	2.271	3.394	4.517	5.652	6.812	7.910
	CS13	1.025	2.051	3.076	4.102	5.103	6.152	7.178
CS구간 측경간 종점 우측	CS10	1.392	2.783	4.150	5.542	6.909	8.276	9.717
	CS11	1.270	2.539	3.809	5.054	6.323	7.568	8.789
	CS12	1.135	2.271	3.394	4.517	5.640	6.787	7.886
	CS13	1.025	2.051	3.076	4.102	5.127	6.152	7.153
CM구간 주경간 PY1 좌측	CM11	1.245	2.466	3.711	4.932	6.152	7.422	8.618
	CM12	1.196	2.393	3.589	4.785	5.957	7.178	8.350
	CM13	1.123	2.246	3.369	4.468	5.591	6.738	7.813
CM구간 주경간 PY1 우측	CM11	1.245	2.466	3.711	4.932	6.152	7.397	8.594
	CM12	1.196	2.393	3.589	4.785	5.957	7.129	8.374
	CM13	1.123	2.234	3.345	4.468	5.566	6.641	7.739
CM구간 주경간 PY2 좌측	CM11	1.245	2.466	3.687	4.907	6.128	7.373	8.618
	CM12	1.196	2.368	3.564	4.736	5.933	7.104	8.325
	CM13	1.123	2.246	3.345	4.468	5.591	6.714	7.813
CM구간 주경간 PY2 우측	CM11	1.221	2.454	3.674	4.883	6.079	7.312	8.606
	CM12	1.196	2.393	3.564	4.736	5.933	7.129	8.325
	CM13	1.123	2.246	3.345	4.468	5.566	6.714	7.837

[표 3.101] 케이블의 8st~14th 고유진동수

계측일 : 2022.10.13.21:35～10.14.01:45 대기온도 : 16.4～18.7℃ 상대습도 : 61.3～66.9%

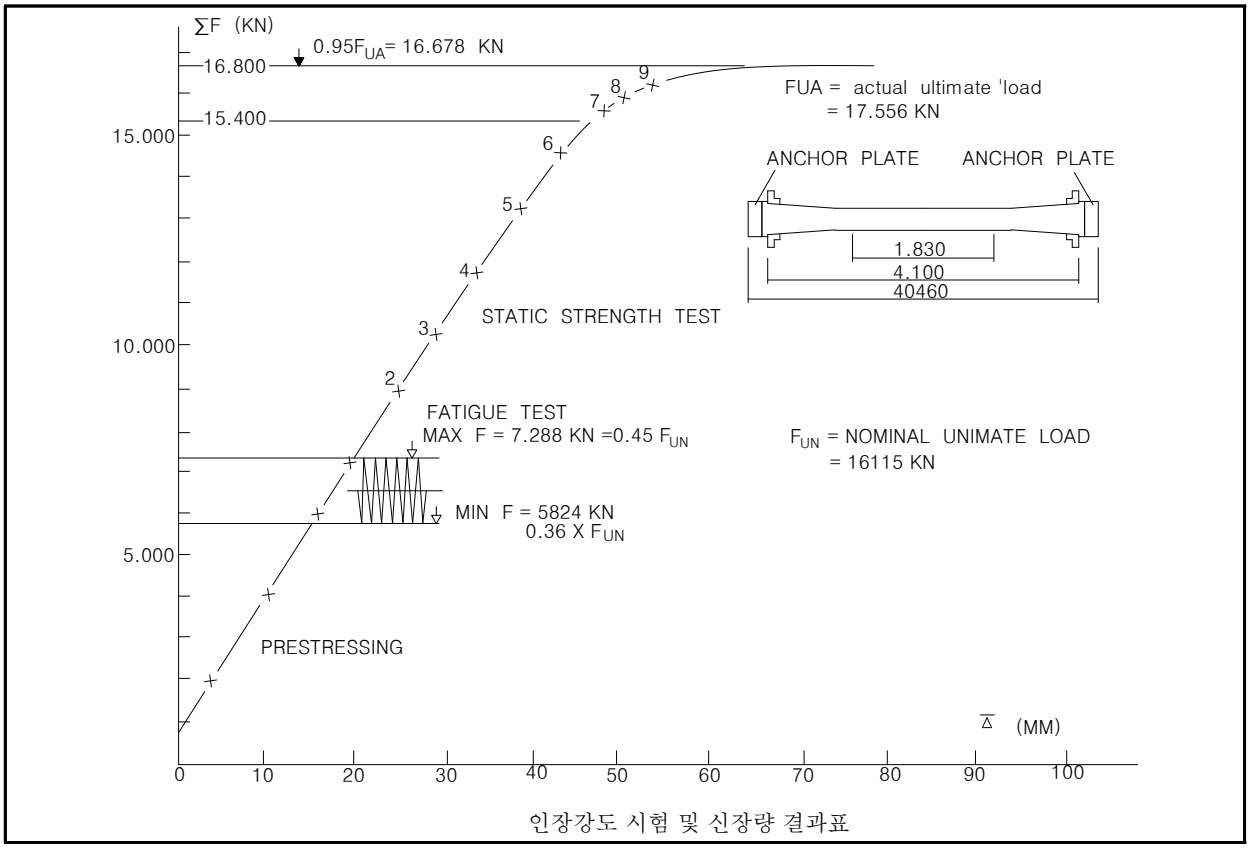
케이블 번호		고유진동수(Hz)						
		8	9	10	11	12	13	14
CS구간 측경간 시점 좌측	CS10	11.035	12.451	13.721	-	-	-	-
	CS11	10.303	11.597	12.866	14.136	-	-	-
	CS12	9.204	10.352	11.523	12.646	13.794	-	-
	CS13	8.350	9.424	10.449	11.523	12.500	-	-
CS구간 측경간 시점 우측	CS10	11.096	12.500	13.892	-	-	-	-
	CS11	10.303	11.621	12.891	14.063	-	-	-
	CS12	9.180	10.376	11.548	12.646	13.818	-	-
	CS13	8.350	9.375	10.400	11.475	12.451	-	-
CS구간 측경간 종점 좌측	CS10	10.913	12.329	13.721	-	-	-	-
	CS11	10.059	11.401	12.755	14.038	-	-	-
	CS12	9.058	10.168	11.255	12.476	13.574	-	-
	CS13	8.203	9.229	10.254	11.255	12.329	-	-
CS구간 측경간 종점 우측	CS10	10.938	12.451	13.794	-	-	-	-
	CS11	10.059	11.279	12.671	13.940	-	-	-
	CS12	9.058	10.083	11.267	12.427	13.550	-	-
	CS13	8.203	9.235	10.266	11.206	12.207	-	-
CM구간 주경간 PY1 좌측	CM11	9.839	11.133	12.305	-	-	-	-
	CM12	9.559	10.767	11.963	13.110	14.380	-	-
	CM13	8.960	10.107	11.279	12.354	13.403	-	-
CM구간 주경간 PY1 우측	CM11	9.912	11.084	12.280	-	-	-	-
	CM12	9.570	10.718	11.865	13.013	14.294	-	-
	CM13	8.936	10.059	11.096	12.280	13.477	-	-
CM구간 주경간 PY2 좌측	CM11	9.814	11.011	12.646	-	-	-	-
	CM12	9.521	10.693	11.902	13.110	14.258	-	-
	CM13	8.911	10.059	11.182	12.280	13.428	-	-
CM구간 주경간 PY2 우측	CM11	9.644	10.986	12.195	-	-	-	-
	CM12	9.497	10.693	11.865	13.086	14.233	-	-
	CM13	8.862	10.059	11.133	12.207	13.306	-	-

② 케이블 장력산정

FFT결과에 의해 구하여진 고유진동수는 진동현 이론에 의해 산출된 식에 의해 계측장력이 산출되어 진다. 식을 이용하여 모드별 고유 진동수를 모드 수에 대해 그려보면 [그림 3.76]과 같이 기울기가 $(1/2l)\sqrt{T \cdot g/w}$인 직선이 된다. 이것은 "non -dispersive" 이론으로 각 모드의 고유진동수를 그 모드의 차수로 나누어주면 모든 모드에 대해 1차 모드 고유진동수를 얻을 수 있다는 의미이다.

하지만 일반적으로 케이블의 길이가 긴 경우 새그효과, 중차량의 이동하중영향 및 가속도 신호의 선형 경향으로 인해 케이블의 고유진동수 중 저 진동수 영역의 값은 진동현 이론에 의한 고유진동수보다 좀 크게 산정되어 진다. 따라서 본 과업에서는 대기온도의 변화 및 통행량이 적은 야간 시간대를 이용하였으며, 한 개소에서 수회 측정하여 케이블 장력을 산정하였다.

케이블 장력을 산출하기 위해 사용한 각각의 케이블에 대한 특성 및 물성을 금회 측정 장력과 함께 [표 3.102]에 정리하였으며, 여기서 사용한 단위 길이당 중량, 유효길이 등의 케이블 물성 및 제원은 준공도면 및 구조 및 수리계산서 자료를 참조하여 적용하였다.



[그림 3.76] 케이블 인장강도 및 신장량 시험 결과(예시)

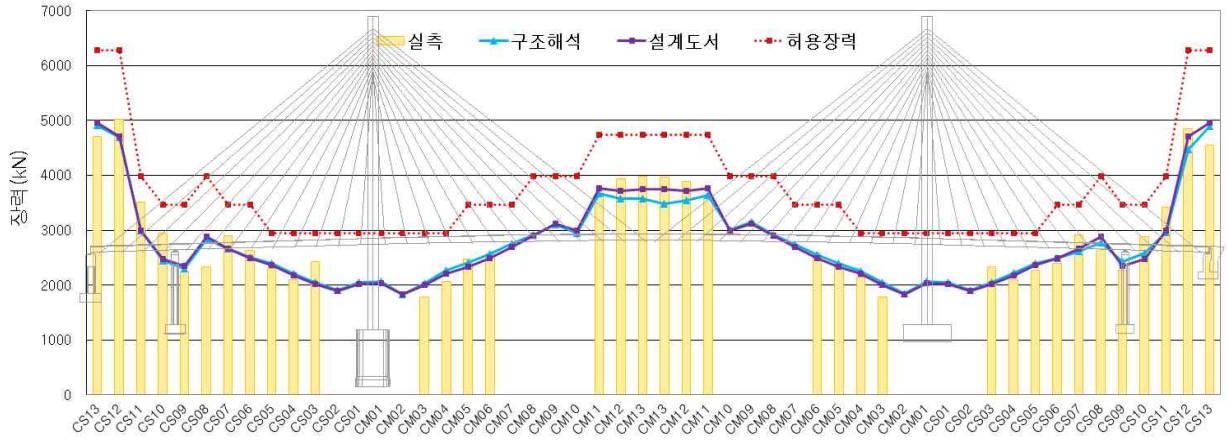
[표 3.102] 케이블의 물성 산정 및 장력신정 결과

케이블 번 호		설계도서			진동법에 의한 장력 산정		
		단위 중량 (kN/m)	유효 길이 L(m)	케이블 장력 (kN)	기울기 (a)	절편 (b)	케이블장력 (kN)
CS구간 측경간 시점 좌측	CS10	0.035	103.669	2476	-0.0003	1.915	2937.70
	CS11	0.041	111.953	2997	-0.0002	1.676	3511.73
	CS12	0.064	120.350	4702	0.0000	1.326	5012.95
	CS13	0.064	128.840	4959	0.00002	1.087	4708.97
CS구간 측경간 시점 우측	CS10	0.035	103.669	2476	-0.0001	1.926	2953.85
	CS11	0.041	111.953	2997	-0.0002	1.668	3495.09
	CS12	0.064	120.350	4702	-0.0002	1.347	5090.92
	CS13	0.064	128.840	4959	-0.0001	1.096	4746.10
CS구간 측경간 종점 좌측	CS10	0.035	103.669	2476	0.0000	1.874	2875.02
	CS11	0.041	111.953	2997	-0.0001	1.628	3410.29
	CS12	0.064	120.350	4702	0.0000	1.283	4848.83
	CS13	0.064	128.840	4959	0.0000	1.050	4547.53
CS구간 측경간 종점 우측	CS10	0.035	103.669	2476	-0.0003	1.925	2953.22
	CS11	0.041	111.953	2997	-0.0001	1.602	3356.27
	CS12	0.064	120.350	4702	-0.0001	1.281	4840.57
	CS13	0.064	128.840	4959	-0.0001	1.053	4562.82
CM구간 주경간 PY1 좌측	CM11	0.048	110.392	3764	-0.0001	1.529	3647.82
	CM12	0.048	118.764	3717	0.0000	1.429	3943.54
	CM13	0.048	127.236	3744	0.0000	1.257	3982.19
CM구간 주경간 PY1 우측	CM11	0.048	110.392	3764	-0.0002	1.529	3647.87
	CM12	0.048	118.764	3717	-0.0002	1.430	3948.18
	CM13	0.048	127.236	3744	0.0000	1.242	3935.21
CM구간 주경간 PY2 좌측	CM11	0.048	110.392	3764	0.0003	1.510	3600.60
	CM12	0.048	118.764	3717	0.0000	1.410	3893.35
	CM13	0.048	127.236	3744	0.0000	1.252	3966.81
CM구간 주경간 PY2 우측	CM11	0.048	110.392	3764	-0.0001	1.495	3564.98
	CM12	0.048	118.764	3717	-0.0001	1.418	3913.20
	CM13	0.048	127.236	3744	-0.0002	1.254	3972.39

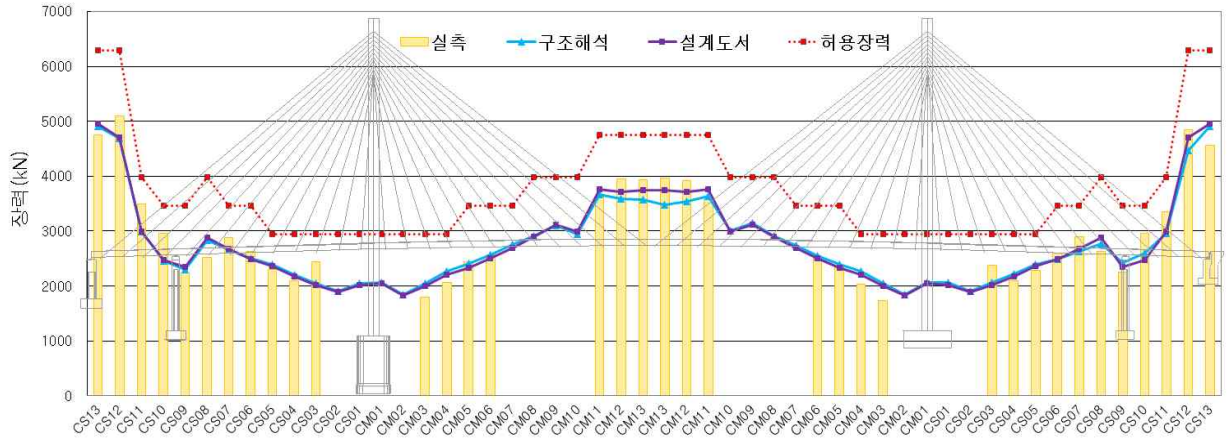
③ 케이블 장력 분석

케이블의 장력 이력을 추적·관리하기 위해 설계도서 및 2018년 4월에 실시한 케이블 장력 전수조사보고서와 금회 정밀안전진단 시 측정한 장력치와 비교하여 보았다. 대상은 총 28개소의 케이블에 대해 계측을 실시하였으며 설계도서의 장력과 값의 차이가 3~ 19%의 차이를 보이는 것으로 측정되었으며 CS구간 측경간 시점 좌, 우측 CS10과 종점 우측 CS10에서 공통적으로 가장 크게 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

또한 케이블 가속도를 통한 장력값인 2018년 자료와 비교 시 1~ 5% 정도 차이를 보이는 것으로 나타나 계측치간의 장력차이는 설계도서보다는 크게 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었으며, 계측치간의 차이는 측정 당일 온도, 습도, 풍속과 같은 기후 조건과 케이블 측점 위치 및 가진 조건 등 계측 시 여러 조건에 의한 것으로 판단되며 케이블 유지관리를 위하여 향후 주기적으로 관리가 필요할 것으로 판단된다.



<좌측 케이블 장력 비교>



<우측 케이블 장력 비교>

[그림 3.77] 케이블 장력 비교

[표 3.103] 케이블 장력 비교 ①

케이블 번 호		케이블 장력(kN)				장력 비교	
		허용 장력	설계도서 ①	2018장력 ②	2022장력 ③	③/①	③/②
CS구간 측경간 시점 좌측	CS13	6284	4959	4577	4709	0.95	1.03
	CS12	6284	4702	4892	5013	1.07	1.02
	CS11	3976	2997	3375	3512	1.17	1.04
	CS10	3463	2476	2922	2938	1.19	1.01
	CS09	3463	2345	2243	-	-	-
	CS08	3976	2883	2328	-	-	-
	CS07	3463	2670	2898	-	-	-
	CS06	3463	2491	2627	-	-	-
	CS05	2950	2366	2302	-	-	-
	CS04	2950	2175	2098	-	-	-
	CS03	2950	2017	2431	-	-	-
	CS02	2950	1887	-	-	-	-
	CS01	2950	2016	-	-	-	-
CM구간 주경간 PY1 좌측	CM01	2950	2040	-	-	-	-
	CM02	2950	1822	-	-	-	-
	CM03	2950	2006	1778	-	-	-
	CM04	2950	2203	2066	-	-	-
	CM05	3463	2327	2479	-	-	-
	CM06	3463	2496	2567	-	-	-
	CM07	3463	2698	-	-	-	-
	CM08	3976	2894	-	-	-	-
	CM09	3976	3115	-	-	-	-
	CM10	3976	2989	-	-	-	-
	CM11	4745	3764	-	3648	0.97	-
	CM12	4745	3717	-	3944	1.06	-
	CM13	4745	3744	-	3982	1.06	-

[표 3.104] 케이블 장력 비교 ②

케이블 번 호		케이블 장력(kN)				장력 비교	
		허용 장력	설계도서 ①	2018장력 ②	2022장력 ③	③/①	③/②
CM구간 주경간 PY2 좌측	CM13	4745	3744	-	3967	1.06	-
	CM12	4745	3717	-	3893	1.05	-
	CM11	4745	3764	-	3601	0.96	-
	CM10	3976	2989	-	-	-	-
	CM09	3976	3115	-	-	-	-
	CM08	3976	2894	-	-	-	-
	CM07	3463	2698	-	-	-	-
	CM06	3463	2496	2588	-	-	-
	CM05	3463	2327	2390	-	-	-
	CM04	2950	2203	2141	-	-	-
	CM03	2950	2006	1778	-	-	-
	CM02	2950	1822	-	-	-	-
	CM01	2950	2040	-	-	-	-
CS구간 측경간 종점 좌측	CS01	2950	2016	-	-	-	-
	CS02	2950	1887	-	-	-	-
	CS03	2950	2017	2326	-	-	-
	CS04	2950	2175	2098	-	-	-
	CS05	2950	2366	2277	-	-	-
	CS06	3463	2491	2393	-	-	-
	CS07	3463	2670	2909	-	-	-
	CS08	3976	2883	2664	-	-	-
	CS09	3463	2345	2264	-	-	-
	CS10	3463	2476	2830	2875	1.16	1.02
	CS11	3976	2997	3255	3410	1.14	1.05
	CS12	6284	4702	4684	4849	1.03	1.04
	CS13	6284	4959	4446	4548	0.92	1.02

[표 3.105] 케이블 장력 비교 ③

케이블 번 호		케이블 장력(kN)				장력 비교	
		허용 장력	설계도서 ①	2018장력 ②	2022장력 ③	③/①	③/②
CS구간 측경간 시점 우측	CS13	6284	4959	4638	4746	0.96	1.02
	CS12	6284	4702	4982	5091	1.08	1.02
	CS11	3976	2997	3375	3495	1.17	1.04
	CS10	3463	2476	2919	2954	1.19	1.01
	CS09	3463	2345	2234	-	-	-
	CS08	3976	2883	2519	-	-	-
	CS07	3463	2670	2880	-	-	-
	CS06	3463	2491	2627	-	-	-
	CS05	2950	2366	2299	-	-	-
	CS04	2950	2175	2088	-	-	-
	CS03	2950	2017	2447	-	-	-
	CS02	2950	1887	-	-	-	-
	CS01	2950	2016	-	-	-	-
CM구간 주경간 PY1 우측	CM01	2950	2040	-	-	-	-
	CM02	2950	1822	-	-	-	-
	CM03	2950	2006	1791	-	-	-
	CM04	2950	2203	2066	-	-	-
	CM05	3463	2327	2440	-	-	-
	CM06	3463	2496	2564	-	-	-
	CM07	3463	2698	-	-	-	-
	CM08	3976	2894	-	-	-	-
	CM09	3976	3115	-	-	-	-
	CM10	3976	2989	-	-	-	-
	CM11	4745	3764	-	3648	0.97	-
	CM12	4745	3717	-	3948	1.06	-
	CM13	4745	3744	-	3935	1.05	-

[표 3.106] 케이블 장력 비교 ④

케이블 번 호		케이블 장력(kN)				장력 비교	
		허용 장력	설계도서 ①	2018장력 ②	2022장력 ③	③/①	③/②
CM구간 주경간 PY2 우측	CM13	4745	3744	-	3972	1.06	-
	CM12	4745	3717	-	3913	1.05	-
	CM11	4745	3764	-	3565	0.95	-
	CM10	3976	2989	-	-	-	-
	CM09	3976	3115	-	-	-	-
	CM08	3976	2894	-	-	-	-
	CM07	3463	2698	-	-	-	-
	CM06	3463	2496	2549	-	-	-
	CM05	3463	2327	2368	-	-	-
	CM04	2950	2203	2030	-	-	-
	CM03	2950	2006	1725	-	-	-
	CM02	2950	1822	-	-	-	-
	CM01	2950	2040	-	-	-	-
CS구간 측경간 종점 우측	CS01	2950	2016	-	-	-	-
	CS02	2950	1887	-	-	-	-
	CS03	2950	2017	2373	-	-	-
	CS04	2950	2175	2095	-	-	-
	CS05	2950	2366	2279	-	-	-
	CS06	3463	2491	2603	-	-	-
	CS07	3463	2670	2901	-	-	-
	CS08	3976	2883	2636	-	-	-
	CS09	3463	2345	2246	-	-	-
	CS10	3463	2476	2898	2953	1.19	1.02
	CS11	3976	2997	3231	3356	1.12	1.04
	CS12	6284	4702	4704	4841	1.03	1.03
	CS13	6284	4959	4455	4563	0.92	1.02

3.7 현장조사 및 시험결과 요약

3.7.1 손상물량 총괄표

가. 주경간교

[표 3.107] 주경간교 - 손상물량 총괄표

부 재	결함 및 손상내용	손상물량			조치방안	비 고
		물량	개소	단위		
바닥판	균열(Cw=0.3㎜미만)	43.0	10	m	표면처리	
	망상균열	37.00	3	㎡	표면처리	
	보수부재균열(Cw=0.3㎜미만)	7.5	3	m	표면처리	
거더	균열(Cw=0.3㎜미만)	6.0	7	m	표면처리	
	망상균열	0.06	1	㎡	표면처리	
	보수부박락	0.04	1	㎡	단면보수	
가로보	균열(Cw=0.3㎜미만)	17.0	17	m	표면처리	
	망상균열	3.02	3	㎡	표면처리	
	박리, 박락	0.10	3	㎡	단면보수	
	백태	0.03	2	㎡	표면처리	
	보수부들뜸	0.31	5	㎡	단면보수	
	보수부박락	0.01	1	㎡	단면보수	
	앵커볼트 미제거	17	17	EA	주의관찰	
	잡철근노출	0.15	1	㎡	단면보수(방청)	
케이블	가이드 파이프 부식	0.07	4	㎡	재도장	
	낙뢰 케이블 와이어 부식	0.81	24	㎡	재도장	
정착구	균열(0.3㎜미만)	13.6	47	m	표면처리	
	망상균열	0.22	2	㎡	표면처리	
	정착구 누유 및 누유흔적	29	29	EA	주의관찰	
주탑내부	균열(폭 0.3㎜미만)	11.0	10	m	표면처리	
	망상균열	0.60	1	㎡	표면처리	
	콘크리트 재료분리	2.00	1	㎡	단면보수	
	볼트마감불량	1	1	EA	주의관찰	
	시공불량	0.87	3	㎡	주의관찰	
	이물질매설	0.09	1	㎡	청소	
주탑외부	내염도장 박리	92.00	4	㎡	염해방지 도장처리	
	에어쇼바 부식 및 노후화	4	4	EA	주의관찰	
	철근노출	0.05	3	㎡	단면보수(방청)	
	체수	3.04	2	㎡	주의관찰	
교대	균열(Cw=0.3㎜미만)	3.0	2	m	표면처리	
	누수흔적	4.00	2	㎡	주의관찰	
	이물질퇴적	2.00	1	㎡	청소	

[표 3.107] 주경간교 - 손상물량 총괄표(계속)

부 재		결함 및 손상내용	손상물량			조치방안	비 고
			물량	개소	단위		
교각		균열(Cw=0.3㎜미만)	8.0	3	m	표면처리	
		박락,파손	0.46	2	㎡	단면보수	
		누수흔적	47.50	3	㎡	주의관찰	
		망상균열	3.00	1	㎡	표면처리	
		보수부재균열(Cw=0.3㎜미만)	3.5	1	m	표면처리	
		이물질퇴적	11.25	2	㎡	청소	
		잡철물노출	0.02	1	㎡	단면보수(방청)	
		철근노출	0.02	2	㎡	단면보수(방청)	
		폐콘크리트 적치	0.40	1	㎡	청소	
교량받침	윈드슈	몰탈균열(Cw=0.3㎜미만)	0.2	1	m	표면처리	
		콘크리트망상균열	3.00	2	㎡	표면처리	
		볼트부식	62	62	EA	재도장	
	탄성받침	받침플레이트 볼트부식	166	166	EA	재도장	
		받침콘크리트 철근노출	0.01	1	㎡	단면보수(방청)	
		고무재균열	1.3	1	m	주의관찰	
신축이음		강재부식	0.93	6	㎡	주의관찰	
		신축이음 하부 고무재파손	5.0	1	m	주의관찰	
		이물질퇴적	5.6	6	m	청소	
		신축이음 하부 누수	44.0	2	m	러버씰 교체	
교면포장	보도부	포장균열(0.3㎜미만)	32.8	31	m	주의관찰	
		마모 및 열화	1392.00	2	㎡	주의관찰	
		보수부박리	0.39	1	㎡	주의관찰	
		체수흔적(식생)	1.5	1	m	식생제거	
	차도부	접속부 아스콘 망상균열	490.00	1	㎡	재포장	
		포장부 식생	12.0	3	m	식생제거	
		포장패임	0.14	2	㎡	주의관찰	
배수시설		배수관 주변 누수	1	1	EA	실링처리	
방호벽/중분대		균열(폭 0.3㎜미만)	35.2	51	m	표면처리	
		균열(폭 0.3㎜이상)	3.7	2	m	주입보수	
		난간신축부탈락	2	2	EA	주의관찰	
		부식	0.02	2	㎡	주의관찰	
		균열백태	0.10	1	㎡	표면처리	
		긁힘, 박리, 파손	3.81	3	㎡	단면보수	
		델리네이트 파손	5	5	EA	재설치	
		백태	0.26	3	㎡	표면처리	
		보수부균열백태	0.66	2	㎡	표면처리	
		보수부재균열(Cw=0.3㎜미만)	6.2	5	m	표면처리	
		철근노출	0.02	1	㎡	단면보수(방청)	

나. 접속교

[표 3.108] 접속교 - 손상물량 총괄표

부 재	결함 및 손상내용	손상물량			조치방안	비 고
		물량	개소	단위		
바닥판	균열(폭 0.3㎜미만)	15.3	11	m	표면처리	
	균열(폭 0.3㎜이상)	12.0	2	m	주입보수	
	망상균열	26.25	5	㎡	표면처리	
	누수흔적	0.30	1	㎡	주의관찰	
	들뜸	0.02	1	㎡	단면보수	
	철근노출	0.02	2	㎡	단면보수(방청)	
거더	균열(폭 0.3㎜미만)	10.5	31	m	표면처리	
	박리	0.12	5	㎡	단면보수	
	박락	0.03	2	㎡	단면보수	
	파손	0.58	21	㎡	단면보수	
	재료분리	0.24	5	㎡	단면보수	
가로보	균열(폭 0.3㎜미만)	12.9	11	m	표면처리	
	재료분리	0.80	1	㎡	단면보수	
교대	균열(0.3㎜이상)	0.3	1	m	주입보수	
	보수부재균열(0.3㎜미만)	1.5	1	m	표면처리	
	누수흔적	11.16	10	㎡	주의관찰	
	토사퇴적	0.48	1	㎡	청소	
	염해방지 도장처리	258.4	1	㎡	염해방지 도장처리	
교각	균열(Cw=0.3㎜미만)	64.5	52	m	표면처리	
	긁힘, 들뜸, 박락, 파손	3.43	19	㎡	단면보수	
	누수흔적	8.20	7	㎡	주의관찰	
	망상균열	9.45	7	㎡	표면처리	
	보수부재균열(Cw=0.3㎜미만)	2.3	1	m	표면처리	
	잡철물노출	0.37	37	㎡	단면보수(방청)	
	철근노출	0.01	1	㎡	단면보수(방청)	

[표 3.108] 접속교 - 손상물량 총괄표(계속)

부 재		결함 및 손상내용	손상물량			조치방안	비 고
			물량	개소	단위		
교량받침		받침몰탈 균열(폭 0.3㎜미만)	8.3	55	m	표면처리	
		받침몰탈 파손	0.01	1	㎡	단면보수	
		받침콘크리트 재료분리	0.06	2	㎡	단면보수	
		받침부식 및 도장박리	29	29	EA	재도장	
		강재부식	0.01	1	㎡	재도장	
신축이음		본체부식	1.8	12	㎡	주의관찰	
		이물질퇴적	12.6	12	㎡	청소	
		후타재균열(Cw=0.3㎜미만)	11.2	16	m	주의관찰	
		신축이음 하부 누수(P3)	22.0	1	m	러버씰 교체	
		신축이음 하부 누수(A1, P6)	44.0	2	m	신축이음 교체(핑거)	
교면포장	보도부	균열(Cw=0.3㎜미만)	38.3	33	m	주의관찰	
		마모 및 열화	840.00	2	㎡	주의관찰	
	차도부	이물질퇴적	2.1	3	m	청소	
배수시설		유도배수관 집수구 식생	1	1	EA	식생제거	
		배수관 이물질퇴적	1	1	EA	청소	
		배수관설치불량	15.0	1	m	배수관 길이연장	
방호벽/중분대		균열(Cw=0.3㎜미만)	8.8	10	m	표면처리	
		균열(Cw=0.3㎜이상)	0.8	2	m	주입보수	
		강재부식	0.03	2	㎡	주의관찰	
		들뜸,박리,파손	0.72	45	㎡	단면보수	
		난간덮개탈락	1	1	EA	재설치	
		난간신축부탈락	1	1	EA	주의관찰	
		델리네이트 파손 및 탈락	2	2	EA	재설치	
		보수부재균열	0.5	1	m	표면처리	
		보수부파손	0.06	1	㎡	단면보수	
		잡철물노출	0.02	1	㎡	단면보수(방청)	
		철근노출	0.07	3	㎡	단면보수(방청)	
		출입문 경첩파손	1	1	EA	재설치	

3.7.2 기 점검 손상물량 비교

가. 주경간교

[표 3.109] 주경간교 - 기 점검(2021년) 손상물량 비교

부 재	결함 및 손상내용	2021년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	단위	손상물량 증감
바닥판	균열(폭 0.3㎜미만)	226.1	43.0	m	▼ 183.1
	망상균열	43.50	37.00	㎡	▼ 6.5
	박락	0.50	-	㎡	▼ 0.50
	균열백태	0.60	-	㎡	▼ 0.60
	잡철물 노출	0.04	-	㎡	▼ 0.04
	보수부재균열(Cw=0.3㎜미만)	-	7.5	m	▲ 7.5
보강거더	균열(폭 0.3㎜미만)	76.1	6.0	m	▼ 70.1
	망상균열	9.36	0.06	㎡	▼ 9.30
	들뜸, 박락	0.44	-	㎡	▼ 0.44
	보수부박락	-	0.04	㎡	▲ 0.04
가로보	균열(폭 0.3㎜미만)	61.0	17.0	m	▼ 44.0
	망상균열	12.00	3.02	㎡	▼ 8.98
	박리, 박락	0.06	0.10	㎡	▲ 0.04
	백태	0.25	0.03	㎡	▼ 0.22
	잡철물노출	0.03	0.15	㎡	▲ 0.12
	보수부들뜸	-	0.31	㎡	▲ 0.31
	보수부박락	-	0.01	㎡	▲ 0.01
	앵커볼트 미제거	-	17	EA	▲ 17
	재료분리	0.30	-	㎡	▼ 0.30
케이블	가이드 파이프 부식	-	0.07	㎡	▲ 0.07
	낙뢰 케이블 와이어 부식	-	0.81	㎡	▲ 0.81
정착구	균열(0.3㎜미만)	1.4	13.6	m	▲ 12.2
	망상균열	-	0.22	㎡	▲ 0.22
	정착구 누유 및 누유흔적	25	29	EA	▲ 4
주탑내부	균열(폭 0.3㎜미만)	173.7	11.0	m	▼ 162.7
	균열(폭 0.3㎜이상)	14.8	-	m	▼ 14.8
	망상균열	12.04	0.60	㎡	▼ 11.44
	마감불량	2.58	-	㎡	▼ 2.58
	콘크리트 박락	0.09	-	㎡	▼ 0.09
	콘크리트 재료분리	0.17	2.00	㎡	▲ 1.83
	볼트마감불량	-	1	EA	▲ 1
	시공불량	-	0.87	㎡	▲ 0.87
	이물질매설	-	0.09	㎡	▲ 0.09
주탑외부	내염도장 박리	136.00	92.00	㎡	▼ 44.00
	에어쇼바 부식 및 노후화	2	4	EA	▲ 2
	철근노출	-	0.05	㎡	▲ 0.05
	체수	-	3.04	㎡	▲ 3.04

[표 3.109] 주경간교 - 기 점검(2021년) 손상물량 비교(계속)

부 재		결함 및 손상내용	2021년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	단위	손상물량 증감
교대		균열(폭 0.3㎜미만)	2.5	3.0	m	▲ 0.5
		보수부재균열(폭 0.3㎜미만)	3.0	-	m	▼ 3.0
		이격(t=20㎜)	24.0	-	m	▼ 24.0
		누수흔적	-	4.00	㎡	▲ 4.00
		이물질퇴적	-	2.00	㎡	▲ 2.00
교각		균열(폭 0.3㎜미만)	15.3	8.0	m	▼ 7.3
		균열(폭 0.3㎜이상)	1.0	-	m	▼ 1.0
		망상균열	2.00	3.00	㎡	▲ 1.00
		박락,파손	0.42	0.46	㎡	▲ 0.04
		누수흔적	-	47.50	㎡	▲ 47.50
		잡철물노출	0.02	0.02	㎡	-
		철근노출	-	0.02	㎡	▲ 0.02
		재료분리	9.33	-	㎡	▼ 9.33
		이물질퇴적	-	11.25	㎡	▲ 11.25
		폐콘크리트적치	-	0.40	㎡	▲ 0.40
		보수부재균열(Cw=0.3㎜미만)	-	3.5	m	▲ 3.5
		코핑부물고임	0.09	-	㎡	▼ 0.09
우물통 기초		균열(폭 0.3㎜미만)	11.5 / 6	2.6 / 4	m	▼ 8.9
		내염도장 박리	44.00 / 2	-	㎡	▼ 44.00
교량받침	윈드슈	몰탈 균열(폭 0.3㎜미만)	2.9	0.2	m	▼ 2.7
		망상균열(Cw=0.2㎜)	3.00	3.00	㎡	-
		볼트부식	-	62	EA	▲ 62
	탄성받침	몰탈 박락	0.01	-	㎡	▼ 0.01
		볼트부식	236	166	EA	▼ 70
		받침콘크리트 철근노출	0.01	0.01	㎡	-
		고무재균열	1.3	1.3	m	-
신축이음		강재부식	0.45	0.93	㎡	▲ 0.48
		신축이음 하부 고무재파손	-	5.0	m	▲ 5.0
		이물질퇴적	-	5.6	m	▲ 5.6
		신축이음하부 누수	-	44.0	m	▲ 44.0

[표 3.109] 주경간교 - 기 점검(2021년) 손상물량 비교(계속)

부 재	결함 및 손상내용	2021년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	단위	손상물량 증감
보도부	포장균열(0.3㎜미만)	3.0	32.8	m	▲ 29.8
	마모 및 열화	1392.00	1392.00	㎡	-
	보수부박리	-	0.39	㎡	▲ 0.39
	체수흔적(식생)	-	1.5	m	▲ 1.5
차도부	접속부 아스콘 망상균열	-	490.00	㎡	▲ 490.00
	포장부 식생	-	12.0	m	▲ 12.0
	포장패임	-	0.14	㎡	▲ 0.14
배수시설	배수관 누수	-	1	EA	▲ 1
방호벽/중분대	균열(폭 0.3㎜미만)	16.4	35.2	m	▲ 18.8
	균열(폭 0.3㎜이상)	3.3	3.7	m	▲ 0.4
	난간신축부탈락	2	2	EA	- -
	부식	0.01	0.02	㎡	▲ 0.01
	균열백태	-	0.10	㎡	▲ 0.10
	긁힘, 박리, 파손	0.67	3.81	㎡	▲ 3.14
	델리네이트파손	-	5	EA	▲ 5
	백태	1.00	0.26	㎡	▼ 0.74
	보수부균열백태	-	0.66	㎡	▲ 0.66
	보수부재균열(Cw=0.3㎜미만)	-	6.2	m	▲ 6.2
	철근노출	-	0.02	㎡	▲ 0.02

나. 접속교

[표 3.110] 접속교 - 기 점검(2021년) 손상물량 비교

부 재	결함 및 손상내용	2021년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	단위	손상물량 증감
바닥판	균열(폭 0.3㎜미만)	12.4	15.3	m	▲ 2.9
	균열(폭 0.3㎜이상)	12.0	12.0	m	-
	망상균열	26.25	26.25	㎡	-
	누수흔적	-	0.30	㎡	▲ 0.30
	들뜸	-	0.02	㎡	▲ 0.02
	철근노출	-	0.02	㎡	▲ 0.02
PSCI Girder	균열(폭 0.3㎜미만)	9.7	10.5	m	▲ 0.8
	박리	-	0.12	㎡	▲ 0.12
	박락	0.01	0.03	㎡	▲ 0.02
	파손	-	0.58	㎡	▲ 0.58
	재료분리	0.95	0.24	㎡	▼ 0.71
가로보	균열(폭 0.3㎜미만)	13.2	12.9	m	▼ 0.3
	재료분리	0.30	0.80	㎡	▲ 0.50
교대	균열(0.3㎜미만)	6.9	-	m	▼ 6.9
	균열(0.3㎜이상)	-	0.3	m	▲ 0.3
	보수부재균열(0.3㎜미만)	-	1.5	m	▲ 1.5
	사면 이음부 콘크리트 균열	3.0	-	m	▼ 3.0
	물고임 및 얼룩	2	-	EA	▼ 2
	누수흔적	-	11.16	㎡	▲ 11.16
	토사퇴적	-	0.48	㎡	▲ 0.48
교각	균열(0.3㎜미만)	103.0	64.5	m	▼ 38.5
	망상균열	8.70	9.45	㎡	▲ 0.75
	긁힘,들뜸,박락,파손	2.36	3.43	㎡	▲ 1.07
	누수흔적	-	8.20	㎡	▲ 8.20
	잡철물 노출	0.26	0.37	㎡	▲ 0.11
	철근노출	0.01	0.01	㎡	- -
	보수부재균열(0.3㎜미만)	-	2.3	m	▲ 2.3
교량받침	받침몰탈 균열(폭 0.3㎜미만)	16.2	8.3	m	▼ 7.9
	받침몰탈 파손	-	0.01	㎡	▲ 0.01
	받침콘크리트 재료분리	0.05	0.06	㎡	▲ 0.01
	받침콘크리트 박락	0.01	-	㎡	▼ 0.01
	받침콘크리트 잡철물노출	0.01	-	㎡	▼ 0.01
	받침부식 및 도장박리	-	29	EA	▲ 29
	강재부식	0.10	0.01	㎡	▼ 0.09

[표 3.110] 접속교 - 기 점검(2021년) 손상물량 비교(계속)

부 재	결함 및 손상내용	2021년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	단위	손상물량 증감
신축이음	본체부식	-	1.80	㎡	▲ 1.80
	러버씰 누수	5	-	EA	▼ 5
	이물질퇴적	-	12.6	㎡	▲ 12.6
	후타재균열(Cw=0.3㎜미만)	11.2	11.2	m	- -
	신축이음 하부 누수	-	66.0	m	▲ 66.0
보도부	균열(Cw=0.3㎜미만)	5.0	38.3	m	▲ 33.3
	마모 및 열화	840.00	840.00	㎡	- -
차도부	이물질퇴적	-	2.1	m	▲ 2.1
배수시설	유도배수관 집수구 식생	15	1	EA	▼ 14
	배수관 이물질퇴적	-	1	EA	▲ 1
	배수관설치불량	-	1	EA	▲ 1
방호벽/중분대	균열(Cw=0.3㎜미만)	1.5	8.8	m	▲ 7.3
	균열(Cw=0.3㎜이상)	2.0	0.8	m	▼ 1.2
	강재부식	0.03	0.03	㎡	- -
	들뜸,박리,파손	0.35	0.72	㎡	▲ 0.37
	난간덮개탈락	1	1	EA	- -
	난간신축부탈락	1	1	EA	- -
	델리네이트 파손 및 탈락	-	2	EA	▲ 2
	보수부재균열	-	0.5	m	▲ 0.5
	보수부파손	-	0.06	㎡	▲ 0.06
	잡철물노출	-	0.02	㎡	▲ 0.02
	철근노출	-	0.07	㎡	▲ 0.07
	출입문 경첩파손	-	1	EA	▲ 1

3.7.3 현장시험 결과요약

1) 현장시험 결과요약

[표 3.111] 거북선대교 현장시험 결과요약

<table>
<tr><th>시 험 명</th><th colspan="6">현장시험 결과</th><th>평가의견</th></tr>
<tr><td rowspan="13">비파괴
강도
(MPa)</td><td colspan="3">구 분</td><td>반발경도법</td><td>초음파속도법</td><td>설계값</td><td rowspan="13">•설계기준강도 대비 90%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 적은 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">상부
구조</td><td rowspan="3">접속교</td><td>바닥판</td><td>31.5~33.1</td><td>33.2~36.0</td><td>30.0</td></tr>
<tr><td>거더</td><td>40.3~42.8</td><td>40.3~40.8</td><td>40.0</td></tr>
<tr><td>가로보</td><td>32.6~33.4</td><td>33.8~37.2</td><td>30.0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">주경
간교</td><td>바닥판</td><td>39.7~40.2</td><td>40.3~40.8</td><td>40.0</td></tr>
<tr><td>거더</td><td>41.1</td><td>40.4</td><td>40.0</td></tr>
<tr><td>가로보</td><td>40.9</td><td>40.1</td><td>40.0</td></tr>
<tr><td rowspan="5">하부
구조</td><td rowspan="2">접속교</td><td>교대</td><td>32.7~33.5</td><td>34.2~34.7</td><td>30.0</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>33.0~34.8</td><td>33.4~35.1</td><td>30.0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">주경
간교</td><td>교대</td><td>32.4~33.7</td><td>34.8~35.8</td><td>30.0</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>37.2~37.8</td><td>35.4~36.1</td><td>35.0</td></tr>
<tr><td>주탑</td><td>42.0~42.2</td><td>40.2~40.9</td><td>40.0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">철근
탐사
(㎜)</td><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(주철근)</td><td>배근간격</td><td colspan="2">89~308</td><td>100~300</td><td rowspan="4">•전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계 값과 근사함.</td></tr>
<tr><td>피복두께</td><td colspan="2">32.0~66.0</td><td>32.0~65.5</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">하부구조
(주철근)</td><td>배근간격</td><td colspan="2">108~247</td><td>100~250</td></tr>
<tr><td>피복두께</td><td colspan="2">70.0~218.0</td><td>42.0~209.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="3">31.0~59.5</td><td rowspan="2">•잔여깊이 30mm이상 a등급
•탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="3">42.4~191.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물
함유량
시험
(kg/㎥)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">0.306~0.367
(철근부)</td><td>b</td><td rowspan="2">•측정위치 및 제설제 등의 영향
•평가기준
- a: 염화물 ≤0.3
- b: 0.3 < 염화물 < 1.2
- c: 1.2 ≤ 염화물 < 2.5</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">0.308~0.376
(철근부)</td><td>b</td></tr>
<tr><td rowspan="2">균열
깊이
(㎜)</td><td colspan="3">A1 흉벽</td><td colspan="3">32.9
(피복두께:73.0)</td><td rowspan="2">•내부철근 부식 등 문제없음.</td></tr>
<tr><td colspan="3">A2 흉벽</td><td colspan="3">30.1
(피복두께:124.0)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">장력시험
(kN)</td><td colspan="3">좌측 케이블</td><td colspan="3">1,725～5,091</td><td rowspan="2">•허용장력 이내로 측정됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">우측 케이블</td><td colspan="3">1,778～5,013</td></tr>
<tr><td>종합평가</td><td colspan="7">• 콘크리트 강도는 설계기준 강도의 90%이상으로, 양호한 콘크리트 강도를 확보, 유지하고 있는 것으로 분석됨.
• 철근탐사 시험 결과는 설계도면과 전반적으로 유사함.
• 탄산화깊이는 잔여깊이 30mm이상으로 측정, 탄산화에 의한 철근부식 가능성 없음.(a등급)
• 염화물함유량 시험 결과, 철근부에서는 전 개소 b등급으로 평가되어 철근부식에 의한 영향은 낮은 것으로 판단됨.
• 균열깊이 측정결과 철근피복 두께 이하로 측정됨.
• 장력시험 측정결과 허용장력 이내로 측정되었으며, 설계도서 값과 큰 차이가 없어 양호한 상태로 측정됨.</td></tr>
</table>

2) 기 점검(2021년) 결과와의 비교 · 분석

[표 3.112] 거북선대교 기 점검결과와의 비교•분석표

시 험 명		시험부위		기 점검 (2021년)	금회 정밀안전진단	평가의견
콘크리트	비파괴 강도 (MPa)	상부구조	반발경도	31.2~44.0	31.5~42.8	•설계기준강도 대비 90%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 적은 것으로 판단됨.
			초음파	-	33.2~40.8	
		하부구조	반발경도	28.6~42.8	32.4~42.2	
			초음파	-	34.2~40.9	
	철근탐사 (㎜)	상부구조 (주철근)	배근간격	-	89~308	•기 점검 미측정으로 인해 비교 · 분석은 불가하나 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계 값과 근사함.
			피복두께	-	32.0~66.0	
		하부구조 (주철근)	배근간격	-	108~247	
			피복두께	-	70.0~218.0	
	탄산화 잔여깊이 (㎜)	상부구조		30.5~47.3	31.0~59.5	•측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없음
		하부구조		33.2~144.5	42.4~191.0	
	염화물 함유량 시험 (kg/㎥)	상부구조		-	0.306~0.367 (철근부)	•측정위치 및 제설제 등의 영향 •상부구조: b •하부구조: b
		하부구조		-	0.308~0.376 (철근부)	
	균열 깊이 (㎜)	A1 흉벽		-	32.9 (피복두께:73.0)	•내부철근 부식 등 문제없음.
		A2 흉벽		-	30.1 (피복두께:124.0)	
종합평가	• 상 · 하부구조의 콘크리트 강도는 기 점검(2021년) 결과와 측정위치에 따른 편차가 있으나 전반적으로 양호한 콘크리트 강도를 확보, 유지하고 있는 것으로 분석됨 • 철근탐사 결과는 설계도면과 전반적으로 유사함 • 탄산화깊이는 측정위치에 따른 미미한 차이가 일부 존재하나, 잔여깊이 30mm이상으로 측정되어 탄산화에 의한 철근부식 가능성은 없는 a등급으로 평가됨 • 염화물함유량 시험 결과 표면부에서는 다소 차이나 있으나 철근부에서는 철근부식에 의한 영향이 낮은 것으로 판단됨(b등급). • 균열깊이 측정결과 철근피복 두께 이하로 측정됨.					