

제 4 장 내구성조사

4.1 개 요

4.2 내구성조사 결과

4.3 결과 요약

제 4 장 내구성조사

4.1 개 요

4.1.1 시험 및 측정 현황

일반적으로 콘크리트 구조물은 탄산화, 염해, 화학적 침식, 대기오염, 알칼리골재반응, 부식 등에 의해 내구성이 저하된다. 재료의 내구성 저하는 강도의 저하, 균열의 발생, 부재의 변형 및 단면감소 등을 유발하여 구조물 전체의 안전성 및 사용성을 저하시키게 된다.

따라서 본 내구성 조사는 구조물 재료인 콘크리트의 물리적·화학적 특성을 체계적으로 규명하여 내구성을 평가하고, 아울러 도출된 결과를 비교·분석·평가하여 구조물 평가의 기초자료로 활용하기 위해 실시하였다.

각 항목별 시험위치 및 실시수량은 세부지침을 근거로 수행하되, 대상 선정은 부재의 구조적인 중요도, 시험 표면부의 상태, 접근 가능성 등을 종합적으로 고려하여 결정하였다.

[표 4.1.1] 시험 및 측정 내용

구 분		시험 및 측정 내용
콘크리트	◦ 반발경도시험	◦ 슈미트햄머를 이용한 반발경도시험으로 콘크리트의 비파괴강도 측정
	◦ 철근탐사시험	◦ 레이더를 이용하여 철근 배근간격 및 콘크리트 피복두께 조사
	◦ 탄산화깊이측정	◦ 페놀프탈레인용액을 분무하여 콘크리트의 탄산화 진행깊이 조사

[표 4.1.2] 내구성조사를 위한 비파괴 시험 실시수량(기본과업)

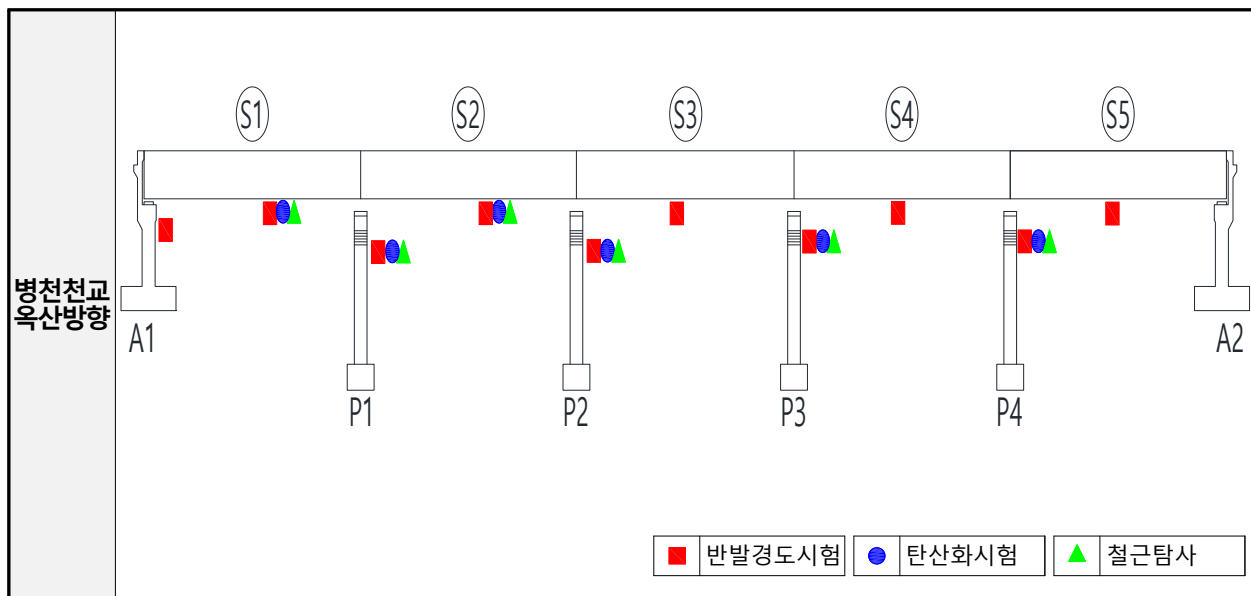
구 분		세부지침 기준			금회수량		적정여부
		상부구조	하부구조	산출수량	상부구조	하부구조	
콘크리트	반발경도시험	◦ 50m 마다	◦ 50m 마다	상부 : 230m/50m = 5개소 하부 : 230m/50m = 5개소	5개소	5개소	적정
	탄산화 깊이측정	◦ 5경간 이내 : 2~3개소 ^{주1)} ◦ 5경간 이상 : 3~6개소 ^{주2)}		5경간 : 3~6개소	2개소	4개소	적정

주1) 교량 상부구조에서의 최소 1개소 이상 실시

주2) 교량 상부구조에서의 최소 2개소 이상 실시



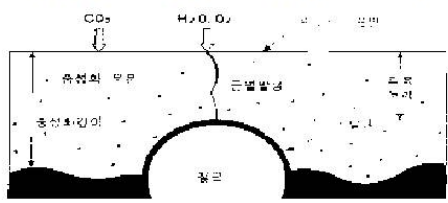
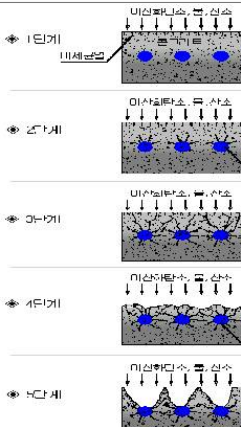
[그림 4.1.1] 비파괴시험 수행 사진



[그림 4.1.2] 비파괴시험 위치도

4.1.2 시험 및 측정 방법

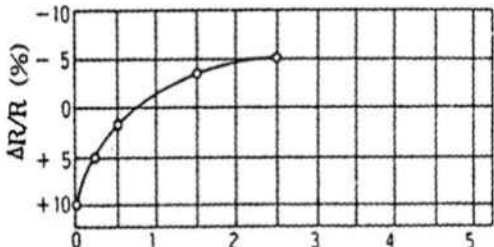
가. 탄산화시험

개 요	■경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화하여 pH값이 12~13에서 8~10이하로 감소 이 과정을 콘크리트의 탄산화라고 정의 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  ■콘크리트는 탄산화에 의한 직접적 성능 저하보다는 탄산화가 콘크리트 피복두께를 넘어 철근표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식 시작  1단계: 미산화콘크리트, 미산화 2단계: 미산화콘크리트, 미산화 3단계: 미산화콘크리트, 미산화 4단계: 미산화콘크리트, 미산화 5단계: 미산화콘크리트, 미산화 재질 및 강도상의 손상의 양(약간의 손상에 의한 양)에 비해 미미함 특히 발생에 의한 양은 콘크리트 내부에 미미하게 미미하게 미미함 강도의 손상에 미미하게 미미하게 미미함 강도의 손상에 미미하게 미미하게 미미함 강도의 손상에 미미하게 미미하게 미미함 <탄산화에 의한 콘크리트 성능저하과정>																								
측정위치 및 방법	①코어 공시체 표면 또는 햄머드릴을 이용하여 직경 1~2 cm 정도의 구멍을 뚫고 청소 후에 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정 또는 채취된 코어에 시험 ②페놀프탈레인 1% 용액 : 페놀프탈레인 1g+에탄올 90cc(순도 95%) + 증류수 = 100ml로 제조																								
시험순서	①햄머드릴을 이용 콘크리트 구조체의 철근의 위치까지 콘크리트를 긁어냄 ②콘크리트를 긁어낸 면을 붓, 솔 등으로 깨끗이 청소 ③페놀프탈레인 1% 용액을 콘크리트를 벗겨낸 면에 분무기로 분무 ④탄산화되지 않은 부분은 자주색으로 변하며, 탄산화된 부분은 착색되지 않음 ⑤콘크리트 표면으로부터 색이 변화되지 않은 깊이(mm)를 측정, 평균값 산정																								
평가기준	<토목분야 콘크리트 탄산화 상태평가 기준> <table border="1" data-bbox="320 1202 1414 1317"> <tr> <th>구분</th> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>d</th> <th>e</th> </tr> <tr> <td>탄산화 잔여깊이</td> <td>30mm 이상</td> <td>10mm이상 ~ 30mm미만</td> <td>10mm이상 ~ 30mm미만</td> <td>0mm 미만</td> <td>-</td> </tr> </table> ※일본구조물진단기술협회(비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼) <건축분야 콘크리트 탄산화 상태평가 기준> <table border="1" data-bbox="320 1384 1414 1498"> <tr> <th>구분</th> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>d</th> <th>e</th> </tr> <tr> <td>콘크리트 탄산화</td> <td>$C_t \leq 0.25D$</td> <td>$0.25D < C_t \leq 0.5D$</td> <td>$0.5D < C_t \leq 0.75D$</td> <td>$0.75D < C_t \leq D$</td> <td>$C_t > D$</td> </tr> </table> ※C_t : 콘크리트 탄산화 깊이(mm), D : 측정된 콘크리트의 피복두께(mm) ※상태평가 결과가 "e"이고, 철근노출의 상태평가 결과가 "d"이하이면 "중대한 결함"으로 판단	구분	a	b	c	d	e	탄산화 잔여깊이	30mm 이상	10mm이상 ~ 30mm미만	10mm이상 ~ 30mm미만	0mm 미만	-	구분	a	b	c	d	e	콘크리트 탄산화	$C_t \leq 0.25D$	$0.25D < C_t \leq 0.5D$	$0.5D < C_t \leq 0.75D$	$0.75D < C_t \leq D$	$C_t > D$
구분	a	b	c	d	e																				
탄산화 잔여깊이	30mm 이상	10mm이상 ~ 30mm미만	10mm이상 ~ 30mm미만	0mm 미만	-																				
구분	a	b	c	d	e																				
콘크리트 탄산화	$C_t \leq 0.25D$	$0.25D < C_t \leq 0.5D$	$0.5D < C_t \leq 0.75D$	$0.75D < C_t \leq D$	$C_t > D$																				
내구 수명 평가	■t_1 : 탄산화가 철근표면에 도달하는 시점 t_2 : 철근 부식, 콘크리트 균열 발생 시점 t_3 : 부재내력이 한계에 달하는 시점 ■탄산화속도 식 : $\sqrt{C = A \cdot t}$ 여기서, C : 탄산화깊이(mm) A : 탄산화속도계수(mm/$\sqrt{\text{년}}$) t : 재령(년) ■탄산화가 철근에 도달하는 시간(t_d) : $t_d = (D^2 / C^2) - t_0$ 여기서, D_c : 철근까지의 콘크리트 피복두께(mm) t_0 : 현재의 구조물 경과시간(년) <콘크리트내부에서철근부식의개념>																								

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

※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검.진단 편)(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

나. 콘크리트 강도조사(반발경도시험)

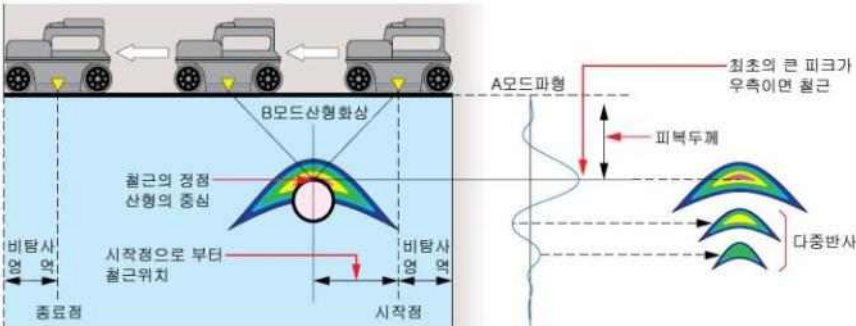
개 요	■콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법 ■슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(f_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 함																																																																
시험방법	■반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종.횡 간격을 30mm기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 $\pm 20\%$를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정 ■보,기둥의 모서리에서는 최소 30~60mm 이격하여 측정하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100mm 이상을 원칙으로 함 ■측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건습에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함	측정기의 기종 선정 ↓ 점검기에 의한 정도확인 ↓ 측정 장소의 확인, 요철제거 ↓ Marker 등에 의한 측정점의 표시 ↓ 측정, 20점 이상의 평균 ↓ 타격 방향, 습윤 및 재령의 보정 ↓ 강도추정식에 의한 압축강도 산출 ↓ 압축강도의 추정 <반발경도법에 의한 강도추정 흐름도>																																																															
보정방법	■타격방향에 따른 보정(ΔR_1) <table><tr><th rowspan="2">반발 경도 (R)</th><th colspan="4">수평과 이루는 각도</th><th rowspan="2">비고</th></tr><tr><th>+90°</th><th>+45°</th><th>-45°</th><th>-90°</th></tr><tr><td>10</td><td>-</td><td>-</td><td>+2.4</td><td>+3.2</td><td rowspan="6">상향수직 : +90° 하향수직 : -90°</td></tr><tr><td>20</td><td>-5.4</td><td>-3.5</td><td>+2.5</td><td>+3.4</td></tr><tr><td>30</td><td>-4.7</td><td>-3.1</td><td>+2.3</td><td>+3.1</td></tr><tr><td>40</td><td>-3.9</td><td>-2.6</td><td>+2.0</td><td>+2.7</td></tr><tr><td>50</td><td>-3.1</td><td>-2.1</td><td>+1.6</td><td>+2.2</td></tr><tr><td>60</td><td>-2.3</td><td>-1.6</td><td>+1.3</td><td>+1.7</td></tr></table> ■콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(ΔR_3) 기건상태 : $\Delta R_3 = 0$, 습윤상태 $\Delta R_3 = +5$ ■콘크리트 재령에 따른 보정(α) <table><tr><th>구분</th><th>7일</th><th>14일</th><th>21일</th><th>28일</th><th>100일</th><th>500일</th><th>750일</th><th>1000일</th><th>2000일</th><th>3000일</th></tr><tr><td>재령(α)</td><td>1.72</td><td>1.36</td><td>1.12</td><td>1.00</td><td>0.78</td><td>0.67</td><td>0.66</td><td>0.65</td><td>0.64</td><td>0.63</td></tr></table>	반발 경도 (R)	수평과 이루는 각도				비고	+90°	+45°	-45°	-90°	10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°	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	+1.6	+2.2	60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일	재령(α)	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	■압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR_2) 압축응력 1.0kgf/cm² 인 경우 $\Delta R_2 = -0.015R$, 2.5kgf/cm² 인 경우 $\Delta R_2 = -0.05R$ 정도임  <압축응력에 따른 반발경도 보정곡선> ■$R_o = R + \Delta R$ ($\Rightarrow \Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3$) 여기서, ΔR_1:타격방향에 따른 보정값 ΔR_2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값, ΔR_3 : 콘크리트 습윤상태에 따른 보정값
반발 경도 (R)	수평과 이루는 각도				비고																																																												
	+90°	+45°	-45°	-90°																																																													
10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°																																																												
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	+1.6	+2.2																																																													
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7																																																													
구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일																																																							
재령(α)	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63																																																							
압축강도 추정식	■일반강도 식① : $F_c = -18.0 + 1.27 \times R_o$ (MPa) $\Rightarrow$ 일본 재료학회 추정식 식② : $F_c = (7.3 \times R_o + 100) \times 0.098$ (MPa) $\Rightarrow$ 일본건축학회 추정식 ■고 강도 식③ : $F_c = (2.304 \times R_o - 38.80)$ (MPa) $\Rightarrow$ 권영웅 외 추정식 ■일반강도 식④ : $F_c = (15.2 \times R_o - 112.8) \times 0.1$ (MPa) $\Rightarrow$ 과학기술부 추정식																																																																

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

※콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조

※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검.진단 편)(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

다. 철근배근 조사

개 요	■본 탐사는 시공 상태평가를 위하여 설계도서에 기록된 배근간격과의 동일 시공여부를 비교하여 구조체 배근상태의 적정성을 판단하며, 콘크리트 피복두께를 조사하여 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시																																																													
탐사조건	■적용 가능한 조건 ◦ 탐사심도 200mm 이내 ◦ 탐사대상 철근지름이 6mm 이상 ◦ 콘크리트의 질이 균일한 곳 ◦ 철근이 안테나 진행 방향에 직교한 곳 ■적용 곤란한 조건 ◦ 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑에 철근이 위치한 경우 ◦ 100mm 이하의 피치에서 배근된 경우 ◦ 철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우																																																													
측정방법	■철근탐사장비 STRUCTURE MINI, RC-Radar의 측정원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부로 방사하여 콘크리트와 전기적 성질이 다른 철근이나 공동 등의 대상물로부터 반사되는 전파를 다시 안테나에서 수신하여 철근의 배근상태나 공동 등의 위치 및 깊이를 화상으로 기록하는 장비로 레이더 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200mm  <철근탐사 측정원리>																																																													
평가기준	■콘크리트의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 함 ■콘크리트의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단 ■실측된 철근배근 간격과 콘크리트 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직함 <콘크리트의 피복두께 기준> <table><tr><th>구 분</th><th>조 건</th><th>부재종류</th><th>철근직경/구분</th><th>피복두께(mm)</th><th>비 고</th></tr><tr><td rowspan="10">현장 타설 콘크리트</td><td rowspan="4">옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위</td><td rowspan="2">슬래브 벽체, 장선</td><td>D35 초과</td><td>40</td><td></td></tr><tr><td>D35 이하</td><td>20</td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">보 기둥</td><td>fck ≥ 40MPa</td><td>30</td><td>규정값에서 10mm 저감 가능</td></tr><tr><td>fck < 40MPa</td><td>40</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">셀, 절판 부재</td><td></td><td>20</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">수중에서 타설 되는 콘크리트</td><td></td><td>100</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트</td><td></td><td>80</td><td></td></tr><tr><td rowspan="3">흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트</td><td rowspan="3"></td><td>D29 이상 철근</td><td>60</td><td></td></tr><tr><td>D25 이하 철근</td><td>50</td><td></td></tr><tr><td>D16 이하의 철근</td><td>40</td><td></td></tr></table> ※콘크리트 구조설계기준(한국콘크리트학회, 2007) 참조 <table><tr><th>유효깊이(d)</th><th>유효깊이의 허용오차</th><th>피복두께의 허용오차</th></tr><tr><td>d ≤ 200mm</td><td>±10mm</td><td>-10mm</td></tr><tr><td>d > 200mm</td><td>±13mm</td><td>-13mm</td></tr></table> ※피복두께의 허용오차는 도면 또는 설계기준에서 요구하는 최소 피복두께의 -1/3로 하여야 함					구 분	조 건	부재종류	철근직경/구분	피복두께(mm)	비 고	현장 타설 콘크리트	옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위	슬래브 벽체, 장선	D35 초과	40		D35 이하	20		보 기둥	fck ≥ 40MPa	30	규정값에서 10mm 저감 가능	fck < 40MPa	40		셀, 절판 부재			20		수중에서 타설 되는 콘크리트			100		흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트			80		흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트		D29 이상 철근	60		D25 이하 철근	50		D16 이하의 철근	40		유효깊이(d)	유효깊이의 허용오차	피복두께의 허용오차	d ≤ 200mm	±10mm	-10mm	d > 200mm	±13mm	-13mm
구 분	조 건	부재종류	철근직경/구분	피복두께(mm)	비 고																																																									
현장 타설 콘크리트	옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위	슬래브 벽체, 장선	D35 초과	40																																																										
			D35 이하	20																																																										
		보 기둥	fck ≥ 40MPa	30	규정값에서 10mm 저감 가능																																																									
			fck < 40MPa	40																																																										
	셀, 절판 부재			20																																																										
	수중에서 타설 되는 콘크리트			100																																																										
	흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트			80																																																										
	흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트		D29 이상 철근	60																																																										
			D25 이하 철근	50																																																										
			D16 이하의 철근	40																																																										
유효깊이(d)	유효깊이의 허용오차	피복두께의 허용오차																																																												
d ≤ 200mm	±10mm	-10mm																																																												
d > 200mm	±13mm	-13mm																																																												

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

※진단장비 활용.관리 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검.진단 편)(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

4.2 내구성조사 결과

4.2.1 반발경도시험

가. 시험 결과

콘크리트 비파괴 압축강도 측정은 슈미트해머를 이용한 반발경도법을 이용하여 수행하였다. 시험에 앞서 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 충분히 제거한 후 곰보, 공극, 노출 자갈 등으로 반발경도시험에 부적합할 것으로 판단되는 부위는 측정위치에서 제외했다. 열화로 인해 표면의 상태가 불량한 경우는 충분한 평탄작업 후 시험을 실시하되, 시험 결과는 건전부와 비건전부로 구분하여 평가하였다.

각 측정부재에 따라 타격방향, 재령, 습윤상태 등에 의한 보정 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 병천천교(옥산방향) 상부구조(바닥판) 및 하부구조는 반발경도에 의한 압축강도 추정식 재료학회식(식①)과 건축학회식(식②)을, 거더는 고강도 추정식인 권영웅 외 식(식③)과 과학기술부식(식④)을 사용하였다.

본 시험에 대한 기초 자료(Law Data)는 별첨 부록에 첨부하였다.

[표 4.2.1] 반발경도법에 의한 비파괴강도 측정 결과-상부구조

구 분			반발경도 (Ro)	비파괴강도(MPa) ¹⁾		설계강도 (MPa)	표면상태
				식 ①	식 ②		
병천천교 (옥산방향)	상부구조	S1 바닥판하면	46.8	27.4	28.6	27.0	건전부
		S2 바닥판하면	46.5	27.1	28.4		비건전부
		S3 바닥판하면	47.1	27.6	28.7		건전부
평균				27.4	28.6		
표준편차				0.3	0.2		
변동계수				0.9	0.5		

구 분			반발경도 (Ro)	비파괴강도(MPa) ¹⁾		설계강도 (MPa)	표면상태
				식 ③	식 ④		
병천천교 (옥산방향)	상부구조	S1 G1 거더	49.8	50.1	42.5	40.0	건전부
		S2 G1 거더	49.7	50.0	42.4		건전부
평균				50.1	42.5		
표준편차				0.1	0.1		
변동계수				0.1	0.2		

주1) 상부구조(바닥판 하면, 좌측캔틸레버)

식① : 일본재료학회 추정식 $F_c = -18.0 + 1.27 \times R_o$ (MPa)

식② : 일본건축학회 추정식 $F_c = 0.73 \times R_o + 10$ (MPa)

식③ : 권영웅 외 추정식 $F_c = 2.304 \times R_o - 38.80$ (MPa)

식④ : 과학기술부 추정식 $F_c = (15.2 \times R_o - 112.8) \times 0.098$ (MPa)

[표 4.2.2] 반발경도법에 의한 비파괴강도 측정 결과-하부구조

구 분			반발경도 (Ro)	비파괴강도(MPa) ³⁾		설계강도 (MPa)	표면상태
				식 ①	식 ②		
병천천교 (옥산방향)	하부구조	P1 코핑부	45.6	26.3	28.0	27.0	건전부
		P2 코핑부	45.6	26.3	28.0		비건전부
		P3 코핑부	48.1	28.4	29.2		건전부
		P4 코핑부	45.8	26.5	28.1		건전부
		A1 교대	43.2	24.3	26.9	24.0	건전부
평 균				26.4	28.0		
표준편차				1.5	0.8		
변동계수				5.5	2.9		

주1) 하부구조(교각 및 교대)

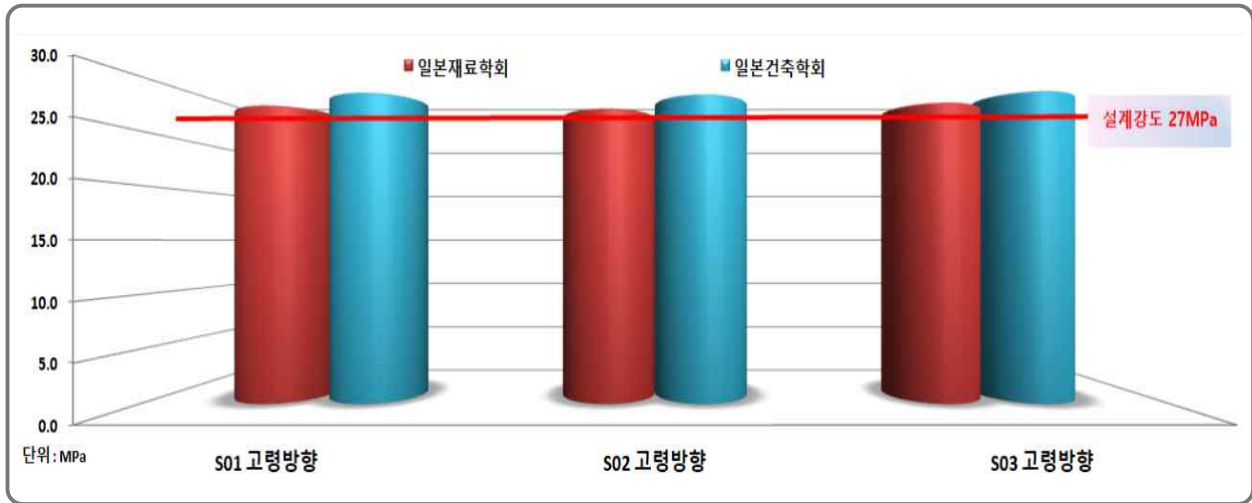
식① : 일본재료학회 추정식 $F_c = -18.0 + 1.27 \times R_o$ (MPa)식② : 일본건축학회 추정식 $F_c = 0.73 \times R_o + 10$ (MPa)

나. 결과 분석

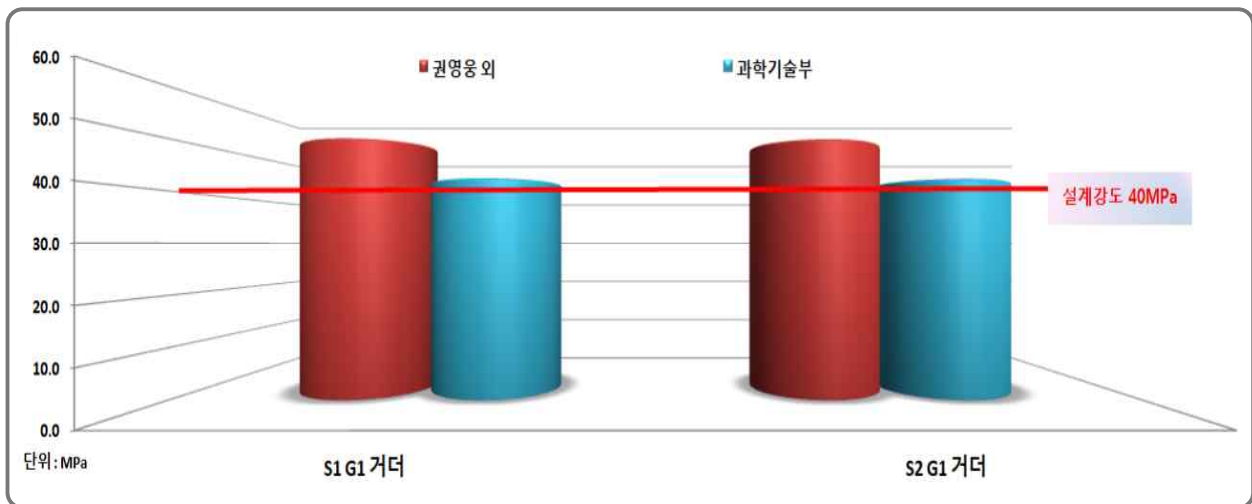
- 반발경도법을 이용한 콘크리트 비파괴 압축강도의 추정은 『콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 (한국시설안전공단, 2006.12)』, 『시설물의 안전 및 유지관리실시 세부지침(국토교통부, 2019.09)』을 참조하였으며, 설계강도의 90%이상이면 건전한 것으로 평가(일본 국토개발기술연구센터)하였다.
- 반발경도법에 의한 비파괴 압축강도는 모든 시험부재에서 설계강도(상부구조 $f_{ck}=27.0\text{MPa}$, 40.0MPa 하부구조 $f_{ck}=27.0\text{MPa}$, 24.0MPa)의 100%이상으로 측정되어 대체적으로 우수한 상태를 유지하고 있는 것으로 평가되었다.
- 또한 결과값 간의 변동계수를 이용한 비파괴시험 균질성 평가에서 식①, 식②, 식③, 식④ 추정식은 변동계수 10 이하의 우수한 상태를 보이고 있는 것으로 조사되었다.

[표 4.2.3] 비파괴시험 균질성(변동계수) 평가기준

변동계수(%)	평 가	시공상태
10 이하	우 수	· 우수한 배치플랜트에서 잘 관리된 경우
10 ~ 15	양 호	· 일반적인 현장으로 시방서에 의거하여 관리가 잘 된 경우
15 ~ 20	보 통	· 보통의 감독 상태의 현장
20 이상	불 량	· 부주의한 시공



[그림 4.2.1] 반발경도법에 의한 비파괴강도 측정 결과-상부구조(바닥판하면)



[그림 4.2.2] 반발경도법에 의한 비파괴강도 측정 결과-하부구조



[그림 4.2.3] 반발경도법에 의한 비파괴강도 측정 결과-하부구조

다. 기존자료 비교분석

- 비파괴 강도의 정확한 변화상태 확인을 위해 전회 초기점검(2018년) 결과와 비교·분석하였다. 금회 분석 결과는 변동계수가 비교적 안정적인 것으로 검토된 식② 일본건축학회 추정식, 식③ 권영웅 외 추정식 결과를 이용하여 평가하였다.

[표 4.2.4] 기존자료 비교분석-반발경도법

구조물명		2018년 초기점검	2020년 정밀안전점검	설계강도	평 가
상부구조	바닥판	28.9 ~ 29.7MPa	28.4 ~ 28.7MPa	27.0MPa	강도저하 없음
	거더	-	50.0 ~ 50.1MPa	40.0MPa	
하부구조	교대	27.4MPa	26.9MPa	24.0MPa	
	교각	28.6 ~ 29.0MPa	28.0 ~ 29.2MPa	27.0MPa	

- 금회 조사시 모든 시험 위치에서 콘크리트 표면의 이물질 정리, 요철 제거를 위해 그라인딩을 실시하여 건전부에서의 정확한 강도측정이 되도록 하였다. 금회 측정값은 상부구조와 하부구조에서 모두 기존과 비교시 시험 위치 상이에 의한 강도차이가 일부 확인되고 있으나, 전반적으로 경년에 따른 강도저하의 우려는 없는 것으로 판단된다.

라. 시험보고서

[표 4.2.5] 반발경도 시험보고서

시 험 항 목		반발경도시험					
시 험 일 시		시험일시	위 치	온도(℃)	테스트엔빌결과		
		2020년 10월 07일	병천천교(옥산방향)	16.7	양호		
구조물에서 시험 영역 위치		바닥판하면 및 거더, 교각					
조 사 수 량		위 치	조사수량		비고		
		상부구조	5개소		바닥판하면 3개소, 거더 2개소		
		하부구조	5개소		교각 4개소, 교대 1개소		
시험대상에 대한 설명		• 상부구조 : 철근콘크리트 구조 • 하부구조 : 철근콘크리트 구조					
부재별 설계기준강도		• 상부구조 : 철근콘크리트(27.0MPa, 40.0MPa) • 하부구조 : 철근콘크리트(27.0MPa, 24.0MPa)					
시험위치 표면상태	마무리 정도	• 콘크리트 표면은 그라인더로 연마하여 이물질 제거 후 실시					
	균열, 박리, 화재피해 유무	• 결함 및 손상 발생위치에서의 시험값은 표면상태를 비건전부로 명시					
콘크리트 재령		• 750일 이상 1000일 미만의 재령으로 재령보정계수 $\alpha=0.66$ 적용					
콘크리트 내부 함수 상태		습윤상태		표면건조상태		기건상태	o
측정기구	종 류	• NR10					
	제품번호	• 5230866706					
	검 교 정	• 검교정시험결과 양호함(현장 TEST ANVIL 결과 : 표준값 80±1 만족함)					
반발경도 측정기 타격방향		• 상부슬래브 : 90° • 벽체, 기둥, 거더 : 0°					
시험부위별 반발경도의 평균값		• 본 보고서 "반발경도법에 의한 비파괴강도 측정 결과" 표 참조					
		• 부록 "반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도" 참조					
버린 반발경도의 값 및 위치		• 부록 "반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도" 참조					

4.2.2 철근탐사

가. 탐사 결과

철근탐사는 레이더 방식의 철근탐사장비를 이용하여 구조물의 철근배근 상태 및 콘크리트 피복두께를 실측하고 설계도서와 비교, 분석하여 탄산화시험 결과 분석의 기초자료로 활용하였다.

나. 결과 분석

- 철근탐사 결과, 피복두께는 대체로 설계기준을 유지하고 있으나 일부 부위에서 설계기준보다 다소 부족한 것으로 실측되었다. 다만 피복부족에 의한 손상이 없는 점과 시공오차 및 측정오차 등을 감안하였을 때 금회 측정값의 신뢰도는 대체로 양호한 것으로 분석되었다.
- 금회 콘크리트 피복두께 측정값은 손상발생 원인 확인을 위한 기초자료 및 탄산화깊이 평가의 기준 자료로 활용하였다. 분석 결과는 다음의 탄산화시험 결과 편에 수록하였다.

다. 시험보고서

[표 4.2.6] 철근탐사 시험보고서

시 험 항 목		철근탐사		
시 험 일 시		시험일시	위 치	온도(°C)
		2020년 10월 7일	병천천교 옥산방향	16.7
구조물에서 시험영역 위치		바닥판하면 및 캔틸레버, 교각 및 교대		
조 사 수 량		위 치	조사수량	비고
		상부구조	2개소	
		하부구조	4개소	
시험대상에 대한 설명		• 상부구조 : 철근콘크리트 구조물 • 하부구조 : 철근콘크리트 구조물		
시험면에서 안테나 횡단위치		• 배근된 철근의 직교방향		
측정 기구	종 류	• StructureScan Mini, RC-Radar		
	제품번호	• SIR-EZ(00829)		
시험부위별 철근값		• 본 보고서 “탄산화시험 결과” 표의 실측 피복 참조		

4.2.3 탄산화시험

가. 시험 결과

탄산화시험은 드릴 천공한 시험부위에 이물질 및 시멘트 분말을 불어낸 후 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 변색된 경계면까지의 깊이를 측정하여 평가하였으며, 피복두께는 금회 철근탐사기를 이용한 실측값과 설계치를 비교하여 적용하였다.

[표 4.2.7] 탄산화시험 결과

시험위치			탄산화 실측깊이 (mm)(a)	콘크리트 피복두께 (mm)(b)	탄산화 잔여깊이 (mm)(b-a)	탄산화 속도계수 [A]	잔존수명 예측 (년)	평가
병천천교 (옥산방향)	상부구조	S3 바닥판하면	0.5	41.0	40.5	0.289	100년 이상	a
		S4 바닥판하면	0.5	39.0	38.5	0.289		a
	하부구조	A1 교대	1.0	114.0	113.0	0.577		a
		P1 교각 코핑부	0.5	119.0	118.5	0.289		a
		P3 교각 코핑부	1.0	107.0	106.0	0.577		a
		P4 교각 코핑부	1.0	119.0	118.0	0.577		a

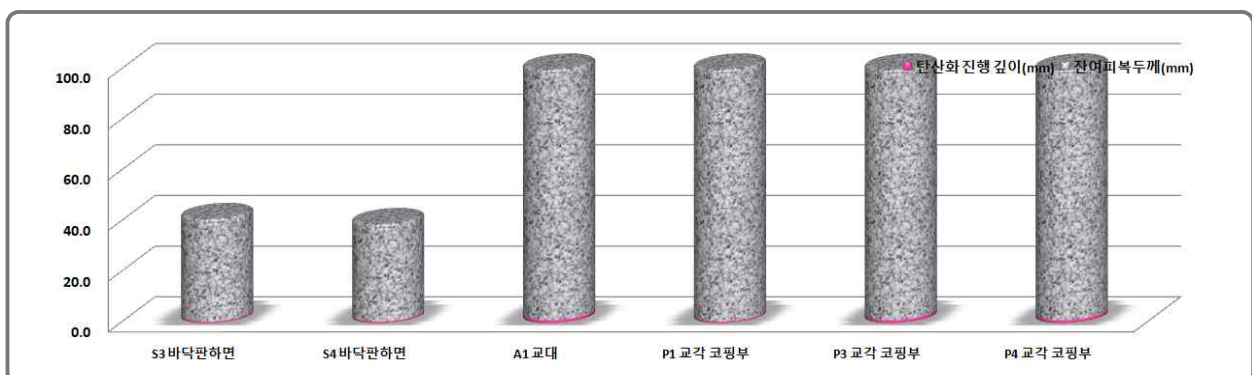
※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

※탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / $\sqrt{\text{재령(년)}}$

※잔존수명 예측(년) = ($\text{철근피복}^2 / \text{탄산화속도 계수}^2$)-경과년수

나. 결과 분석

- 병천천교(옥산방향)의 상부구조 2개소, 하부구조 4개소에서 탄산화시험을 실시한 결과 탄산화 진전 깊이는 실측 피복두께와 비교한 평가에서 전체 'a급'으로 분석되었다.
- 또한, 속도계수를 통한 잔존수명 예측 결과 현 상태의 환경과 속도로 탄산화가 진행된다면 철근 깊이까지 모든 구간에서 100년 이상의 여유가 있는 것으로 분석됨에 따라 탄산화 진전으로 인한 문제는 없는 것으로 분석된다.



[그림 4.2.4] 탄산화깊이 및 잔여피복두께 측정결과

다. 기존자료 비교분석

•전회 점검인 초기점검시에는 탄산화시험을 미 실시한 것으로 조사되었다.

[표 4.2.8] 기존자료 비교분석-탄산화시험

구조물명		2018년 초기점검	2020년 정밀안전점검
상부구조	바닥판	-	0.5mm
하부구조	교각 및 교대	-	0.5mm ~ 1.0mm

라. 시험보고서

[표 4.2.9] 탄산화 시험보고서

시 험 항 목		콘크리트 탄산화시험		
시 험 일 시		시험일시	위 치	온도(℃)
		2020년 10월 7일	병천천교 옥산방향	16.7
구조물에서 시험 영역 위치		바닥판하면 및 캔틸레버, 교대/교각		
조 사 수 량		위 치	조사수량	비고
		상부구조	2개소	
		하부구조	4개소	
시험대상에 대한 설명		• 상부구조 : 철근콘크리트 구조물 • 하부구조 : 철근콘크리트 구조물		
구조물 경과연수		• 경과연수 : 3년		
측정 위치		• 좌측캔틸레버, 교대 및 교각		
측정면 종류		• 기건 상태의 건전한 콘크리트 면 (그라인딩을 통해 요철 제거, 평탄 작업 실시)		
사용 골재의 종류		• 보통골재		
측 정	시 약/측정기구	• 페놀프탈레인(1%)용액 / 버니어 캘리퍼스		
시약분무 후 측정까지 시간		• 천공 후 1분 이내		
부위별 평균 결과		• 본 보고서 "탄산화시험 결과" 표 참조		

4.3 결과 요약

- 반발경도법을 이용한 비파괴 압축강도 추정, 콘크리트 피복두께 및 경과년수를 등을 고려한 탄산화 진행속도 평가 등의 내구성조사 결과 특이할 만한 문제점은 발생하지 않았다.
- 경년에 따른 내구성 변화상태 비교분석을 통해 강도저하 여부, 내구연한 감소 여부 등을 판단한 결과, 금회 실시한 시험 위치에서의 내구성 유지상태는 모두 양호한 것으로 분석되었다.

[표 4.3.1] 내구성평가 결과 요약

시험명		시험부위	시험결과	책임기술자 의견
압축강도	반발경도	바닥판하면 교대/교각	◦ 상부구조 - 바닥판 : 28.4 ~ 28.7MPa로 설계강도(27.0MPa) 이상 - 거더 : 50.0 ~ 50.1MPa로 설계강도(40.0MPa) 이상	◦ 압축강도 양호 ◦ 품질평가 양호 ◦ 강도저하 우려없음
			◦ 하부구조 - 교대 : 26.9MPa로 설계강도(24.0MPa) 이상 - 교각 : 28.0 ~ 29.2MPa로 설계강도(27.0MPa) 이상	
			◦ 비파괴시험 균질성 평가 양호	
철근탐사	피복두께	바닥판하면 교대/교각	◦ 설계치와 측정치 비교시 배근상태 양호 ◦ 내구성 유지 가능한 피복 유지	◦ 탄산화시험 기초자료로 활용
탄산화시험		바닥판하면 교대/교각	◦ 시험 6개소에서 0.5~1.0mm로 측정 ◦ 모든 시험부재에서 'a급'으로 평가 ◦ 모든 시험부재에서 잔존수명 100년 이상	◦ 탄산화에 의한 내구성 저하 없음