

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

3.2 외 관조사

3.3 내구성 시험

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

현장조사는 각 대상 시설물을 부재별로 구분하여 외관조사와 내구성조사(강도, 탄산화, 철근탐사)을 실시하였다.

외관조사는 대상시설물에 대한 최소한의 기초자료를 얻고, 시간이 경과함에 따라 변화되는 결함의 발견 및 변화상태 등을 추적하기 위한 것으로서 가장 기본이 되는 과업이다.

내구성조사는 시설물에 열화 손상이 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부 판정을 하며, 아직 열화 손상이 없거나 경미한 시설물은 내구성 조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

3.2 외관조사

3.2.1 외관조사 개요

하수처리시설에 대한 외관조사는 시설물의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 부재 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 현장 접근에 필요한 접근방법과 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상을 파악한 후 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침-하수처리장 편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는 데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

본 장에서는 외관조사 결과, 확인된 결함과 손상 상태에 대하여 부재별로 사진을 첨부하여 설명하고, 발생 원인을 분석하여 보수·보강 및 유지관리 방안을 마련하는 데 참고할 수 있도록 하였으며, 부재에 대한 외관조사방도를 작성하여 향후 보수·보강공사 및 점검 등의 유지관리에 효율적으로 활용될 수 있도록 하였다.

3.2.2 외관조사 요령

가. 시설물별 상태변화 평가항목

정밀한 육안검사와 간단한 측정 기구를 통해 시설물의 현 상태를 파악하고 이전에 기록된 상태 변화를 확인하여 시설물이 사용요건을 만족시키고 있는지 여부를 판단한다.

1) 토목 시설물

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
침하 / 부상	○ 시설물의 침하나, 부상 정도	
경 사	○ 시설물의 경사 정도	
활 동	○ 시설물의 활동 정도	
기 초 세 굴	○ 시설물 기초의 세굴 정도	
콘크리트 균열	○ 수밀성 콘크리트의 허용균열폭 ○ 균열 폭 및 면적율	
콘크리트 박리	○ 박리의 깊이 및 면적	
콘크리트 박락 / 층분리	○ 박락 / 층분리의 깊이 및 면적	
철 근 노 출	○ 철근노출 면적	
누 수	○ 누수흔적 및 진행정도	▪ 콘크리트 부재 ▪ 신축이음 부위
백 태	○ 백태 발생 면적율	
콘크리트 파손	○ 콘크리트 파손 깊이 및 면적율	
신축이음 탈락 / 열화	○ 신축이음 탈락 및 열화 정도	

2) 강 시설물

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
강 재 부 식	○부식의 정도에 따른 발생 면적율	
피 로 균 열	○피로균열 발생원인 ○부재의 종류와 피로균열 발생 정도	
변형 / 변위	○변형 및 변위 정도	
도 장 손 상	○도장의 변색, 부풀림, 탈락 등 도장상태	

3) 기계·전기 설비

가) 펌프설비

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
펌프베드 기초불량	○기초볼트 이완 및 그라우팅 훼손	
진동 과다 발생	○펌프 및 전동기의 진동	
소음 과다 발생	○펌프 및 전동기의 소음	

나) 장내 배관

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
관체의 손상	○부식, 도장탈락 및 누수 등의 손상정도	
관 연결부 손상	○드레서형 신축관의 연결부의 설치편각 ○관 연결부의 부식, 누수 및 도장상태	
밸 브 손 상	○밸브본체, 연결플랜지 등의 외관 및 작동상태	

다) 전기설비

손상 및 결함		평 가 항 목	비 고
점검대상	대상기기		
고·저압 펌프 모터설비	- 현장제어반 및 기동반 - 펌프모터(전동기)	- 손상 및 파손 유무 - 절연, 접지 상태 - 작동상태	- 상세 육안점검 - 절연 및 접지 저항측정 - 작동상태 점검 - 열화상 진단

나. 정밀점검 외관조사 요령

『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침-하수처리장편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』의 실시요령과 시설물의 특성을 고려하여 필요한 현장조사(외관조사)를 실시한다.

일반적인 하수처리시설의 점검항목은 다음과 같다.

[하수처리시설 일반적인 점검항목]

외관조사 항목	내구성 조사 항목
○ 콘크리트 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 재료분리, 백태, 누수, 파손, 신축이음 탈락 및 열화, 방수·방식도장 열화 미 탈락 등	○ 콘크리트 강도 비파괴시험(반발경도법, 초음파법 등) 국부 파괴시험 (코어 채취시험법 등)
○ 강재(기기) 부식, 피로균열, 도장손상 등	○ 철근탐사 배근간격, 피복두께 등
○ 시설물 변형, 세굴, 침하 등	○ 콘크리트 탄산화 깊이 ○ 콘크리트 염화물 함량

- 가능한 1지씩 지내 배수를 하여 조사하는 것을 원칙으로 하되 양압력에 의한 시설물의 부상, 부등침하 등에 대비하여 지하수위 등 충분한 예비 현장조사를 한 후 점검을 실시한다.
- 콘크리트 및 강재 시설물에 대한 노후화를 점검하기 위해 육안 정밀조사로 시설물의 균열, 박리, 층분리, 박락, 백태, 누수 철근부식 등 손상상태를 점검하고 손상부위에 대한 설명과 개략도를 포함한 간단한 입체단면도와 평면도에 손상의 형태와 치수를 기록한다.
- 콘크리트 시설물에 도장 또는 도막을 한 경우에는 도막상태를 점검한다.
- 시설물의 기계가동 시 진동에 의한 균열 등의 발생 여부를 점검한다.
- 부대시설물인 수문, 권양기, 스크린, 크레인 또는 호이스트 등의 강재 시설물은 도장, 도막, 균열 및 부식 상태를 점검한다.

3.2.1 시설물별 외관조사 결과

1) 유입 펌프장

- 구조 : 철근 콘크리트조
- 규모 : B6.0m×L6.8m×H9.7m

- 형식 : 장방형 중력식



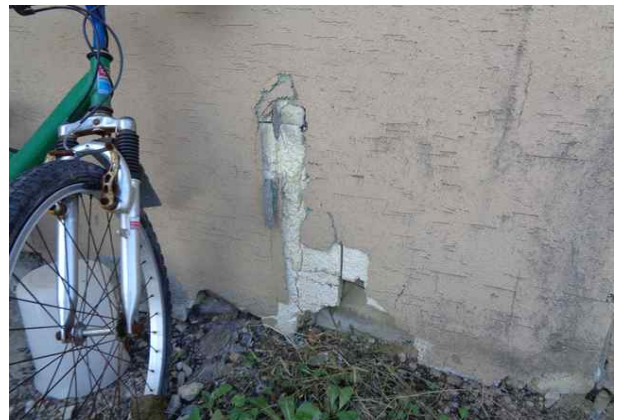
외부 전경



내부 전경



외부 벽체
마감재 파손 (A=0.5m×1.5m)



외부 벽체
마감재 파손 (A=0.3m×1.0m)

	
외부 바닥 콘크리트 파손 (A=0.2m×0.3m)	내부 지하층 천장 철근노출 (A=0.1m×0.3m)
	
내부 지하층 바닥 균열 (CW=0.2mm, L=1.0m)	내부 바닥 누수 (A=0.3m×1.0m)
전 회 	금 회 
외부, 지반 공동 보수 현황	

<표 3.1> 유입 펌프장 외관조사 결과

구 분	균열 (m/개소)		망상 균열 (m ² /개소)	박리/박락 (m ² /개소)	누수 흔적 (m ² /개소)	철근 노출 (m ² /개소)	마감재 파손 (m ² /개소)	비 고
	0.3mm 미만	0.3mm 이상						
벽체부	1.0 / 1	/	/	0.06 / 1	/	/	3.8 / 4	
천장부	/	/	/	/	3.75 / 2	0.05 / 1	/	
바닥부	1.0 / 1	/	/	/	/	/	/	
설비부	/	/	/	/	/	/	/	
합 계	2.0 / 2	/	/	0.06 / 1	3.75 / 2	0.05 / 1	3.8 / 4	

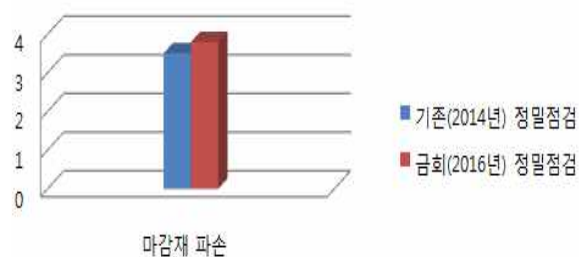
<표 3.2> 유입 펌프장 기존 정밀점검(2014년) 결과와 비교

구 분		단위	기존(2014년) 정밀점검	금회(2016년) 정밀점검	비 고
균 열	0.3mm 미만	m	1.8	2.0	
	0.3mm 이상	m	-	-	
망상 균열		m ²	-	-	
박리/박락		m ²	0.06	0.06	
누수 흔적		m ²	3.00	3.75	
철근 노출		m ²	0.03	0.05	
마감재 파손		m ²	3.51	3.80	

균열



마감재 파손



■ 검토의견

- 외관조사결과, 주요 손상으로 외부 벽체 마감재 파손, 콘크리트 파손, 내부 천장 철근노출, 바닥 균열, 누수 등이 조사됨
- 기 발생된 손상들은 건조수축, 공용중 열화로 인한 손상으로 내구성 확보 차원의 조치가 필요함

2) 하수처리시설(1차)

• 구조 : 철근 콘크리트조

• 규모 : 2,000m³/일



외부 전경



내부 1층 전처리실 전경



내부 1층 제1반응조 전경



내부 1층 제2반응조 전경



지하층 전경



옥상층 전경

	
옥상층 채광창, 내부 2층 전시홀 천장 누수흔적 (A=0.3m×37.5m)	
	
외부 벽체 마감재 파손 (A=0.2m×0.5m)	지하층 제1반응조 벽체 균열 및 백태 (L=2.0m, 2EA)
	
지하층 유량조정조 벽체 균열 (CW=0.2mm, L=5.0m)	내부 1층 벽체 마감균열 (CW=0.2mm, L=2.0m, 3EA)

	
내부 1층 바닥 마감균열 (CW=0.2mm, L=1.0m)	내부 1층 제2반응조 벽체 콘크리트 박리 (A=0.5m×0.2m)
	
내부 2층 중앙감시실 천장 누수흔적 (A=0.5m×1.0m)	옥상층 바닥 보수부재균열 (CW=0.3mm, L=6.0m)
	
옥상층 고가수조 바닥 마감망상균열 (A=1.0m×2.0m)	옥상층 채광창 대리석 탈락 (A=0.3m×1.0m)

<표 3.3> 하수처리시설(1차) 외관조사 결과 - 1

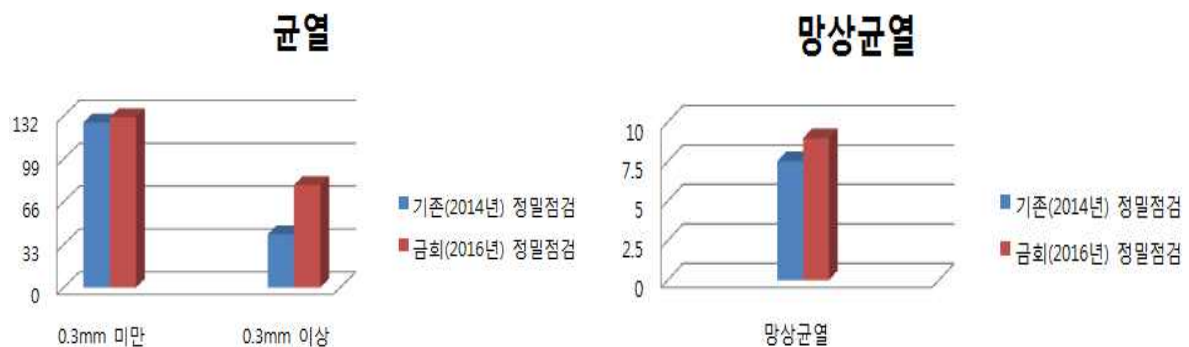
구 분	균열 (m/개소)		망상 균열 (m ² /개소)	박리/박락 (m ² /개소)	누수흔적/백태 (m ² /개소)	텍스손상 (m ² /개소)	비 고
	0.3mm 미만	0.3mm 이상					
벽체부	111.0 / 55	61.0 / 54	7.0 / 2	0.51 / 2	29.43 / 9	/	
천장부	/	/	/	/	/	1.5 / 5	
바닥부	20.0 / 10	18.0 / 7	2.0 / 1	0.87 / 4	/	/	
설비부	/	/	/	/	/	/	
합 계	131.0 / 65	79.0 / 61	9.0 / 3	1.38 / 6	29.43 / 9	1.5 / 5	

<표 3.3> 하수처리시설(1차) 외관조사 결과 - 2

구 분	마감재균열 (m/개소)	마감재손상 (m ² /개소)	바닥 채수 (m ² /개소)	대리석 탈락 (m ² /개소)	채광창 파손 (m ² /개소)	채광창 누수 (m ² /개소)	배수로 이물질퇴적 (m ² /개소)
벽체부	34.0 / 23	0.83 / 7	/	/	/	/	/
천장부	/	/	/	/	/	/	/
바닥부	/	/	15.0 / 1	0.3 / 1	/	/	/
설비부	/	/	/	/	1.0 / 1.0	88.0 / 1	5.0 / 1
합 계	34.0 / 23	0.83 / 7	15.0 / 1	0.3 / 1	1.0 / 1.0	88.0 / 1	5.0 / 1

<표 3.4> 하수처리시설(1차) 기존 정밀점검(2014년) 결과와 비교

구 분		단 위	기존(2014년) 정밀점검	금회(2016년) 정밀점검	비 고
균 열	0.3mm 미만	m	127.1	131.0	
	0.3mm 이상	m	41.0	79.0	
망상 균열		m ²	7.5	9.0	
박리/박락		m ²	0.12	1.38	
누수흔적/백태		m ²	27.03	29.43	
천장 텍스 손상		m ²	1.5	1.5	
마감재 균열		m	49.6	34.0	
마감재 손상		m ²	0.07	0.83	
바닥 체수		m ²	-	15.0	
채광창 파손		m ²	-	1.0	
대리석 탈락		m ²	-	0.3	
채광창 누수		m ²	88.0	88.0	
배수로 이물질퇴적		m ²	5.0	5.0	



■ 검토의견

- 외관조사결과, 주요 손상으로 내·외부 벽체 균열, 망상균열, 박리/박락, 누수흔적/백태, 천장 텍스 손상, 외부 마감재 균열 및 손상, 바닥 체수, 채광창 파손 및 누수, 이물질퇴적 등이 조사됨
- 기 발생한 손상들은 건조수축, 공용중 열화, 우수침투로 인한 손상으로 유지관리 차원의 조치가 필요함
- 특히, 옥상층 채광창 누수부는 손상의 진전이 우려되므로 조속한 조치가 필요함

3) 하수처리시설(2차)

• 구조 : 철근 콘크리트조

• 규모 : 1,650m³/일



외부 전경



내부 전기실 전경



내부 지하1층 전경



내부 지하1층 여과시설 전경



내부 지하2층 전경



내부 지하2층 유량조정조 전경



외부 출입구, 변위 ($t=20\text{mm}$)



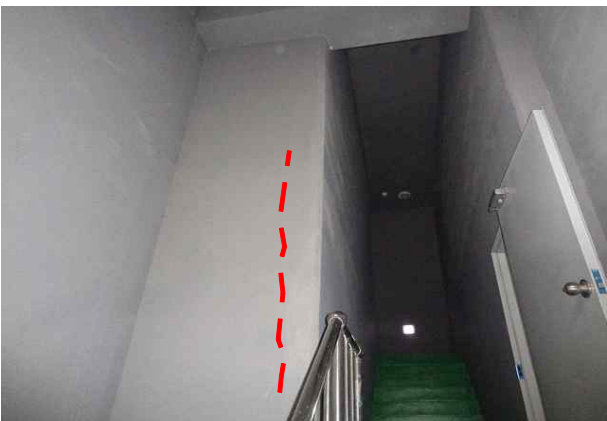
외부, 주변지반 침하 ($L=10.0\text{m}$, $t=30\text{mm}$)



외부
주변지반 침하로 인한 바리게이트 개폐불량



내부 지하2층 벽체
오염 ($A=1.0\text{m}\times 1.0\text{m}$)

	
내부 기계실 천장 설비부 누수흔적 및 부식 (A=1.0m×1.0m)	내부 기계실 벽체 콘크리트 박락 (A=0.1m×0.1m)
	
내부 지하1층 바닥 균열 (CW=0.3mm, L=2.0m)	지하2층 유량조정조 바닥 표면박리 (A=10.0m×3.0m)
	
내부 지하2층 계단부 벽체 균열 (CW=0.3mm, L=2.0m, 8EA)	내부 지하2층 계단부 바닥 도장박리 (A=1.0m×1.0m)

<표 3.5> 하수처리시설(2차) 외관조사 결과

구 분	균열 (m/개소)		박리/박락 (m ² /개소)	도장 박리 (m ² /개소)	오 염 (m ² /개소)	출입구 변위 (m ² /개소)	정문 개폐불량 (m ² /개소)
	0.3mm 미만	0.3mm 이상					
벽체부	/	16.0 / 8	/	/	1.0 / 1	/	/
천장부	/	/	/	/	/	/	/
바닥부	/	4.0 / 2	1.0 / 1	1.0 / 1	/	/	/
설비부	/	/	/	/	/	1.0 / 1	1.0 / 1
합 계	/	20.0 / 10	1.0 / 1	1.0 / 1	1.0 / 1	1.0 / 1	1.0 / 1

<표 3.6> 하수처리시설(2차) 기존 정밀점검(2014년) 결과와 비교

구 분		단위	기존(2014년) 정밀점검	금회(2016년) 정밀점검	비 고
균 열	0.3mm 미만	m	-	-	
	0.3mm 이상	m	-	20.0	
박리/박락		m ²	-	1.0	
도장 박리		m ²	-	1.0	
오 염		m ²	-	1.0	
출입구 변위		m ²	-	1.0	
정문 개폐 불량		m ²	-	1.0	

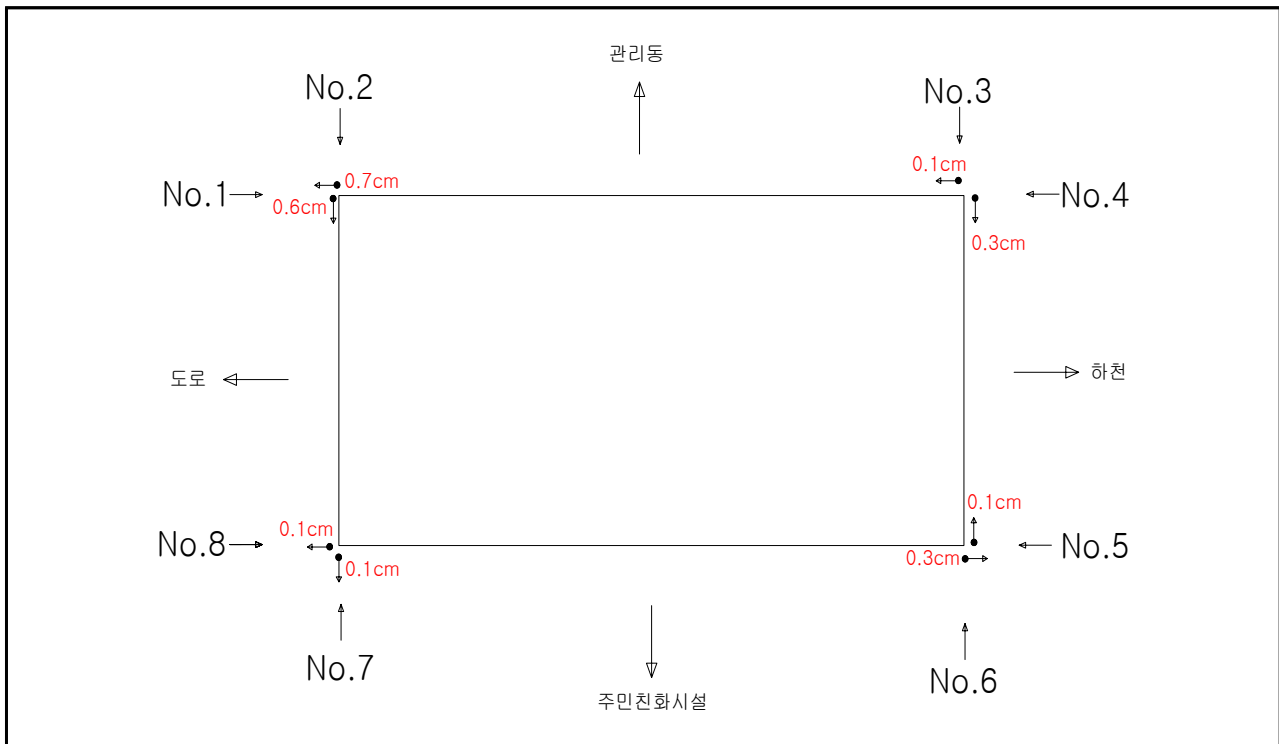
■ 검토의견

- 외관조사결과, 주요 손상으로 벽체 균열, 박락, 오염, 바닥 균열, 출입구 변위, 정문 바리게이트 개폐 불량 등이 조사됨
- 기 발생된 손상들은 건조수축, 공용중 열화, 주변 지반 침하로 인한 손상으로 유지관리 차원의 조치가 필요함
- 관리동 상단 수평변위 측량결과, 변위량이 미미한 상태이나, 현재 주변 지반이 침하중이므로 향후 진전여부에 대한 주의관찰이 필요함

■ 하수처리시설(2차) 수평 변위(기울기) 측량결과

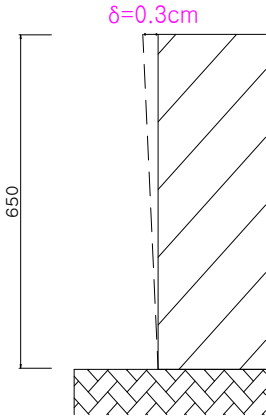
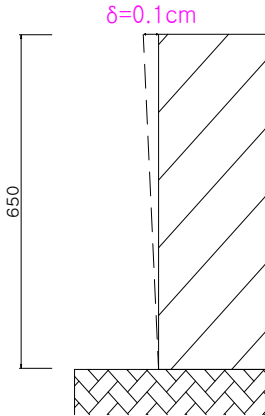
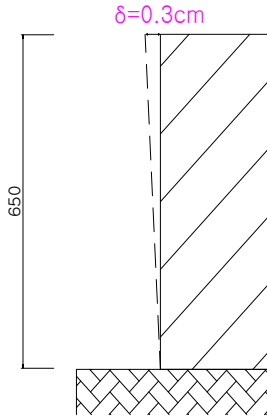
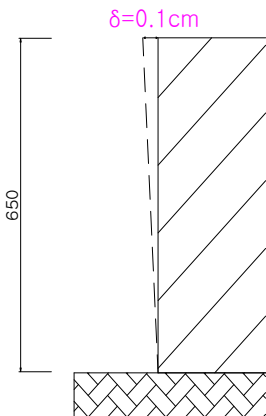
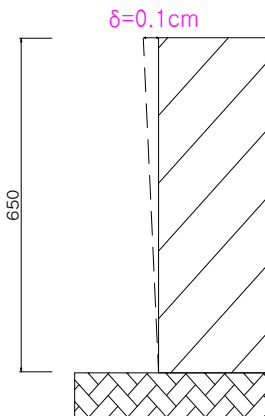
구조물의 주변 지반 침하가 건축물에 미치는 영향을 확인하기 위해 구조물의 상단부 수평 변위를 측량하였다.

1) 하수처리시설(2차) 수평 변위 측량 위치도



2) 하수처리시설(2차) 수평 변위 측량 결과

No. 1		No. 2		No. 3	
변위량(δ)	0.6 cm	변위량(δ)	0.7 cm	변위량(δ)	0.1 cm
기울기(δ/L)	1 / 1083	기울기(δ/L)	1 / 929	기울기(δ/L)	1 / 6500

No. 4		No. 5		No. 6	
					
변위량(δ)	0.3 cm	변위량(δ)	0.1 cm	변위량(δ)	0.3 cm
기울기(δ/L)	1 / 2167	기울기(δ/L)	1 / 6500	기울기(δ/L)	1 / 2167
No. 7		No. 8			
					
변위량(δ)	0.1 cm	변위량(δ)	0.1 cm		
기울기(δ/L)	1 / 6500	기울기(δ/L)	1 / 6500		

3) 하수처리시설(2차) 수평변위에 대한 고찰

구조물 상단부 변위량은 0.1cm ~ 0.7cm [기울기 1/929 ~ 1/6500] 정도로 구조물에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되나, 주변 지반 침하가 진행중이므로 주의관찰이 필요하다.

4) 총인처리시설

• 구조 : 철근 콘크리트 라멘조

• 규모 : 지상 1층



외부 전경



내부 전경



외부 출입구
마감재 파손 (A=1.5m×0.3m)



내부 총인가압부상실 바닥
균열 (CW=0.3mm, L=0.5m)



내부 벽체
마감망상균열 (A=0.2m×0.5m)



내부 천장
균열 및 누수흔적 (CW=0.2mm, L=1.5m)

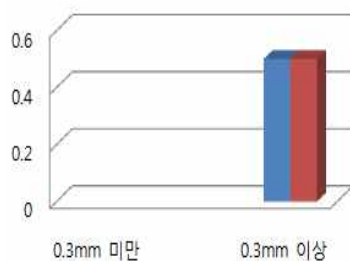
<표 3.7> 총인처리시설 외관조사 결과

구 분	균열 (m/개소)		망상 균열 (m ² /개소)	박리/박락 (m ² /개소)	누수 흔적 (m ² /개소)	체 수 (m ² /개소)	비 고
	0.3mm 미만	0.3mm 이상					
벽체부	/	/	0.1 / 1	0.76 / 2	1.0 / 1	/	
천장부	/	/	/	/	1.5 / 1	/	
바닥부	/	0.5 / 1	/	/	/	4.0 / 1	
설비부	/	/	/	/	/	/	
합 계	/	0.5 / 1	0.1 / 1	0.76 / 2	2.5 / 2	4.0 / 1	

<표 3.8> 총인처리시설 기존 정밀점검(2014년) 결과와 비교

구 분		단위	기존(2014년) 정밀점검	금회(2016년) 정밀점검	비 고
균 열	0.3mm 미만	m	-	-	
	0.3mm 이상	m	0.5	0.5	
망상 균열		m ²	0.1	0.1	
박리/박락		m ²	0.01	0.76	
누수 흔적		m ²	-	2.5	
체 수		m ²	-	4.0	
기 타		개소	-	-	

균열



박리/박락



■ 검토의견

- 외관조사결과, 주요 손상으로 벽체 균열, 망상균열, 박리/박락, 누수흔적, 체수 등이 조사됨
- 기 발생한 손상은 건조수축, 공용중 열화로 인한 손상으로 유지관리 차원의 조치가 필요함

3.3 내구성 시험

3.3.1 내구성 시험 개요

내구성 시험은 시설물에 열화 손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부의 판정을 하기 위함이며, 아직 열화 손상이 없거나 경미한 시설물은 내구성 조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 점검 대상시설물인 광동 공공하수처리 시설물은 최초 2002년 준공을 시작으로 1차 (2007년)에 걸쳐 증설공사를 실시한 수리 시설물로서 근교 일부지역에서 발생하는 생활하수 및 각종 오염물질로 정화하는 콘크리트 시설물이다.

따라서, 대상 시설물의 콘크리트는 생활하수에서 발생하는 가스와 화학성분을 함유한 물에 의해 화학적 침식 및 탄산가스 등에 의한 콘크리트 침식의 위험에 항상 노출되고 있어 이러한 콘크리트 시설물에 대해 비파괴 시험을 통한 콘크리트 내구성 손상유무를 파악하고자 시설물별 내구성 조사를 실시하였다.

시설물의 내구성 저하원인으로는 탄산화, 동해, 산성비, 알칼리골재반응, 화재, 부식 등이 대표적이며 일반적으로 재료의 내구성이 저하되면 강도저하, 균열, 변형, 단면감소 등을 동반하여 시설물 전체의 안전성 및 사용성을 위협하게 된다. 따라서, 본 시험 및 측정은 시설물 구성재료인 철근콘크리트의 역학적, 화학적 특성을 체계적으로 규명하고 도출된 결과를 비교, 분석, 평가하여 시설물의 안전성평가의 기초자료로 활용하기 위하여 실시하였다.

본 과업의 내구성 시험은 콘크리트 강도, 탄산화 깊이, 철근탐사 등을 실시하였다.

[내구성 시험 조사 사진]

콘크리트 강도	탄산화 깊이	철근 탐사

<표 3.9> 내구성 시험 실시 현황

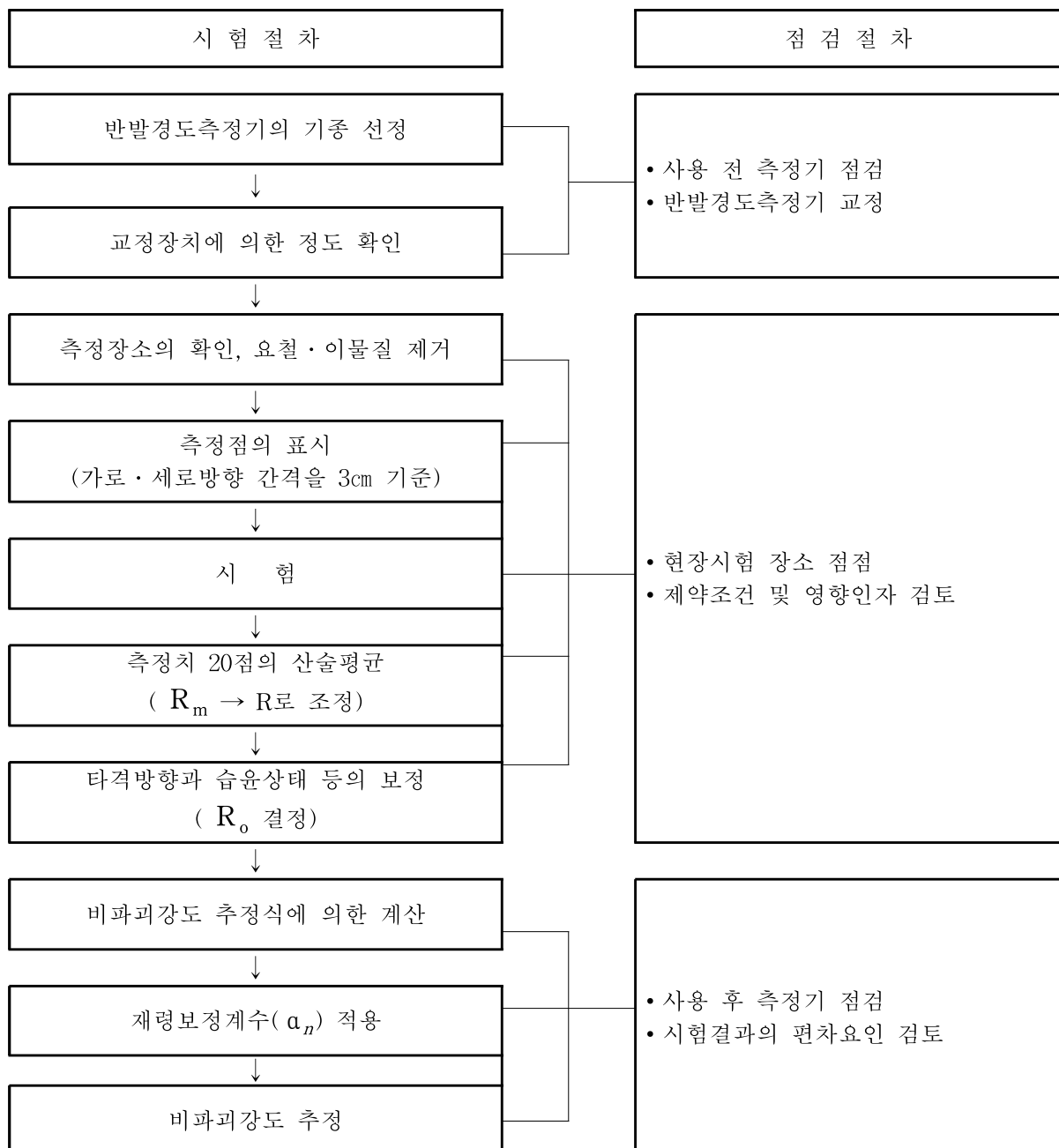
NO	시설물명	콘크리트 강도 (개소)	탄산화 깊이 (개소)	철근 탐사 (개소)	비고
1	유입펌프장	3	1	2	
2	하수처리시설(1차)	7	4	5	
3	종인처리시설	-	-	3	
4	하수처리시설(2차)	10	6	8	

3.3.2 콘크리트 강도 시험

가. 개 요

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



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

a R	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.

[기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)]

구 분	추 정 식(MPa)	비 고
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회 적용(식①)
동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098$	
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회 적용(식②)
U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_o + 0.0932R_o^2) \times 0.098$	
과학기술부 고강도식	$F_c = (15.2R_o - 112.8) \times 0.1$	
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)		

4) 28일 강도의 추정

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

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

[재령계수 α 값]

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

나. 측정 결과

<표 3.10> 콘크리트 강도 측정 결과

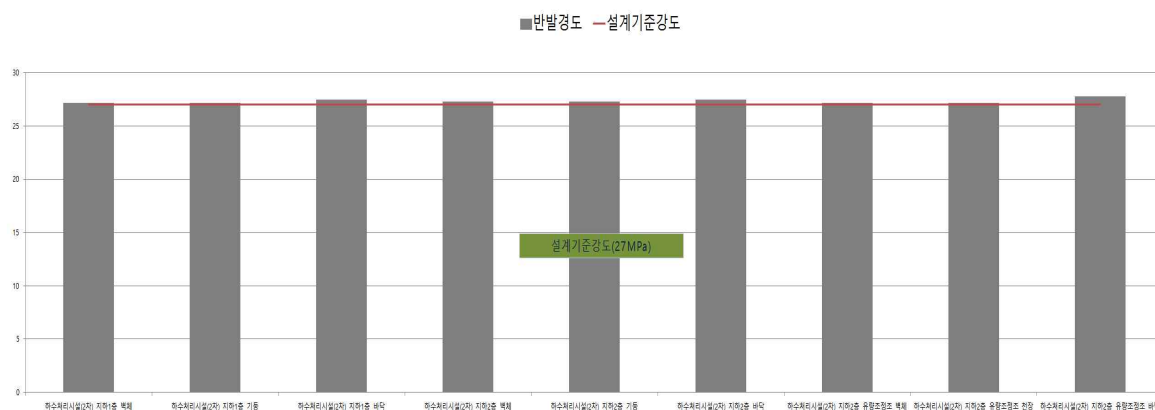
NO	시설물명	측정위치	반발경도 (Ro)	재령계수 (α)	압축강도(MPa)		측정결과 (MPa)	설계강도 (MPa)	비고
					재료학회	건축학회			
1	유입펌프장	벽체	44.1	0.63	23.9	26.0	25.0	24.0	
		천장	46.1	0.63	22.8	25.4	24.1	24.0	
		바닥	41.4	0.63	23.9	26.0	24.9	24.0	
2	하수처리시설 (1차) 지하1층	벽체	42.9	0.63	23.0	25.5	24.2	24.0	
		기둥	43.0	0.63	23.1	25.6	24.3	24.0	
3	하수처리시설 (1차) 지하1층 송풍기실	벽체	42.9	0.63	23.0	25.5	24.2	24.0	
		기둥	43.2	0.63	23.3	25.7	24.5	24.0	
4	하수처리시설 (1차) 지하1층 유량조정조	벽체	43.1	0.63	23.2	25.6	24.4	24.0	
5	하수처리시설 (1차) 지하1층 제1반응조	벽체	42.9	0.63	23.0	25.5	24.2	24.0	
6	하수처리시설 (1차) 지하1층 제2반응조	벽체	42.8	0.63	22.9	25.5	24.2	24.0	
7	하수처리시설 (2차) 지하1층	벽체	45.5	0.67	26.2	28.1	27.2	27.0	
		기둥	45.5	0.67	26.2	28.1	27.2	27.0	
		바닥	44.0	0.67	26.6	28.4	27.5	27.0	
8	하수처리시설 (2차) 지하2층	벽체	45.6	0.67	26.3	28.2	27.3	27.0	
		기둥	45.1	0.67	26.4	28.2	27.3	27.0	
		바닥	43.0	0.67	26.7	28.4	27.5	27.0	
9	하수처리시설 (2차) 지하2층 유량조정조	벽체	45.0	0.67	26.3	28.2	27.2	27.0	
		천장	45.1	0.67	26.3	28.2	27.2	27.0	
		바닥	43.9	0.67	27.0	28.6	27.8	27.0	
10	하수처리시설 (2차) 1층	기둥	41.4	0.67	23.2	26.4	24.8	24.0	

<표 3.11> 콘크리트 강도 기준 정밀점검(2014년) 측정 결과와 비교

구 분	설계기준강도	기준(2014년)	금 회(2016년)	비 고
1구간	24.0	24.2 ~ 32.5	24.1 ~ 25.0	2002년 준공 시설물
2구간	27.0		27.2 ~ 27.8	2014년 준공 시설물



[2002년 준공 시설물]



[2014년 준공 시설물]

■ 검토의견

- 반발경도법에 의한 콘크리트 강도 검토결과, 비파괴 추정강도는 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정됨
- 기존(2014년) 정밀점검과 비교·분석한 결과, 측정 위치에 따른 편차가 일부 존재하나, 전반적으로 공용연수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하는 없는 것으로 판단됨

3.3.3 철근 탐사 시험

가. 개 요

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

철근콘크리트 시설물의 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.

1) 측정원리

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

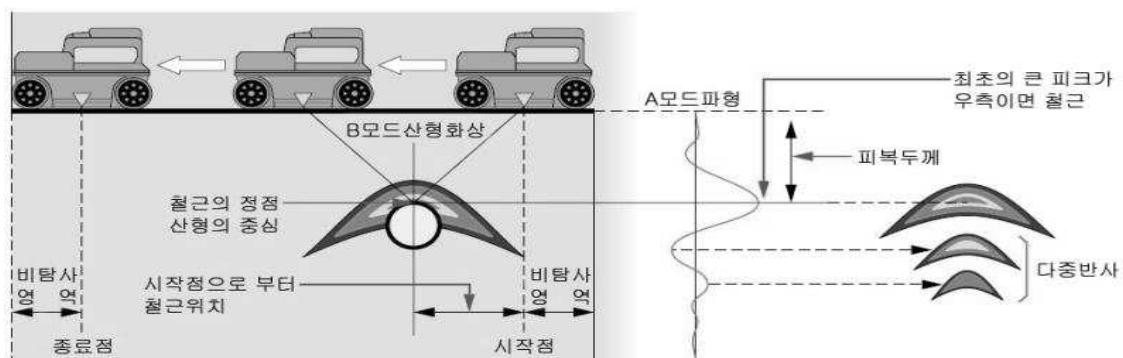
$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m/sec})$$

여기서, C : 진공 중에서 전자파의 속도($3 \times 10^8 \text{ m/sec}$)

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.

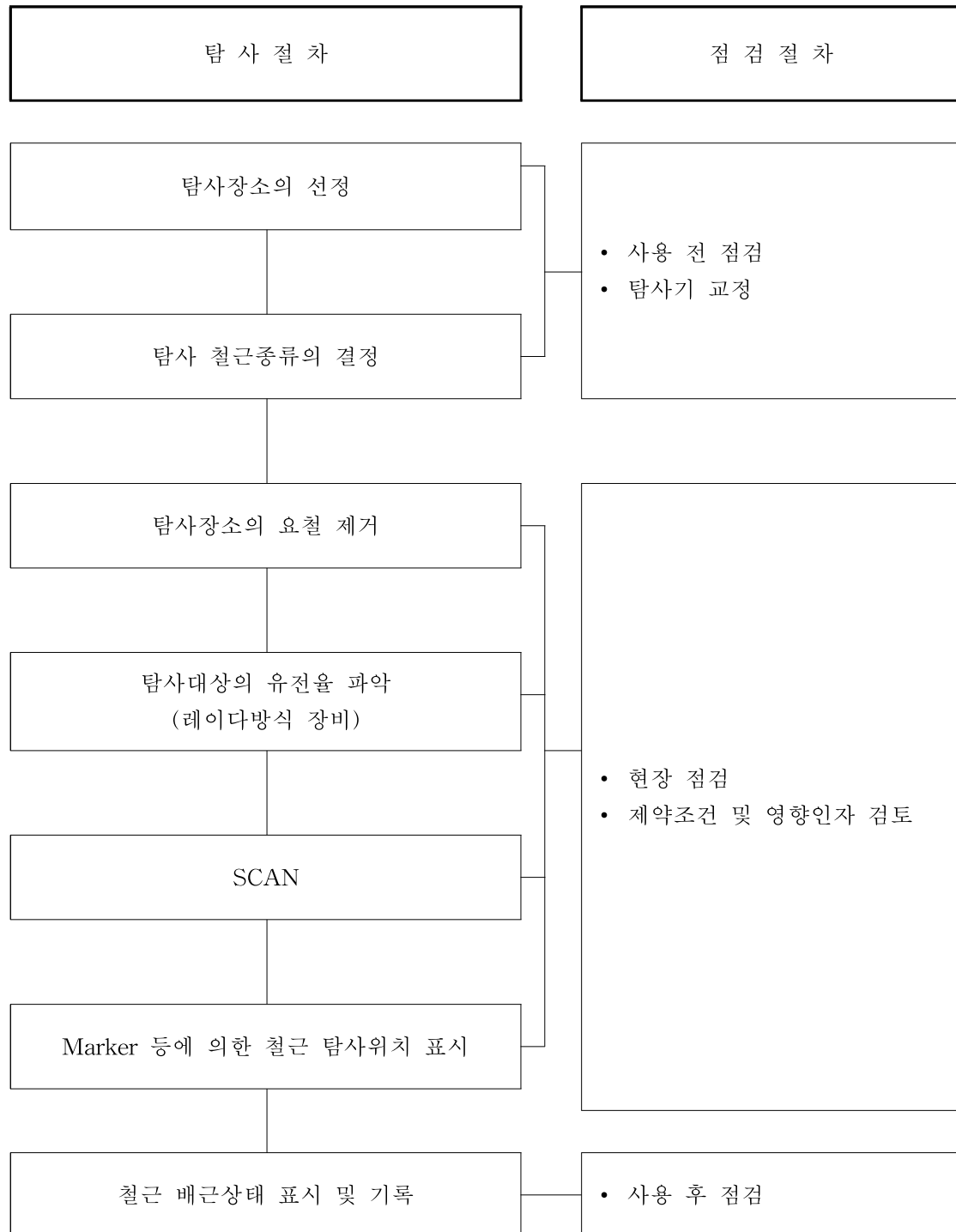
[철근탐사 측정원리]



2) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

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

[철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차]



나. 측정 결과

<표 3.12> 철근 탐사 결과

NO	시설물명	측정 위치	설계값(mm)			측정값(mm)			비고
			주근	배력근	피복두께	주근	배력근	피복두께	
1	유입펌프장	벽체	200	200	80	190	198	64	
		바닥	200	200	80	200	215	41	
2	하수처리시설(1차) 제1반응조	벽체	200	200	80	173	200	79	
3	하수처리시설(1차) 제2반응조	벽체 #1	200	200	80	205	213	64	
		벽체 #2	200	200	80	223	204	64	
4	하수처리시설(1차)	벽체	200	200	80	207	215	64	
		바닥	200	200	80	217	217	64	
5	충인처리시설	기둥	4EA	200	80	4EA	192	44	
		천장	200	200	80	200	197	67	
		바닥	200	200	80	197	202	58	
6	하수처리시설(2차) 여과기실	벽체 #1	200	200	80	171	193	58	
		벽체 #2	200	200	80	184	185	79	
7	하수처리시설(2차) 유량조정조	벽체 #1	200	200	80	173	190	72	
		벽체 #2	200	200	80	176	230	71	
8	하수처리시설(2차)	벽체 #1	200	200	80	177	183	84	
		벽체 #2	200	200	80	182	178	84	
		바닥 #1	200	200	80	190	173	86	
		바닥 #2	200	200	80	176	187	89	
■ 검토의견 ■ 철근탐사결과, 각 시설물의 부재별 배근 간격은 설계값에 준하여 배근된 것으로 측정되었으며, 피복두께는 일부구간에서 다소 부족하나, 탄산화 진행정도가 미미하므로 주의관찰이 요구됨									

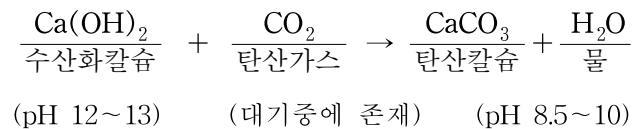
3.3.4 탄산화 시험

가. 개 요

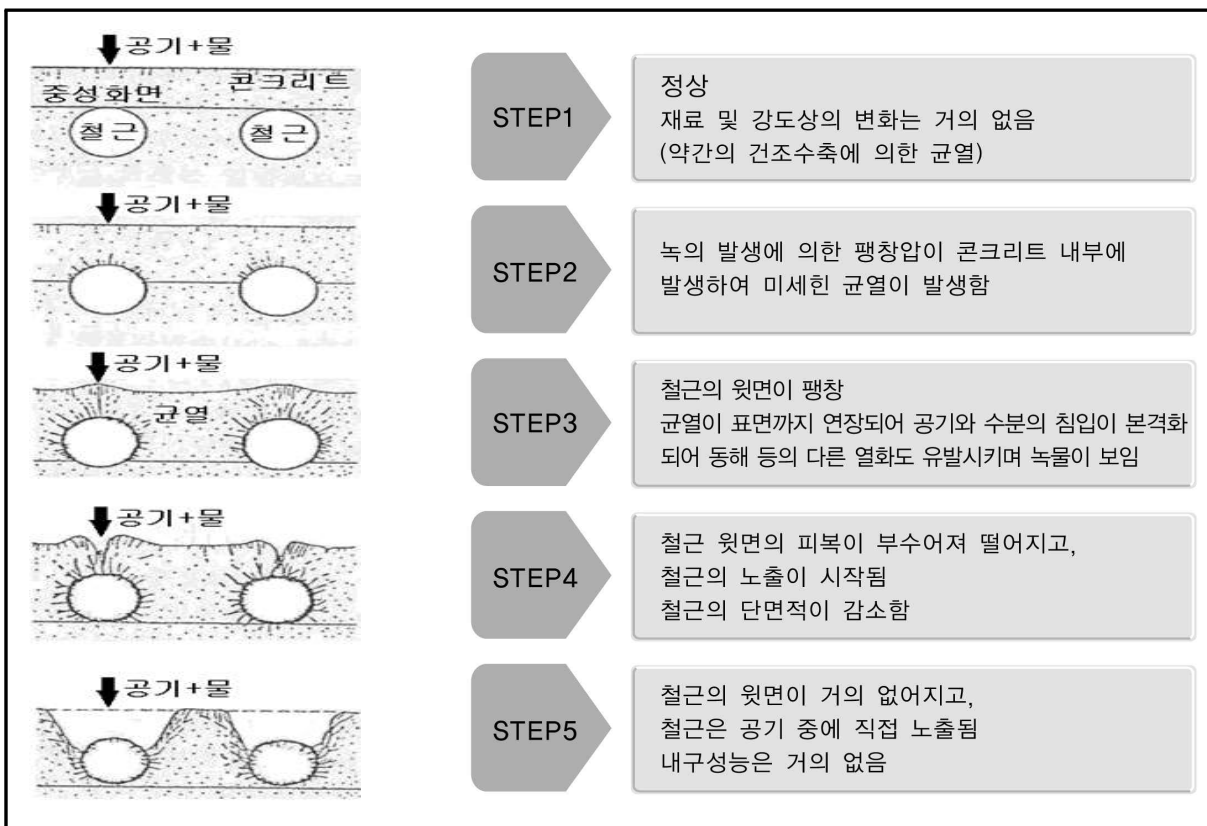
건전한 콘크리트는 경화시멘트 풀의 수산화합물 중 약 25%를 차지하는 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 영향으로 pH가 12~13인 강알칼리성을 나타낸다. 그러나 콘크리트가 대기 중에 노출되면 대기 중에 약 0.035% 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(CO_2)와 수산화칼슘이 반응하여 탄산칼슘(CaCO_3)으로 환원되면서 표면부터 콘크리트의 pH가 서서히 10이하로 낮아지는데 이를 탄산화라고 정의한다.

이와같이 콘크리트가 탄산화가 되면 철근표면의 부동태 피막이 파괴되어 철근이 부식됨으로써 콘크리트의 내구성이 저하된다.

탄산화시험은 드릴링한 콘크리트면에 페놀프탈레인 1%를 섞은 알코올 용액을 분무한다. 탄산화된 콘크리트는 무색반응을 보이는 반면에 탄산화가 진행되지 않은 건전한 콘크리트는 적색으로 변하게 되므로 탄산화의 유무를 판단할 수 있다.



[탄산화에 의한 철근부식 메커니즘]



1) 탄산화 속도에 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로서는 환경조건을 주원인으로 하는 외적요인과 콘크리트 자체의 성능·품질을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

[탄산화 속도 영향인자]

구분	영향 인자	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 - 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
환경 조건	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

2) 탄산화깊이의 측정

본 과업에서는 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 강 알칼리성일수록 짙은 보라색을 띠며 pH 9이하에서는 무색을 나타낸다. 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 버니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

3) 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/ $\sqrt{\text{년}}$)

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.

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

$$\text{잔존수명예측(년)} = \text{수명예측년수} - \text{경과년수}$$

3) 탄산화 평가기준

[탄산화 평가기준]

등급	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	· 30mm이상	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	· 10mm이상~30mm미만	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	· 0mm이상~10mm미만	탄산화 의한 부식발생 가능성 높음
d	· 0mm미만	철근부식 발생

나. 측정 결과

<표 3.13> 탄산화 측정 결과

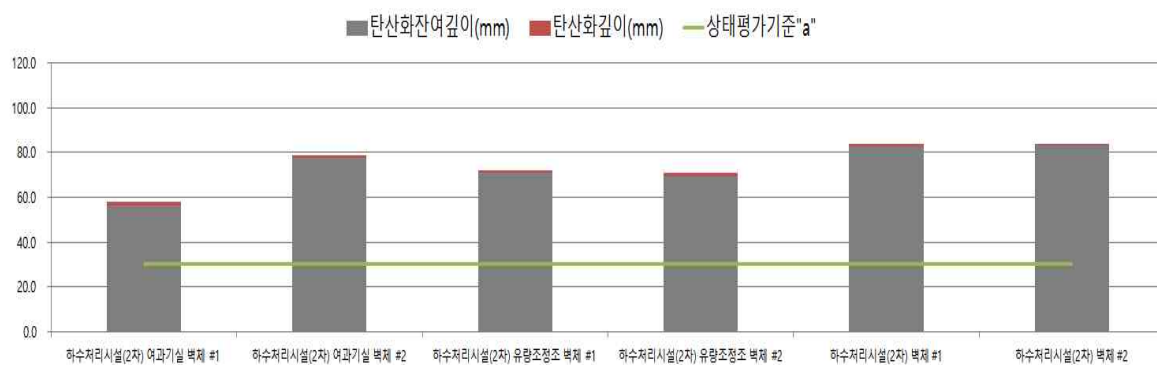
NO	시설물명	측정 위치	탄산화 깊이 (mm)	실측 피복 두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	탄산화 속도계수 (A)	평가 등급	비고
1	유입펌프장	벽체	6.5	64.0	57.5	1.74	a	잔존수명 100년 이상
2	하수처리시설(1차) 제1반응조	벽체	10.5	79.0	68.5	2.81	a	
3	하수처리시설(1차) 제2반응조	벽체 #1	9.5	64.0	54.5	2.54	a	
		벽체 #2	10.0	64.0	54.5	2.67	a	
4	하수처리시설(1차)	벽체	9.5	64.0	54.5	2.54	a	
5	하수처리시설(2차) 여과기실	벽체 #1	1.5	58.0	56.5	1.06	a	
		벽체 #2	1.0	79.0	78.0	0.71	a	
6	하수처리시설(2차) 유량조정조	벽체 #1	1.0	72.0	71.0	0.71	a	
		벽체 #2	1.5	71.0	69.5	1.06	a	
7	하수처리시설(2차)	벽체 #1	1.0	84.0	83.0	0.71	a	
		벽체 #2	0.5	84.0	83.5	0.35	a	

<표 3.15> 탄산화 깊이 기준 정밀점검(2014년) 측정 결과와 비교

구 분	기준(2014년)	금 회(2016년)	비 고
하수처리시설(1차)	7.9mm ~ 12.3mm	6.5mm ~ 10.5mm	2002년 준공 시설물
하수처리시설(2차)	-	0.5mm ~ 1.5mm	2014년 준공 시설물



[2002년 준공 시설물]



[2014년 준공 시설물]

■ 검토의견

- 탄산화 깊이 검토결과, 전 개소에서 잔여깊이가 54.0mm ~ 83.5mm 로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 판단됨
- 기존(2014년) 정밀점검과 비교·분석한 결과, 측정 위치에 따른 편차가 일부 존재하나, 전반적으로 양호한 상태임