3.3 현장시험

3.3.1 개요

금회 과업에서는 콘크리트 내구성 조사(콘크리트 강도, 탄산화 시험, 균열깊이 측정)를 실시하여 현장조사 내용과 함께 구조물의 내구성, 상태평가, 보수·보강공법 및 유지관리 방안 제시의 기초 자료로 활용할 수 있도록 하였으며, “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(공동구편, 국토교통부, 2019.01)”에 의거하여 실시하였다.

가. 시험수량

1) 세부지침 기준

구 분	세부지침 기준수량	비고
반발경도시험	• 총수량=(총연장÷300m)개소	
탄산화시험	• 철근콘크리트 구조물 - 총연장 1,000m미만 : 2개소 - 총연장 1,000m이상 : 2개소+1,000m당 1개소 추가	
균열깊이측정	• 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정	

2) 과업대상 시설물 실시수량

구 분		금회 실시수량(실시수량 / 세부지침 기준수량)
1련 (L=990m)	반발경도시험	(4/4)
	탄산화시험	(2/2)
	균열깊이측정	1
2련 (L=990m)	반발경도시험	(4/4)
	탄산화시험	(2/2)
	균열깊이측정	1
3련 (L=500m)	반발경도시험	(3/2)
	탄산화시험	(2/2)
	균열깊이측정	1

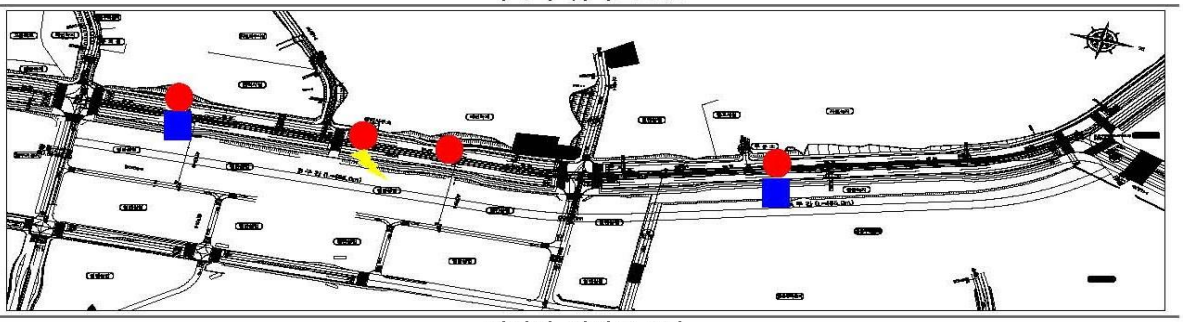
반발경도시험

탄산화시험

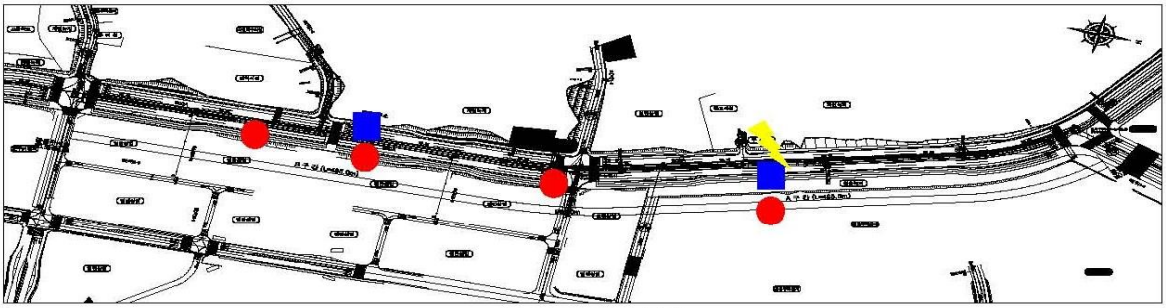
피복두께 측정

나. 시험위치

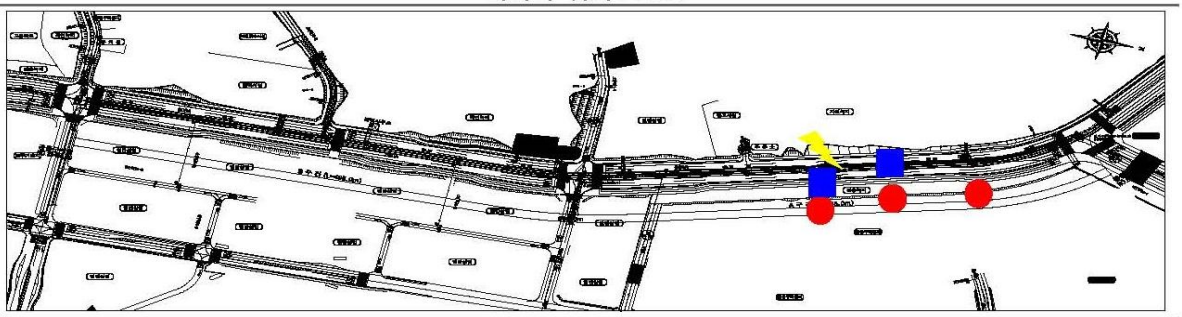
비파괴 위치도 1련



비파괴 위치도 2련



비파괴 위치도 3련



구분	모형
반발경도	●
탄산화	■
균열심도	⚡

다. 평가방법

1) 반발경도시험

개 요

- 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법이다.
- 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(f_c')와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

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 ±7의 범위(또는 ±15~20%)를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정
- 측정점간의 최소간격은 30~60mm로 하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100mm이상을 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>

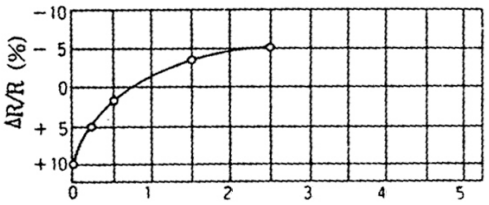
보정방법

- 타격방향에 따른 보정(⊿R1)

반발경도 (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	

- 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(⊿R3)
  기건상태 : ⊿R3 = 0, 습윤상태 ⊿R3 = +5

- 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(⊿R2)
  압축응력 1.0kgf/cm2 : ⊿R2 = -0.015R,
  2.5kgf/cm2 : ⊿R2 = -0.05R 정도



<압축응력에 따른 반발경도 보정곡선>

- 콘크리트 재령에 따른 보정(α)

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

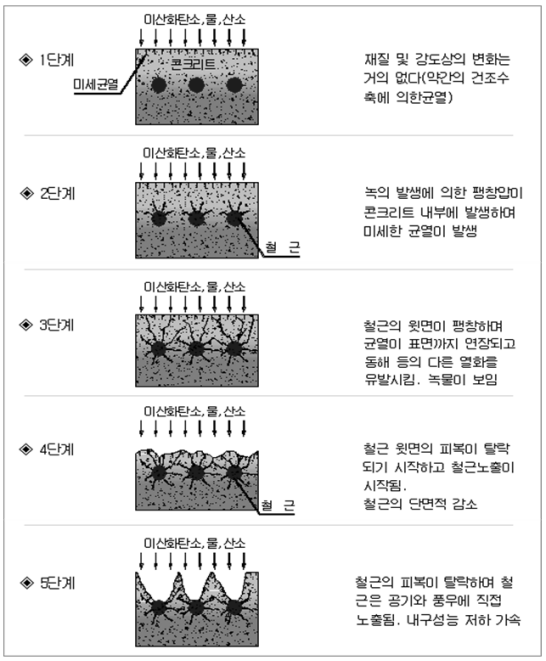
- Ro = R + ⊿R (⇒ ⊿R = ⊿R1 + ⊿R2 + ⊿R3)
  여기서, ⊿R1 : 타격방향에 따른 보정값
  ⊿R2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값
  ⊿R3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

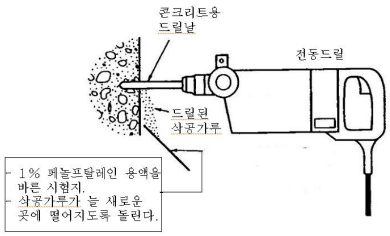
압축강도 추정식

- 방법 1 : $F_C = 18.0 + (1.27 \times R_0)$(MPa) ⇒ 일본재료학회 추정식
- 방법 2 : $F_C = ((7.3 \times R_0) + 100) \times 0.098$(MPa) ⇒ 일본건축학회 추정식
- 방법 3 : $F_C = (15.2R_0 - 112.8) \times 0.098$(MPa) ⇒ 과학기술부 추정식 (고강도)
- 방법 4 : $F_C = (2.304 \times R_0) - 38.8$(MPa) ⇒ 권영웅 외 3인 제안식 (고강도)

주1) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
주2) 콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조
주3) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2017.01) 참조

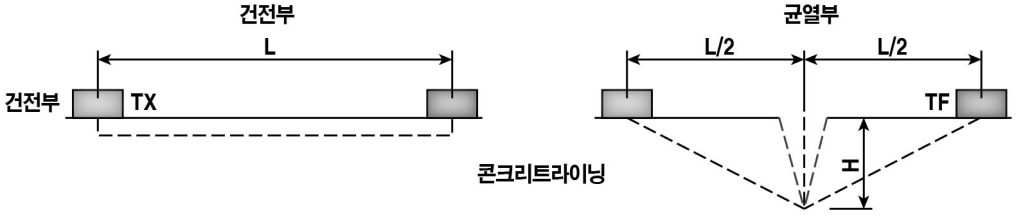
2) 탄산화시험

<table>
<tr>
<td>개 요</td>
<td>■ 경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화하여 pH값은 12~13에서 8~10이하로 감소한다. 이 과정을 콘크리트의 탄산화라고 한다
- CaO + H2O → Ca(OH)2
- Ca(OH)2 + CO2 → CaCO3 + H2O
■ 콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문이다</td>
<td> 

<탄산화에 의한 콘크리트 성능저하></td>
</tr>
<tr>
<td>측정방법</td>
<td> 
</td>
<td>■ 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하는 방법</td>
</tr>
<tr>
<td>시험순서</td>
<td colspan="2">① 탄산화시험 위치 선정
② 페놀프탈레인 1% 용액을 적신 원형시험지 준비
③ 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지를 드릴 밑에 두고 드릴링 시작
④ 원형시험지가 변색되는 시점에 드릴링 멈춤
⑤ 드릴링된 깊이(mm) 측정, 평균값 선정</td>
</tr>
<tr>
<td>평가기준</td>
<td colspan="2"><탄산화 상태평가 기준>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>a등급</th><th>b등급</th><th>c등급</th><th>d등급</th></tr>
<tr><td>탄산화 잔여깊이</td><td>30mm 이상</td><td>10 mm 이상 ~ 30mm 미만</td><td>0 mm 이상 ~ 10mm 미만</td><td>0mm 미만</td></tr>
<tr><td>철근부식 가능성</td><td>탄산화에 의한 부식발생 우려 없음</td><td>향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음</td><td>경우에 따라 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음</td><td>철근부식 발생</td></tr>
</table></td>
</tr>
</table>

주1) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
주2) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2017.01) 참조

3) 균열깊이 측정

개 요	• 콘크리트 구조물에 발생된 균열깊이를 측정하기 위한 기본은 초음파전달속도법에 의하여 비파괴시험 방법으로 측정한다. 초음파의 발-수신자를 균열 근방에 설치하여 균열을 측정하는 방법 • 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 있음
시 험 방 법	• 콘크리트에 균열 있는 경우 다음과 같이 초음파의 전달경로가 균열을 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지게 된다. 이러한 특성을 이용하여 균열 깊이를 측정할 수 있음  <초음파 속도법을 이용한 균열깊이 측정방법> • Tc-To법은 종파용 발, 수신자를 균열을 중심으로 등간격인 L/2로 설치하였을 때, 균열 선단부를 회절한 초음파의 전파시간 Tc와 균열이 없는 부분의 발, 수신자의 거리 L의 전파시간 To로부터 균열깊이를 구하며 그 상관 관계식은 다음과 같음 균열깊이(H) = $X\sqrt{(\frac{T_c}{T_o})^2 - 1}$ •여기서, To=2X/V : 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도 $T_c = \frac{2\sqrt{X^2+H^2}}{V}$: 균열면 주위의 초음파 전달속도, X = L/2

주1) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2017.01) 참조
주2) 콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조

3.3.2 재료시험 결과

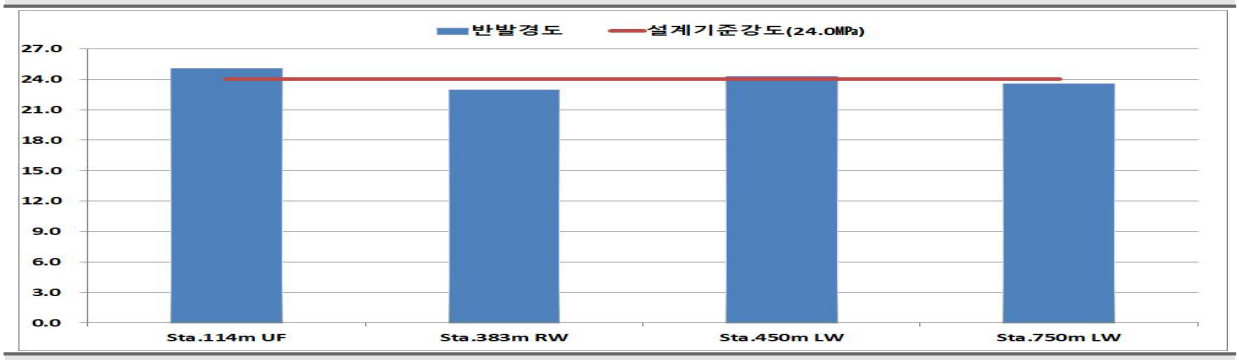
가. 반발경도

1) 시험결과

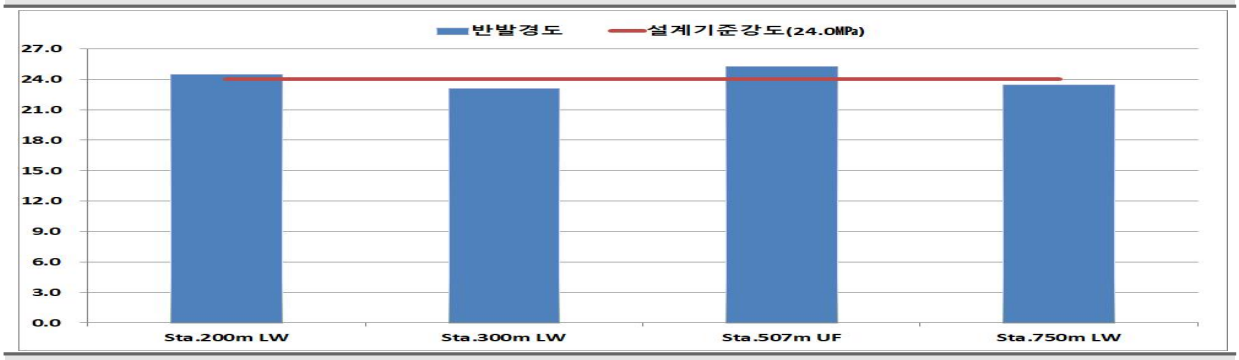
구분	측정위치	평균치 (R)	타격 보정 (ΔR_1)	습윤 보정 (ΔR_2)	보정 경도 (R_o)	타격 각도 (°)	재령 계수	비파괴강도 (MPa)		평균 강도 (MPa)	설계 강도 (MPa)
								재료 학회	건축 학회		
1련	Sta. 114m Slab	47.0	-3.34	0.00	43.7	90	0.64	24.0	26.3	25.1	24.0
	Sta. 383m RW	40.4	0.00	0.00	40.4	0	0.64	21.3	24.8	23.0	
	Sta. 450m LW	42.3	0.00	0.00	42.3	0	0.64	22.9	25.6	24.3	
	Sta. 750m LW	41.4	0.00	0.00	41.4	0	0.64	22.1	25.2	23.6	
2련	Sta. 200m LW	42.7	0.00	0.00	42.7	0	0.64	23.2	25.8	24.5	24.0
	Sta. 300m LW	40.5	0.00	0.00	40.5	0	0.64	21.4	24.8	23.1	
	Sta. 507m Slab	47.3	-3.32	0.00	44.0	90	0.64	24.2	26.4	25.3	
	Sta. 750m LW	41.2	0.00	0.00	41.2	0	0.64	21.9	25.1	23.5	
3련	Sta. 114m Slab	46.9	-3.35	0.00	43.6	90	0.64	23.9	26.2	25.0	24.0
	Sta. 383m RW	40.7	0.00	0.00	40.7	0	0.64	21.5	24.9	23.2	
	Sta. 450m LW	45.5	0.00	0.00	45.5	0	0.64	25.4	27.1	26.2	

- 반발경도에 의한 콘크리트 강도 측정결과 전 개소 모두 설계강도 대비 90%이상으로 평가됨
  - 1련 반발경도 측정결과 : 23.0MPa ~ 25.1MPa (설계기준강도 : 24.0MPa)
  - 2련 반발경도 측정결과 : 23.1MPa ~ 25.3MPa (설계기준강도 : 24.0MPa)
  - 3련 반발경도 측정결과 : 23.2MPa ~ 26.2MPa (설계기준강도 : 24.0MPa)

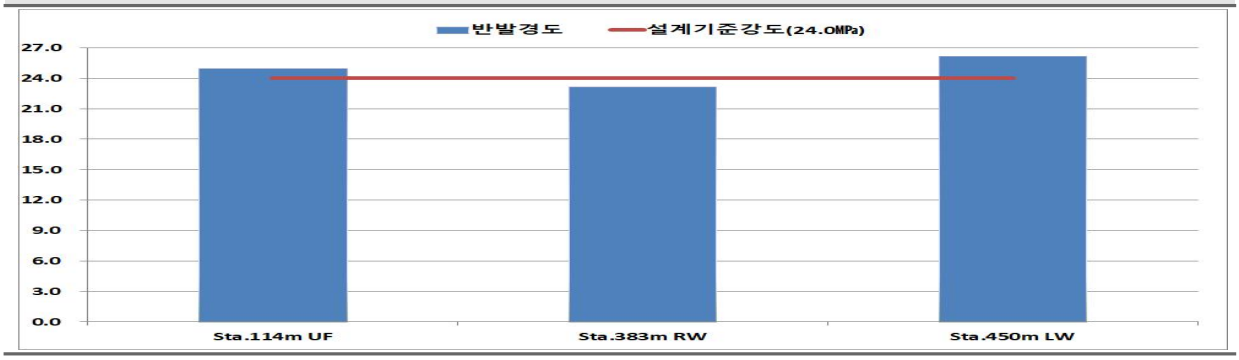
측정결과 1련



측정결과 2련



측정결과 3련



2) 기 점검결과와 비교검토

구분	2016년 정밀안전점검	2019년 정밀안전점검	설계기준강도
1련	25.2～28.5㎫	23.0㎫～25.1㎫	24.0㎫
2련	25.6～28.6㎫	23.1㎫～25.3㎫	24.0㎫
3련	25.7～28.3㎫	23.2㎫～26.2㎫	24.0㎫
검토의견	2016년 정밀안전점검 결과와 비교·검토한 결과 공용년수 증가에 따른 강도저하는 발생하지 않은 것으로 판단된다.		

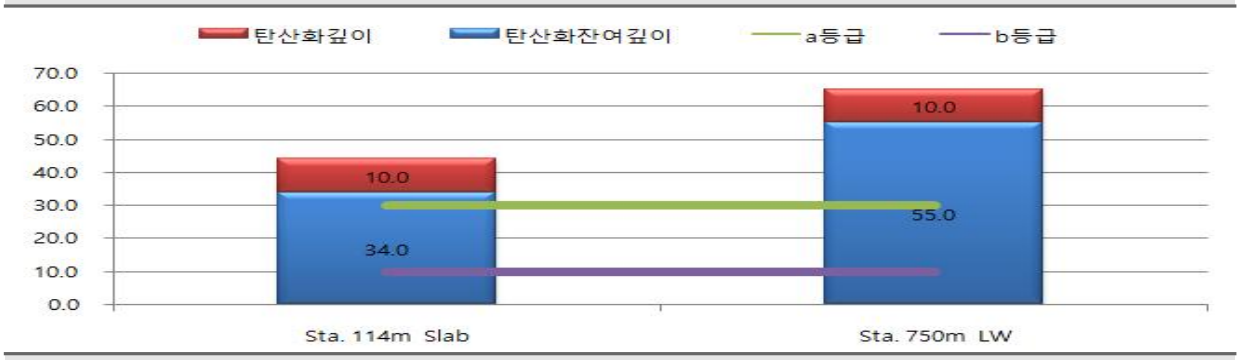
나. 탄산화시험

1) 시험결과

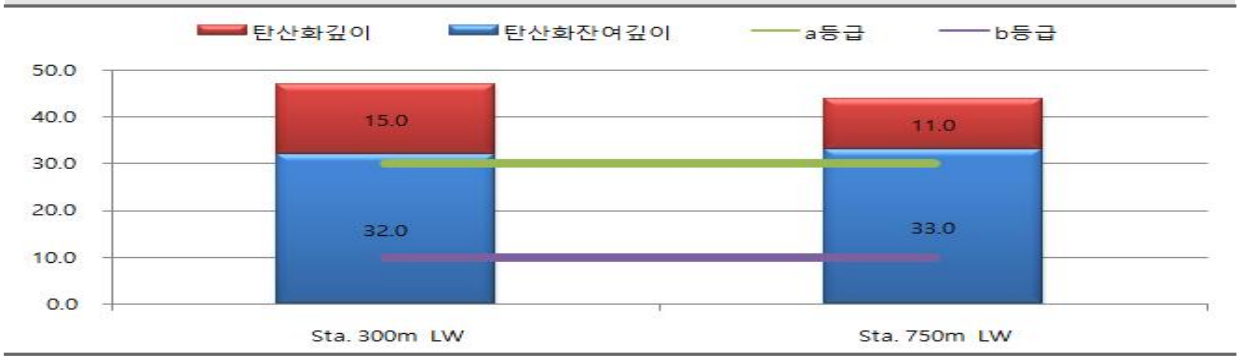
구분	측정위치	탄산화깊이 (㎜)	실측피복두께 (㎜)	탄산화잔여깊이 (㎜)	평가결과
1련	Sta. 114m Slab	10.0	44.0	34.0	a
	Sta. 750m LW	10.0	65.0	55.0	a
2련	Sta. 300m LW	15.0	47.0	32.0	a
	Sta. 750m LW	11.0	44.0	33.0	a
3련	Sta. 005m Slab	6.0	44.0	38.0	a
	Sta. 140m LW	12.0	45.0	33.0	a

- 탄산화시험에 의한 잔여깊이 측정결과 “a” 등급으로 평가되어 ‘탄산화에 의한 부식발생 우려가 없는 양호한 상태’로 조사되었다.
  - 1련 잔여깊이 측정결과 : 10.0㎜ (잔여깊이 30㎜이상)
  - 2련 잔여깊이 측정결과 : 11.0㎜ ~ 15.0㎜ (잔여깊이 30㎜이상)
  - 3련 잔여깊이 측정결과 : 6.0㎜ ~ 12.0㎜ (잔여깊이 30㎜이상)

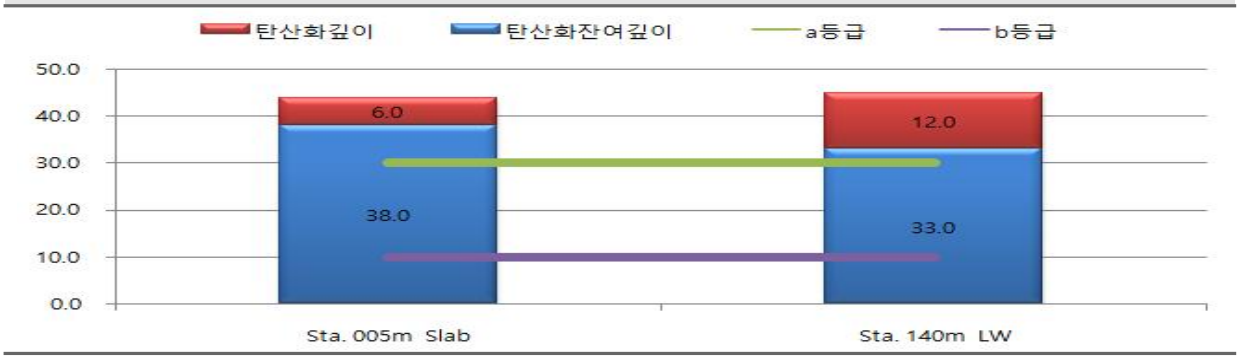
측정결과 1련



측정결과 2련



측정결과 3련



2) 기 점검결과와 비교검토

구분	2016년 정밀안전점검			2019년 정밀안전점검			비고
	탄산화깊이(㎜)	잔여깊이(㎜)	평가결과	탄산화깊이(㎜)	잔여깊이(㎜)	평가결과	
1련	2.0~3.5	48.5~53.0	a	10.0	34.0~55.0	a	
2련	2.0~4.0	48.5~58.0	a	11.0~15.0	32.0~33.0	a	
3련	1.5~3.0	51.0~54.5	a	6.0~12.0	33.0~38.0	a	
검토의견	2016년 정밀안전점검 결과와 비교·검토한 결과 수치상 탄산화 진행 깊이가 다소 증가된 상태로 평가되었으나, 이는 시험위치의 차이 등에 의한 것으로 판단된다.						

라. 내구성 조사 결과 요약

구분			측정결과	설계기준
시험결과	비파괴 강도(MPa)	1련	23.0~25.1	24.0
		2련	23.1~25.3	24.0
		3련	23.2~26.2	24.0
	탄산화 잔여깊이(㎜)	1련	10.0	a등급
		2련	11.0~15.0	a등급
		3련	6.0~12.0	a등급
	• 반발경도 측정결과 전개소 설계기준강도 대비 90%이상으로 평가됨 • 탄산화 잔여깊이 측정결과 “a” 등급으로 평가되어 ‘탄산화에 의한 부식발생 우려가 없는 양호한 상태’로 조사됨			
구분			’16 정밀안전점검	’19 정밀안전점검
기 점검결과와 비교검토	비파괴 강도(MPa)	1련	25.2~28.5	23.0~25.1
		2련	25.6~28.6	23.1~25.3
		3련	25.7~28.3	23.2~26.2
	탄산화 잔여깊이(㎜)	1련	2.0~3.5	10.0
		2련	2.0~4.0	11.0~15.0
		3련	1.5~3.0	6.0~12.0
	2016년 정밀안전점검 결과와 비교·검토한 결과 수치상 탄산화 진행 깊이가 다소 증가된 상태로 평가되었으나, 이는 시험위치의 차이 등에 의한 것으로 공용년수 증가에 따른 내구성 저하는 발생하지 않은 것으로 판단됨			

3.3.3 은평공동구 내구성 종합평가

<table>
<tr><th>시험명</th><th>시험부위</th><th>시험결과</th><th>평가</th></tr>
<tr><td>반발경도</td><td>본선구간</td><td>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>설계기준강도(㎫)</th><th>시험결과(㎫)</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>1련</td><td rowspan="3">24.0</td><td>23.0～25.1</td><td rowspan="3">양호</td></tr>
<tr><td>2련</td><td>23.1～25.3</td></tr>
<tr><td>3련</td><td>23.2～26.2</td></tr>
</table>
</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>탄산화</td><td>본선구간</td><td>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>탄산화 깊이(㎜)</th><th>잔여깊이(㎜)</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>1련</td><td>10.0</td><td>34.0～55.0</td><td>a</td></tr>
<tr><td>2련</td><td>11.0～15.0</td><td>32.0～33.0</td><td>a</td></tr>
<tr><td>3련</td><td>6.0～12.0</td><td>33.0～38.0</td><td>a</td></tr>
</table>
</td><td>a 등급</td></tr>
<tr><td>균열깊이</td><td>본선구간</td><td>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>균열폭(㎜)</th><th>균열깊이</th><th>피복두께</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>1련</td><td>0.3</td><td>26.7</td><td>36.0</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>2련</td><td>0.3</td><td>40.9</td><td>44.0</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>3련</td><td>0.2</td><td>29.3</td><td>33.0</td><td>양호</td></tr>
</table>
</td><td>0.2㎜:표면처리
0.3㎜:주입보수</td></tr>
<tr><td colspan="4">• 반발경도는 전 개소 설계기준강도 대비 90%이상을 상회하는 것으로 측정되어 공용기간 증가에 따른 강도저하는 발생하지 않은 것으로 판단된다.
• 탄산화 진행깊이 측정결과 수치상 탄산화 진행 깊이가 다소 증가된 상태로 평가되었으나, 이는 시험위치의 차이 등에 의한 것으로 “a” 등급인 ‘탄산화에 의한 부식발생 우려가 없는 양호한 상태’로 조사되었다.
• 균열진행 깊이 측정결과 피복두께를 초과하지 않는 것으로 평가되었으나, 구조물의 내구성 증진을 위한 표면처리, 주입보수 등의 보수가 필요한 것으로 판단된다.</td></tr>
</table>