

제 2 장 바 람 산 용 벽

2.1 개요

2.2 자료수집 및 분석

2.3 현장조사 및 시험

2.4 상태평가

2.5 안전성 평가

2.6 보수 · 보강 방안

2.7 종합평가 및 안전등급 지정

2.8 종합결론

제2장 바람산옹벽

2.1 개 요

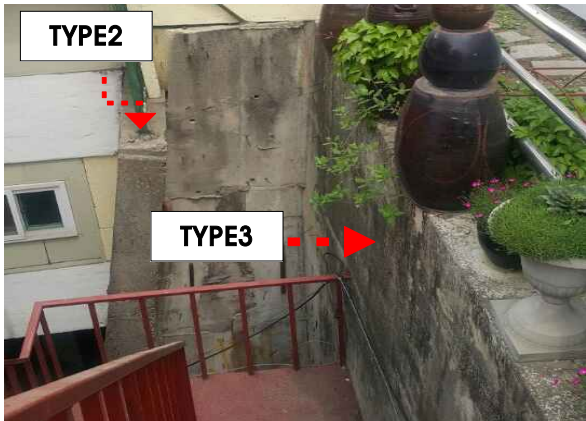
바람산옹벽은 서울특별시 서대문구 창천동에 위치한 연장 100m, 높이 8m 정도의 기대기식 콘크리트 옹벽으로 1964년(추정) 준공되어 약 53년 정도의 공용기간이 경과한 상태이며, 금회 최초로 실시하는 정밀안전진단이다.

2.1.1 바람산옹벽 현황

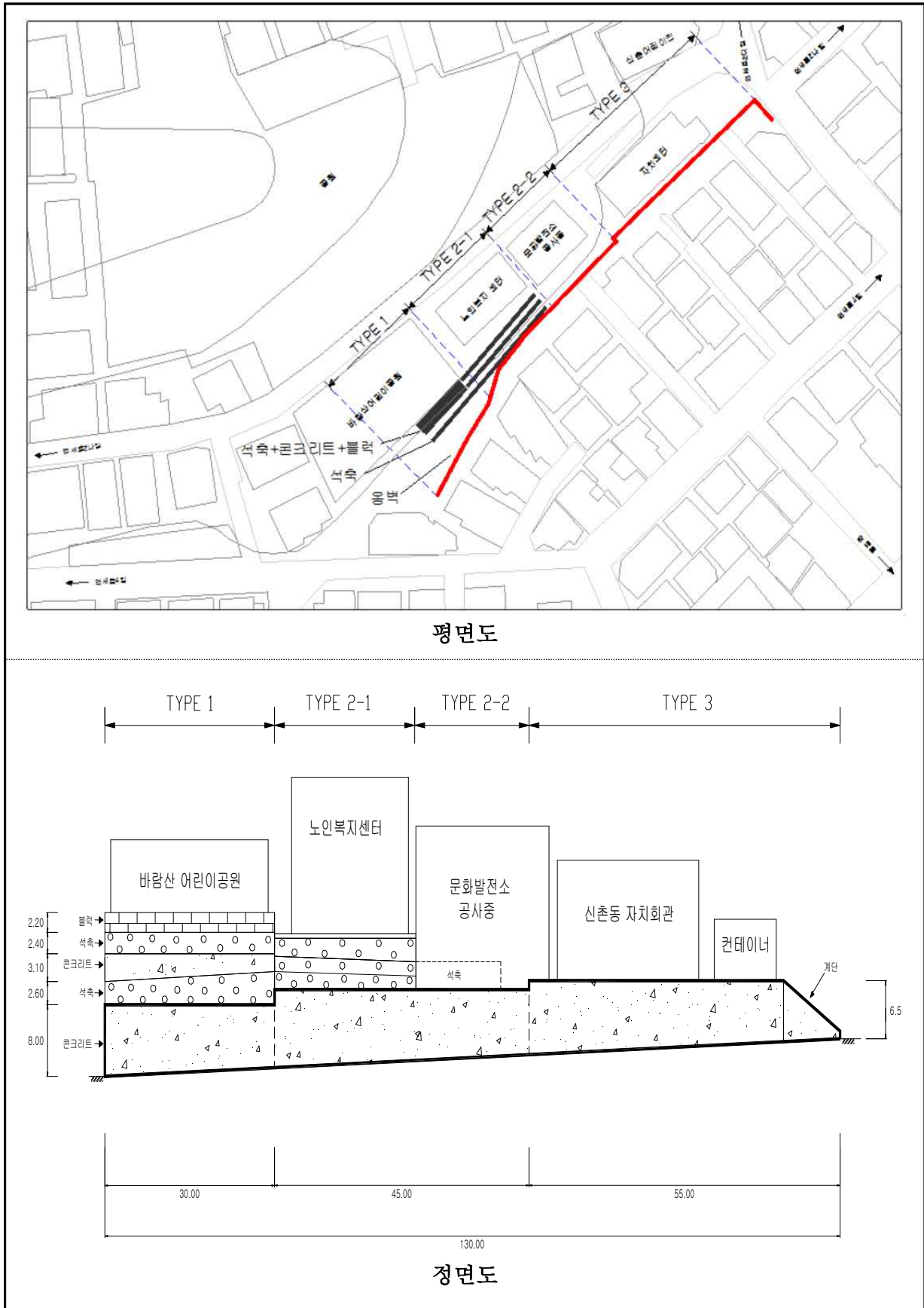
[표2.1] 바람산옹벽 현황표

시설물명	바람산 옹벽			시설물구분	옹벽
위 치	행정구역	서울특별시 서대문구 창천동 18-54			
	위치좌표	시점	37° 33'30.2"	종점	37° 33'27.8"
			126° 56'24.1"		126° 56'21.4"
제 원	옹벽형식	콘크리트 옹벽(기대기식)			
	연 장	130.0m	지면노출높이(m)	8.0m	
	저판폭(m)	—	노 선	—	
관리주체	서대문구청 토목과			관리주체구분	공공
주변환경	배 면	석축, 건축물, 공원			
	전 면	주택			
시공현황	준공년도	1964년(추정)	시 공 사	—	
	부대시설	배수공			
비 고					

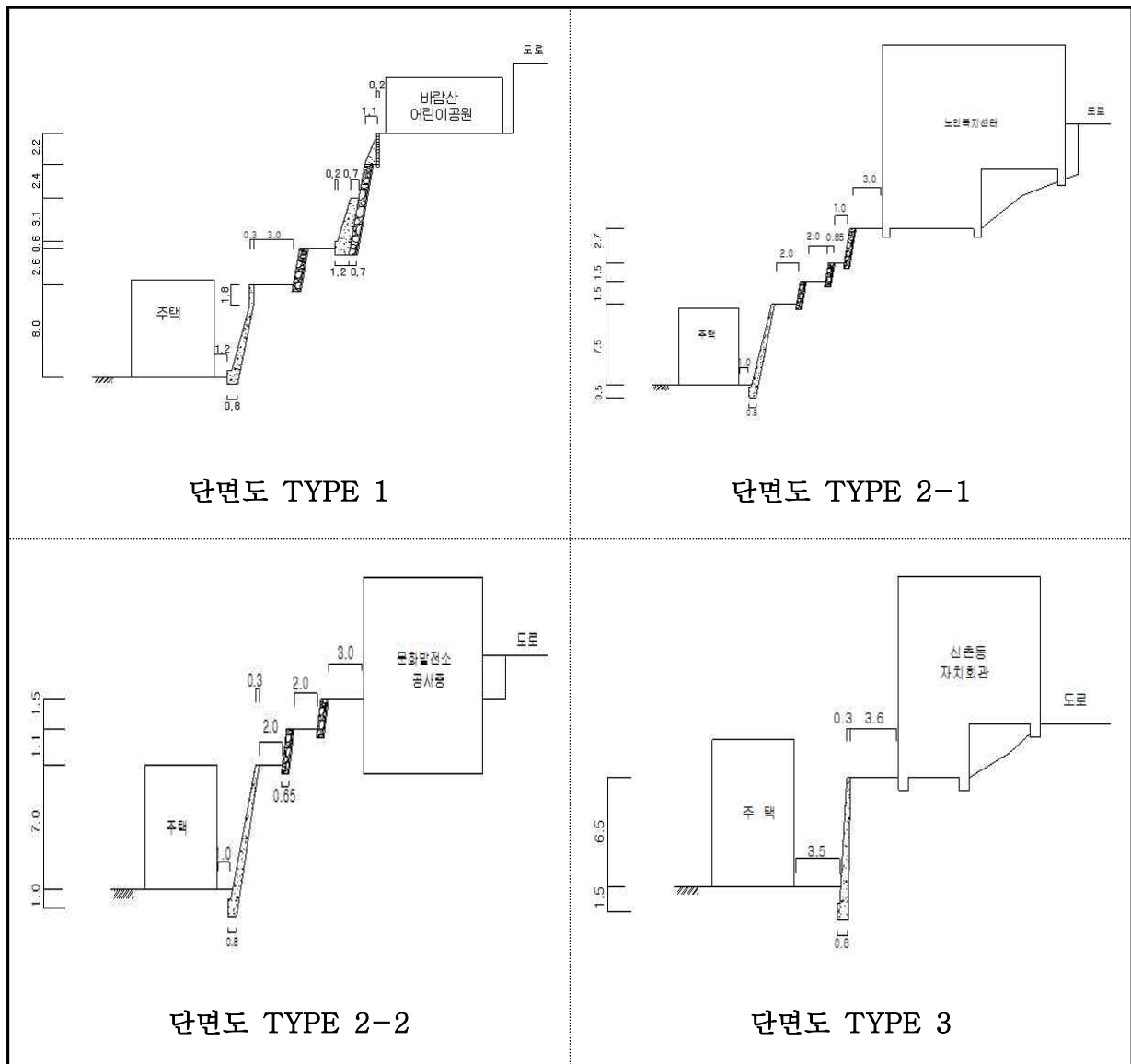
2.1.2 전경사진

	
전체 전경	
	
시점측 전경	종점측 전경
	
단면변화부 전경	상단부 전경

2.1.3 관련도면



2.1.3 관련도면(계속)



2.2 자료수집 및 분석

본 과업에 대한 자료조사는 주변현황자료와 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련자료로 대별되나, 대상 시설물은 종외 시설물로 기초자료 보유현황은 미흡한 것으로 확인되었다.

2.2.1 자료수집 현황

[표 2.2] 자료수집 현황

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비 고
설계 도서	◦ 공 통 - 준공 내역서, 실시설계 보고서 - 각종 계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	일부 보유	일부구간 건축구조물 도면, 지반조사보고서
	◦ 설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(중·횡) - 상,하단부 구조물도	미보유	
시설물 관리대장	◦ 기본 현황 ◦ 상제 제원 ◦ 유지관리 이력	-	종외 시설물
시공관련 자료	◦ 시공관련 자료 ◦ 품질관리 관련자료 - 재료증명서, 품질시험기록 - 각종 시험 기록 ◦ 사고기록	미보유	
안전점검 및 정밀안전진단 자료		일부 보유	바람산어린이공원 옹벽 정밀점검 및 실시설계 [2017.05]
시설물 보수·보강 자료		미보유	

2.2.2 설계 및 시공 자료

대상시설물의 설계 및 준공도면은 없는 것으로 확인되었으나, 상부 건축물(노인복지센터, 문화발전소, 자치회관)에 대한 도면과 지반조사보고서가 존재하여 일부 자료를 구조검토시 적용하였다.

2.2.3 기존 점검 및 진단 자료

대상시설물은 종외시설물로 준공 후 금회 최초로 실시하는 정밀안전진단으로 기존 안전점검 자료는 없는 것으로 조사되었으나, 2017년 5월 바람산어린이공원 옹벽 정밀점검 및 실시설계용역[(주)한국구조물연구원]이 완료되어 일부 자료를 구조검토시 적용 및 첨부하였다.

2.2.4 시설물 보수·보강 자료

대상시설물은 상부 석축구간 일부에서 배수공 및 몰탈 줄눈 등의 보수가 실시되었으나, 이력을 확인할 수 있는 자료는 없는 것으로 조사되었다.

2.2.5 내진설계 여부 확인

대상시설물은 준공후 약 53년이 경과된 구조물로 내진설계가 미 적용된 것으로 판단된다.

2.2.6 자료수집 및 분석 결과요약

바람산옹벽의 설계 및 준공도면은 없는 것으로 판단되어, 현장조사를 통하여 실측된 도면과 지반상태조사를 통하여 구조검토시 적용하였다.

2.2.7 옹벽 상부 구조물 이력

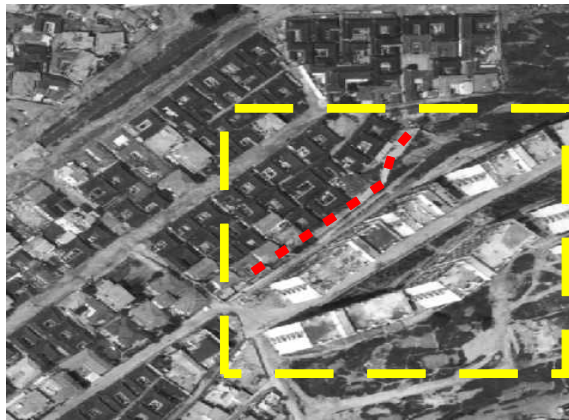


사진1 - 1972년

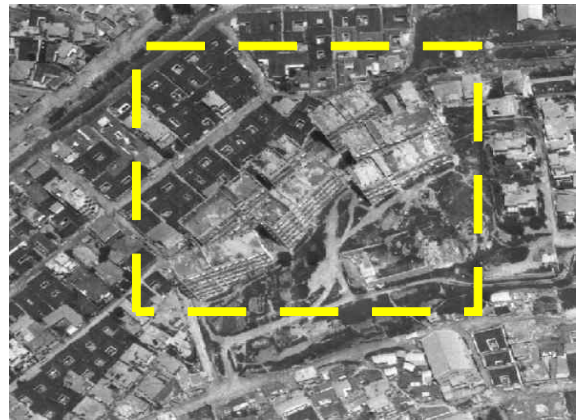


사진2 - 1973년

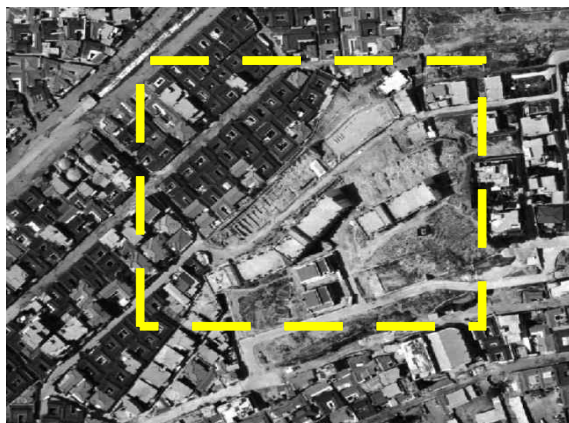


사진3 - 1975년

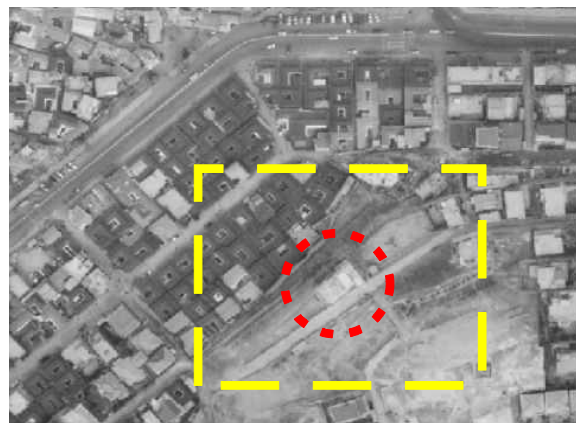


사진4 - 1979년

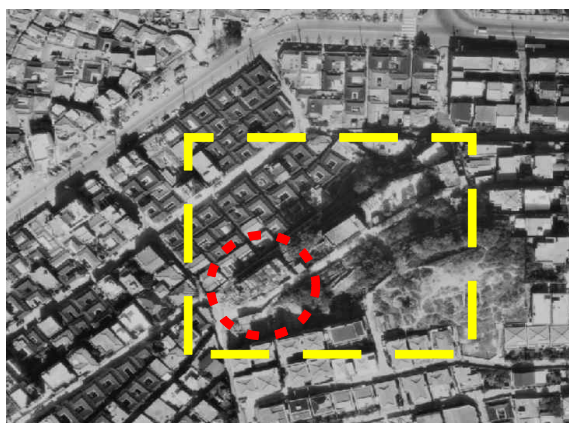


사진5 - 1985년



사진6 - 2016년

1. 1970년경 시민아파트 7개동 준공 [자치회관~바람산 어린이공원 부지]
2. 1973년 ~ 1976년 시민아파트 7개동 철거
3. 1979년 노인복지센터 준공 [2010년 리모델링 기준 3층 -> 4층]
4. 1985년 자치회관 준공

2.3 현장조사 및 시험

2.3.1 개 요

바람산옹벽은 서대문구 창천동 바람산 하부에 위치하고 있으며, 1964년(추정)에 준공되어 약 53년 정도 경과한 상태의 옹벽이다.

본 옹벽은 연장 130.0m, 지면노출높이 6.5~8.0m 정도의 기대기식 철근콘크리트 옹벽으로 옹벽 배면 상부에 공원과 건축물이 존재하며, 전면에는 주택 등이 밀집되어 있다.

옹벽의 시·중점부 방향은 정면을 기준으로 바람산 어린이공원을 옹벽시점, 자치센터 방향을 옹벽중점으로 하여 10.0m 단위로 측점을 분할하여 외관조사를 수행하였다.

현장조사는 실측과 측량, 코어채취를 통한 제원조사, 소형 천공기를 통한 지반상태조사, 주변상태조사 및 비파괴조사(콘크리트강도, 탄산화, 철근탐사, 염화물시험)를 실시하여 옹벽의 전반적인 상태를 조사하였다.

현장조사를 통하여 확인된 손상은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(옹벽편), 국토교통부/한국시설안전공단, 2010.12』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인과 기능 및 성능저하 상태 등에 주안점을 두어 원인 분석을 실시하여 보수·보강 및 유지관리 방안을 마련하는데 참고할 수 있도록 하였다.

[그림 2.1] 바람산옹벽 과업수행현황



2.3.2 외관조사 결과

가. 하부 콘크리트 옹벽

1) 개 요

하부 콘크리트 옹벽은 연장 130.0m, 지면노출높이 6.5~8.0m 정도의 기대기식 철근콘크리트 옹벽으로 구간별로 TYPE1~TYPE3 단면으로 시공되어 있다.

현 황		TYPE1 STA 0~30m 시점부 전경	
현 황		TYPE2 STA 55m 전면 전경	STA 75m 단면변화부 전경
현 황		TYPE3 STA 75~130m 중점부 전경	TYPE3 STA 75~130m 상단 전경

2) 외관조사 결과

하부 콘크리트 옹벽은 구조적인 손상이 없는 전반적으로 양호한 상태이나, 국부적으로 표면열화, 마감재(콘크리트)박락, 재료분리, 철근노출, 균열 등의 손상이 조사되었다.

			
위 치	TYPE1 STA 17m	위 치	TYPE1 STA 19m
현 황	표면열화	현 황	마감재(콘크리트)박락
			
위 치	TYPE2 STA 47m	위 치	TYPE2 STA 51m
현 황	철근노출	현 황	철근노출
			
위 치	TYPE2 STA 55m	위 치	TYPE2 STA 60m
현 황	백태	현 황	표면 열화

			
위 치	TYPE2 STA 75m	위 치	TYPE3 STA 81m
현 황	콘크리트 파손	현 황	재료분리 및 철근노출
			
위 치	TYPE3 STA 88m	위 치	TYPE3 STA 90m
현 황	재료분리 및 철근노출	현 황	균열 (폭 0.5mm)
			
위 치	TYPE3 STA 115m	위 치	TYPE3 STA 85m
현 황	재료분리 및 철근노출	현 황	배수공 양호

[표 2.3] 콘크리트옹벽 손상물량 집계표

구 분		손상 내용	개 소	수 량	비 고
TYPE1	SPAN 2	재료분리	3	$A=0.18m^2$	
		백태	2	$L=2.00m$	
		표면열화	1	$A=16.80m^2$	
	SPAN 3	백태	1	$L=1.00m$	
TYPE2	SPAN 5	박락	1	$A=0.10m^2$	
		파손	1	$A=0.04m^2$	
		철근노출	3	$A=0.06m^2$	
	SPAN 6	철근노출	2	$A=0.04m^2$	
		표면열화	1	$A=40.00m^2$	
		백태	1	$L=4.50m$	
TYPE3	SPAN 8	거푸집 미제거	1	$A=2.00m^2$	
		파손	1	$A=1.50m^2$	
		재료분리	1	$A=0.50m^2$	
	SPAN 9	재료분리, 철근노출	1	$A=1.00m^2$	
		재료분리	1	$A=1.00m^2$	
		파손	1	$A=0.04m^2$	
		균열 (0.3mm이상)	1	$L=8.00m$	
	SPAN 10	재료분리	1	$A=0.50m^2$	
	SPAN 11	재료분리	1	$A=0.10m^2$	
		백태	1	$A=1.00m^2$	
		파손	2	$A=0.52m^2$	
	SPAN 12	재료분리	2	$A=1.50m^2$	
	SPAN 13	재료분리	1	$A=0.75m^2$	

3) 검토의견

옹벽의 안정성에 영향을 미치는 침하, 전도 및 활동 등의 손상은 없는 것으로 조사되었으나, 노후화 및 시공미흡 등으로 인한 표면열화, 재료분리, 철근노출, 콘크리트 파손 등의 손상이 발생되어 내구성 확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단된다.

나. 석축 및 상부 구조물

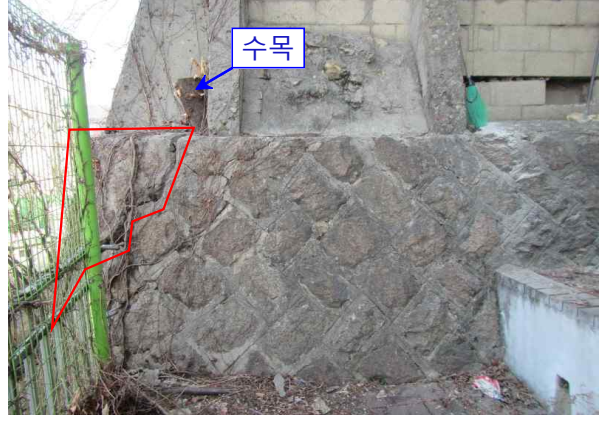
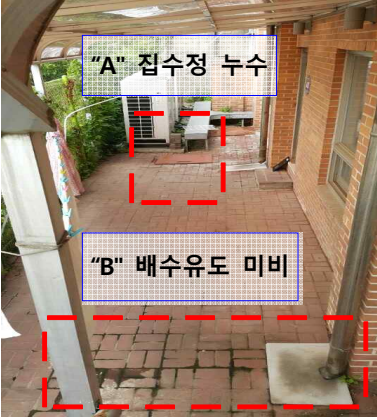
1) 개요

콘크리트 옹벽 상부에 높이 1.5~3.0m 석축, 중력식 콘크리트 옹벽, 콘크리트 블록 및 건축물 등이 시공되어 있으며, TYPE2 상부 문화발전소 구간은 현재 터파기 공사가 진행 중인 상태이다.

	
현 황 TYPE1 상부 어린이공원 전경	현 황 TYPE1 상부 석축, 중력식옹벽 전경
	
현 황 TYPE2 상부 노인복지센터 전경	현 황 TYPE2 상부 석축 전경
	
현 황 TYPE2 상부 문화발전소 공사중 전경	현 황 TYPE3 상부 자치센터 전경

2) 외관조사 결과

바람산어린이공원 하부에 블록식 옹벽 활동으로 인한 배부름, 돌출, 석축 파손 등의 손상이 발생하였고, 노인복지센터 구간은 집수정(하수) 누수와 배수 유도 미비로 인한 하부 석축 변형 등이 조사되었다.

	
현 황 TYPE1 상부 어린이공원 블록 활동	현 황 TYPE1 상부 어린이공원 석축 파손
	
현 황 TYPE2 상부 노인복지센터 집수정 누수, 배수 유도 미비로 인한 석축 변형	
현 황 TYPE2 상부 노인복지센터 집수정 누수, 배수 유도 미비로 인한 석축 변형	

[표 2.4] 상부 구조물(옹벽, 석축 등) 손상물량 집계표

구 분	손상 내용	개 소	수 량	비 고
콘크리트블록 옹벽	돌출	3	A=17.20m ²	
	침하	2	A=0.60m ²	
	블록 탈락	1	A=0.06m ²	
석 축	파손	2	A=2.00m ²	
	몰탈망상균열	1	A=4.00m ²	
중력식 옹벽	균열	1	A=3.0m	
	재료분리	1	A=6.00m ²	
노인복지센터	집수정 누수	1	L=25m	
	배수시설 미흡	2	L=10m	

3) 검토의견

어린이공원 하부 블록식 옹벽은 강성이 부족한 재료 시공과 배수시설 미비로 인한 우수의 집중유입, 토립자 유실 및 지반 연약화로 옹벽의 침하, 활동 등이 발생한 것으로 판단되며, 노인복지센터 하부 석축 변형은 집수정(하수)과 배수 유도 미비로 인한 것으로 판단된다. 상기의 손상들은 전체 구조물 안전에 영향을 미치는 것으로 판단되는바, 안전성검토와 연계한 유지관리대책이 필요하며, 노인복지센터 집수정 누수와 배수시설 미비 구간은 배수 유도 등의 정비가 요망된다.

2.3.3 내구성조사 결과

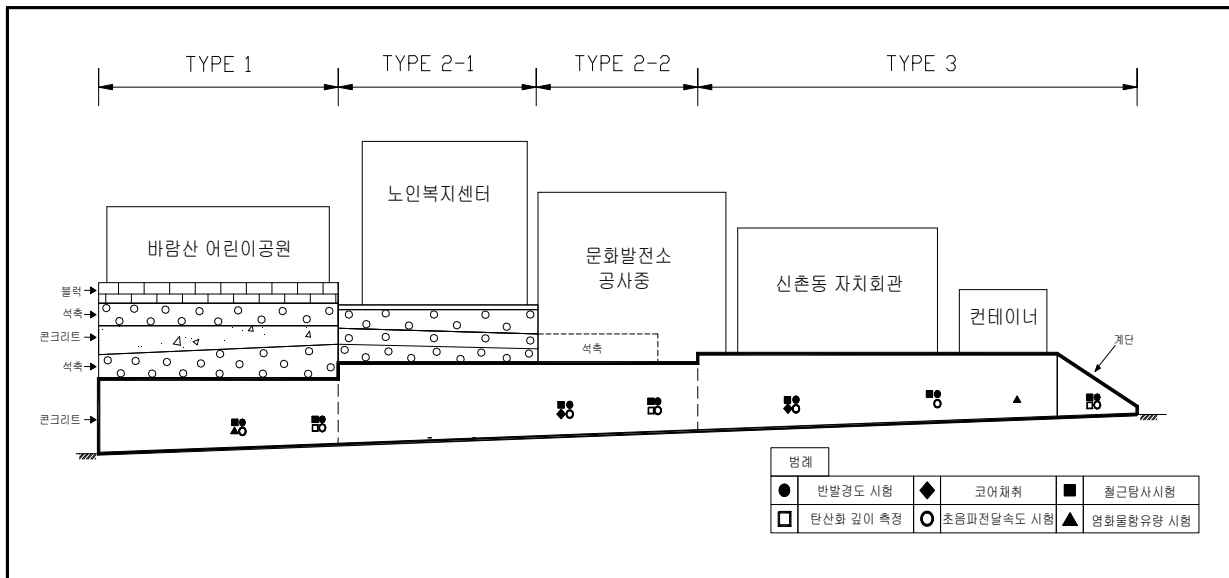
내구성조사는 구조물에 열화손상이 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부의 판정을 하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성 진단에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

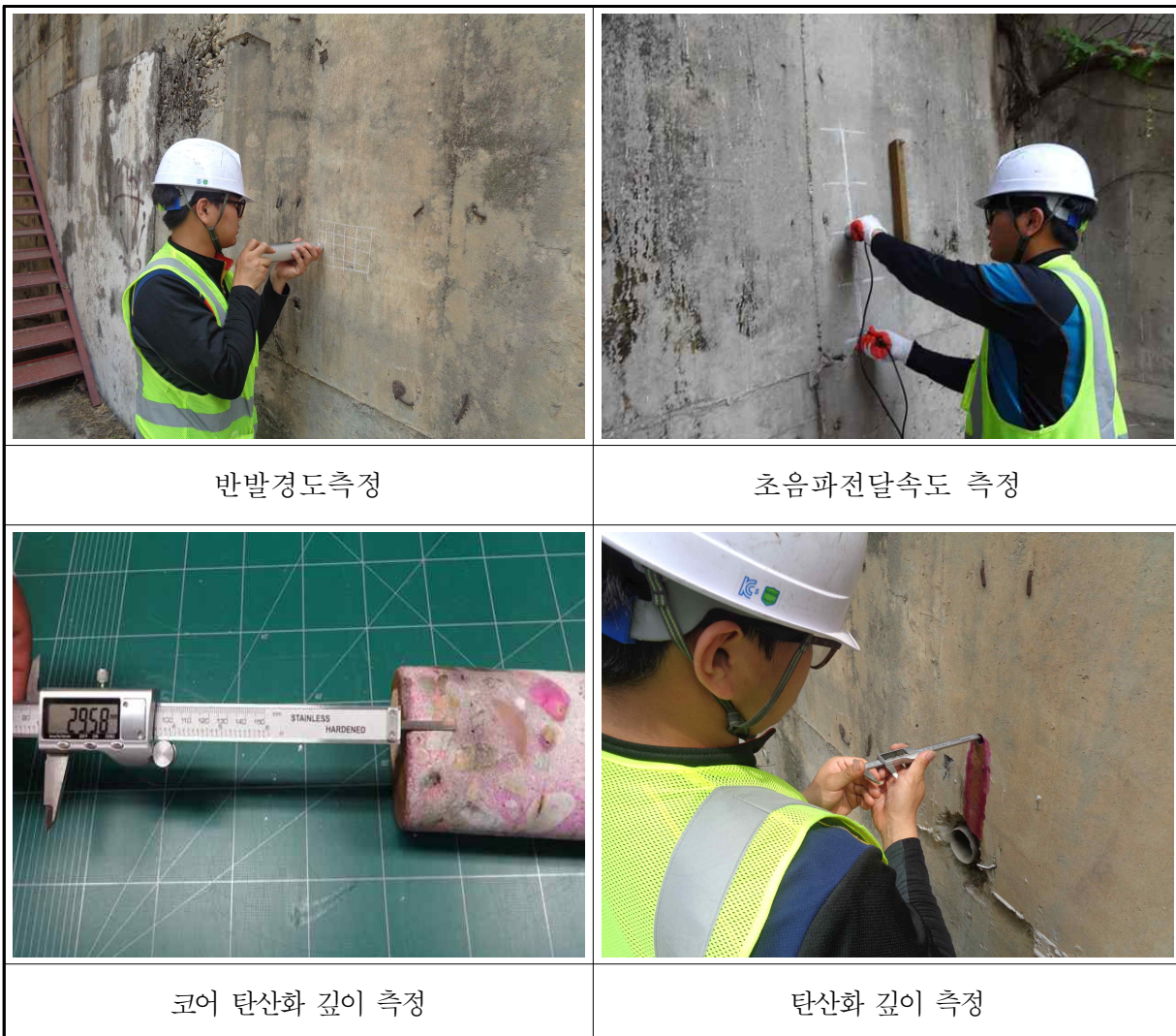
[표 2.5] 내구성조사 현황

항 목	기준 수량	실시 수량	비 고
측점 분할	• 20m 간격, 신축이음부	• 10m 간격	
반발경도측정	• 평가단위당 1개소	• 7개소	
초음파 전달속도측정	• 평가단위당 1개소	• 7개소	
탄산화 깊이 측정	• 100m 미만 : 2개소 • 100m 이상 : 50m 당 1개소 추가	• 7개소	
염화물 함유량시험	• 100m 미만 : 2개소 • 100m 이상 : 50m 당 1개소 추가	• 2개소	
철근 탐사	• 평가단위당 1개소	• 7개소	
측 량	• 선형측량, 수준측량	• 좌동	
코어 채취	• 100m 미만 : 2개소 • 100m 이상 : 50m 당 1개소 추가	• 3개소	선택과업
지반 조사	• 대표지반 설정 1단면 이상	• 3개소	

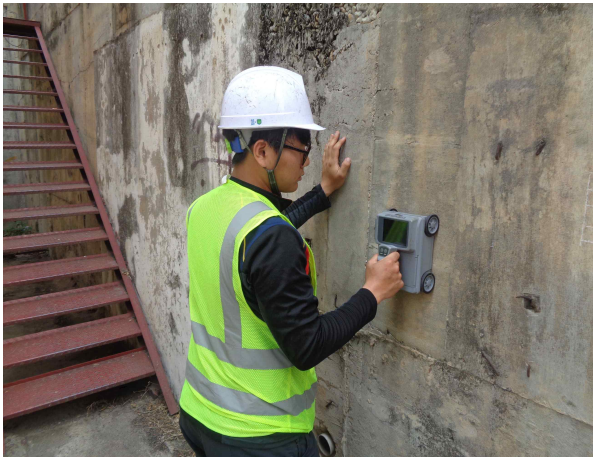
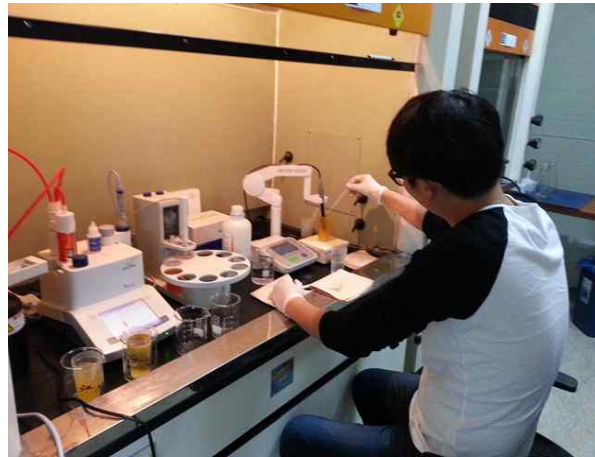
[그림 2.2] 내구성조사 위치도



[그림 2.3] 내구성조사 사진



[그림 2.3] 내구성조사 사진(계속)

	
철근 탐사	염화물 함유량 시험
	
코어 채취	옹벽 단면 측정
	
지반 상태 조사	지반 상태 조사

가. 반발경도

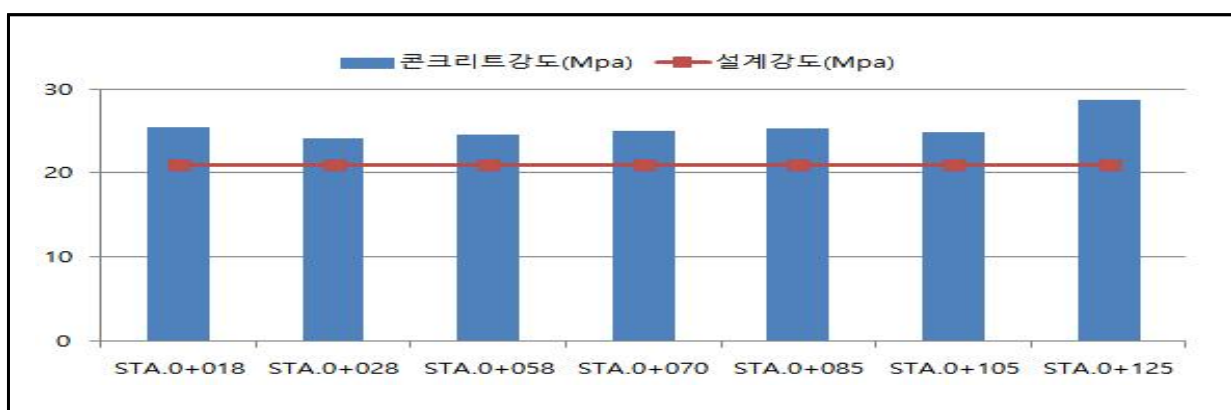
1) 개 요

전구간이 노출되어 정확한 측정값을 얻기위하여 접근성이 용이하고 콘크리트면의 요철, 곰보, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 피하고 외관상 양호한 곳을 선정하여 측정하였다. 압축강도 추정식은 일본 재료학회식과 건축학회식을 사용하여 평균값으로 나타내었다.

2) 반발경도 측정 결과

[표 2.6] 반발경도 측정 결과

NO	측정 위치		반발 경도 (Ro)	재령 계수 (α)	재료 학회 (MPa)	건축 학회 (MPa)	측정 강도 (MPa)	설계 강도 (MPa)	평균 강도 (MPa)
1	TYPE 1	STA 0+018	44.9	0.63	24.5	26.4	25.5	21.0	25.4
2		STA 0+028	42.7	0.63	22.8	25.4	24.1		
3	TYPE 2	STA 0+058	43.4	0.63	23.4	25.7	24.6		
4		STA 0+070	44.1	0.63	23.9	26.0	25.0		
5	TYPE 3	STA 0+085	44.6	0.63	24.3	26.3	25.3		
6		STA 0+105	43.9	0.63	23.8	26.0	24.9		
7		STA 0+125	50.0	0.63	28.7	28.7	28.7		



반발경도측정을 통한 콘크리트 강도를 추정한 결과, 콘크리트 강도는 24.1~28.7MPa 정도로 설계기준강도 21.0MPa(추정값)을 모두 상회하는 값으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하는 없는 것으로 판단된다.

나. 초음파 전달속도

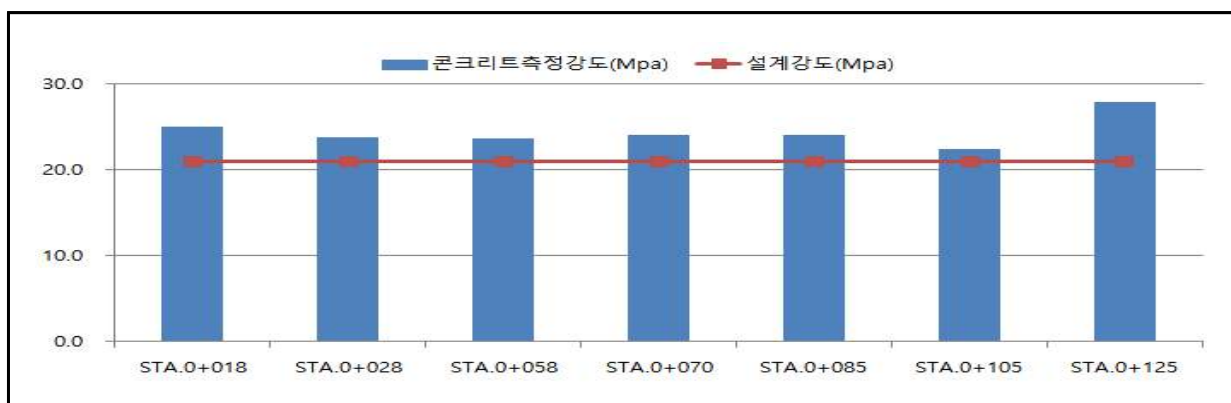
1) 개요

초음파의 전달속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 전달속도로부터 콘크리트의 동적특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나, 강도 추정의 정확도는 높지 않으며 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질비교 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로서 이 방법을 사용하고 있다. 금회 초음파 전달속도 측정은 표면 시공상태가 균질, 양호하며 균열이 없는 면에서 측정하였다.

2) 초음파 전달속도 측정 결과

[표 2.7] 초음파 전달속도 측정 결과

NO	측정 위치		초음파 전달속도 Vd(km/s)	측정 강도 (MPa)	설계 강도 (MPa)	평균 강도 (MPa)	비 고
1	TYPE 1	STA 0+018	4.069	25.0	21.0	24.4	
2		STA 0+028	4.015	23.8			
3	TYPE 2	STA 0+058	4.005	23.6			
4		STA 0+070	4.025	24.0			
5	TYPE 3	STA 0+085	4.028	24.1			
6		STA 0+105	3.945	22.4			
7		STA 0+125	4.203	27.9			



초음파 전달속도를 통한 콘크리트 강도를 추정한 결과, 22.4~27.9MPa 정도로 측정되었다. 설계기준강도 21.0MPa(추정값)을 모두 상회하는 것으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하는 없는 것으로 판단된다.

다. 탄산화 깊이 측정

1) 개요

탄산화 깊이 측정은 전동드릴을 이용하여 소정의 깊이로 콘크리트 표면을 천공할 때의 삭공가루에 페놀프탈레인시약을 분무하여 변색깊이를 버니어캘리퍼스로 측정하였으며, 측정값을 철근 피복두께와 비교하여 철근의 부식여부, 잔존수명을 예측하였다.

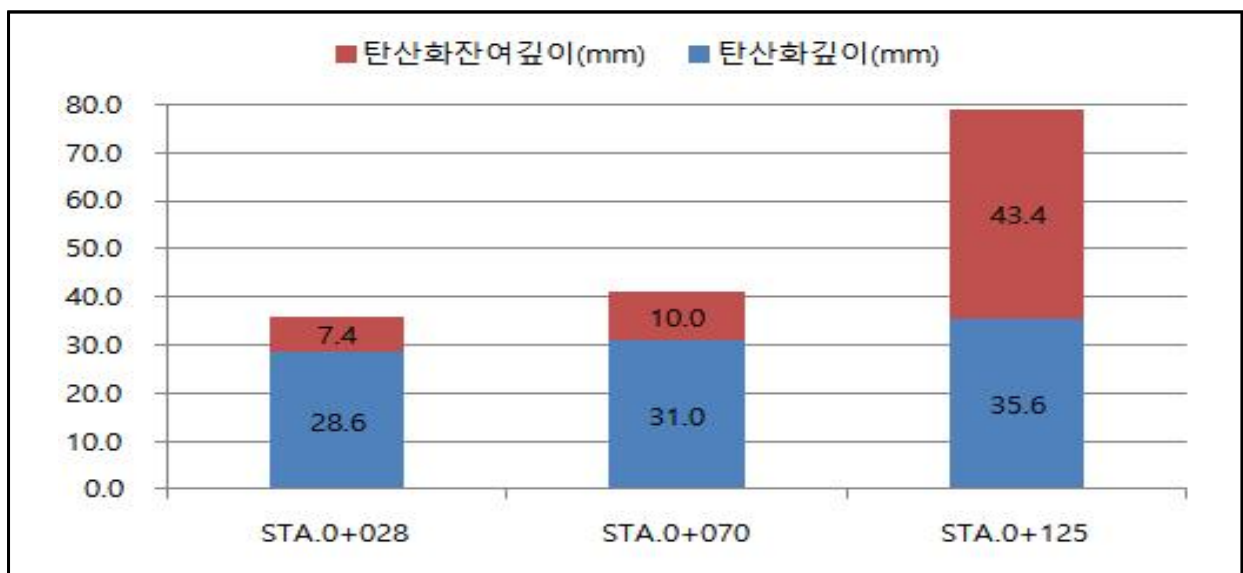
금회 탄산화 깊이 측정은 전면벽체에서 3개소를 실시하였으며, 결과는 다음과 같다.

2) 탄산화 깊이측정 결과

[표 2.8] 탄산화 깊이측정 결과

NO	측정 위치		탄산화깊이 (mm)	피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이(mm)	평가결과	비고
1	TYPE 1	STA 0+028	28.6	36.0	7.4	c	
2	TYPE 2	STA 0+070	31.0	41.0	10.0	b	
3	TYPE 3	STA 0+125	35.6	79.0	43.4	a	

※ 탄산화 잔여깊이 평가기준 ⇒ a등급 : 30mm이상, b등급 : 30mm~10mm, c등급 : 10mm~0mm



탄산화 깊이 측정 결과, 전면벽체에서 탄산화 깊이 28.6~35.6mm(평균 31.7mm), 피복두께 36~79mm(평균 52mm), 탄산화 잔여 깊이가 7.4~43.4mm 정도로 측정되었다. 실측한 탄산화 평균 깊이 31mm와 철근탐사시 평균 피복두께 41mm를 비교시 향후 일부에서 탄산화 부식가능성이 있으므로 탄산화 진행여부에 대한 주의관찰이 필요하다.

라. 염화물 함유량 시험

1) 개 요

콘크리트에 포함되어 있는 염분 함유량을 측정하여 내구성 저하원인 및 구조물 상태평가의 기초자료로 파악하고자 2개소를 실시하여 국가공인 품질시험기관 『한국건설산업품질연구원』에 의뢰한 결과는 다음과 같다.

2) 염화물 함유량 시험 결과

[표 2.9] 염화물 함유량 시험 결과

NO	측정 위치		전 염화물 (%)	환산 염화물 함량 (kg/m ³)	평가기준	비고
1	TYPE 1	STA 0+025	0.0060	0.136	a	
2	TYPE 3	STA 0+115	0.0046	0.104	a	

[표 2.10] 염화물 함유량 평가기준

등급	환산 염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	염화물 $\leq 0.3\text{kg/m}^3$	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	$0.3\text{kg/m}^3 < \text{염화물} < 1.2\text{kg/m}^3$	염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	$1.2\text{kg/m}^3 \leq \text{염화물} < 2.5\text{kg/m}^3$	향후 염화물에 의한 부식 발생 가능성 높음
d	염화물 $\geq 2.5\text{kg/m}^3$	철근부식 발생

염화물 함유량 측정 결과, 환산 염화물 함유량이 $0.136 \sim 0.104\text{kg/m}^3$ 정도로 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단된다

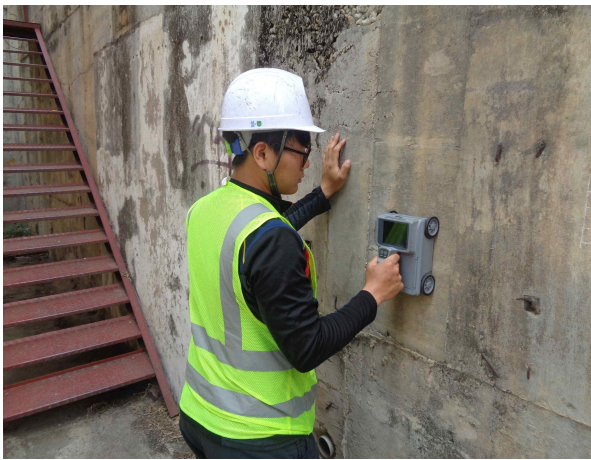
마. 철근탐사

1) 개 요

철근콘크리트 구조물의 내구성 및 안전성은 콘크리트의 균열 및 강도와 더불어 철근의 배근상태에 따라 달라진다. 철근의 배근상태가 설계도면 보다 적은 개수와 넓은 간격으로 배근된 경우 구조물의 내력이 감소하게 되어 구조물의 내구성 및 안전성에 치명적인 약점을 가져올 수 있으며, 설계도면 보다 과도하게 많은 개수와 좁은 간격으로 배근된 경우에도 구조물의 내력은 충분히 만족하지만, 예기치 못한 갑작스런 붕괴(취성파괴)를 초래할 수도 있는 약점이 있다. 따라서 철근콘크리트 구조물에서 철근의 배근상태를 조사하는 것은 구조물의 내구성 및 안전성을 확인하기 위해서 중요한 부분이다.

금회 철근탐사는 전면벽체에서 7개소를 실시하였으며, 철근탐사 결과는 다음과 같다.

[그림 2.4] 철근탐사 사진

	
수평근 탐사	수직근 탐사
	
전면 노출 철근(D13)	코어채취 배면 철근(D25)

2) 철근탐사 결과

[표 2.11] 철근탐사 결과

NO	측정 위치		철근종류	배근간격(mm)	피복두께(mm)	비고
1	TYPE 1	STA 0+018	수직근	218	27	
			수평근	265	15	
2		STA 0+028	수직근	273	67	
			수평근	255	36	
3	TYPE 2	STA 0+058	수직근	238	30	
			수평근	310	12	
4		STA 0+070	수직근	241	52	
			수평근	220	41	
5	TYPE 3	STA 0+085	수직근	265	49	
			수평근	271	39	
6		STA 0+105	수직근	200	30	
			수평근	242	21	
7		STA 0+125	수직근	218	84	
			수평근	308	74	

철근탐사 결과, 전면벽체에서 배근간격 200~310mm(평균 251mm), 피복두께 12~84mm(평균 41mm) 정도로 탐사되었다. 또한, 옹벽 코어 채취중 배면부에 D25 철근이 배근된 것으로 확인되었다. 현재 설계자료가 존재하지 않아 설계기준과 비교가 곤란하나, 콘크리트 구조기준 배근간격의 허용량(도면상 간격의 20%범위)과 비교시 허용값 이내로 배근된 것으로 판단된다.

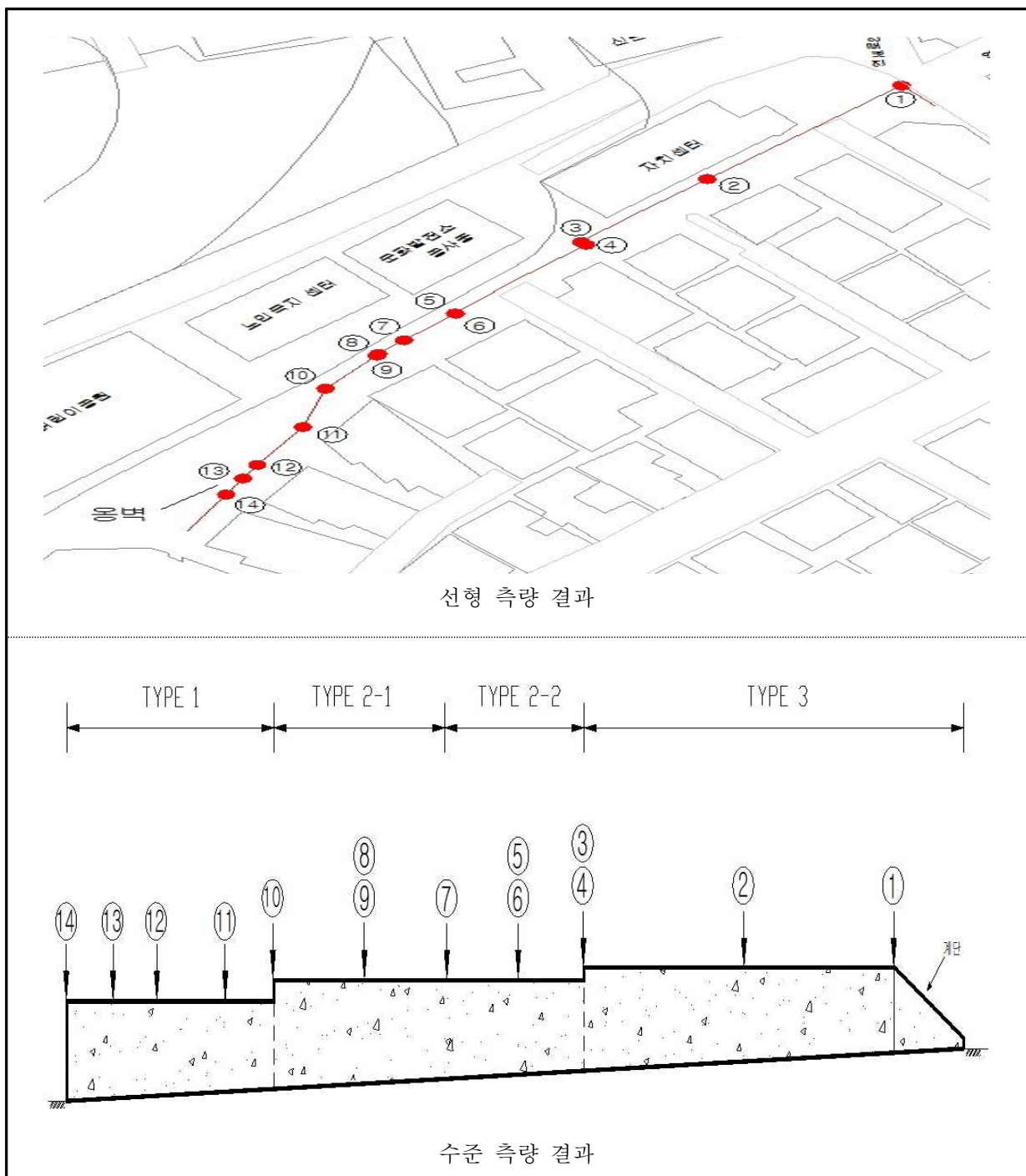
바. 측 량

1) 개 요

바람산옹벽의 제원과 유지관리시 기초자료로 활용하기 위하여 콘크리트 옹벽에 대해서 GPS 측량기를 사용하여 선형측량 및 수준측량을 실시하였으며, 결과는 다음과 같다.

2) 측량 결과

[그림 2.5] 측량 결과



[그림 2.6] 측량 작업사진



[표 2.12] 측량 결과표

측점	x 좌표	y 좌표	z 좌표	측점	x 좌표	y 좌표	z 좌표
①	550910.275	194631.877	35.617	⑧	550960.333	194682.383	34.491
②	550924.278	194647.262	35.609	⑨	550960.769	194682.563	34.499
③	550941.192	194665.043	35.547	⑩	550969.223	194689.523	34.428
④	550941.944	164664.310	34.488	⑪	550979.052	194692.581	33.055
⑤	550949.955	194671.938	34.498	⑫	550988.773	194698.782	32.747
⑥	550950.032	194671.874	34.383	⑬	550992.260	194700.728	32.804
⑦	550956.825	194678.903	34.379	⑭	550996.361	194703.025	32.798

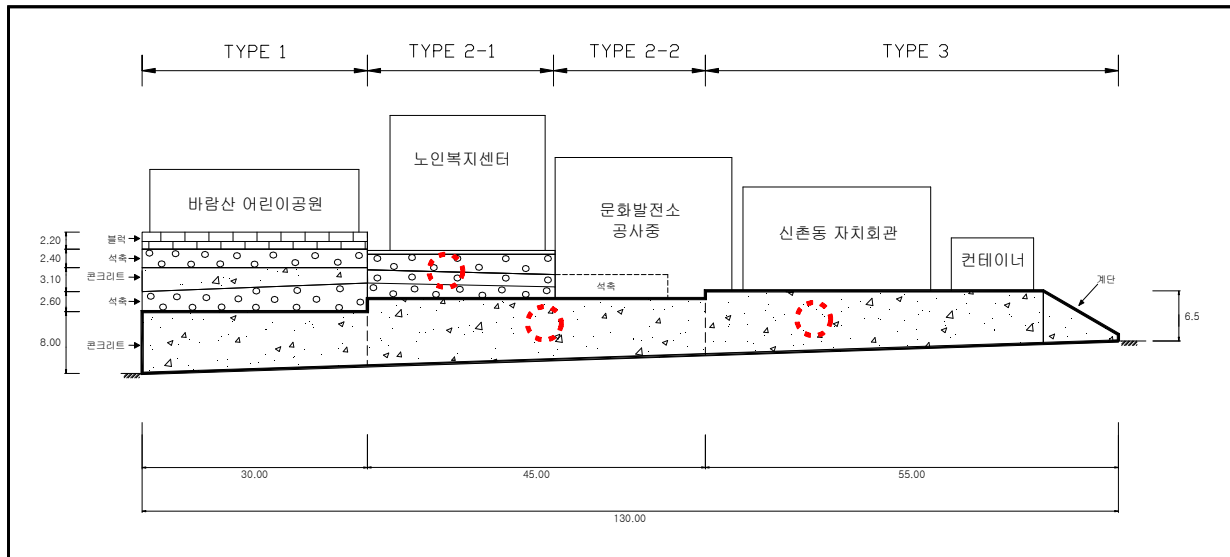
선형 및 수준측량 결과, 설계도서가 존재하지 않아 이전자료와 비교는 곤란한 상태이나, 콘크리트 옹벽의 외관상태와 측량결과를 분석한 결과 콘크리트 옹벽의 침하·활동·전도 등은 없는 것으로 판단된다.

사. 코어 채취

1) 개 요

바람산옹벽의 제원과 내부 지반상태를 확인하고자 콘크리트 옹벽 2개소와 석축 1개소에서 코어 채취를 실시하였으며, 결과는 다음과 같다.

[그림 2.7] 코어 채취 위치도



2) 코어 채취 결과

[표 2.13] 코어 채취 결과

NO	구분	채취 위치	채취 결과	비고
1	콘크리트 옹벽	STA 0+058 [TYPE 2]	■ 측정부 옹벽 제원 ▶ 상단부에서 5.4m 지점 ▶ 코어 길이 : 0.65m ■ 옹벽 배면 상태 : 암반 확인	
2		STA 0+085 [TYPE 3]	■ 측정부 옹벽 제원 ▶ 상단부에서 5.5m 지점 ▶ 코어 길이 : 0.65m ■ 옹벽 배면 상태 : 암반 확인	
3	석축	STA 0+040 [TYPE 2]	■ 석축 제원 ▶ 석축 뒷길이(건čit돌) : 0.35m ■ 석축 배면 상태 : 뒷채움 콘크리트 확인	

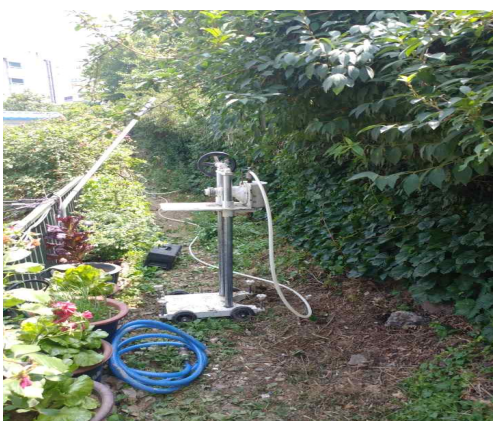
구 분	관련 사진	비고
콘크리트 옹벽 STA 0+058 [TYPE 2]	   	
콘크리트 옹벽 STA 0+085 [TYPE 3]	   	
석 축 STA 0+040 [TYPE 2]	 	

아. 지반 조사

1) 개 요

바람산옹벽의 지반상태를 확인하고자 소형 천공기를 사용하여 콘크리트 옹벽 상단 배면에서 3개소 지반상태를 확인하여 구조검토시 적용하였으며, 상부 바람산어린이공원과 노인복지센터, 문화발전소 구간은 기존의 지반조사보고서 및 관련도면을 활용하였다.

[그림 2.8] 지반조사 사진

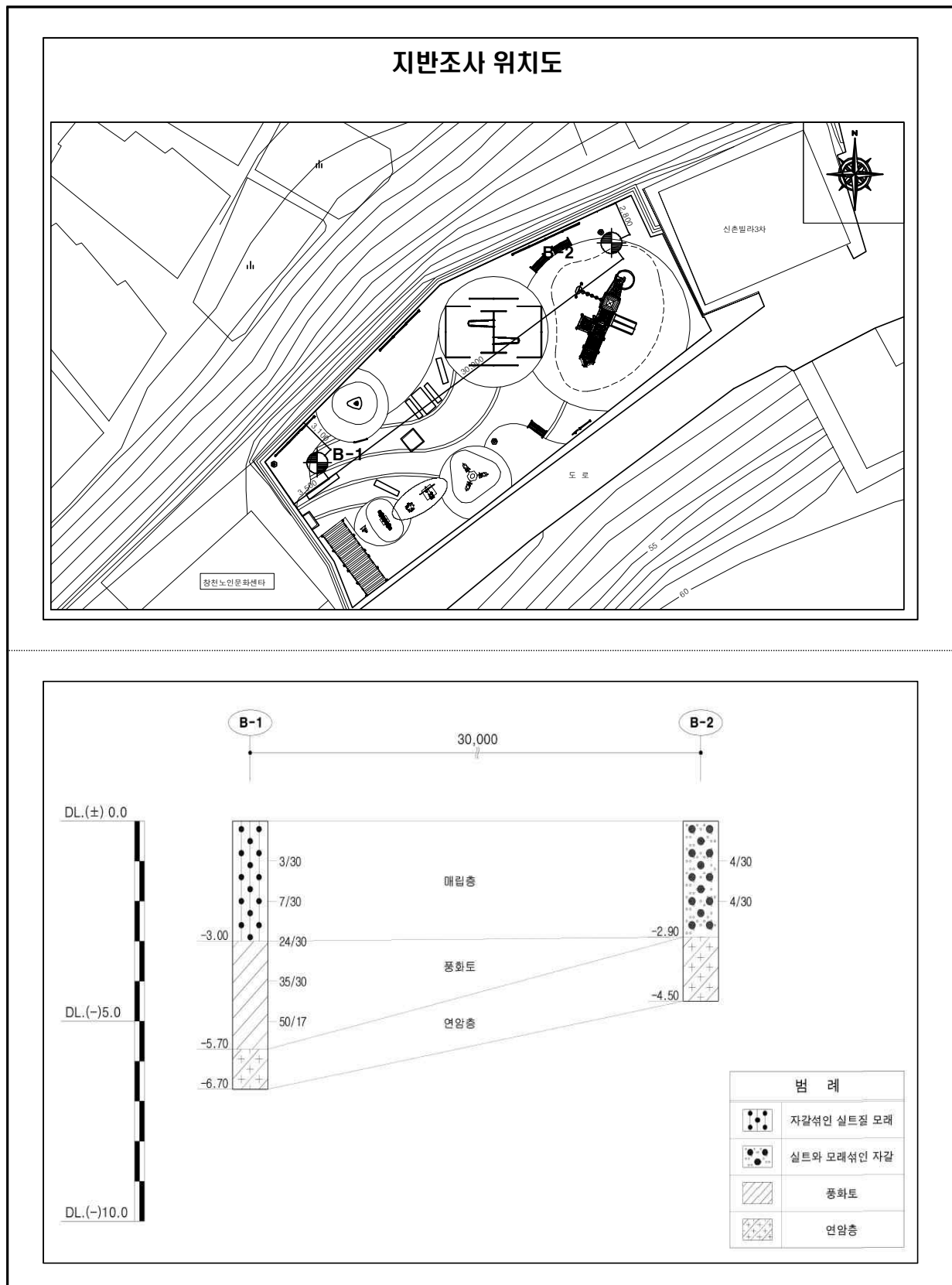
구 분	작업사진	지반상태
TYPE2-1 [노인복지센터] STA 0+032		
TYPE2-2 [문화발전소] STA 0+060		
TYPE3 [자치회관] STA 0+085		

2) 지반 조사 결과

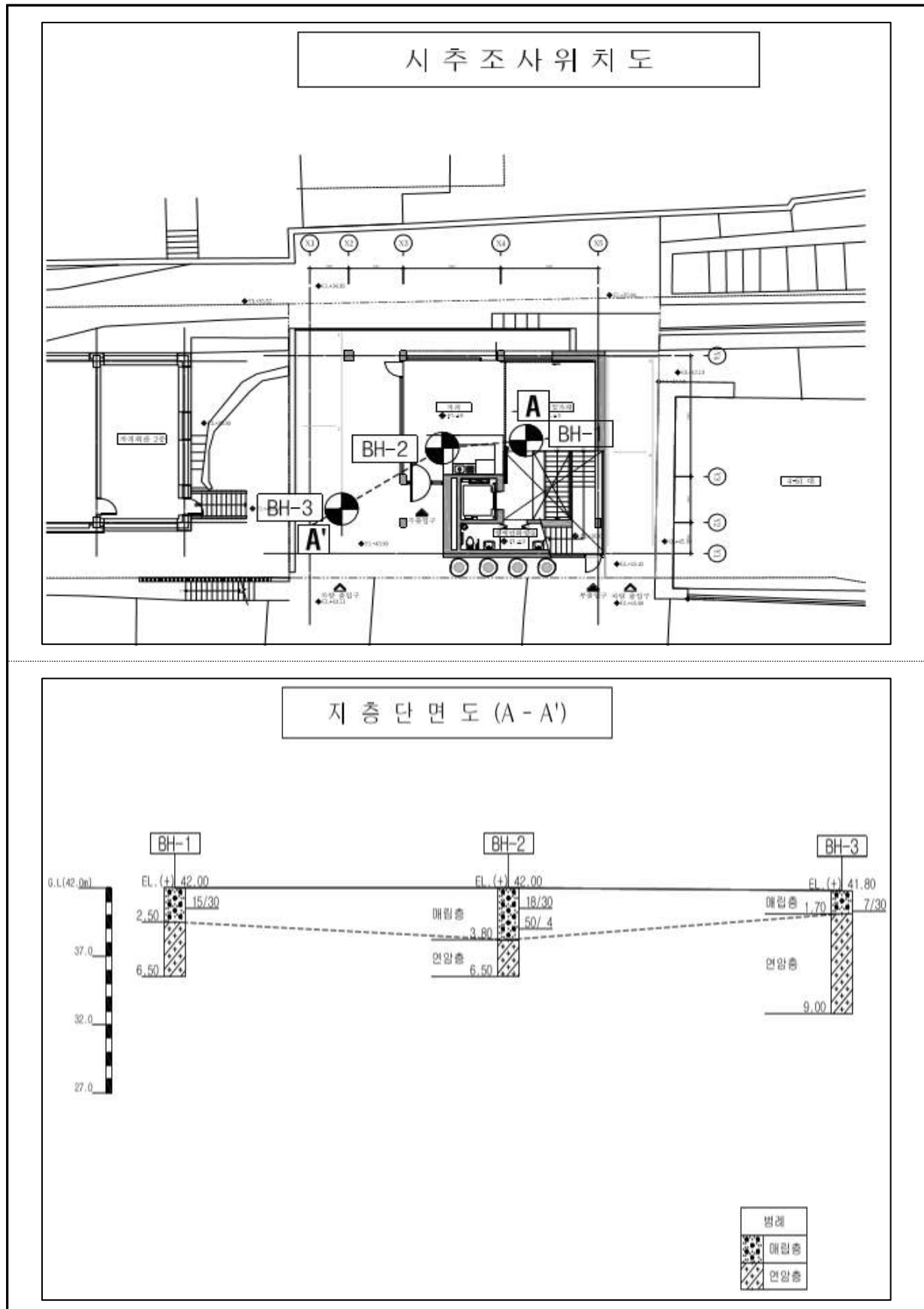
위치도	
암반 추정선 단면도	
조사결과	TYPE2-1 (STA 0+032) 암반 깊이 : 1.0 m TYPE2-2 (STA 0+060) 암반 깊이 : 1.5 m TYPE3 (STA 0+085) 암반 깊이 : 1.0 m

3) 기존 상부 구조물 지반조사자료

① 바람산어린이공원 지반자료 (2017.04 (주)한국구조물안전연구원)



② 문화발전소 지반자료 (2016.08 (주)한진지오이앤씨)



③ 문화발전소 지반상태



굴착전



굴착중

2.4 상태평가

[표 2.14] 상태평가 결과표

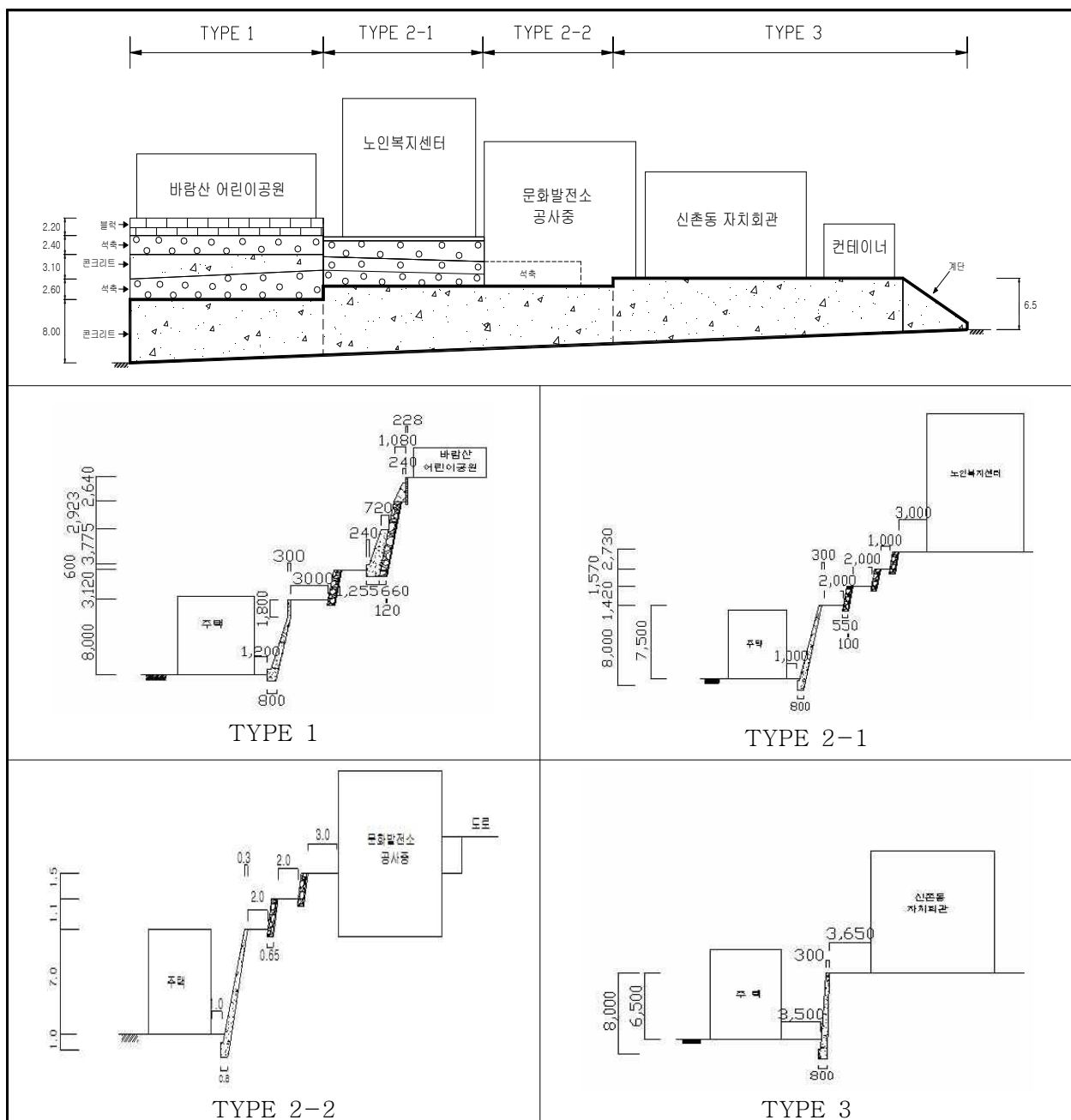
No	침하	기울기	활동	파손 및 손상	균열	마모 / 침식	박리	박락 / 충분리	탄산화	염화물	백태	철근 노출	배수공	배부름	유실	이격	채움 콘크리트	암석 풍화도	주변영향인자				결합 점수 합계	평가단위 결합지수	평가단위 평가결과
																			배수로	사면상태					
																				사면 구배	낙석 흔적	침출수			
1	-	2	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	1	-	1	-	-	1	20	0.333	c
2	-	2	2	3	6	-	-	1	-	-	1	-	12	-	-	-	2	-	1	-	-	1	31	0.517	c
3	-	2	2	3	-	-	-	-	2	-	1	-	12	-	-	-	2	-	1	-	-	1	26	0.433	c
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	2	-	1	-	-	1	10	0.167	b
5	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	1	6	4	-	-	2	-	1	-	-	1	21	0.350	c
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	6	-	-	-	2	-	1	-	-	1	11	0.183	b
7	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	6	-	-	-	2	-	1	-	-	1	11	0.183	b
8	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	5	0.083	a
9	-	-	-	4	6	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	12	0.200	b
10	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	5	0.083	a
11	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	6	0.100	a
12	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	5	0.083	a
13	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	5	0.083	a
평균	-	0.46	0.31	2.77	0.92	-	-	0.31	0.23	-	0.31	0.15	4.61	0.31	-	-	1.00	-	1.00	-	-	0.54	12.92	0.215	-

■ 결합지수 평균점수 범위가 $0.15 \leq F < 0.30$ 이므로 상태평가등급은 “B등급” 으로 평가됨

2.5 안전성평가

바람산옹벽은 설계도서가 보존되어 있지 않아 지반조사, 코어채취를 통한 현장조사자료와 주변 시설물 관련자료(상부 구조물 지반조사보고서)를 참고하여 안전성 검토를 실시하였다. 바람산옹벽은 기대기식 콘크리트 옹벽으로 상부에 석축과 구조물이 존재하여 콘크리트 옹벽 단면별로 안전성 검토를 실시하였다. 전체원호활동에 대해서는 석축 배부름이 관찰된 노인복지센터를 대표단면으로 선정하여 안전성 검토를 실시하였으며, 바람산어린이공원은 2017.04 (주)한국구조물안전연구원 검토자료를 참고하여 나타내었다.

[그림 2.9] 안전성평가 단면도



2.5.1 안전성평가 기준

안전성평가 기준은 각 구조물별 검토항목을 토대로 『안전점검 및 정밀안전진단 세부 지침(옹벽편), 국토교통부/한국시설안전공단, 2010.12』에서 제시하는 평가기준을 적용하여 결정하였으며, 안전성평가 기준은 다음과 같다.

[표 2.15] 외적 안정성평가 기준(콘크리트옹벽, 석축)

평가기준 검토항목	a	b	c	d	e
활동	1.5이상	1.5이상※)	1.5미만 ~1.0이상	1.0미만 ~0.75이상	0.75미만
전도	2.0이상	2.0이상※)	2.0미만 ~1.0이상	1.0미만 ~0.75이상	0.75미만
지반지지력	1.2이상	1.2이상※)	1.2미만 ~1.0이상	0.9미만 ~0.75이상	0.75미만
원호활동	1.3이상	1.3이상※)	1.3미만 ~1.0이상	1.0미만 ~0.75이상	0.75미만

※ 허용안전율 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우

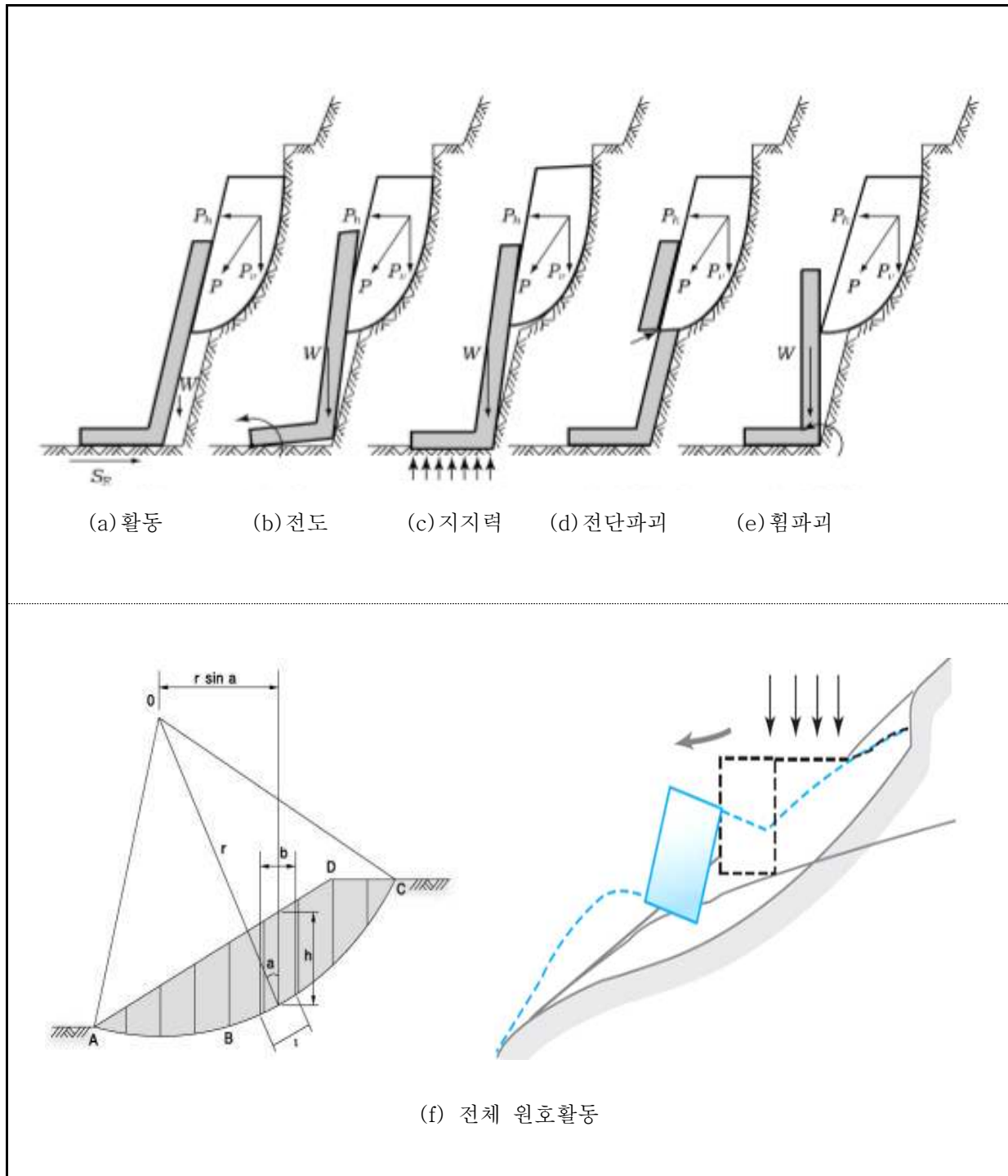
[표 2.16] 내적 안전성평가 기준(콘크리트옹벽, 석축)

구분	평가기준 검토항목	a	b	c	d	e
콘크리트 옹벽	전단력 휨모멘트	1.0이상	1.0이상※)	1.0미만 ~ 0.9이상	0.9미만 ~ 0.75이상	0.75미만
석축	벽체의 평균폭	1.0이상	1.0이상※)	1.0미만 ~ 0.9이상	0.9미만 ~ 0.75이상	0.75미만

※ 허용안전율 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우

2.5.2 안전성평가 검토 항목

[그림 2.10] 안전성 검토 항목 모식도



가. 활동

활동에 대한 안정성은 기초지반면과 콘크리트 옹벽 저면에서의 미끄러짐이 발생하는가에 대한 검토이다. 경사하중 또는 비탈면상에 설치된 기초, 수평력을 받는 구조물의 기초에 대해서는 활동에 대한 파괴를 검토한다.

$$\frac{S_R}{S_D} \geq FS$$

여기서, S_R : 활동저항력, S_D : 활동력

$$FS = \frac{\sum V \tan \delta + c_a B}{\sum H} \geq 1.5$$

여기서, $\sum V$: 모든 연직력의 합(kN)

$\sum H$: 모든 수평력의 합(kN)

δ : 옹벽 저판과 지지지반 사이의 마찰각

c_a : 옹벽 저판과 지지지반 사이의 부착력(kN/m³)

B : 옹벽 저판의 폭(m)

나. 전도

전도는 콘크리트 옹벽의 앞굽을 중심으로 콘크리트 옹벽 전체가 앞으로 회전하는지 여부에 대하여 검토한다. 옹벽은 배면의 횡방향 토압으로 인해 저판앞굽을 중심으로 전도하므로 옹벽은 이에 충분히 안전하게 저항하여야 한다.

$$\frac{M_R}{M_D} \geq FS$$

여기서, M_R : 저항모멘트, M_D : 활동모멘트

다. 지지력

지지력 검토는 다음과 같이 콘크리트 옹벽 하부에 발생하는 지반 반력($q_{\max}$)과 지반의 극한 지지력(q_u)의 비율이 기준안전율 이상으로 한다.

$$\frac{q_u}{q_{\max}} \geq FS(\text{기준안전율})$$

여기서, q_u : 지반의 극한지지력, $q_{\max}$: 지반반력

$$q_{\max} = \frac{1.1(V_0 - Q_n \sin \theta)}{B} = \frac{1.1 V_0}{B}$$

여기서, V_0 : 연직력의 합(kN), B : 기초폭(m)

라. 전단파괴

전단파괴에 대한 안정해석은 토압의 수평 하중 성분에 대하여 벽체의 공칭전단저항력이 충분한지에 대하여 검토한다.

$$\frac{V_n}{S_D} \geq FS(\text{기준안전율})$$

여기서, V_n : 벽체의 전단저항력, S_D : 벽체에 발생하는 최대 전단력

마. 휨파괴

휨파괴에 대한 안정해석은 벽체에 작용하는 하중에 의해 벽체 내부에 발생하는 최대모멘트가 벽체의 저항모멘트보다 작은지 검토한다.

$$\frac{M_n}{M_D} \geq FS(\text{기준안전율})$$

여기서, M_n : 벽체의 저항모멘트, M_D : 벽체에 발생하는 최대 모멘트

바. 전체 원호활동

전체 원호활동은 콘크리트 옹벽을 포함한 기초지반 전체의 안정성을 의미한다. 콘크리트 옹벽이 설치되는 원지반, 특히 점성토 등의 연약 지반인 경우에는 강도에 대한 안정성뿐만 아니라 침하에 대한 안정성도 검토하여야 한다.

전체안정성이란 옹벽구조물 뿐만 아니라 옹벽 기초 아래 및 옹벽 벽체 뒤의 지반이 포함된 전체의 안정성을 의미한다.

특히, 옹벽이 비탈면에 축조되는 경우 전체 안정성이 문제가 될 수 있으며 이에 대한 평가를 위해서는 현장에 대한 토질조사 및 시험을 바탕으로 한 안정성 해석이 필요하다.

전체안정성 해석에는 수정 Bishop법, Janbu의 간편법, Spencer방법 등이 있으며, 본 과업에서는 수정 Bishop 방법을 적용하였다.

2.5.3 콘크리트 옹벽 및 석축 안전성 검토

가. TYPE 1 콘크리트 옹벽 안전성 검토

1) 검토조건

① 구조치수

옹벽높이 : $H = 8.0\text{m}$

상부두께 : 0.3m

벽면기울기 : $\theta = 74^\circ$

하부두께 : 0.8m

단위중량 : 2.5tonf/m^3 (철근콘크리트)

콘크리트 강도 : $f_{ck} = 210\text{kgf/cm}^2$

철근 강도 : $f_y = 2400\text{kgf/cm}^2$

철근배근 : D25@250

② 뒷채움 흙

토질 : 자갈 섞인 모래

단위중량 : 1.8tonf/m^3

전단저항각 : $\phi = 30^\circ$

점착력 : $C = 0.0 \text{ tonf/m}^2$

배면경사 : $\alpha = 0.0^\circ$

뒷채움 흙의 높이 : $h = 1.5\text{m}$

③ 지지지반

토질 : 자갈 섞인 모래

마찰계수 : $f = 0.45$

④ 상재하중

$q = 1.0 \text{ tonf/m}^2$

2) 하중계산

① 자중

$$W1 = 0.3 \times 1.8 \times 2.5 \times 1 = 1.35 \text{ t}$$

$$W2 = 1/2 \times 0.5 \times 6.2 \times 2.5 \times 1 = 3.87 \text{ t}$$

$$W3 = 0.3 \times 6.2 \times 2.5 \times 1 = 4.65 \text{ t}$$

구분	자중(t)	팔길이(m)	모멘트(t · m)	비고
W1	1.35	1.93	2.61	
W2	3.87	0.78	3.01	
W3	4.65	1.29	5.99	
$\Sigma W = 9.87$		$\Sigma M_r = 11.61$		

② 토압

토압계수 : Coulomb 토압계수 적용

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \times \cos(\theta + \delta) \times \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \times \cos(\theta - \alpha)}}\right)^2} = 0.197$$

여기서, $\phi = 30^\circ$, $\theta = -16^\circ$, $\delta = 2/3 \phi = 20^\circ$, $\alpha = 0^\circ$

토압 : $P_1 = 1/2 \times K_a \times \gamma \times H^2 = 1/2 \times 0.197 \times 1.8 \times 1.5^2 = 0.39 \text{ t}$

토압의 수평분력 : $P_{1h} = P_1 \times \cos \theta = 0.39 \times \cos 16 = 0.37 \text{ t}$

토압의 수직분력 : $P_{1v} = P_1 \times \sin \theta = 0.39 \times \sin 16 = 0.1 \text{ t}$

상재하중을 흙의 높이로 환산 : $h_{su} = q/\gamma = 1 / 1.8 = 0.56\text{m}$

상재하중 토압 : $P_2 = K_a \times \gamma \times h_{su} = 0.197 \times 1.8 \times 0.56 = 0.198\text{t/m}^2$

상재하중 수평분력 : $P_{2h} = P_2 \times h \times 1 = 0.198 \times 1.5 \times 1 = 0.29 \text{ t}$

수평분력	자중(t)	팔길이(m)	모멘트(t · m)	비고
P_{1h}	0.37	7.00	2.59	
P_{2h}	0.29	7.25	2.10	
$\Sigma H = 0.66$		$\Sigma M_o = 4.69$		

3) 외적 안정성 검토

① 전도

$$FS = \frac{M_r}{M_o} = \frac{11.61}{4.69} = 2.6 \geq 2.0 \quad \therefore \text{O.K}$$

② 활동

$$FS = \frac{\Sigma W + C_a \times B}{\Sigma H} = \frac{9.87 + 0.45 \times 0.8}{0.66} = 15.5 \geq 1.5 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 지지력

$$Q_{max} = \frac{1.1 \times (V_0 - Q_n \sin \theta)}{B} = \frac{1.1 V_0}{B} = \frac{1.1 \times 9.87}{0.8} = 13.6 \text{ tonf/m}^2$$

$$FS = \frac{Q_a}{Q_{max}} = \frac{30}{13.6} = 2.1 \geq 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

4) 내적 안전성 검토

① 전단력

$$\text{벽체의 전단 저항력} : V_n = \phi V_c = 0.8 \times 0.53 \sqrt{f_{ck}} bd = 13.9 \text{ t}$$

$$\text{발생하는 최대 전단력} : S_D = 1.8 \times \sum H = 1.18 \text{ t}$$

$$\text{여기서, 유효깊이 } d = \text{옹벽 두께}(30) - \text{피복두께}(6) - \text{철근지름}/2 = 22.7 \text{ cm}$$

$$b = \text{단위폭} = 100\text{cm}$$

$$FS = \frac{V_n}{S_D} = \frac{13.9}{1.18} = 11.7 \geq 1 \quad \therefore \text{O.K}$$

② 휨모멘트

$$\text{벽체의 저항 모멘트} : M_d = 0.85 M_n = 0.85 \times A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 29.5 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$\text{여기서, } a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = 2.7 \approx 2.5 \text{ cm}, A_s = 20.27 \text{ cm}^2$$

$$d = \text{옹벽 두께}(80) - \text{피복두께}(6) - \text{철근지름}/2 = 72.7 \text{ cm}$$

$$\text{발생하는 최대 모멘트 } M_D = 1.8 \times \sum M_o = 8.44 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$FS = \frac{M_d}{M_D} = \frac{29.5}{8.44} = 3.5 \geq 1 \quad \therefore \text{O.K}$$

나. TYPE 2 콘크리트 옹벽 안전성 검토

1) 검토조건

① 구조치수

옹벽높이 : $H = 8.0\text{m}$	상부두께 : 0.3m
벽면기울기 : $\theta = 74^\circ$	하부두께 : 0.8m
단위중량 : 2.5tonf/m^3 (철근콘크리트)	단위중량 : 2.3tonf/m^3 (무근콘크리트)
전면하단 : $1.0\text{m} \times 0.5\text{m}$ (무근콘크리트)	콘크리트 강도 : $f_{ck} = 210\text{kgf/cm}^2$
철근 강도 : $f_y = 2400\text{kgf/cm}^2$	철근배근 : $D25@250$

② 뒷채움 흙

토질 : 자갈 섞인 모래	단위중량 : 1.8tonf/m^3
전단저항각 : $\phi = 30^\circ$	점착력 : $C = 0.0 \text{ tonf/m}^3$
배면경사 : $\alpha = 0.0^\circ$	뒷채움 흙의 높이 : $h = 2.0\text{m}$

③ 지지지반

토질 : 자갈 섞인 모래	마찰계수 : $f = 0.45$
---------------	-------------------

④ 상재하중

$$q = 1.0 \text{ tonf/m}^2$$

2) 하중계산

① 자중

W1	$= 1/2 \times 8 \times 2.5 \times 1$	$= 5.00 \text{ t}$
W2	$= 0.3 \times 8 \times 2.5 \times 1$	$= 6.00 \text{ t}$
W3	$= 0.5 \times 1 \times 2.3 \times 1$	$= 1.15 \text{ t}$

구분	자중(t)	팔길이(m)	모멘트(t · m)	비고
W1	5.00	0.918	4.59	
W2	6.00	1.55	9.3	
W3	1.15	0.25	0.28	
$\Sigma W = 12.15$		$\Sigma M_r = 14.17$		

② 토압

토압계수 : Coulomb 토압계수 적용

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \times \cos(\theta + \delta) \times \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \times \cos(\theta - \alpha)}}\right)^2} = 0.197$$

여기서, $\phi = 30^\circ$, $\theta = -16^\circ$, $\delta = 2/3 \phi = 20^\circ$, $\alpha = 0^\circ$

토압 : $P1 = 1/2 \times K_a \times \gamma \times H^2 = 1/2 \times 0.197 \times 1.8 \times 2^2 = 0.7 \text{ t}$

토압의 수평분력 : $P1_h = P1 \times \cos \theta = 0.7 \times \cos 16 = 0.67 \text{ t}$

토압의 수직분력 : $P1_v = P1 \times \sin \theta = 0.7 \times \sin 16 = 0.19 \text{ t}$

상재하중을 흙의 높이로 환산 : $h_{su} = q/\gamma = 1 / 1.8 = 0.56\text{m}$

상재하중 토압 : $P2 = K_a \times \gamma \times h_{su} = 0.197 \times 1.8 \times 0.56 = 0.198\text{t/m}^2$

상재하중에 수평분력 : $P2_h = P2 \times h \times 1 = 0.198 \times 2.0 \times 1 = 0.39 \text{ t}$

수평분력	자중(t)	팔길이(m)	모멘트(t · m)	비고
P1 _h	0.67	6.66	4.46	
P2 _h	0.39	7.00	2.73	
$\Sigma H = 1.06$		$\Sigma M_o = 7.19$		

3) 외적 안정성 검토

① 전도

$$FS = \frac{M_r}{M_0} = \frac{14.17}{7.19} = 1.9 < 2.0 \quad \therefore \text{N.G}$$

② 활동

$$FS = \frac{\sum W + C_a \times B}{\sum H} = \frac{12.15 + 0.45 \times 0.8}{1.06} = 11.8 \geq 1.5 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 지지력

$$Q_{max} = \frac{1.1 \times (V_0 - Q_n \sin \theta)}{B} = \frac{1.1 V_0}{B} = \frac{1.1 \times (11 + 0.19)}{0.8} = 15.38 \text{ ton/m}^2$$

$$FS = \frac{Q_a}{Q_{max}} = \frac{30}{15.38} = 1.9 \geq 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

4) 내적 안전성 검토

① 전단력

$$\text{벽체의 전단 저항력 } V_n = \phi V_c = 0.8 \times 0.53 \sqrt{f_{ck}} b d = 13.9 \text{ t}$$

$$\text{발생하는 최대 전단력 } S_D = 1.8 \times \sum H = 1.90 \text{ t}$$

$$\text{여기서, 유효깊이 } d = \text{옹벽 두께}(30) - \text{피복두께}(6) - \text{철근지름}/2 = 22.7 \text{ cm}$$

$$b = \text{단위폭} = 100\text{cm}$$

$$FS = \frac{V_n}{S_D} = \frac{13.9}{1.90} = 7.3 \geq 1 \quad \therefore \text{O.K}$$

② 휨모멘트

$$\text{벽체의 저항 모멘트 } M_d = 0.85 M_n = 0.85 \times A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 29.5 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$\text{여기서, } a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = 2.7 \approx 2.5 \text{ cm}, A_s = 20.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{유효깊이 } d = \text{옹벽 두께}(80) - \text{피복두께}(6) - \text{철근지름}/2 = 72.7 \text{ cm}$$

$$\text{발생하는 최대 모멘트 } M_D = 1.8 \times \sum M_o = 12.94 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$FS = \frac{M_d}{M_D} = \frac{29.5}{12.94} = 2.2 \geq 1 \quad \therefore \text{O.K}$$

② 토압

토압계수 : Coulomb 토압계수 적용

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \times \cos(\theta + \delta) \times \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \times \cos(\theta - \alpha)}}\right)^2} = 0.269$$

여기서, $\phi = 30^\circ$, $\theta = -4^\circ$, $\delta = 2/3 \phi = 20^\circ$, $\alpha = 0^\circ$

토압 : $P1 = 1/2 \times K_a \times \gamma \times H^2 = 1/2 \times 0.269 \times 1.8 \times 1.5^2 = 0.54 \text{ t}$

토압의 수평분력 : $P1_h = P1 \times \cos \theta = 0.54 \times \cos 4 = 0.53 \text{ t}$

토압의 수직분력 : $P1_v = P1 \times \sin \theta = 0.54 \times \sin 4 = 0.03 \text{ t}$

상재하중을 흙의 높이로 환산 : $h_{su} = q/\gamma = 1 / 1.8 = 0.56\text{m}$

상재하중 토압 : $P2 = K_a \times \gamma \times h_{su} = 0.269 \times 1.8 \times 0.56 = 0.271\text{t/m}^2$

상재하중 수평분력 : $P2_h = P2 \times h \times 1 = 0.271 \times 1.5 \times 1 = 0.4 \text{ t}$

수평분력	자중 (t)	팔길이 (m)	모멘트 (t · m)	비고
$P1_h$	0.53	7.00	3.71	
$P2_h$	0.40	7.25	2.90	
$\Sigma H = 0.93$		$\Sigma M_o = 6.61$		

3) 외적 안정성 검토

① 전도

$$FS = \frac{M_r}{M_o} = \frac{10.72}{6.61} = 1.6 < 2.0 \quad \therefore \text{N.G}$$

② 활동

$$FS = \frac{\Sigma W + C_a \times B}{\Sigma H} = \frac{17.9 + 0.45 \times 0.8}{0.93} = 19.6 \geq 1.5 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 지지력

$$Q_{max} = \frac{1.1 \times (V_o - Q_n \sin \theta)}{B} = \frac{1.1 V_o}{B} = \frac{1.1 \times (11 + 0.03)}{0.8} = 15.16 \text{ tonf/m}^2$$

$$FS = \frac{Q_a}{Q_{max}} = \frac{30}{15.16} = 1.9 \geq 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

4) 내적 안전성 검토

① 전단력

$$\text{벽체의 전단 저항력 } V_n = \Phi V_c = 0.8 \times 0.53 \sqrt{f_{ck}} b d = 13.9 \text{ t}$$

$$\text{발생하는 최대 전단력 } S_D = 1.8 \times \sum H = 1.67 \text{ t}$$

$$FS = \frac{V_n}{S_D} = \frac{13.9}{1.67} = 8.3 \geq 1 \quad \therefore \text{O.K}$$

② 휨모멘트

$$\text{벽체의 저항 모멘트 } M_d = 0.85 M_n = 0.85 \times A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 29.5 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$\text{여기서, } a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = 2.7 \approx 2.5 \text{ cm}, A_s = 20.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{유효깊이 } d = \text{옹벽 두께}(80) - \text{피복두께}(6) - \text{철근지름}/2 = 72.7 \text{ cm}$$

$$\text{발생하는 최대 모멘트 } M_D = 1.8 \times \sum M_o = 11.89 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$FS = \frac{M_d}{M_D} = \frac{29.5}{11.89} = 2.4 \geq 1 \quad \therefore \text{O.K}$$

라. 석축의 안전성 검토

1) 검토조건

① 구조치수

석축높이 : $H = 2.7\text{m}$

석축두께 : 0.65m

벽면기울기 : $\theta = 17.2^\circ$ (1 : 0.3)

단위중량 : 2.5tonf/m^3 (보통암)

② 뒷채움 흙

토질 : 자갈 섞인 모래

단위중량 : 1.8tonf/m^3

전단저항각 : $\phi = 30^\circ$

점착력 : $C = 0.0 \text{ tonf/m}^3$

배면경사 : $\alpha = 0.0^\circ$

③ 지지지반

토질 : 자갈 섞인 모래

마찰계수 : $Ca = 0.45$

④ 상재하중

$q = 1.0 \text{ tonf/m}^2$

2) 하중계산

① 자중

$$W_c = 2.7 \times 0.65 \times 2.5 \times 1 = 4.388\text{t}$$

구분	자중(t)	팔길이(m)	모멘트(t · m)	비고
W1	4.388	0.744	3.264	
$\Sigma W = 4.388$		$\Sigma M_r = 3.264$		

② 토압

토압계수 : Coulomb 토압계수 적용

$$Ka = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \times \cos(\theta + \delta) \times \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \times \cos(\theta - \alpha)}}\right)^2} = 0.190$$

여기서, $\phi = 30^\circ$, $\theta = -17.2^\circ$, $\delta = 2/3 \phi = 20^\circ$, $\alpha = 0^\circ$

$$Pa = 1/2 \times Ka \times \gamma \times H^2 = 1/2 \times 0.190 \times 1.8 \times 2.7^2 = 1.244\text{tonf}$$

$$\text{토압의 수평분력 : } P1h = Pa \times \cos \theta = 0.983 \times \cos 17.2^\circ = 1.189 \text{ tonf/m}$$

$$\text{작용거리 : } y_1 = H/3 = 0.900\text{m}$$

$$\text{상재하중의 수평분력 : } P2h = q \times H \times Ka = 1.0 \times 2.7 \times 0.190 = 0.512\text{tonf/m}$$

$$\text{작용거리 : } y_2 = H/2 = 1.350\text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{토압의 수직분력 : } Pav &= Pa \times \sin \theta = 1.244 \times \sin 17.2^\circ \\ &= 0.368 \text{ tonf/m} \end{aligned}$$

$$\text{작용거리 : } x = 0.650 + 0.900 \times \tan 17.2^\circ = 0.929\text{m}$$

수평분력	자중 (t)	팔길이 (m)	모멘트 (t · m)	비고
P1h	1.189	0.90	1.070	
P2h	0.512	1.35	0.691	
$\Sigma H = 1.701$		$\Sigma M_o = 1.761$		

3) 외적 안정성 검토

① 전도

$$FS = \frac{M_r}{M_0} = \frac{3.264}{1.761} = 1.8 < 2.0 \quad \therefore \text{N.G}$$

② 활동

$$FS = \frac{\sum V + Ca \times B}{\sum H} = 2.7 > 1.5 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 지지력

$$Q_{\max} = \frac{1.1 \times (V_0 - Q_n \sin \theta)}{B} = \frac{1.1 V_0}{B} = \frac{3.575}{0.65} = 5.5 \text{ ton/m}^2$$

$$FS = \frac{Q_a}{Q_{\max}} = \frac{30}{5.5} = 5.4 \geq 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

4) 내적 안정성 검토

① 평균폭

- 중앙3분권(middle third) 위치

$$X_m = X_{m1} + X_{m2} = H \cot \theta_o + \frac{b \operatorname{cosec} \theta_o}{6} = 0.912 \text{ m}$$

- 시력선(자중과 토압의 합력이 나타내는선) 위치

$$X_h = \frac{K_a \gamma}{6 \gamma b \operatorname{cosec} \theta_o} + H^2 + \left[\frac{K_a q \frac{\sin \theta'}{\sin(\theta' + \beta)}}{2 \gamma b \operatorname{cosec} \theta_o} + \frac{\cot \theta_o}{2} \right] H = 0.807 \text{ m}$$

- 시력선(자중과 토압의 합력이 나타내는선) 검토결과

$$X_m (=0.912\text{m}) > X_h (=0.807\text{m}) \therefore \text{O.K}$$

② 한계고

한계고(Ha)는 다음의 2차방정식을 이용하여 구한다.

$$\frac{K_a \gamma}{6 \gamma b \operatorname{cosec} \theta_o} Ha^2 + \left[\frac{K_a q \frac{\sin \theta'}{\sin(\theta' + \beta)} - \gamma b \operatorname{cosec} \theta_o \cot \theta_o}{2 \gamma b \operatorname{cosec} \theta_o} \right] Ha - \frac{b \operatorname{cosec} \theta_o}{6} = 0$$

$$0.032 Ha^2 - 0.096 Ha - 0.113 = 0$$

$$32 Ha^2 - 96 Ha - 113 = 0$$

$$Ha = \frac{96 \pm \sqrt{96^2 + 4 \times 32 \times 113}}{2 \times 32} = +3.9\text{m or } -0.9\text{m}$$

- Ha = 3.9 m 까지 쌓을 수 있다.

- 한계고 검토결과

$$Ha (=3.9\text{m}) > H (=2.7) \therefore \text{O.K}$$

마. TYPE2(노인복지센터) 전체 원호활동 안정성 검토

1) 검토조건

구 분	검토 조건	비 고
지하수위	■ 건기시 : 지하수위 미적용 ■ 우기시 : 만수위 적용	
지진력	■ 지진하중 : 0.055g 적용	

2) 지반정수

구 분	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kN/m ²)	내부마찰각 (°)	비 고
매립층	18.0	0.0	30	
연 압	23.0	50.0	35	

3) 검토결과

건기시 : F.S = 1.4 < 1.5 ∴ N.G	우기시 : F.S = 0.8 < 1.2 ∴ N.G
지진시 : F.S = 1.2 > 1.1 ∴ O.K	—

바. TYPE1(어린이공원) 전체 원호활동 안정성 검토 [2017.05 한국구조물연구원]

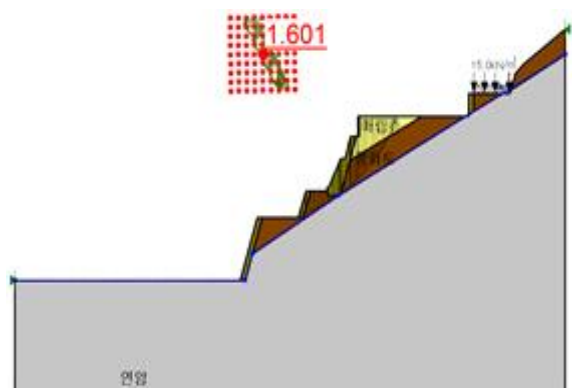
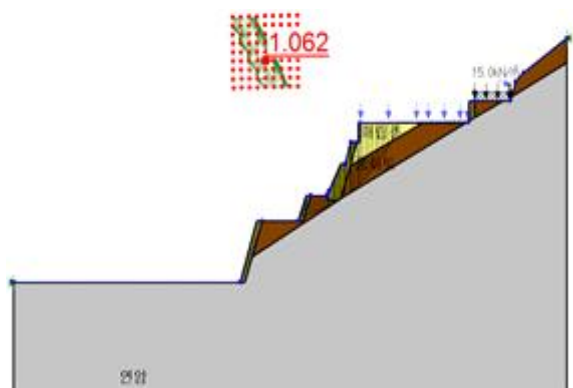
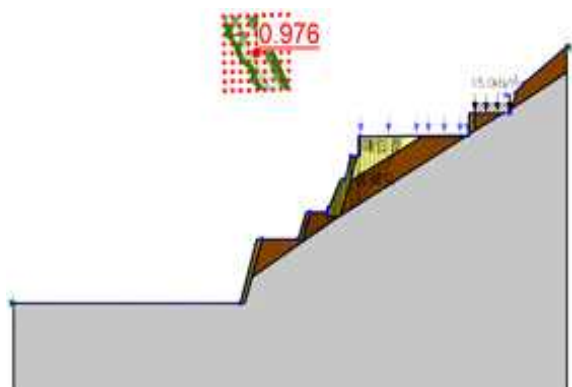
1) 검토조건

구 분	검토 조건	비 고
지하수위	■ 건기시 : 지하수위 미적용 ■ 우기시 : 만수위 적용	
지진력	■ 지진하중 : 0.055g 적용	

2) 지반정수

구 분	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kN/m ²)	내부마찰각 (°)	비 고
매립층	18.0	0.0	30	
풍화토	19.0	20.0	32	
연 암	23.0	50.0	35	

3) 검토결과

	
건기시 : F.S = 1.6 > 1.5 ∴ O.K	우기시 : F.S = 1.0 < 1.2 ∴ N.G
	—
지진시 : F.S = 0.9 < 1.1 ∴ N.G	—

사. 안전성검토 결과

구분	항 목		허용 안전율	콘크리트옹벽			석축	비고	
				TYPE1	TYPE2	TYPE3			
외 적 안 정 성	수평활동		안전율	1.5	15.5	11.8	19.6	2.7	
			등 급	a	a	a	a	a	
	전체 원호 활동	건기	안전율	1.5	1.6	1.4	—	—	
			등 급	a	a	c	—	—	
		우기	안전율	1.2	1.0	0.8	—	—	
			등 급	a	c	d	—	—	
		지진	안전율	1.1	0.9	1.2	—	—	
			등 급	a	d	a	—	—	
	전 도		안전율	2.0	2.6	1.9	1.6	1.8	
			등 급	a	a	b ^(주)	b ^(주)	b ^(주)	
	지지력		안전율	1.2	2.1	1.9	1.9	5.4	
			등 급	a	a	a	a	a	
	침 하		안전율	5cm	없음	없음	없음	없음	
			등 급	a	a	a	a	a	
내 적 안 전 성	전단력		안전율	1.0	11.7	7.3	8.3	—	
			등 급	a	a	a	a	—	
	휨모멘트		안전율	1.0	3.5	2.2	2.4	—	
			등 급	a	a	a	a	—	
	평균폭		안전율	1.0	—	—	—	1.1	
			등 급	a	—	—	—	a	
	한계고		안전율	1.0	—	—	—	1.4	
			등 급	a	—	—	—	a	
※ ^(주) 콘크리트옹벽과 석축의 전도에 대한 안정성 검토결과, 허용안전율 2.0 하회하나, 기대기식 옹벽 설계안전율 1.5을 상회하며, 외관조사결과 전도에 문제가 없는 것으로 판단되어 c등급 에서 b등급으로 상향 조정									

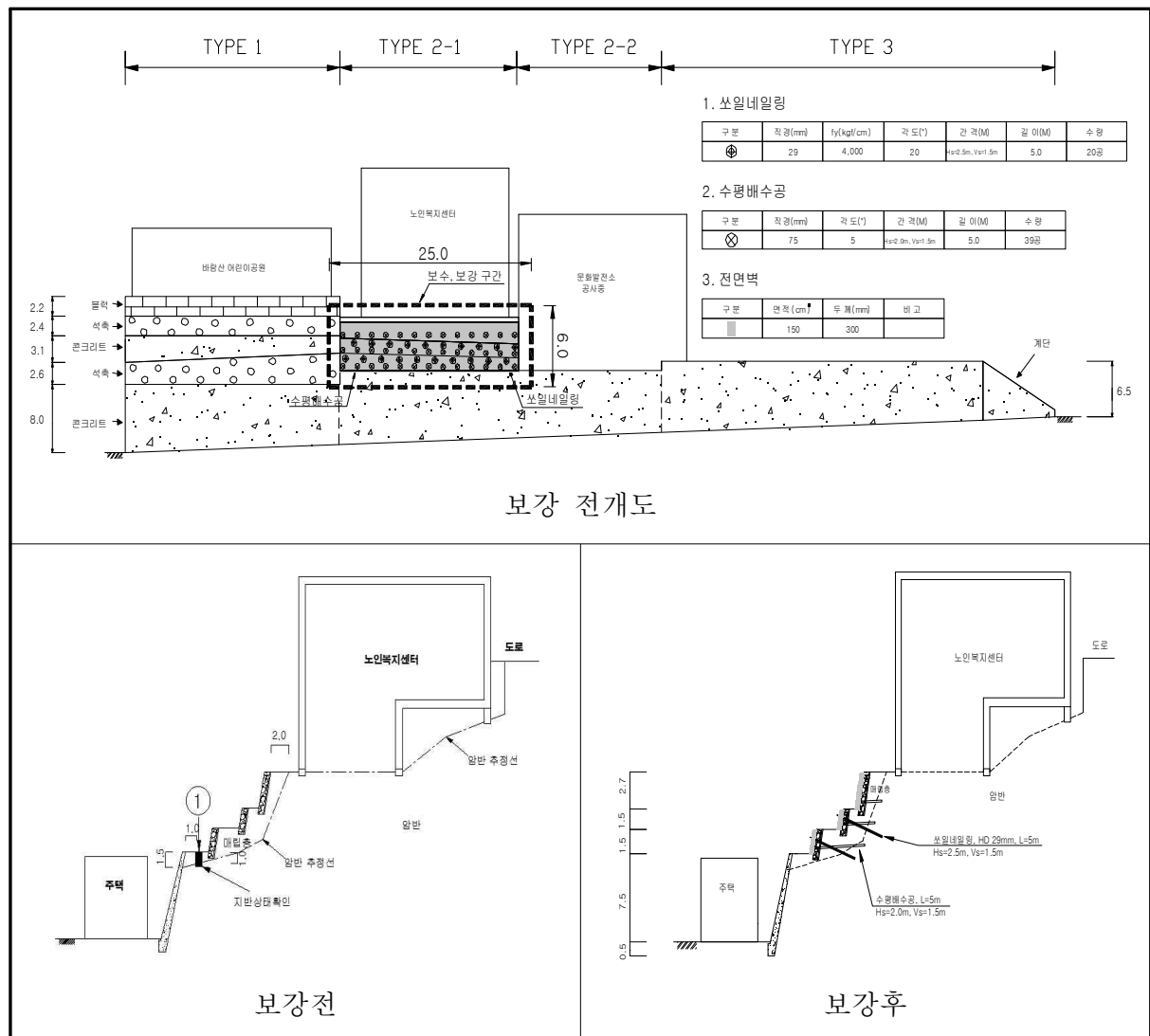
안전성 검토 결과, TYPE1(바람산어린이공원)과 TYPE2(노인복지센터) 구간의 전체 원호활동에 대해서 긴급한 보수·보강이 필요한 “D” 등급으로 평가되어 보강안 검토시 안전성 및 시공성을 고려한 어스앵커공법(TYPE1)과 쏘일네일링공법(TYPE2)을 적용하여 검토하였다.

2.5.4 TYPE2(노인복지센터) 보강후 전체 원호활동 안정성 검토

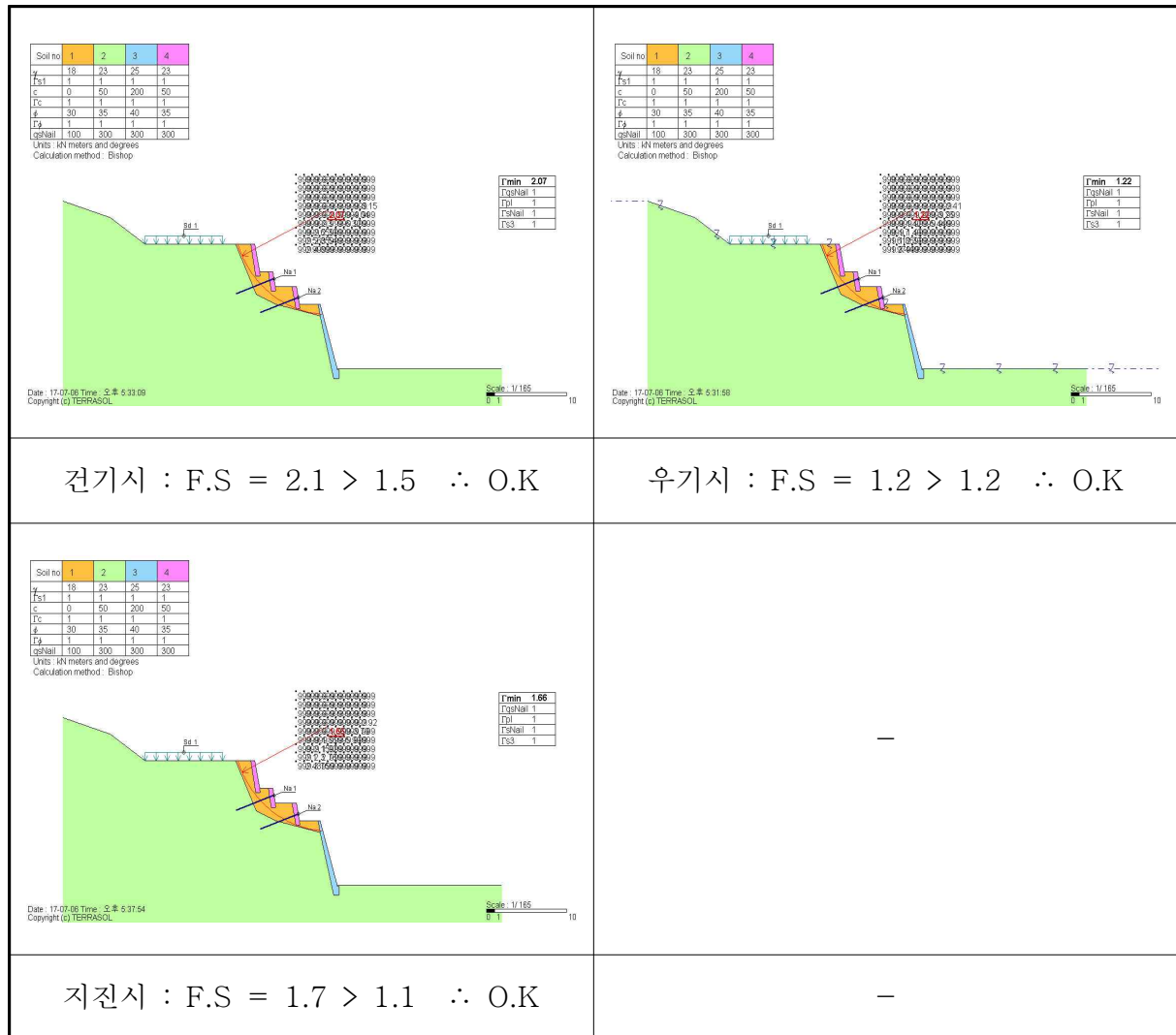
1) 보수·보강 규모

구 분	규 모	비 고
쏘일네일링	20공 [D29mm, L=5.0m]	
수평배수공	39공 [Φ75mm, L=5.0m]	
전면벽타설	A=150.0m ² [T=0.3m]	

2) 보수·보강 단면도



3) 검토결과

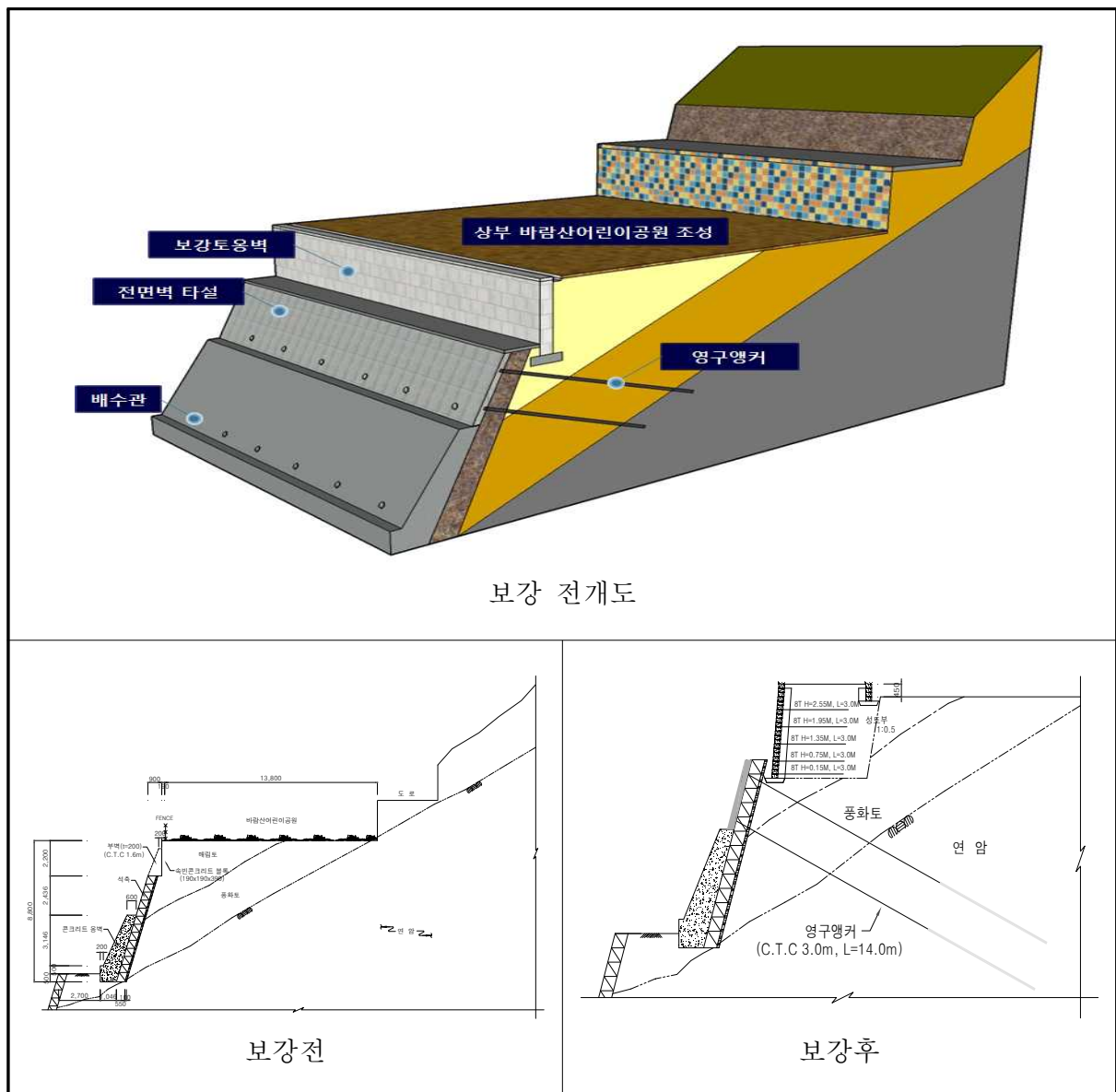


2.5.5 TYPE1(어린이공원) 보강후 전체 원호활동 안정성 검토 [2017.05 한국구조물연구원]

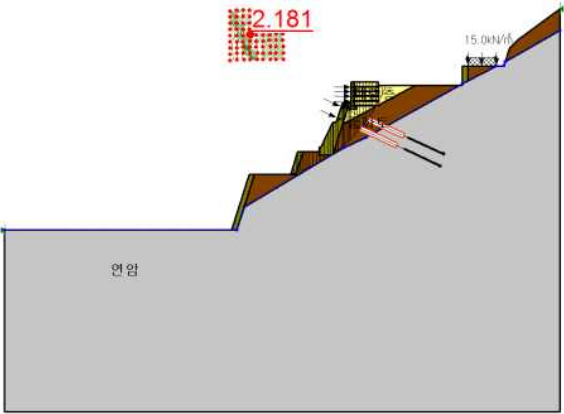
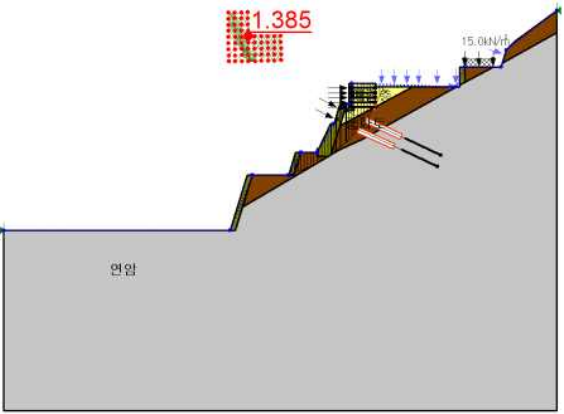
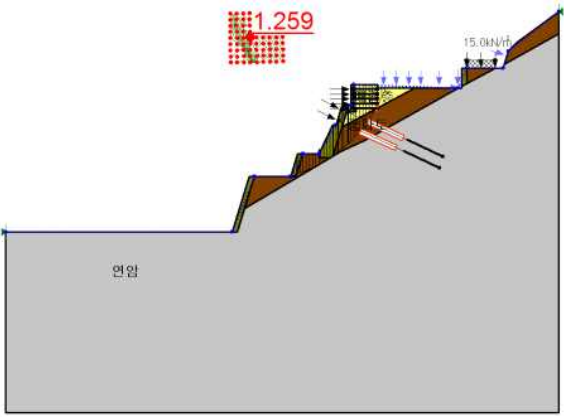
1) 보수·보강 규모

구 분	규 모	비 고
어스앵커	25공 [Ø 12.7mm PC강연선, L=14.0m]	
보강토옹벽	1식	
배수공	1식	
전면벽타설	1식	

2) 보수·보강 단면도



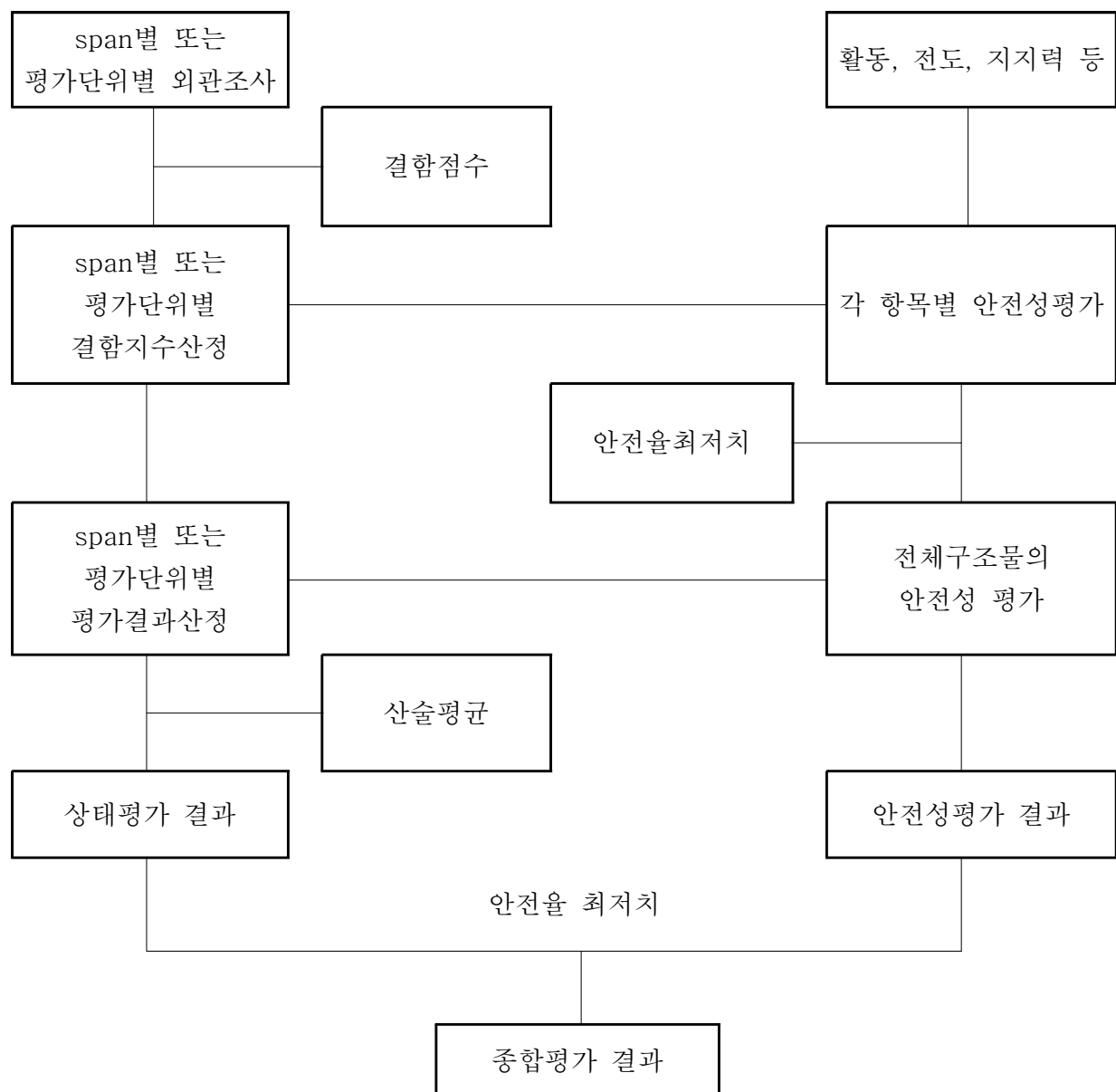
3) 검토결과

	
건기시 : F.S = 2.1 > 1.5 ∴ O.K	우기시 : F.S = 1.3 > 1.2 ∴ O.K
	—
지진시 : F.S = 1.2 > 1.1 ∴ O.K	—

2.6 종합평가 및 안전등급 지정

2.6.1 개 요

시설물의 종합평가는 외관조사 및 내구성평가 항목인 탄산화, 염화물함유량에 의한 평가를 포함한 상태평가 결과와 시설물의 안전성평가 결과를 종합하여 개별시설물의 종합평가 결과를 도출하며 그 과정을 흐름도로 나타내면 아래와 같다.



[그림 2.10] 종합평가결과 산정절차

2.6.2 종합평가 결과

종합평가 등급은 시설물 상태평가 결과와 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 종합평가 등급으로 결정하므로 바람산옹벽의 종합평가등급은 “D등급” 으로 평가된다.

[표 2.17] 종합평가 결과표

평가항목	결합지수	평가결과	비 고
상태평가	F=0.215	B	
안전성평가	FS = 0.9(원호활동)	D	TYPE1
	FS = 0.8(원호활동)	D	TYPE2
종합평가	옹벽의 종합평가 결과 : D 등급(미흡)		

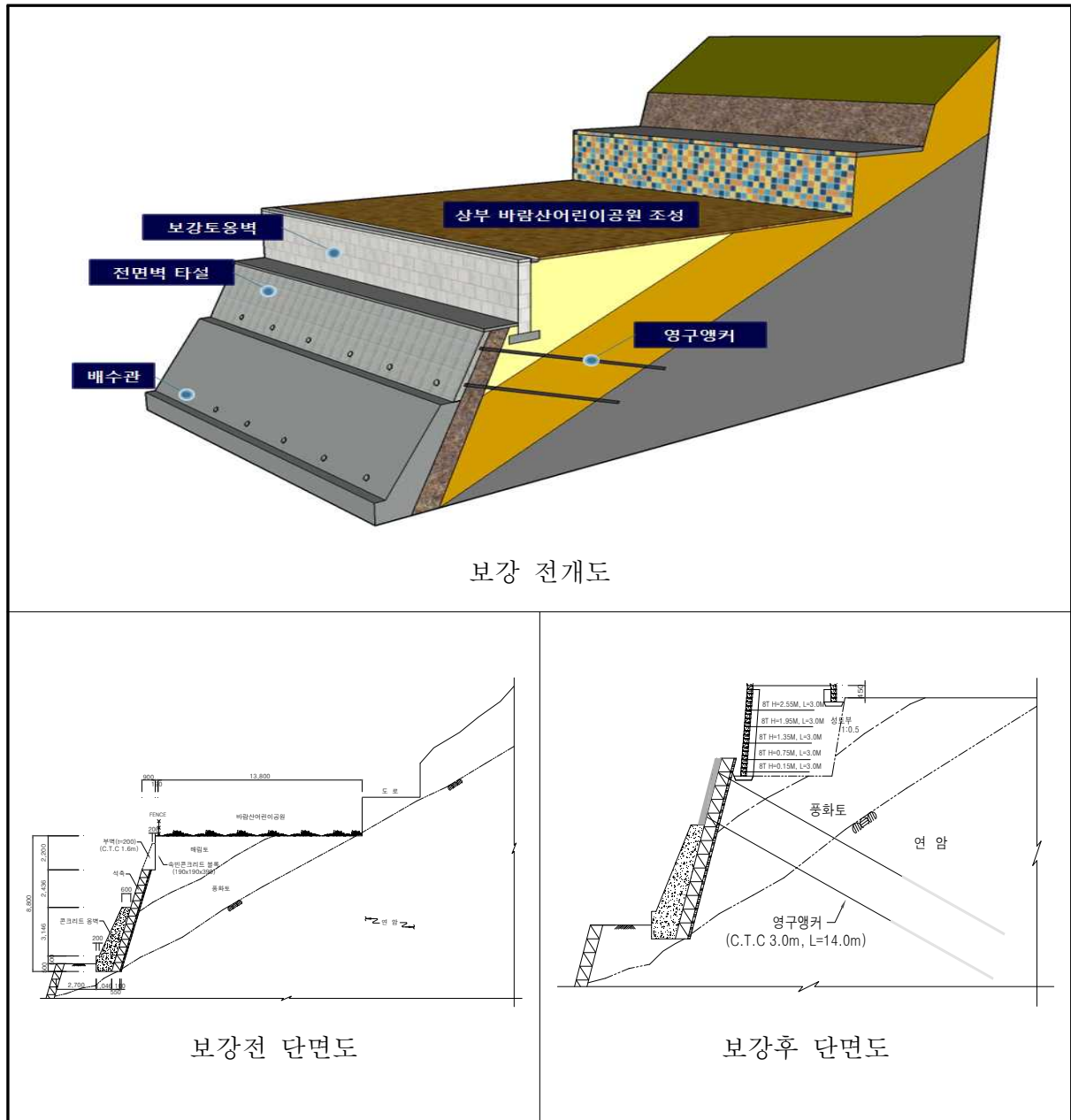
2.6.3 안전등급 지정

바람산옹벽의 안전등급은 긴급한 보수·보강이 필요한 “D등급” 으로 평가된다.

[표 2.18] 안전등급에 따른 시설물의 상태

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

[그림 2.12] TYPE1(바람산어린이공원) 보강방안

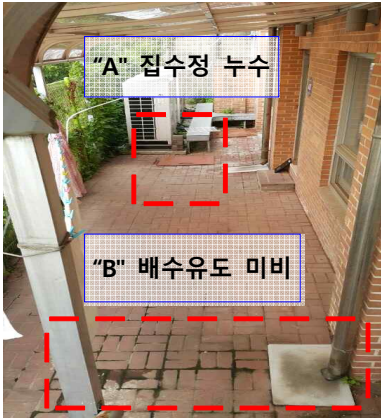


2.7.2 개략공사비

구 분	손상 내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	공사비 (천원)	우선 순위
석축	TYPE2 구조 불안정 (노인복지센터)	쏘일네일링	20	20	공	500	10,000	①
		수평배수공	39	39	공	500	19,500	①
		전면벽타설	150.0	150	m²	200	30,000	①
		상부 배수유도	40.0	40.0	m	250	10,000	①
바람산 옹벽	재료분리	단면보수	10.45	12.54	m²	154	1,931	②
	백태	표면처리	0.85	1.02	m²	18	18	②
	파손	단면보수	6.06	7.27	m²	154	1,120	②
	표면열화	표면처리	56.8	68.2	m²	18	1,228	②
	균열(0.3mm이상)	주입보수	11.0	13.0	m	19	247	②
	박락	단면보수	0.25	0.3	m²	154	46	②
	철근노출	단면보수+방청	1.38	1.66	m²	170	282	②
부대공		가설공사(진입로,비계공등)		1	식	45,000	45,000	①
		환경관리(분진,방지책등)		1	식	15,000	15,000	①
		가설공사(비계공등)		1	식	10,000	10,000	②
		환경관리(분진,방지책등)		1	식	10,000	10,000	②
순공사비 합계							154,372	
제경비(순공사비*50%)							77,186	
우선순위별 공사비 (제경비 포함)			1순위				194,250	
			2순위				37,308	
개략공사비 총계							231,558	

- ※ TYPE1(어린이공원) 구조불안정 개략공사비는 타사[(주)한국구조물연구원]에서 실시설계중이므로 제외하였음
- ※ 보수물량은 손상물량의 20%를 할증하였고, 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영
- ※ 개략공사비 단가는 2016년 서울시 유지보수단가를 참고하였으며, 일부 손상은 보수물량 산정시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경
- ※ 개략공사비는 2017년 현장조사시 확인한 물량으로 향후 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장 여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음

2.7.3 중점 유지관리 사항

중점 유지관리 사항	
	
바람산옹벽 표면열화부 누수흔적/백태 진행 여부 확인	
 "A" 집수정 누수 "B" 배수유도 미비	 "A" 집수정 누수 "B" 배수유도 미비
	
TYPE2 상부 노인복지센터 집수정 누수, 배수 유도 미비로 인한 석축 변형부 진행 여부 확인	

2.8 종합결론

바람산옹벽은 서울특별시 서대문구 창천동에 위치한 연장 130m, 높이 8m 정도의 기대식 콘크리트 옹벽으로 1964년(추정) 준공되어 약 53년 정도의 공용기간이 경과한 상태이며, 금회 최초로 실시하는 정밀안전진단으로 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

구 분	정밀안전진단 결과
외관조사	■ 바람산옹벽 ▶ 하부 콘크리트 옹벽은 구조적인 손상이 없는 전반적으로 양호한 상태이나, 국부적으로 표면열화, 마감재(콘크리트)박락, 재료분리, 철근노출, 균열 등의 손상이 조사됨 ▶ 옹벽의 안정성에 영향을 미치는 침하, 전도 및 활동 등의 손상은 없는 것으로 조사되었으나, 노후화 및 시공미흡 등으로 인한 표면열화, 재료분리, 철근노출, 콘크리트 파손 등의 손상이 발생되어 내구성 확보 차원의 보수가 필요함 ■ 석축 및 상부 구조물 ▶ 바람산어린이공원 하부에 블록식 옹벽 활동으로 인한 배부름, 돌출, 석축 파손 등의 손상이 발생하였고, 노인복지센터 구간은 집수정(하수) 누수와 배수 유도 미비로 인한 하부 석축 변형 등이 조사됨 ▶ 어린이공원 하부 블록식 옹벽은 강성이 부족한 재료 시공과 배수시설 미비로 인한 우수의 집중유입, 토립자 유실 및 지반 연약화로 옹벽의 침하, 활동 등이 발생한 것으로 판단되며, 노인복지센터 하부 석축 변형은 집수정(하수)과 배수 유도 미비로 인한 것으로 판단됨 ▶ 상기의 손상들은 전체 구조물 안전에 영향을 미치는 것으로 판단되는 바, 안전성검토와 연계한 유지관리대책이 필요하며, 노인복지센터 집수정 누수와 배수시설 미비 구간은 배수 유도 등의 정비가 요망됨

구 분	정밀안전진단 결과
내구성조사	■ 콘크리트 강도 ▶ 24.1~28.7MPa 정도로 설계기준강도 21.0MPa(추정값)을 상회하는 값으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하는 없는 것으로 판단됨 ■ 초음파전달속도 ▶ 22.4~27.9MPa 정도로 설계기준강도 21.0MPa(추정값)을 상회하는 것으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하는 없는 것으로 판단됨 ■ 탄산화 깊이 측정 ▶ 전면벽체에서 28.6~35.6mm(평균 31.7mm), 피복두께 36~79mm(평균 52mm), 탄산화 잔여 깊이가 7.4~43.4mm 정도로 측정됨 ▶ 실측한 탄산화 평균 깊이 31mm와 철근탐사시 평균 피복두께 41mm를 비교시 향후 일부에서 탄산화 부식가능성이 있으므로 탄산화 진행여부에 대한 주의관찰이 필요함 ■ 염화물 함유량 시험 ▶ 환산 염화물 함유량이 0.136~0.104kg/m³ 정도로 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨 ■ 철근탐사 ▶ 전면벽체에서 배근간격 200~310mm(평균 251mm), 피복두께 12~84mm(평균 41mm) 정도로 탐사됨 ▶ 옹벽 코어 채취중 배면부에 D25 철근이 배근된 것으로 확인됨 ▶ 현재 설계자료가 존재하지 않아 설계기준과 비교가 곤란하나, 콘크리트 구조기준 배근간격의 허용량(도면상 간격의 20%범위)과 비교시 허용값 이내로 배근된 것으로 판단됨 ■ 측 량 ▶ 설계도서가 존재하지 않아 이전자료와 비교는 곤란한 상태이나, 콘크리트 옹벽의 외관상태와 측량결과를 분석한 결과 콘크리트 옹벽의 침하·활동·전도 등은 없는 것으로 판단됨

구 분	내 용
상태평가	■ 결합지수 : 0.215 ▷ “B” 등급
안전성평가	■ FS : 0.8(원호활동) ▷ “D” 등급
종합평가	■ 종합평가 : “D” 등급(미흡)
종합결론	■ 바람산옹벽 정밀안전진단결과, 주요부재에 결합이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요한 상태인 “D” 등급으로 평가됨 ■ 콘크리트 옹벽의 표면열화, 마감재(콘크리트)박락, 재료분리, 철근노출, 균열 등의 손상이 발생되어 내구성 확보 차원의 보수가 필요함 ■ 석축과 블록식 옹벽 배부름, 파손, 변형 등의 손상은 전체 구조물 안전에 영향을 미치는 것으로 판단되는바, 안전성검토와 연계한 유지관리 대책이 필요하며, 노인복지센터 집수정 누수와 배수시설 미비 구간은 배수 유도 등의 정비가 요망됨 ■ 원호활동 검토시 불안정한 TYPE1(어린이공원)과 TYPE2(노인복지센터)구간은 전단강도를 증가시키는 어스앵커, 쏘일네일링을 통한 구조물의 안정화가 요구됨