

노후 옹벽 및 석축 유지관리를 위한 식생옹벽용 비철가식 사공기술 및 LPWA기술 LoRa기반의 유지관리기술 개발 최종보고서

2020. 02. 21.

주관연구기관 / (주)대한지오이엔씨
협동연구기관 / (주)피엘네트웍스

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘노후 용벽 및 석축 유지관리를 위한 식생옹벽용 비철거식 시공기술 및 LPWA기술 LoRa기반의 유지관리기술 개발’(연구개발 기간 : 2018.04.17~ 2019.12.31.) 과제의 최종보고서(안)을 제출합니다.

2020. 02. 21.

주관연구기관명 : (주)대한지오이엔씨 대표이사 김 재 선 (인)

협동연구기관명 : (주)피엘네트웍스 대표이사 박 성 동 (인)

참 여 기 관 명 : (주)대한지오이엔씨 대표이사 김 재 선 (인)

: (주)피엘네트웍스 대표이사 박 성 동 (인)

주관연구기관책임자 : (주)대한지오이엔씨 최 민 형 (인)

협동연구기관책임자 : (주)피엘네트웍스 박 성 동 (인)

참 여 기 관 책 임 자 : (주)대한지오이엔씨 최 민 형 (인)

: (주)피엘네트웍스 박 성 동 (인)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19CTAP-C143 139-02	해당 단계 연구 기간		2019.01.01 ~2019.12.31	단계구분	2/2
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업				
	세부사업명	2018년 국토교통기술촉진연구사업 창의도전연구분야 (사회이슈해결 지원유형)				
연구과제명	대과제명	-				
	세부과제명	노후 옹벽 및 석축 유지관리를 위한 식생옹벽용 비철거식 시공기술 및 LPWA기술 LoRa기반의 유지관리기술 개발				
연구책임자	최민형	해당단계 참여연구원 수	총: 9 명 내부: 9 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 165,000천원 민간: 55,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 220,000천원	
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 9 명 내부: 9 명 외부: 명	총 연구비	정부: 315,000천원 민간: 105,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 420,000천원	
연구기관명 및 소속 부서명	(주)대한지오이엔씨			참여기업명 (주)대한지오이엔씨 (주)피엘네트웍스		
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:		
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:		
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음						

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 · 장비	기술요 약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	1	3	1	-	-	1	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

[요약] 개발기술은 노후된 옹벽 또는 석축 구조물을 대상으로 보강을 통해 안정성을 향상시킬 수 있는 구조적 대책공법과 유지관리키트를 활용하여 모니터링을 수행할 수 있는 비구조적 대책공법이 융합된 친환경 스마트 건설신기술임. 특히 개발 기술은 노후 구조물을 철거하지 않고 적용이 가능한 비철거식 보강공법으로서 인접 구조물에 영향성이 적고 전면에 식생이 가능하여 친환경적이며, 공장 제작된 경량 자재를 현장에서 조립시공하기 때문에 공사기간 단축과 공사비 절감에 유리함. 또한 저전력 장거리 통신기술인 LoRa기반의 계측관리시스템은 시스템 구축 및 운영에 필요한 비용 절감이 가능함. 따라서 한정된 예산으로 보다 많은 사업을 수행할 수 있어 방재대책 향상에 기여할 것으로 기대됨.	보고서 면수 107
--	------------

〈 요약문 〉

연구의 목적 및 내용	• 기존 구조물의 비철거 시공으로 인접 구조물에 영향이 없고 붕괴 위험시 공장에서 제작된 경량 자재를 현장에서 바로 조립, 시공하여 신속한 보수 보강이 이루어질 수 있는 보강기술 개발. • 노후 옹벽의 보수보강을 위한 강도가 확보되고 경관 개선을 위한 식생이 가능하며 유지관리용 키트를 장착할 수 있는 네일 및 앵커 보강용 패널식 옹벽 개발. • 저전력 장거리 통신 LoRa기반 단말기와 계측기로 구성된 유지관리 키트 개발. • 계측관리비용이 저렴하고 국민들의 접근이 용이한 모니터링, 예경보시스템 개발.				
연구개발성과	노후 옹벽구조물에 대한 비철거식 옹벽공법으로 인접 구조물에 영향이 없어 안정적이고 기성품 경량 자재를 사용한 식생이 가능한 옹벽공법으로 경관 개선과 공사기간 단축 및 공사비 절감이 예상됨. 또한 저전력 장거리 통신기술인 LoRa 기반의 계측관리시스템으로 시스템 구축 및 운영에 필요한 비용 절감이 예상됨.				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	붕괴 위험 노후 옹벽구조물과 비탈면에 대해 본 과제를 통하여 성능이 입증된 공법을 적용하여 안전사고의 예방과 공사비 절감 및 미관을 개선하며 계측관리 시스템의 구축 및 관리비용의 획기적인 절감이 예상되며 활용 분야가 다양하여 국내외 상시계측관리 관련시장에서도 선도적 역할을 할 것으로 기대된다.				
핵심어 (5개 이내)	노후 옹벽	색생옹벽	보강기술	LoRa	유지관리

＜ SUMMARY ＞

Purpose & Contents	• Development of panel retaining wall for reinforcement of nail and anchor that can secure the strength for maintenance and reinforcement of aged retaining walls, can plant vegetation for exterior improvement and can install maintenance kit. • Development of reinforcement technology that can assemble and construct lightweight materials made in factory in case of danger of collapse without any influence on neighboring structures due to not removed construction of existing structures, and to quickly repair and reinforce them. • Development of a maintenance kit consisting of LoRa-based terminals and instruments capable of low power long distance communication. • Development of monitoring and warning system, which is easy to access to the general public with low cost of measurement management.					
Results	It is expected to improve the exterior, shorten the construction period, and reduce the construction cost by using not removed retaining wall construction method for the aged retaining wall structure and it is possible to do vegetation using stable and ready-made lightweight material because there is no influence on adjacent structures. In addition, it is expected to reduce the cost required for system construction and operation with LoRa based measurement management system which is a low power long distance communication technology.					
Expected Contribution	It is expected to prevent accidents, aged retaining wall construction costs and improve the exterior by applying the proven method to the Destructible walls and slope that can be collapsed, and dramatically reduce the construction and management cost of the measurement management system. It is expected to play a leading role in the domestic and international measurement management related market.					
Keywords	aged retaining walls	vegetation retaining wall	reinforced construction	LoRa	maintenance technology	

< 목 차 >

제1장. 연구개발과제의 개요	1
1. 연구개발 목적	1
2. 연구개발 배경 및 필요성	1
3. 연구개발 목표 및 범위	8
제2장. 국내외 기술 개발 현황	11
1. 노후 옹벽 및 석축의 보수·보강기술 및 유지관리 기술 현황	11
2. 개발기술의 성숙도	19
제3장. 연구수행내용 및 성과	20
1. 연구개발 추진 전략 및 방법	20
2. 연구개발 성과	24
3. 연구결과	31
3.1. 연구개발 기술의 구성	31
3.2. 노후 옹벽 및 석축 보강의 비철거식 보강공법 개발	32
3.3. 노후 옹벽 및 석축 보강의 비철거식 보강공법 시공기술 개발	52
3.4. LoRa기반의 노후 옹벽 및 석축 유지관리 키트 개발	65
3.5. LoRa기반의 노후 옹벽 및 석축 유지관리 계측정보 관리시스템 구축	80
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	89
1. 목표달성도	89
2. 관련 분야 기여도	91
3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)	92
제5장. 연구개발성과의 활용 계획	96
1. 연구개발성과의 활용방안	96
2. 사업화 계획	99
3. 사업화 모형	100
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	105
제7장. 연구개발성과의 보안등급	105

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황	105
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	105
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	106
제11장. 기타 사항	106
제12장. 참고 문헌	106
# 첨부 자료	

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적



본 연구는 최근 이슈화되고 있는 노후 옹벽 및 석축의 안전성 부족으로 인한 붕괴사례를 바탕으로 기후변화에 따른 강수량, 강우강도의 증가에 따른 노후 옹벽 및 석축으로 인한 안전사고가 더욱 증가할 것으로 예상됨에 따라 대비하기 위한 노후 옹벽 및 석축 보강공법 개발을 위해 수행되었다.

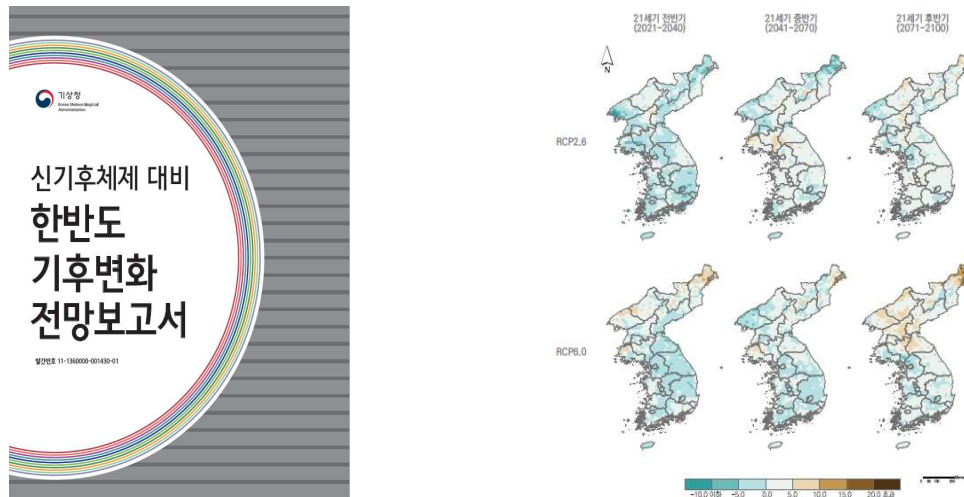
본 연구를 통해 개발된 노후 옹벽 및 석축 보강 대책기술은 노후 옹벽 및 석축 보강시 인접구조물에 대한 영향이 없도록 기존 옹벽 및 석축을 철거하지 않고 적용이 가능한 기술로서 전면부에 식생이 활착되어 노후 구조물에 대한 경관을 개선할 수 있는 친환경 식생옹벽 기술 개발을 목적으로 하였다. 특히, 노후 옹벽 및 석축에 대한 보강을 수행하는 구조적 대책공법 개발뿐만 아니라 IoT 기술 중 저전력장거리 통신기술인 LoRa를 활용한 계측관리 시스템 개발을 통해 기존 계측시스템 대비 저비용으로 계측관리를 수행할 수 있는 비구조적 대책기술 개발을 병행함으로써 노후 옹벽 및 석축에 대한 방재시스템 구축을 목적으로 수행되었다.

2. 연구개발 배경 및 필요성

2.1 기후변화에 따른 지반재해증가

전지구적인 기후 변화에 따라 우리나라에서도 집중호우, 태풍, 홍수, 가뭄, 폭설 등과 같은 이상 기후에 의한 자연재해 발생 및 피해가 증가하고 있다. 특히, 신기후체제 대비 한반도 기후변화 전망보고서(2017, 기상청)에 따르면, RCP2.6 시나리오에 따른 한반도 연강수량의 증가율은 21세기 후

반기에 전지구 증가율의 2.3배, 동아시아의 9.2배가 될 것으로 전망하고 있으며, RCP6.0 시나리오에서도 전지구 증가율의 1.9배, 동아시아의 8.5배로 다른 지역에 비해 높은 강수량 증가율을 보일 것으로 전망하고 있다. 특히 표1.1과 같이 지반재해와의 상관관계가 높은 5일 최다강수량과 강수강도 또한 증가 될 것으로 예측되고 있다.



출처 : 신기후체제 대비 한반도 기후변화 전망보고서(2017, 기상청)

그림 1.1 한반도 기후변화 전망

현재 한반도의 5일 최다 강수량은 207.0mm, 강수강도는 15.1mm/일이지만, 21세기 후반기의 5일 최다 강수량 및 강수강도는 RCP6.0 시나리오에서 236.3mm(+14.2%), 16.1mm/일(+1.0mm/일)로 전망되고 있다. 이와 같은 강우양상의 변화는 지반의 간극수압 증가에 의한 지반 응력의 감소를 일으키기 때문에 이에 따른 산사태, 토석류, 옹벽 붕괴 등 비탈면 재해 또한 증가 될 수 있으므로 이에 대한 대비가 필요할 것으로 판단된다.

표 1.1 RCP2.6(RCP6.0)에 따른 한반도 21세기 기후변화 전망

구분	현재 기후값 (1981~2010)	21세기 전반기 (2021~2040)	21세기 중반기 (2041~2070)	21세기 후반기 (2071~2100)	경향성 (10년당)
평균기온 (℃)	11.0	12.5 (11.8)	12.8 (12.6)	12.8 (14.0)	0.20 (0.33)
강수량 (mm)	1,162.2	1,232.3 (1,164.3)	1,228.4 (1,187.7)	1,226.5 (1,241.1)	7.14 (8.77)
호우일수 (일)	2.0	2.1 (2.0)	2.1 (2.2)	2.1 (2.4)	0.01 (0.04)
5일 최다강수량 (mm)	207.0	212.6 (203.3)	218.3 (223.0)	224.4 (236.3)	1.93 (3.26)
강수강도 (mm/일)	15.1	15.6 (15.1)	15.8 (15.5)	15.8 (16.1)	0.08 (0.11)

출처 : 신기후체제 대비 한반도 기후변화 전망보고서(2017, 기상청)

2.2 노후 옹벽 및 석축의 안정성 문제 대두

60~80년대 급속한 발전으로 주택부지 마련을 위해 보강이 이루어지지 않은 옹벽 및 석축이 많이 시공되었으며, 이들의 노후화로 인해 옹벽 및 석축의 붕괴 사례가 보고되고 있다. 특히 이들 옹벽 및 석축은 영세 주택이 조밀하게 밀집한 곳에 위치하고 있는 경우가 많기 때문에 관련 붕괴 사고는 인사를 사고를 동반 할 수밖에 없으며 인근 구조물의 안정성에 영향을 주기도 한다.



(a) '15 광주 대화아파트 옹벽 붕괴 사례



(b) '14 부산부암동 석축붕괴로 인한 주택 붕괴



(c) '17 여수시립 쌍봉도서관 보강토옹벽 붕괴



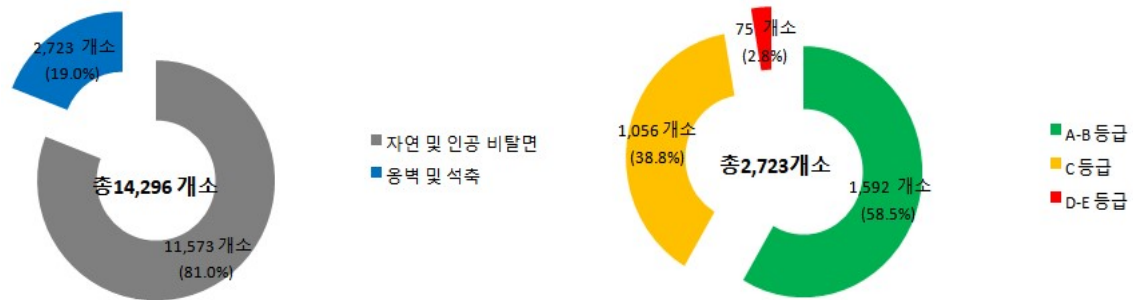
(d) '16 김해나전2산단 보강토옹벽 붕괴

* 이미지출처 : <http://news20.busan.com/>
<http://www.nocutnews.co.kr/>

그림 1.2 노후 옹벽 및 석축 붕괴 사례

2012년 기준 국민안전처에서 관리하고 있는 급경사지 관리대상지 중 옹벽, 석축, 옹벽 및 석축을 포함한 복합사면은 전체 급경사지관리대상지 14,296개소 중 19.0%인 2,723개소에 달하며, 이중 A~B등급(지속적인 관리 필요)은 1,592개소(58.5%), C등급(일부 보수 보강 필요)은 1,056개소(38.8%), D~E등급(대책마련 필요)은 75개소(2.8%)로 조사된바 있다.

그 이후로 위험지구에 대한 재해예방사업이 수행되었음에도 지속적인 급경사지 조사를 통해 표 1.2와 같이 2019년 현재 급경사지관리대상지는 15,075개소로 늘어났으며, 옹벽 및 석축은 20.3%인 3,063개소로서 가장 큰 폭으로 증가되었다(급경사지 재해예방을 위한 전문가 토론회, 행정안전부). 그러나 위 자료는 급경사지 일제조사시 관련 전문지식이 부족한 지자체 공무원에 의해 작성되어 양적, 질적으로 부족한 부분이 있으며, 일본이 약 45만개소의 급경사지 및 토석류 위험지를 관리하고 있는 것과 비교하면, 국내에도 실제 더 많은 옹벽과 석축이 있을 것으로 예상되고 있다.



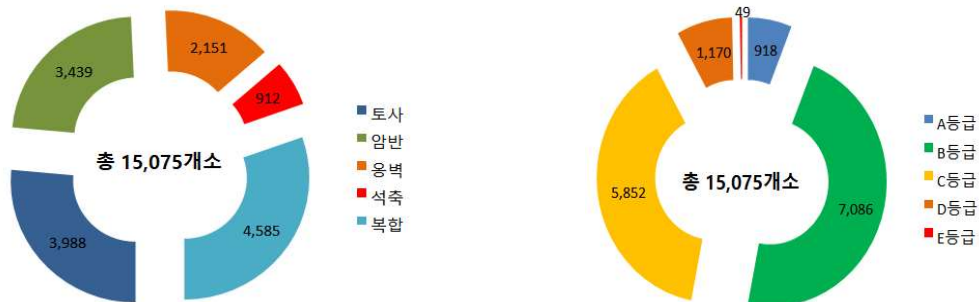
(a) 급경사지관리대상지 중 옹벽 및 석축 비율
출처 : 급경사지 일제조사 결과(2012, 소방방재청)

(b) 위험등급별 분포

그림 1.3 옹벽 및 석축 급경사지 관리대상지 현황('12)

표 1.2 행정안전부 급경사지 관리대상지 및 붕괴위험지역 현황

구분	'08	'12	'15	'16	'17	'18	'19
급경사지 관리대상지	8,948	13,599	13,799	14,060	13,758	14,325	15,075
붕괴위험지역	—	349	888	1,265	1,265	1,485	1,573



(a) 급경사지관리대상지의 유형별 분포
출처 : '급경사지 재해예방을 위한 전문가 토론회' 자료(2019, 행정안전부)

(b) 급경사지관리대상지의 등급별 분포

그림 1.4 급경사지 관리대상지 현황('19)

2.3 노후 옹벽 및 석축 특성을 반영한 보강대책공법 부족

옹벽 구조물의 손상 원인과 손상 종류는 다양하게 분류될 수 있으나 표 1.3과 같이 옹벽 구조물의 손상 원인은 크게 외적 요인과 내적 요인으로 구분할 수 있으며, 옹벽 종류에 따른 손상 종류는 표 1.4와 같이 분류 할 수 있다.

표 1.3 옹벽 구조물 손상의 원인

구분	손상의 원인
외적 요인	토압증가, 수압작용, 사면 활동
내적 요인	중성화, 염해, 사용재료 및 시공방법과 관련된 손상, 강재부식, 일괄리 골재 반응, 연해, 누수 및 동해

출처 : 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(옹벽)(2012, 국토해양부)

표 1.4 옹벽의 종류에 따른 손상 종류

구분	손상 종류
콘크리트 옹벽	침하, 파손 및 손상, 세굴, 활동, 균열, 계획선행 오차(전도/경사), 마모/침식, 배수공 상태, 재료 열화
보강토 옹벽	침하, 파손 및 손상, 세굴, 활동, 균열, 계획선행 오차(전도/경사), 마모/침식, 배수공 상태, 재료 열화, 전면부 배부름, 전면판의 유실 및 이격, 파손, 손상 및 균열
석축	침하, 파손, 손상 및 균열, 활동, 이격, 계획선행 오차(전도/경사), 유실, 배수공 불량, 세굴
게비온 옹벽	침하, 채움재 유실, 활동, 진행성 변형, WIRE MESH 파손

출처 : 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(옹벽)(2012, 국토해양부)



(a) 노후 옹벽 균열 발생 사례



(b) 노후 옹벽의 균열 및 변위 발생 사례



(c) 노후 석축 균열 발생 사례



(d) 보강토옹벽 균열 발생 사례

그림 1.5 보강대책이 필요한 옹벽 구조물 사례

위와 같은 결함이 발생한 옹벽 구조물에 대한 보수·보강은 구조물의 영향정도, 중요도, 사용 환경조건 및 경제성 등을 고려하여 결정하도록 하고 있으며, 관련 지침에서 제안하는 보수 보강 공법은 다음 표 1.5와 같다.

표 1.5 옹벽 구조물 결함에 따른 보수·보강 공법

구분	보수·보강 공법
철근부식	철근이 부식되어 있는 부분이 노출되도록 콘크리트를 파취하고, 철근이 부식된 부분의 녹을 제거하여 철근에 방청처리를 한 후, 콘크리트에 프라이머 도포를 행한 후에 폴리머시멘트 모르타 등의 재료로 충전 보수한다.
누수	콘크리트 누수는 구조물의 기능장애와 노후화의 원인이 되므로 누수방지 및 대책방법을 수립한다. 도수공법, 흡파기공법, 지수공법, 뿔어붙임 및 도포공법, 방수판, 방수쉬트, 배면주입공법, 수위저하공법 등이 있다.

콘크리트 탄산화	탄산화가 20~30mm 정도 진행된 경우에는 탄산화된 콘크리트를 제거한 후 단면복구용 모르타르로 보수하는 것이 원칙이나, 공사비용과다시 탄산화를 방지할 수 있는 밀폐형 기밀 도료칠을 한다.
침하	고압분사 교반공법, 압력주입 그라우팅 공법, 앵커공법, 성토하중 경감공법, 경량재료 치환공법 등이 있다.
경사 및 전도	저항모멘트 감소에 대한 보수·보강 - 전면 기초지반 세굴부위의 보강, 지반 고압분사교반공법, 압력주입 그라우팅에 의한 강도증진, 앵커공법에 의한 저항모멘트 증가 전도모멘트 증가에 대한 보수·보강 - 주동토압계수 감소기법, 배면 성토하중 경감 공법
활동	압력주입 그라우팅공법이나 고압분사 교반공법에 의한 지반강화 또는 앵커공법을 적용한다.
구조물 틈새움부 침하 및 공동	지반의 압밀침하 및 국부침하로 나눌수 있으며, 침하에 대한 보수·보강공법 이나 경사 및 전도, 활동 관련 공법을 적용한다.
벽체 파손	결손단면이 큰 경우 프리팩트 콘크리트 공법을 적용한다.

출처 : 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(옹벽)(2012, 국토해양부)

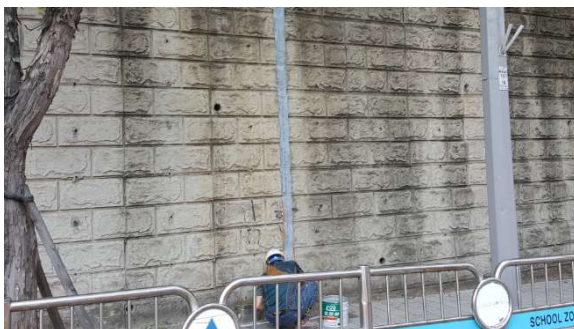
그림 1.6은 옹벽구조물에 대한 보수·보강을 사례로서 석축의 경우 대부분 박리·박락부에 대한 보수 수준에서 이루어지고 있으며(그림 1.6(b)), 안정성이 매우 부족한 경우 노후 석축을 철거한 후 신규구조물을 시공한다(그림 1.6(a)). 옹벽의 경우도 균열, 단차에 대한 보수 보강이(그림 1.6(c), (d)) 가장 많이 이루어지고 있으나 활동, 전도 등이 우려되는 옹벽의 경우 버팀대 또는 부벽 설치, 네일링 또는 앵커 보강을 수행하고 있다(그림 1.6(e)~(j)). 특히 활동, 전도 등이 우려되는 경우 공학적으로 영구앵커를 활용한 보강이 가장 효과적이지만 그림 1.6(h), (i)와 같은 석축이나 보강토옹벽을 대상으로 할 경우 앵커지압판이 접지되지 않은 부분의 개별거동이 발생할 수 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다.



(a) 노후 석축 철거 후 신규구조물 축조



(b) 노후 석축 표면 보수



(c) 옹벽 단차 보수



(d) 옹벽 균열 보수



(e) 전도우려 옹벽에 대한 버팀보 설치



(f) 전도우려 옹벽에 대한 버팀보 설치



(g) 앵커를 활용한 옹벽 보강



(h) 앵커를 활용한 석축보강



(i) 격자블럭+앵커를 활용한 보강토옹벽 보강



(j) 네일링을 활용한 보강토옹벽 보강

* 이미지출처 : <http://blog.naver.com/to3227/220873153725>
<http://blog.naver.com/hsb10120/220768059772>
<http://cafe.daum.net/hansol1012>
<http://cafe.naver.com/tomokin/551594>

그림 1.6 옹벽 및 석축 보수보강 사례

특히 보강 대상 옹벽에 대한 앵커시공(그림 1.6(g), (h), (i))은 앵커 긴장력에 대한 안정성 검토를 수행하여야 하며, 앵커 긴장력에 의한 옹벽면의 편칭파괴의 가능성이 있으므로 앵커 긴장력이 옹벽 구조물과 지반에 고르게 전달될 수 있도록 앵커지압판 적용을 검토하여야 한다. 특히 대상 옹벽구조물이 노후화된 경우 앵커 긴장력에 대한 내적구조검토 결과가 안정하더라도 적용에 유의하여야 한다.

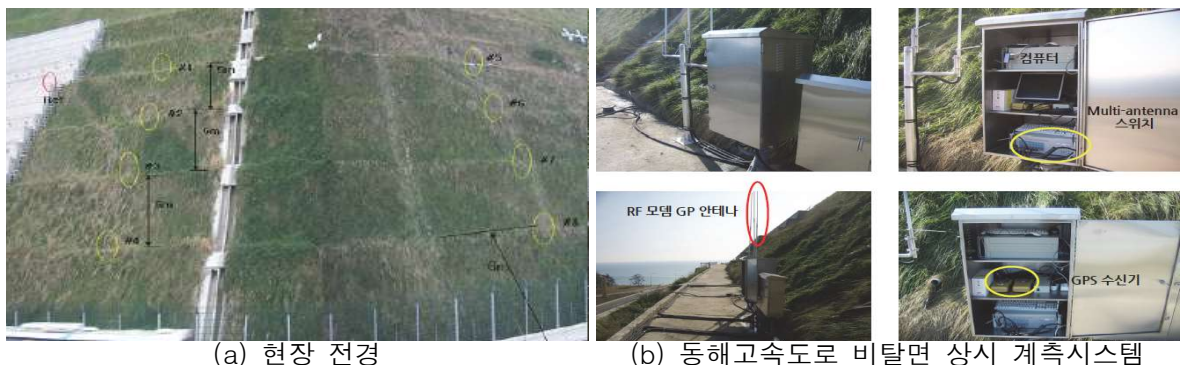
한편 석축의 경우 일반적으로 그 구조상 높게 축조되지 않기 때문에 일반적으로 그림 1.6(a)와 같이 대상 구조물을 철거한 후 신규구조물을 축조하며, 현장여건에 따라 영구앵커공법을 적용하기도 한다. 그러나 석축에 대한 보강공법 적용시 노후 석축의 경우 전석 사이로 토사 유실이 발생하여 배면의 안정성이 저하되는 경우가 많기 때문에 이에 대한 고려 없이 표면만을 보수하거나 앵커보강을

할 경우 오히려 안정성에 문제가 발생할 수 있으며, 석축은 콘크리트 옹벽이나 보강 그리드가 시공된 보강토옹벽이 연속체 거동을 보이는 것과 달리 석축은 전석사이의 결속력이 없기 때문에 앵커보강을 수행하더라도 국부파괴의 가능성이 높으므로 이를 고려하여야 한다.

2.4 기존 계측관리시스템의 한계

국내 비탈면 모니터링 시스템은 2010년대에 시범적으로 구축하기 시작하였으며, 그 중 현재까지 유지되고 있는 시스템은 행정안전부 및 국토교통부의 붕괴위험지구 모니터링 시스템과 한국도로공사 비탈면올빼미 시스템인 것으로 확인된다. 현재까지 붕괴위험지구 모니터링 시스템은 초기 시범지구에 대한 시스템 구축 후 모니터링 시스템의 확대·확산이 미진한 실정이지만, 한국도로공사 사면올빼미 시스템은 2018년 5월 기준 전국 600개소에 구축된 것으로 알려져 있다.

그러나 현재 운영 중인 계측관리 시스템은 계측정보를 상황관제시스템을 통해 관리하여 예·경보를 발령하고 있으며, 일반인에게 공개되어 있지 않아 실시간으로 위험정보를 확인 할 수 없는 것이 현실이다. 또한 영상정보, GNSS 기반 센서, 실시간 계측관리 등으로 인해 관련 모니터링 시스템의 전력소모가 커서 상시전원이나 별도의 충전시스템이 필요하다는 문제점이 상사계측관리 시범지구 운영 결과 제기되어 왔으며, 이러한 별도 전원시스템과 통신중계기 설치 등에 따른 과다한 시스템 구축비용으로 인하여 비탈면 모니터링 시스템의 활성화가 미진한 것으로 판단되고 있다.



* 이미지출처 : 비탈면 계측 유지관리(한국도로공사, 유병옥, 2013)

그림 1.7 동해고속도로 비탈면 상시 계측시스템



그림 1.8 행정안전부 및 국토교통부의 비탈면 모니터링 시스템 구축 사례

3. 연구개발 목표 및 범위

3.1 연구개발 목표 및 범위

(1) 연구개발 목표

구분	내용
최종 목표	• 노후 옹벽 및 석축 유지관리를 위한 식생옹벽용 비철거식 시공기술 및 LPWA기술 LoRa 기반의 옹벽구조물 유지관리기술 개발
연구개발 범위	• 노후 옹벽 및 석축 보강 및 유지관리를 위한 식생 가능한 옹벽공법 개발 • 노후 옹벽 및 석축에 대한 식생옹벽용 비철거식 시공기술 개발 • LoRa 기반의 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 키트 개발 • LoRa 기반의 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 계측정보 관리시스템 구축

(2) 연구개발 범위

① 노후 옹벽 및 석축 보강 및 유지관리를 위한 식생 가능한 옹벽공법 개발

- 노후 옹벽 및 석축에 대한 현황 조사와 노후 옹벽 및 석축의 붕괴위험지구로 지정된 사례를 조사하여 노후 옹벽 및 석축 보강 공법 개발을 위한 근거자료로 활용하였다.
- 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법은 안정성 검토를 통해 보강재의 재원을 결정하며, 필요시 영구앵커의 적용이 가능하도록 구상되었다. 영구앵커 보강이 필요한 경우앵커의 긴장력에 의한 기존 노후 옹벽 및 석축의 파손을 방지하기 위하여 영구앵커 지압판을 일체화 시킬 수 있도록 구상되었다.
- 개발된 노후 옹벽 및 석축 비철거식 보강공법용 자재는 공인인증시험기관의 공인인증시험을 통해 시험성적서를 발급 받았으며, 특히 영구앵커 지압판의 경우 공인인증시험기관을 통해 실물성능 시험 수행하였다.

② 노후 옹벽 및 석축에 대한 식생옹벽용 비철거식 시공기술 개발

- 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법의 시공방법은 주관연구기관인 (주)대한지오이엔씨에서 보유한 '식생기반재를 사용한 친환경 옹벽(특허10-1244810)' 기술의 시공경험을 바탕으로 하고 있으며, 노후 옹벽 및 석축의 특성을 반영하여 연구개발 기술의 시방서(안)를 마련하였다.
- 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법 및 유지관리 기술에 대한 평가·검증을 위해 테스트 베드 지역에 대한 시험시공 및 유지관리시스템을 구축하였으며, 이를 통해 개발된 연구개발 기술을 보완하였다.

③ LoRa 기반의 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 키트 개발

- 공동연구기관인 (주)피엘네트웍스에서는 LoRa를 기반으로 한 오산시 독거노인 돌보미 서비스, 터널 계측관리 시스템을 개발/구축 경험을 활용하여, LoRa 기반의 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 키트를 개발하였다.
- LoRa 기반의 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 키트는 통신부, 전원공급부, 경사계가 일체화되어 있으며, 앵커하중을 측정하는 로드셀, 신축계는 유지관리 키트에 추가적으로 장착할 수 있도록 구상되었다.

④ LoRa 기반의 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 계측정보 관리시스템 구축

- LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 키트로부터 수집된 계측정보를 활용할 수 있는 계측정보 관리시스템 개발을 개발하였다.

제2장. 국내외 기술 개발 현황

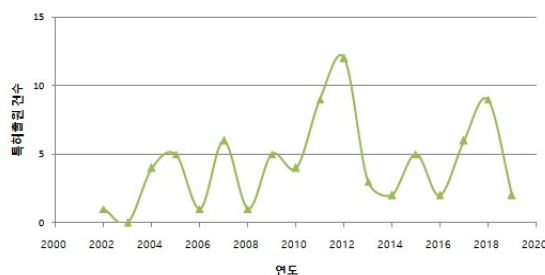
1. 노후 옹벽 및 석축의 보수·보강기술 및 유지관리 기술 현황

국내 노후 옹벽 및 석축의 보수·보강 기술 현황 분석을 위하여 특허정보 검색 및 분석을 수행하였다. 특허정보 검색 및 분석은 옹벽 및 석축의 보수 보강에 관련된 분석과 옹벽 및 석축의 유지관리에 관련된 분석으로 구분하여 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1.1 노후 옹벽 및 석축의 보수·보강기술 현황

(1) 국내 노후 옹벽 및 석축의 보수·보강기술 현황

옹벽 및 석축의 유지, 보수, 보강, 식생에 관련된 특허 검색결과 2000년 이후로 총 88건이 검색되었다. 연도별로는 그림 2.1(a)와 같이 우면산 산사태가 발생한 2011년 이후 큰폭으로 증가하였으며, 연간 2건이상 지속적인 특허 등록이 이루어지고 있다. 관련 특허를 가장 많이 보유하고 있는 기관은 산림청 4건이며, 특허를 2건 이상 출원한 기관의 특허 갯수는 전체 특허 건수 대비 32.5%에 불과하여 다양한 기관 및 개인이 관련 특허를 보유하고 있는 것으로 확인된다.



(a) 특허 등록 연도별 분포



(b) 특허 등록 기관별 분포

출처 : 특허정보넷 키프리스 참조(www.kipris.or.kr)

그림 2.1 옹벽 및 석축의 유지·보수·보강관련 특허 등록 현황

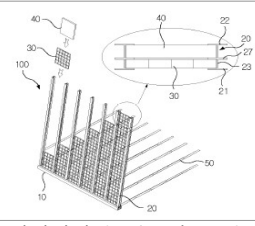
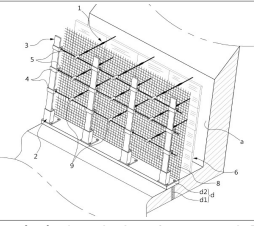
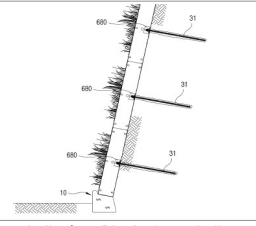
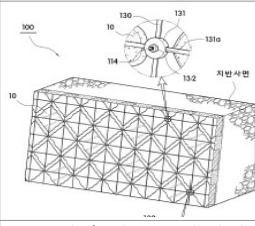
국내 등록된 옹벽 및 석축의 보수·보강 기술, 옹벽 구조물의 녹화와 관련된 특허의 대부분은 기존 옹벽, 석축 구조물의 구조적 안정성 등을 향상시키기 위한 장치 또는 시공방법, 녹화방법에 관한 기술들로서 노후 옹벽을 대상으로한 보수·보강 특허는 단 1건만이 확인되고 있다. 그 중 가장 대표적인 기술은 표 2.1과 같다.

국내 관련 기술 중 개발기술과 가장 유사한 기술은 패널 삽입식 옹벽 및 옹벽시공방법(특허 10-0467234), 식생 옹벽 구조물(특허 10-1394315), 옹벽 축조용 식생블록(특허 10-1818117), 석축 보강장치 및 석축 보강방법(특허 10-1904741)으로 확인되며, 각 기술의 기술 내용과 개발 기술과의 차별성은 표 2.2와 같다.

표 2.1 국내 석축 및 옹벽의 보수·보강기술 현황

기술명	등록번호	특허권자	비고
식생 절토부 패널로 이루어지는 절토부 옹벽	10-2019-0105106(출원)	공학봉	
식생 및 조경용 프리캐스트 패널 옹벽 구조물	10-2018-0045849(출원)	(주)동림이엔지	
식물 생육이 가능한 조립식 패널 및 이를 이용하여 제조된 조립식 패널 조립체	10-1793451	이광진	
도로사면 보호용 친환경 식생구조물 및 이의 시공방법	10-0935176	(주)홍익기술단	
도로의 녹화용 옹벽 구조물	10-0589328	(주)길평	
숏크리트로 시공된 사면의 녹화공법	10-0707521	서광원	
식생 옹벽 구조물	10-1394315	(주)브룸	
옹벽 축조용 식생블록	10-1818117	(주)한주이엔씨	
친환경 옹벽 시스템 및 친환경 옹벽 시공방법	10-0966801	(주)비엠테크	
패널 삽입식 옹벽 및 옹벽시공방법	10-0467234	(주)포스코	

표 2.2 국내 석축 및 옹벽의 보수·보강기술 현황

구분	패널 삽입식 옹벽 및 옹벽시공방법	식생 옹벽 구조물	옹벽 축조용 식생블록	석축 보강장치 및 석축 보강방법
지적 재산권	10-0467234	10-1394315	10-1818117	10-1904741
개념도				
기술 내용	▶사면전면에 앵글과 보강띠를 설치한 후 강재패널과 식생매트를 설치하여 식생의 활착을 도모하는 기술	▶사면에 대한 앵커 보강후 앵커의 강연선과 강선재로 식생의 활착 도모하는 기술	▶식생이 활착된 식생블록과 네일링으로 사면을 녹화/보강하는 기술	▶투수성이 높은 매쉬패널과 네일링으로 보강하는 노후 석축 보강 대책기술
개발 기술의 차별성	▶토사 쌓기면에 별도의 식생 생육공간 없이 적용되어 식생활착 한계 ▶노후 옹벽 및 석축에 적용시 생육공간 부족으로 식생활착 한계 ▶비탈면 보강효과 없음 ▶비탈면 형상에 따른 현장 적용성 저하	▶별도의 식생 생육공간 없이 토사비탈면에 적용되는 기술 ▶노후 옹벽 및 석축에 적용시 생육공간 부족으로 식생활착 한계 ▶강관 및 강선재로 구조물을 조성하여 옹벽 형상 유지 어려움	▶식생블록의 두께만으로 식생 생육공간을 조성 ▶노후 옹벽 및 석축에 적용시 생육공간 부족으로 식생활착 한계 ▶구조적으로 앵커적용이 어려움	▶식생 활착이 고려되지 않음 ▶노후 구조물의 노출되어 지속적인 노후화 진행 ▶구조적으로 앵커적용이 어려움

(2) 해외 노후 옹벽 및 석축의 보수·보강기술 현황

해외에서도 노후 옹벽 및 석축의 노후화 문제를 인식하고 이에 대한 보강 공법에 관한 기술을 개발하여 적용하고 있으며, 특히 일본의 경우 환경적, 사회적 특성에 의해 많은 보강 기술이 개발되고 있다. 그러나 개발기술과 같이 붕괴 위험이 있는 현장에 대하여 공장 제작된 패널과 앵커 및 네일 보강 시스템을 활용하여 급속시공이 가능하며, 식생이 가능한 친환경적인 기술은 확인되지 않고 있다.

표 2.3 국외 석축 및 옹벽의 보강 기술 현황

기술명	등록번호	특허권자	비고
既存擁壁の補強構造及び補強工法	공개번호 24026250	IRITECH CO LTD	등록
既設土留擁壁の補強構造	공개번호 27196981	KOKUDO SAISEI KENKYUSO CO LTD	등록
既設擁壁の補強構造および既設擁壁の補強工法	04591878	株式会社複合技術研究所	등록
Concrete replacement wall and method of constructing the wall	04911582	Schnabel Foundation Company	등록
Green concrete retaining wall and method for onstructing the same	06494009	-	등록



(a) 일본 사례 1



(b) 일본 사례 2



(c) 일본 사례 3



(d) 일본 사례 3



(e) 미국 사례



(f) 영국 사례

* 이미지출처 :

<http://livedoor.blogimg.jp/>, <http://www.nn-techinfo.jp/>, <http://www.youheki.com/>
<http://www.ohta-geo.co.jp/>, <http://www.protectahome.co.uk/>

그림 2.2 해외 노후 옹벽 및 석축 보강사례

(3) 경량지압판 개발 현황

옹벽 구조물의 결함 중 경사 및 전도에 대한 가장 효과적인 대책공법 중 하나인 앵커보강 공법은 영구앵커의 긴장력으로 인하여 앵커의 긴장력에 대한 구조적 안정성이 확보되어야 한다. 이로 인하여 구조물에 앵커를 직접 시공하기보다 앵커 긴장력을 분산시키기 위하여 지압판을 사용한다. 그러나 국내에서 가장 일반적으로 활용하고 있는 설계하중 400 ~ 450 kN의 영구앵커에 대응하는 격자블럭형 RC지압판의 경우 그 자중이 1,500 kg 이상이기 때문에 자재의 운반과 시공에 중장비의 사용이 필수

적이다. 그러나 노후 석축과 옹벽의 경우 난개발이 이루어진 구도심지에 위치한 경우가 많기 때문에 노후 석축과 옹벽을 보강하기 위해 필요한 중장비의 접근과 중량의 보강구조물을 적용하는데 한계가 있다. 특히 국내에는 지압판 설계방법이나 품질, 시험기준이 마련되어 있지 않기 때문에 앵커 지압판에 대한 실물 성능평가가 이루어진 경우가 거의 없는 것이 현실이다. 또한 실제 앵커 사용연수 미경과시뿐만 아니라 시공 초기, 영구앵커 긴장정착시에도 다양한 형태의 지압판 파괴 사례가 보고되고 있다(그림 2.3(b)). 이와 같은 지압판의 파괴는 앵커 지압판에 대한 실물성능평가 미수행에 따른 성능부족, 지압판 생산 및 시공 불량, 지압판 설치 비탈면의 평탄화 부족뿐만 아니라 RC지압판의 과도한 중량으로 인한 취급 미숙으로 발생하기도 한다.

따라서 본 연구에서는 중장비가 접근하지 못하는 곳에서도 영구앵커 및 격자블럭 시공을 통해 노후 옹벽 및 석축의 안정성을 확보할 수 있도록 인력시공이 가능한 경량의 앵커 지압판 개발 연구를 진행하였다.



(a) 크레인을 활용한 RC지압판 설치



(b) 시공중 RC지압판의 파손

그림 2.3 중장비를 활용한 RC지압판의 설치 및 시공중 파손 사례

앵커 지압판과 관련된 국내 특허 등록 현황은 표 2.4와 같이 강-콘크리트 합성구조, 강재, RC 지압판 등으로 구분되고 있으며, 국내 지압판 취급 업체 현황 및 제품유형은 표 2.5와 같다. 그러나 국내의 경우 지압판 설계방법이나 품질, 시험기준이 마련되어 있지 않기 때문에 지압판과 관련된 연구개발은 미흡한 실정이며, 비교적 제품개발에 유리한 강재 지압판, 강콘크리트 합성구조 지압판이 개발되고 있으나 현재 상용화 되고 있는 경량 지압판은 일부 강재지압판에 국한되고 있는 실정이다. 그러나 일본에서는 RC지압판의 문제점을 극복하고 경량 지압판 사용에 따른 시공비 절감을 위해 표 2.6, 그림 2.4와 같이 고강도콘크리트, 플라스틱, 강재, 복합소재 등 다양한 소재와 형태의 경량지압판을 개발하여 적용하고 있으며, 경량지압판과 시공방법을 신기술로 지정하고 있다.

표 2.4 국내 지압판 취급 업체 현황 및 제품유형

업체명	제품 유형	업체명	제품 유형
(주)동아특수건설	RC지압판	(주)에이팩콘크리트	RC지압판
(주)모현씨앤디	RC지압판	지오알앤디	RC지압판
(주)보강기술공사	RC지압판	(주)청아건설	강재 지압판
(주)비엠테크	RC지압판	한솔물산	RC지압판
삼안기업	RC지압판	(주)한토이앤씨	RC지압판
설송ENC	RC지압판	(주)효창이엔지	RC지압판
스마텍엔지니어링	강재 지압판	-	-

표 2.5 국내 지압판 관련 특허 등록 현황

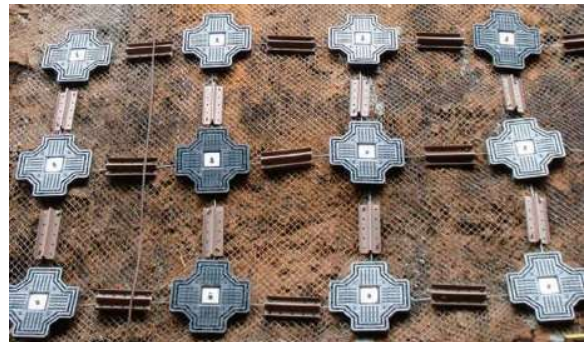
기술명	등록번호	특허권자	비고
지반 관입 앵커가 정착되어 사면을 보강하게 되는 강-콘크리트 합성구조의 앵커 지압판	10-1643916	스마텍엔지니어링	등록(한국)
가변 착지식 지압판	10-0958751	극동엔지니어링(주)	등록(한국)
침하 억제형 지압판	10-1316740	(주)청아건설	등록(한국)
밀봉형 지압판 및 이를 이용한 사면 보강 공법	10-1449560	(주)청아건설	등록(한국)
앵커분력을 보강한 비탈사면용 콘크리트앵커블록	10-1789567	비알테크(주)	등록(한국)
지면 밀착식 박판형 확대 지압판	10-1614358	신창섭	등록(한국)

표 2.6 경량 지압판 관련 일본 건설신기술 등록 현황 (<http://www.netis.mlit.go.jp>)

기술명	등록번호	등록권자	비고
ESCON受圧板 (ESCON 지압판)	QS-170016-A	株式会社エスイー(주식회사 에스이)	앵커용
アルミディスク (알루미늄 디스크)	CB-180025-A	株式会社トーエス(주식회사 토에스)	네일링용
GTF受圧板工法 (GTF 지압판 공법)	CB-150011-A	イビデングリーンテック株式会社(이비덴그린테크(주))	네일링용
EP受圧板 (EP 지압판)	TH-110011-VE	株式会社STNサービス((주)STN서비스)	네일링용
クロノパネル (크로노패널)	KT-140092-A	日本基礎技術株式会社(일본기초기술(주))	네일링용
NINJAパネル (닌자패널)	TH-140015-A	緑興産株式会社(녹흥산(주))	네일링용



(a) ESCON受圧板 (ESCON 지압판)



(b) クロノパネル (크로노패널)



(c) アルミディスク (알루미늄 디스크)



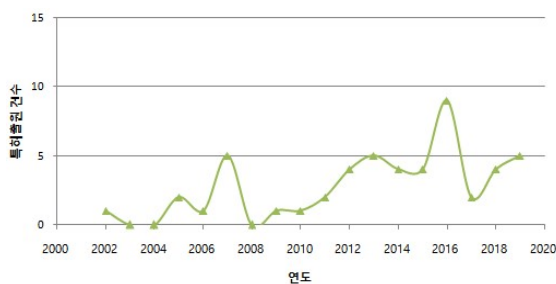
(d) EP受圧板 (EP 지압판)

그림 2.4 일본 건설신기술 인증 경량지압판

1.2 노후 옹벽 및 석축 구조물의 유지관리 시스템 기술 현황

(1) 국내 비탈면 유지관리 관리 시스템 관련 기술 현황

노후 옹벽 및 석축이 포함된 비탈면 유지관리시스템에 관련된 특허 검색 결과 2000년 이후로 52건이 검색되었다. 연도별로는 그림 2.5(a)와 같이 우면산 산사태가 발생한 2011년 이후 연평균 4건 이상 특허 등록이 이루어지고 있다. 관련 특허를 2개 이상 보유하고 있는 기관은 (주)희송지오텍, 금오공과대학교 산학협력단, 장맥엔지니어링, 한국지질자원연구원, (주)지엠지에 불과하여, 특허를 2건 이상 출원한 기관의 특허 개수는 전체 특허 건수 대비 28.0%에 불과하여 다양한 기관 및 개인이 관련 특허를 보유하고 있는 것으로 확인된다.



(a) 특허 등록 연도별 분포



(b) 특허 등록 기관별 분포

출처 : 특허정보넷 키프리스 참조(www.kipris.or.kr)

그림 2.5 비탈면 유지관리시스템 관련 특허 등록 현황

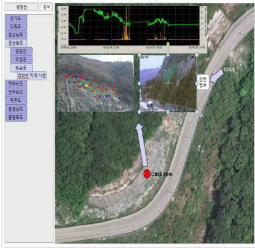
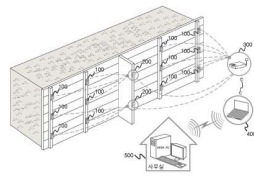
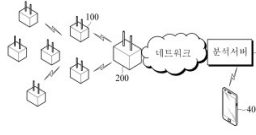
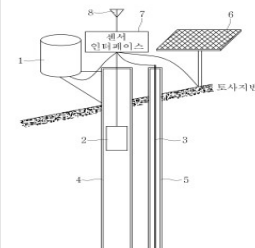
조사된 관련 기술 중 가장 대표적인 기술은 표 2.7과 같으나 보고된 급경사지 모니터링 시스템에 대한 기술은 대부분 계측정보를 구축되어 있는 통신망을 통해 모니터링 시스템을 구축하는 것에 대한 기술이다. 특히 계측정보의 송수신을 위해 활용하는 통신망은 대부분 셀룰러 기반 통신망으로서 영상정보 등 대용량의 송수신이 가능하여 활용도가 높지만, 대량의 전력 소모로 인해 별도의 전원 공급장치를 설치해야 하므로 현장적용성과 경제적인 문제점이 제기되어 왔다.

표 2.7 국내 급경사지 모니터링 시스템 기술

기술명	등록번호	특허권자	비고
웹 기반 EOC의 급경사지 모니터링 방법	10-1551413	금오공과대학교	
지상라이다부 무타켓토탈스테이션부 사면지형 변위 제어모듈의 트레블측량제어를 통한 사면지형 변위 모니터링장치 및 방법	10-1301453	여우순업	
경사 센서를 이용한 구조물의 안전 진단 시스템	10-1083627	한국건설기술연구원	
옹벽의 침하에 대한 계측과 보강 방법	10-1212959	김창원	
경사계를 이용한 지중변위 계측 방법	10-1162918	김경남	
변위예측 기능을 갖는 패널옹벽 및 그 시공방법	10-1706919	김자연	
앵커를 이용한 사면의 안정성평가방법	10-1668944	대전대학교	
무선네트워크 기반 복합사면 감시 장치 및 방법	10-1710666	한국전자통신연구원	
무선센서 네트워크에 의한 산사태 감지 모니터링 시스템	10-1214300	(주)케이티	

개발기술과 가장 유사한 기술은 웹기반 EOC의 급경사지 모니터링 방법(특허10-1551413), 경사센서를 이용한 구조물의 안전 진단 시스템(특허10-1083627), 무선네트워크 기반 복합사면 감시 장치 및 방법(특허 10-1710666), 무선센서 네트워크에 의한 산사태 감지 모니터링 시스템(특허 10-1214300)으로서 그 특징 및 연구개발 기술과의 차별성은 표 2.8과 같다.

표 2.8 국내 비탈면 모니터링 시스템 현황

구분	웹 기반 EOC의 급경사지 모니터링 방법	경사센서를 이용한 구조물의 안전 진단 시스템	무선네트워크 기반 복합사면 감시 장치 및 방법	무선센서 네트워크에 의한 산사태 감지 모니터링 시스템
지적 재산권	10-1551413	10-1083627	10-1710666	10-1214300
개념도				
기술 내용	3차원 웹 지도, 실시간 위성영상, 비탈면 센서에 의해 감지된 정보를 분석하여 이상 징후를 판단하는 모니터링 시스템	USN 통신 모듈을 통해 취합된 계측정보를 바탕으로 이상 거동시 경보를 발생 할 수 있는 시스템	셀룰러 방식의 무선 네트워크 구축을 통한 무선네트워크 모니터링 시스템	근거리 무선통신 모듈 Zigbee를 활용한 모니터링 시스템 구축
개발 기술의 차별성	사진, 동영상 등 고용량 데이터의 송수신을 위한 통신망과 전원 공급장치 필요	자가망 구축에 브릿지노드, 베이스노드 등이 필요하여, 시스템 구축에 비용이 많이 소요됨	셀룰러 방식의 무선통망 활용으로 유지관리비용이 크고 전력소모가 큼	센서 및 무선통신을 위한 별도의 전원공급장치 필요

(2) 국내 비탈면 유지관리 관리 시스템 구축 사례

한편, 국내 비탈면은 해당 비탈면의 관리 주체에 따라 한국도로공사, 철도시설공단, 시설물관리공단, 행정안전부 및 국토교통부(지자체) 등 다양한 기관에서 관리하고 있다. 특히 국토교통부에서는 “도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운영”의 일환으로 지자체에서 관리하는 국도비탈면 중 4개 지구를 선별하여 신축계, 경사계, TDR, 강우계 등을 활용한 비탈면 모니터링 시스템을 구축한바 있으며, 행정안전부에서는 자연재해대책법, 급경사지 재해예방에 관한 법률 등에 따라 급경사지관리대상지 중 붕괴위험이 높은 지역을 붕괴위험지역을 선정하고 그 중에서도 위험도가 높은 지구를 대상으로 예·경보시스템을 구축하여 운영하고 있다. 한편, 한국도로공사에서는 비탈면 문제 발생시 신속한 초기 대응을 위해 2013년부터 고속도로 비탈면 경보시스템을 개발하여 활용하고 있다. 초기 비탈면 경보시스템은 계측기와 유선으로 연결하였으나 최근 비탈면 경보시스템인 사면올빼미를 개발하여 무선 계측관리를 수행하고 있다. 그 외에도 한국지질자원연구원, 국립산림연구원, 한국전자통신연구원에서도 비탈면 모니터링 시스템을 구축한바 있다.

그러나 위 계측관리 정보들은 대부분 GNSS기반 계측과 인터넷, R/F 통신을 통해 송수신하여 해당 주관 사업기관이나 지자체와 중앙의 상황관제 시스템을 통해 관리되고 있다. 특히 위 시스템들

은 변위계, 지하수위계, 하중계 등의 계측정보 외에 영상정보를 포함한 고용량의 데이터를 송신함으로써 전력공급과 통신거리에 제한이 있으며, 따라서 계측 및 통신장비의 구축과 시스템 마련에 소요되는 비용, 기타 유지비용 등에 많은 비용이 필요하기 때문에 현재까지 급경사지 계측 모니터링 사업의 활성화는 미비한 실정이다.

(2) 국외 비탈면 유지관리 관리 시스템 관련 기술 현황

해외에서도 급경사지에 대한 유지관리 기술로 계측을 통한 모니터링을 수행하고 있으며, 다음 표와 같이 계측을 통한 모니터링 관련 기술 특허 등이 보고되고 있다. 그러나 관련 기술들은 계측기기나 GPS기반 계측을 활용한 모니터링 시스템이나 비디오영상 분석을 통한 모니터링 시스템이 대부분을 차지하고 있는 것으로 확인된다.

표 2.9 국외 급경사지 모니터링 시스템 기술

기술명	등록번호	특허권자	비고
斜面の監視システム	21041040 (출원번호)	中央開発株式会社	출원
斜面監視システム	04140699	国際航業株式会社	등록
斜面監視装置および斜面監視システム	05118537	中央開発株式会社	등록
System and method for stabilizing landslides and steep slopes	07708502	Carte Joseph D. Knight John R.	등록
SLOPE MONITORING SYSTEM	01364229	Groundprobe Pty Ltd	등록

2. 기술개발 성숙도

본 연구개발 기술은 노후 옹벽구조물의 보수보강기술과 유지관리 기술의 융합형 기술로서 연구 착수 시점과 연구 종료 시점의 기술개발 성숙도는 다음과 같이 분류된다.

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☒	☐	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☒	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☒	☒	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☒	TRL 9	현장적용/사업화 단계

본 연구에서 개발하고자 하는 노후 옹벽 및 석축의 보수보강기술은 기존 상용화된 비탈면 보강기술을 바탕으로 노후한 옹벽구조물에 활용할 수 있도록 개선하는 것을 목표로 하고 있으며, 따라서 기존 상용화된 비탈면 보강기술을 바탕으로 하기 때문에 TRL 6~8로 분류할 수 있다. 특히 본 연구에서는 노후한 옹벽구조물에 대한 안정성 확보를 위해 앵커 및 네일링을 활용한 보강기술을 접목시킬 계획이며, 앵커 및 네일링은 비탈면 보강, 옹벽 보강, 구조물 보강 등 다양한 분야에서 활용되고 있기 때문에 그 신뢰성과 안정성이 검증된 상태이다.

한편, 본 연구에서 개발하고자 하는 노후 옹벽구조물의 유지관리 기술은 기존 급경사지 모니터링 기술과 달리 LoRa기술을 활용한 모니터링 시스템이다. LoRa기술은 저전력 장거리 통신망으로 별도의 통신 규제나 기술 제한을 받지 않는 오픈된 저주파수 통신 기술으로서 이미 해외는 물론 국내에서도 도입되고 있는 기술이기 때문에 TRL 6~8에 해당된다.

위와 같이 연구개발 제품의 기반 기술 현황은 TRL 6~8에 해당되며, 2차년도 테스트베드를 대상으로 한 시험시공, 시범운행을 통해 개발 기술의 완성도를 확보하여 TRL 8~9단계로 완료 되었다.

제3장. 연구수행내용 및 성과

1. 연구개발 추진 전략 및 방법

1.1 추진전략·방법

(1) 주관기관 ((주)대한지오이엔씨)

주관기관인 (주)대한지오이엔씨는 노후 옹벽 및 석축 유지관리를 위한 식생옹벽공법 및 비철거식 시공기술 개발을 수행하며 LPWA기술 LoRa기반의 유지관리시스템을 효율적으로 연계할 수 있는 방안과 유지관리를 용이하게 할 수 있는 방안에 대하여 검토하여 연구를 수행하였다. 특히 테스트베드에 대한 시험시공을 수행하여, 개발 기술의 적용성 검토를 통해 개선점을 보완함으로써 개발 기술의 완성도를 향상시키기 위하여 노력하였다.

(2) 공동연구기관 ((주)피엘네트웍스)

공동연구기관인 (주)피엘네트웍스에서는 LPWA기술 LoRa기반의 유지관리기술을 개발하기 위하여 노후 옹벽 및 석축 유지관리 키트와 모니터링시스템을 개발하였으며, LoRa 기반의 유지관리 계측정보 관리시스템이 효과적으로 계측신호를 감지하고 예경보를 발신하는지에 대한 검증 평가를 수행하였다.

1.2 단계별 개발내용

(1) 주관연구기관 ((주)대한지오이엔씨)

1차년도 2018.04.17 ~ 2018.12.31	기술동향 및 공법 자료 조사	선행기술 조사
		국내시장 및 수요처 조사
		해외시장 조사
	노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법 시공방법 연구 및 유지관리를 식생옹벽 시제품 제작	요구성능 설정
		시방도서 작성
		시작품 제작 및 자재 시험
		특허 출원
2차년도 2019.01.01 ~ 2019.12.31	유지관리키트와 연계한 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법 시험시공	시작품 제작
		시험 시공
	노후 옹벽구조물 비철거식 보강공법 시공방법 및 유지관리를 식생옹벽 계측정보 관리시스템 적용성 평가	테스트 베드 운영
		성능 검증
		특허 출원
	노후 옹벽구조물 비철거식 보강 및 유지관리를 식생옹벽 상용화	시제품 도면 개발
		사업화 추진
		시작품 개선

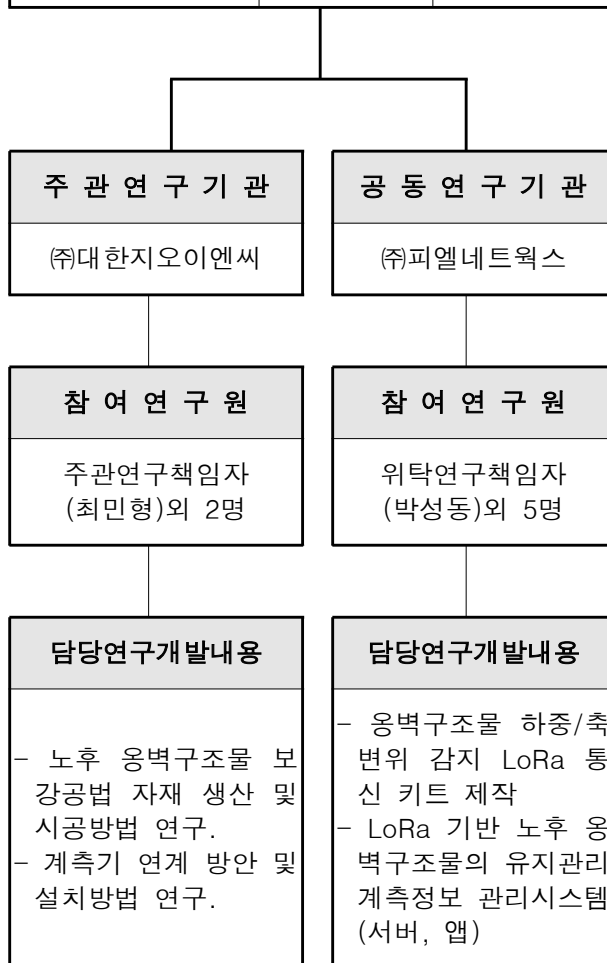
(2) 공동연구기관 ((주)피엘네트웍스)

1차년도 2018.04.17 ~ 2018.12.31	기술동향 및 공법 자료 조사	선행기술 조사
		국내외시장 및 수요처 조사
	LoRa Module 및 Evaluation Kit 개발	요구성능 설정
		시작품 제작 및 자재 시험
2차년도 2019.01.01 ~ 2019.12.31	서버, 앱 개발	서버, 앱 개발
	LoRa망 연동시험	단말, 게이트웨이 연동
		종합 망 연동시험
	상용화 검증	테스트 베드 시범구축
		KC 성능 검증

1.3 연구개발 추진 체계

연구개발과제	
과제명	노후 옹벽 및 석축 유지관리를 위한 식생옹벽용 비철거식 시공기술 및 LPWA기술 LoRa기반의 유지관리기술 개발

기관별 참여 현황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	9	9
대 학	-		
국공립(연)	-		
출 연 (연)	-		
기 타	-		



1.4 추진일정

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
주 관	(주)대한 지오 이엔씨	1	1-1	1-1-①	자료 조사										
					요구성능 설정										
					특허 출원										
			1-2	1-2-①	시작품 제작										
					시험 시공										
					테스트 베드 운영										
					성능 검증										
					시제품 도면 개발										
					사업화 추진										
주 관	(주)대한 지오 이엔씨	2	2-1	2-1-①	자료 조사										
					시방도서 작성										
					특허 출원										
			2-2	2-2-①	시작품 제작										
					성능 검증										
					시험 시공										
					시작품 개선										
공 동	(주)피엘 네트웍스	3	3-1	3-1-①	자료 조사										
					시작품 제작										
					특허 출원										
공 동	(주)피엘 네트웍스	4	4-1	4-1-①	자료 조사										
					시작품 제작										
					테스트 베드 운영										
					시작품 개선										

2. 연구개발 성과

2.1 주요 연구개발 성과

표 3.1 특허 출원 및 등록 성과

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록 번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	기능성 앵커 지압판	한국	(주)대한지오이엔씨	2018.12.11	10-2018-0158981	-	(주)대한지오이엔씨	2019.11.05	10-2043124	-	
2	LoRa 네트워크 시스템을 이용한 옹벽 및 석축 관리 시스템	한국	(주)대한지오이엔씨	2018.12.28	10-2018-0172975	-	-	-	-	-	
3	노후옹벽의 보강구조 및 보강방법	한국	(주)대한지오이엔씨	2019.01.04	10-2019-0001316	-	-	-	-	-	

표 3.2 논문 게재 성과

번호	논문명	학술지명	주 저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호*
1	SMC(Sheet Molding Compound) + FRP 복합소재 샌드위치 패널구조의 앵커지압판 개발 연구	한국방재학회 논문집	최민형	19권 7호 (2019년 12월호)	한국	한국방재학회	비SCI	2019.12.	-

표 3.3 시제품 성과

번호	시제품명	성과종류	개발기관	출원·등록 순번	비고
1	노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법	시제품 도면	(주)대한지오이엔씨	-	
2	노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법	시제품 시험성적서	(주)대한지오이엔씨	-	
3	노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법 시공기술	공법 시방서	(주)대한지오이엔씨	-	
4	LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 키트	시제품	(주)피엘네트웍스	R-R-PLn-PLS100W	

표 3.4 S/W등록 성과

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
1	노후 석축 옹벽 유지관리 서버	2019.07.19	(주)피엘네트웍스	2019.08.05	C-2019-021658	(주)피엘네트웍스	100

표 3.5 신규 인력 채용 성과

번호	기관명	성명	직급	과제참여기간	기타
1	(주)대한지오이엔씨	서상훈	차장	2019.01.01~2019.12.31	
2	(주)피엘네트웍스	서성원	부장	2018.04.19~2019.12.31	

2.2 기술적 성과

연구개발 기술은 노후 석축 및 옹벽에 대한 보강 기술과 LoRa 기반 노후 석축 및 옹벽 유지관리 시스템으로 구성되어 있다. 위 두 기술은 재난안전분야 국가전략 기술 4가지 중 자연재해 모니터링·예측·대응기술, 기반시설 기능유지 및 복구·복원기술, 재난 정보통신 체계기술 3가지에 해당되는 기술로서 적용성과 활용성이 매우 높은 기술이다. 특히 관련 분야의 국내 기술은 선진국 대비 72~78% 기술 수준인 것으로 확인되고 있으며, IoT 기술 개발에 따라 연구개발이 시급히 요구되고 있는 기술 중 하나로 분류되고 있다.

표 3.6 재난안전 분야 국가 전략 기술별 기술수준 및 기술격차('14)

국가전략 기술명	기술수준(%)			기술격차(년)		
	평균	기초	응용	평균	기초	응용
재난안전 분야 전체	73.0	72.0	73.9	6.0	6.4	5.5
자연재해 모니터링·예측·대응기술	74.6	74.3	74.9	6.0	6.4	5.6
기반시설 기능유지 및 복구·복원기술	74.1	72.2	76.0	6.8	7.4	6.2
재난 정보통신 체계기술	77.7	77.3	78.0	3.9	4.2	3.6

* 출처 : '16 재난 및 안전관리기술개발 시행계획(안)

(1) 노후 석축 및 옹벽에 대한 보강 기술 확보

현재까지 노후 석축 및 옹벽에 대한 보강공법으로 활용되고 있는 기술은 기존 비탈면 보강공법과 동일 한 기술을 적용하여 노후된 석축과 옹벽의 특성에 대한 고려가 미흡하며, 표면만을 보수하거나 앵커보강만 시공 할 경우 안정성 저하의 근본원인을 해결하지 못함으로 오히려 안전성에 문제가 될 수 있다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 기술은 노후 석축과 옹벽의 특성을 반영하여 대상 노후 구조물을 철거하지 않고 보강 할 수 있으며, 대상 시설물의 전면에 식생이 가능한 친환경 기술이다.

특히 현장 특성에 따라 영구앵커 보강이 필요한 경우에도 복합소재 지압판을 활용함으로써 인력 시공이 가능하며, 복합소재 지압판은 기존 RC지압판 대비 5% 미만의 자중으로 제작되기 때문에 영구 앵커공 자재 자체로의 활용성도 매우 높을 것으로 기대된다.

(2) LoRa 기반 계측관리 시스템 기술 확보

현재 구축되어 운영되고 있는 급경사지 모니터링 시스템은 기술적, 경제적으로 그 한계가 명확하여 관련 계측시장이 활성화 되고 있지 않다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 LoRa를 기반으로 한 계측 관리 시스템은 저전력 장거리 통신이 가능한 오픈된 기술을 활용함으로써 그 활용도가 매우 높으며, 통신망 구축 및 계측관리 시스템 유지관리비용을 절감할 수 있는 기술로 계측관리 시장에 큰 파급효과를 불러 올 수 있는 기술로 기대되고 있는 기술이다. 따라서 본 연구를 통해 LoRa를 기반으로 한 계측관리 원천 기술을 확보함으로써 국내는 물론 국제적으로 관련 기술과 시장을 선도 할 수 있을 것으로 기대된다.

특히 과제로 개발한 유지관리키트의 통신단말은 KC인증을 획득하여 산업설비 모니터링 및 제어용으로 활용 할 수 있어 스마트팩토리 구축에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2.3 경제적 성과

(1) 노후 석축 및 옹벽에 대한 보강대책사업 활성화

기존 노후 석축 및 옹벽에 대한 보강대책사업은 적용 공법과 주변시설물, 현장여건 등에 의해 정량화하기 어려우며, 시공기술을 보유한 소수의 영세 시공업체에 의해 수행되어 온 것이 현실이다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 보강대책기술은 국가 연구개발 사업 내에서 현장 적용성 검토, 연구 성과 평가, 주요 요소자재에 대한 공인인증시험을 통해 개발되어 객관적으로 증빙된 기술이라고 볼 수 있다. 따라서 개발기술은 관련 보강대책사업의 성능기준, 사업예산마련 기준 등으로 활용 될 수 있을 것으로 기대되며, 이를 통해 노후 석축 및 옹벽에 대한 보강대책사업 활성화가 가능할 것으로 기대된다.

(2) 계측관리 시장의 확대 및 활성화

본 연구개발을 통해 개발된 LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축 유지관리 시스템은 기존 계측 시스템과 달리 저전력 원거리통신이 가능한 통신키트와 경사계, 배터리가 일체화된 단말기로 제작되었으며, 상황에 따라 지표변위계나 하중계를 결속하여 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 특히 현장상황, 계측 개소수에 따라 공용통신망을 사용하거나 자가망을 구축하여 시스템을 구축할 수 있으며, 공용통신망을 활용할 경우 게이트 웨이 등의 자가망 구축을 위한 시설비가 소요되지 않으므로 유지관리 시스템 구축비용을 획기적으로 절감할 수 있는 기술이다.

기존 계측관리 시스템은 특성상 기기비용 외에도 전원공급장치나 충전시스템이 필요하기 때문에 설치 및 유지관리에 많은 비용이 소모되고 있으며, 이러한 특성으로 인해 기존 계측관리 시스템은 시장 확대, 활성화가 미비한 실정이다. 그러나 본 연구개발 기술은 기 개발된 계측관리시스템 대비 계측관리 시스템 구축 및 운영, 유지관리 비용을 현저히 감소시킬 수 있어 동일한 사업비로도 다수의 현장에 대한 계측관리를 수행할 수 있기 때문에 계측관리 시장 활성화에 기폭제가 될 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 현장 적용에 의한 비용절감효과

① 노후 옹벽 및 석축 비철거식 보강기술(식생옹벽) 현장 적용에 의한 비용절감 효과

개발기술의 현장 적용에 의한 비용절감효과는 다음 표3.9와 같다. 비용절감효과 분석을 위한 시공비 자료는 주관연구기관인 (주)대한지오이엔씨에서 실제 계약을 체결(도급금액)하고 시공한 사례 현장을 바탕으로 하였으며, 그 상세 자료는 첨부#7에 첨부하였다.

표와 같이 네일 보강형식 기준으로 네일합벽식 옹벽을 설치하는 경우 318,866원/m², 주관연구기관인 (주)대한지오이엔씨가 보유한 기존 네일식생옹벽을 설치하는 경우 335,170원/m², 격자블럭+영구

앵커 보강을 수행하는 경우 248,714/m²의 비용이 소요된다. 따라서 연구개발 기술은 기존 기술인 네일합벽식 옹벽과 네일식생옹벽 기술 대비 74.7~78.5%의 비용으로 수행 가능하며, 기존 기술 대비 약 21.5~25.3%를 절감할 수 있는 것으로 확인되었다.

특히 기존 기술인 네일합벽식 옹벽과 네일식생옹벽 기술은 노후된 옹벽과 석축을 대상으로 할 경우 대상 구조물을 철거한 후 적용되어야 하기 때문에 철거비용과 폐기물처리 비용 추가로 인하여 철거+네일합벽식 옹벽 365,409원/m², 네일식생옹벽 381,714원/m²의 비용이 소요된다. 따라서 연구개발 기술은 철거 비용을 포함한 기존 기술 대비 65.6~68.5%의 비용으로 수행 가능하며, 기존 기술 대비 약 31.5~34.4%를 절감할 수 있는 것으로 확인되었다.

표 3.7 노후 옹벽 및 석축 비철거식 보강기술(식생옹벽) 현장 적용에 의한 비용절감 효과 비교 대상

구분		사업명	발주처	시공사	시공·계약연도
개발기술(네일보강형)		서부우회도로(가장-두곡간) 및 대로 3-12호선 개설공사 중 네일식생옹벽공사	오산세교2서부우회도로 및 대로3-12호선 317지방도 연결공사통합건설사업단	(주)대한지오이엔씨	2018
기 존 기 술	네일합벽식 옹벽	위례지구 북측도로 건설공사 중 네일합벽옹벽공사	LH공사	(주)대한지오이엔씨	2017
	기보유 네일식생옹벽	아차성길 노후옹벽 및 석축정비공사 식생옹벽보강	서울특별시 광진구	(주)대한지오이엔씨	2011
	격자블럭+앵커 보강	건설공사 표준품셈에 따른 일위대가 작성 후 비교검토 수행			

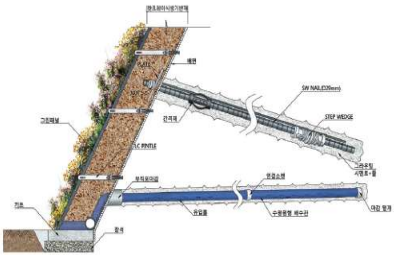
② 노후 옹벽 및 석축 유지관리 시스템 현장 적용에 의한 비용절감 효과

유지관리 시스템의 현장적용에 의한 비용절감 효과 검토를 위하여 표3.8과 같은 나라장터 사업공고 내역을 참조하였으며, 비용절감 효과에 대한 검토 결과는 표 3.10과 같다. 테스트 베드 시험 시공을 바탕으로 한 개발 기술의 시장가격은 기존 기술과 달리 중계기, 전원공급장치 등이 불필요하기 때문에 개소당 1,120,000원의 비용으로 책정될 예정이며, 이 비용은 수동계측비 대비 74.3%, TRS 기반 상시계측 대비 14.5%, GNSS 기반 상시계측 대비 9.4%의 저렴한 수준인 것으로 분석되었다. 특히 사업자 통신망의 LoRa 통신 방식 적용시에는 게이트웨이 등 자동계측통신시스템의 구축이 불필요하므로, 이에 따른 비용 절감효과가 더욱 클 것으로 예상된다.

표 3.8 노후 옹벽 및 석축 유지관리 시스템 현장 적용에 의한 비용절감 효과 비교 대상

구분		사업명	발주처	시공사	공고연도
개발기술(유지관리키트)		시범적용	-	-	-
기 존 기 술	수동 사면계측관리	주택가주변 위험절개지 사면계측관리용역	서울시관악구	-	2008
	상시 사면계측관리 (TRS 기반)	국도17호선 금산터널 비탈면 상시계측설비 설치공사	논산국토관리사무소	-	2017
	상시 사면계측관리 (GNSS 기반)	충주국토 관내 상시계측시스템 고도화 사업	충주국토관리사무소	-	2019

표 3.9 노후 옹벽 및 석축 비철거식 보강기술(식생옹벽) 현장 적용에 의한 비용절감 효과

구분	개발기술(네일보강형)	네일합벽식 옹벽	기보유 네일식생옹벽	격자블럭+앵커 보강
개념도				
공법개요	노후된 시설물을 철거하지 않고 네일링 또는 앵커보강+숏크리트(선택적) 후 식생패널+식생기반재를 시공하여 식생이 활착되는 친환경 노후 옹벽 및 석축 대책기술	- 노후된 시설물을 철거한 후 네일이 보강된 합벽식 옹벽을 시공하는 노후 옹벽 및 석축 대책기술 - 노후 시설물에 대한 철거 관련 비용 별도	- 네일링 보강+숏크리트 후 철재틀+철망+식생기반재를 시공하여 식생이 가능한 질토부 옹벽을 축조하는 공법 - 노후 시설물에 대한 철거 관련 비용 별도	노후된 시설물을 철거하지 않고 격자블럭+앵커보강을 통한 노후 옹벽 및 석축 대책기술
시공방법	- 보강재 천공 및 설치 - 와이어메쉬설치+숏크리트 - 식생패널 설치(필요시 FRP앵커지압판) - 식생기반재 포설	- 노후 시설물 철거(비용별도) - 보강재 천공 및 설치 - 합벽식 옹벽 철근 배근 및 거푸집 설치 - 콘크리트 타설	- 보강재 천공 및 설치 - 와이어메쉬설치+숏크리트 - 철재틀+철망 설치(필요시 철재앵커지압판) - 식생기반재 포설	- 보강재 천공 및 설치 - 격자블럭 거치 - 영구앵커 인장 정착
시공비	철거 포함	250,440원/m ² (참조#1)	365,409원/m ² (참조#2&3) 145.9%(68.5%)	248,714원/m ² (참조#4) 99.3%(100.7%)
	철거 별도	100%	318,866원/m ² (참조#2) 127.3%(78.5%)	
특징	- 대상 시설물 미철거로 상하부 인접구조물에 대한 영향성이 적음 - 시공완료후 녹화로 미관 개선	노후 시설물 상하부에 인접구조물이 위치한 경우 시공중 구조적 안정성 확보를 위해 추가 비용 필요	노후 시설물 상하부에 인접구조물이 위치한 경우 시공중 구조적 안정성 확보를 위해 추가 비용 필요	격자블럭 설치 외 구간의 균열, 백태 등과 이완, 탈락, 유실 등 국부파괴 가능성에 대한 별도의 조치 필요

첨부#7. 연구 개발 기술의 현장 적용에 의한 비용절감 효과 참조

표 3.10 노후 옹벽 및 석축 유지관리 시스템 현장 적용에 의한 비용절감 효과

구분	개발기술	수동계측	상시계측 [TRS]	상시계측 [GNSS]
개념도				
공법개요	경사계가 내장된 유지관리 키트에 지표 변위계, 지중경사계, 하중계 등을 조합하여 사용할 수 있는 자동계측시스템.	현장에 설치된 계측기기에 방문/접속하여 계측정보를 취득하는 수동 계측 시스템.	GPS기반 말뚝형태의 계측기기를 통해 병진, 전도, 침하를 측정할 수 있는 자동계측시스템	GNSS를 기반으로 다양한 계측기기와 병행하여 계측정보를 취득하는 자동계측시스템
통신 시스템	LoRa 기반 (+ LTE)	-	LTE 기반 (+ RF, LoRa)	LTE 기반 (+ RF, LoRa)
시공 및 유지 관리 ¹⁾	1,120,000원/개소 ^{2) 3)}	1,508,188원/개소 (참조#5) ⁴⁾	7,727,778원/개소 (참조#6) ^{2) 5)}	11,976,503원/개소 (참조#7) ^{2) 5)}
비용절감 효과	100%	134.7%(74.3%)	690.0%(14.5%)	1069.3%(9.4%)
특징	- 해당 구조물의 현장 정기점검시 배터리 교체를 통해 별도의 전원공급장치 필요없이 자동계측관리 가능 - 사업자 통신망의 LoRa통신 방식 적용 시 게이트웨이 등 자동계측통신시스템 구축 불필요(구축비용 절감)	- 계측시마다 현장 방문/접속 필요 - 실시간 예경보 시스템 구축 불가능	- GPS 기반에 따른 과다한 전력소모로 전원공급장치 필요 - 게이트웨이 등 자동계측통신시스템 구축비용 과다	- GNSS 기반에 따른 과다한 전력소모로 전원공급장치 필요 - 게이트웨이 등 자동계측통신시스템 구축비용 과다

주 1) 계측관리 1년 기준.
 2) 보고서 작성 및 현장정기점검 미포함.
 3) 지표변위계 기준, LoRa 통신망 구축 기준.
 4) 수동계측시 월1회 현장 방문 기준.
 5) 자동화시스템 구축 비용(상황실구축, 게이트웨이 등) 별도.

첨부#7. 연구 개발 기술의 현장 적용에 의한 비용절감 효과 참조

2.4 사회적 측면

(1) 노후 시설물 유지관리에 대한 인식 향상

재난발생 관련에 대한 위기 대응체계 구축과 효과적인 운용방안 확립은 인적·경제적 손실 및 국가 신뢰도와 밀접하게 연관되어 있어, 대외적인 국가 이미지의 중요한 척도 중에 하나라고 볼 수 있다. 특히 빅데이터, IoT 기반의 유비쿼터스 환경이 점점 대중화됨에 따라 생활안전이 사회 전반의 안전과 신뢰성을 담보하는 핵심 요소로 자리 잡고 있으며, 그 중 생활 안전 산업은 고부가가치를 가진 새로운 성장 산업, 국가의 안위와 치안을 맡고 있는 방위산업, IT를 기반으로 한 미래지향적 산업의 특징을 가지고 있다(중소중견기업 기술로드맵 전략보고서, 중소기업청, 2017). 따라서 노후 석축 및 옹벽의 보강공법과 유지관리기술 개발은 노후시설물과 붕괴위험시설물에 대한 IoT 기반 환경 마련을 통해 위험구조물에 대한 계측정보, 관리 정보를 인근에 거주하는 국민이 쉽게 접근 할 수 있으므로 노후시설물과 붕괴위험시설물에 대한 국민적 관심 확대와 사회적 인식을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

(2) 노후 옹벽 및 석축 붕괴 사고 예방 및 예측

급경사지 재해예방에 관한 법률에 따르면 관리기관은 소관 급경사지에 대하여 연2회 이상 안전점검을 실시하도록 하고 있으며, 붕괴위험지구로 지정될 경우 해빙기점검, 우기시점검과 같은 비상시 점검과 상시계측관리를 수행하도록 하고 있다. 그러나 급경사지 일제조사는 관련 지자체의 공무원이 수행하는 육안확인/점검으로서 비전문가가 수행하며, 일년에 2~4회 수행하므로 이상징후를 파악하고 조치하는데 한계가 있으며, 노후 옹벽 및 석축을 포함한 붕괴위험지구 계측관리나 공사 전중후 계측관리의 경우 실시간 계측 또는 2회/일~1회/월의 빈도로 계측을 수행하기 때문에 노후 옹벽 및 석축의 이상징후를 파악하는데 유리하지만, 전문용역기관을 통해 수행되기 때문에 계측관리비용을 담당할 발주처(사업자)와 비용협의를 필요하다. 그러나 개발 기술의 경우 1회/분 당 계측정보를 수집하여(조정가능) 노후 옹벽 및 석축의 이상징후를 파악하는데 유리할 뿐만 아니라 붕괴위험지구 계측관리나 공사 전중후 계측관리 비용의 50% 이내의 비용으로 수행할 수 있기 때문에 한정된 예산으로 보다 많은 위험지에 대한 계측관리 수행을 통해 노후 옹벽 및 석축 붕괴 사고를 예방하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 연구결과

3.1 연구개발 기술의 구성

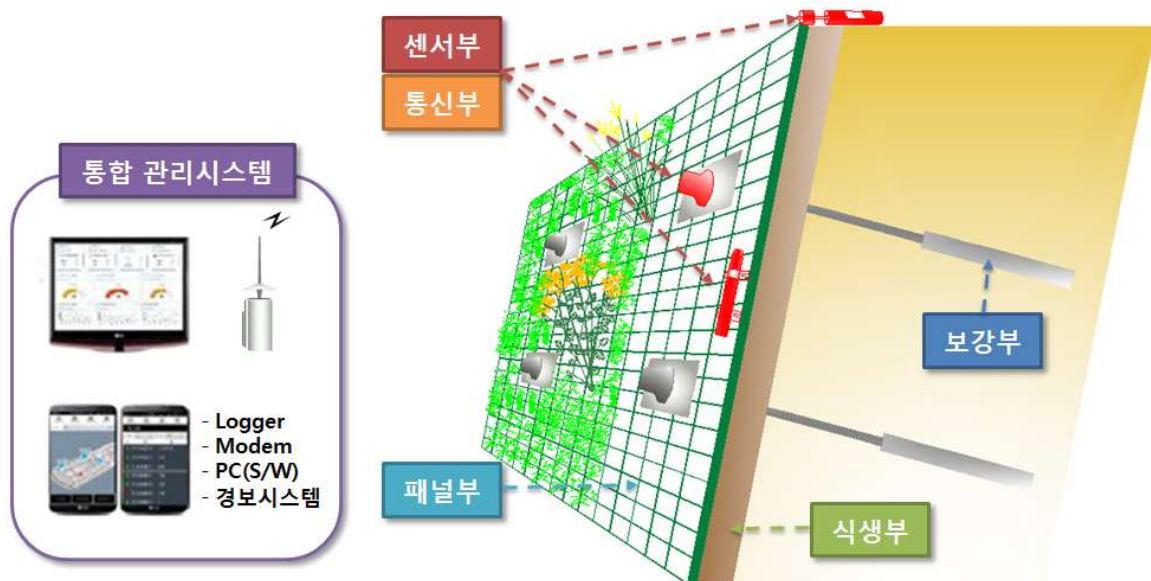


그림 3.1 연구 개발 기술의 예상도

연구개발기술은 위 개념도와 같이 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 시공기술과 옹벽구조물의 유지관리 기술의 융합기술로 이루어진다. 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법은 패널부, 식생부, 보강부로 구성되며, 노후 옹벽구조물 유지관리 기술은 센서부, 통신부, S/W로 구성된다.

(1) 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법의 구성

노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법은 패널부, 식생부, 보강부로 구성되는데 보강부는 노후 옹벽 및 석축의 안정성 확보를 위한 영구앵커 또는 네일로 구성되며, 보강 대상 구조물의 현황, 지형 및 지질을 고려한 안정성 검토를 통해 보강재가 선정된다. 안정성 검토를 통해 보강재로 영구앵커가 선정될 경우 대상 구조물이 앵커의 긴장력에 의해 파손될 수 있으므로 앵커 긴장력에 대한 안정성 확보를 위한 복합소재 경량지압판이 추가로 구성된다.

패널부는 기존 노후 옹벽 및 석축 전면부를 대체하거나 보강하는 구조물로 옹벽 전면부의 안정성의 확보와 식생부의 식생 정착과 활착, 유실 방지를 위해 시공되는 부분이다.

(2) LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축 유지관리 시스템의 구성

LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축 유지관리 시스템은 유지관리키트, S/W로 구성된다. 유지관리 키트는 통신모듈, 배터리, 경사계가 일체화되어 있으며, 필요한 계측정보에 따라 지표변위계, 하중계를 추가하여 지표변위계 키트, 하중계 키트를 형성한다. 유지관리키트에서 계측된 정보는 저전력 장거리 통신이 가능한 LoRa 통신을 통해 서버로 전송되며, 현장여건에 따라 게이트웨이를 추가 설치하도록

구성하였다. 전송된 계측정보는 노후 옹벽 및 석축 유지관리 계측정보 관리서버를 통해 관리되며, 계측정보의 이상 유무에 따른 알림기능을 제공한다.

3.2 노후 옹벽 및 석축 보강의 비철거식 보강공법 개발

(1) 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법 개발

(가) 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법용 식생 패널 개발

대상 노후 구조물이 위치한 지반조건에 따라 네일, 앵커, 락볼트 등 보강재를 이용하여 지반을 보강한 후 전면벽체와 보강공을 일체화시키고 전면벽체에 식물이 생육할 수 있는 식생기반층을 형성하여 식물이 발아, 생육할 수 있도록 한 친환경 옹벽공법 개발을 위해 식생기반재를 포함하는 패널을 구상, 개발하였다.

기존 기술((주)대한지오이엔씨 보유기술)은 두께 2mm 아연도금 철판으로 성형된 종틀과 횡틀, 메탈라스 등을 현장에서 조립하여 식생패널을 제작하였으나 종틀과 횡틀, 메탈라스 등은 시공 중 손상, 시간의 경과에 따른 부식의 영향으로 제품 품질이 저하 될 수 있기 때문에, 자재의 개선, 일체화 및 경량화 등 시공성 개선의 여지가 있었다. 본 연구에서는 식생패널을 FRP(유리섬유 강화플라스틱)제질의 식생패널 구상하여 개발하였다. FRP 식생패널은 공장 주물제품(가로 3m, 세로 1m)으로 종틀과 횡틀, 메탈라스의 구분 없이 일체화된 형태이며, 이로 인한 조립과정 공정이 단순화되었으며 철판에 비해 경량으로 제작되어 시공성이 개선되었다.

표 3.11 식생패널의 구조검토

재질 및 규격		단면적 (단위:㎡)	시험항목	시험결과	단면강도 (단위:kN)	비고
기존 기술	아연강판 t=1.94mm	903.12㎡	인장강도	345Mpa	311.6kN	
			항복강도	237Mpa	214.0kN	
			연신율	41%	-	
			굽힘시험	이상 없음	-	
			아연 부착량	211g/m²	-	
개발 기술	FRP (섬유강화 플라스틱 t=5~8mm)	3,101.28㎡	인장강도	711 MPa	2,205.0 kN	
			압축강도	262 MPa	812.5 kN	
			휨강도	123 MPa	381.5 kN	

특히 FRP 식생패널은 기존 아연도금 철판 패널에 비해 소재 자체의 강도는 다소 낮으나 단면적의 증가와 휨강도에 유리한 단면형태를 적용하여, 기존 식생틀에 비해 단면강도는 약 1.78배, 휨에 대한 강도특성은 8배 이상 개선되었다. 또한 FRP는 내열 및 내식성이 우수하여 혹서기시 표면 발열이 적어 철재 식생틀에 비해 식물 성장환경이 개선될 것으로 판단된다.



그림 3.4 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법용 식생패널 제작 금형 (2)



그림 3.5 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법용 식생패널 시제품 (전면 실물사진)

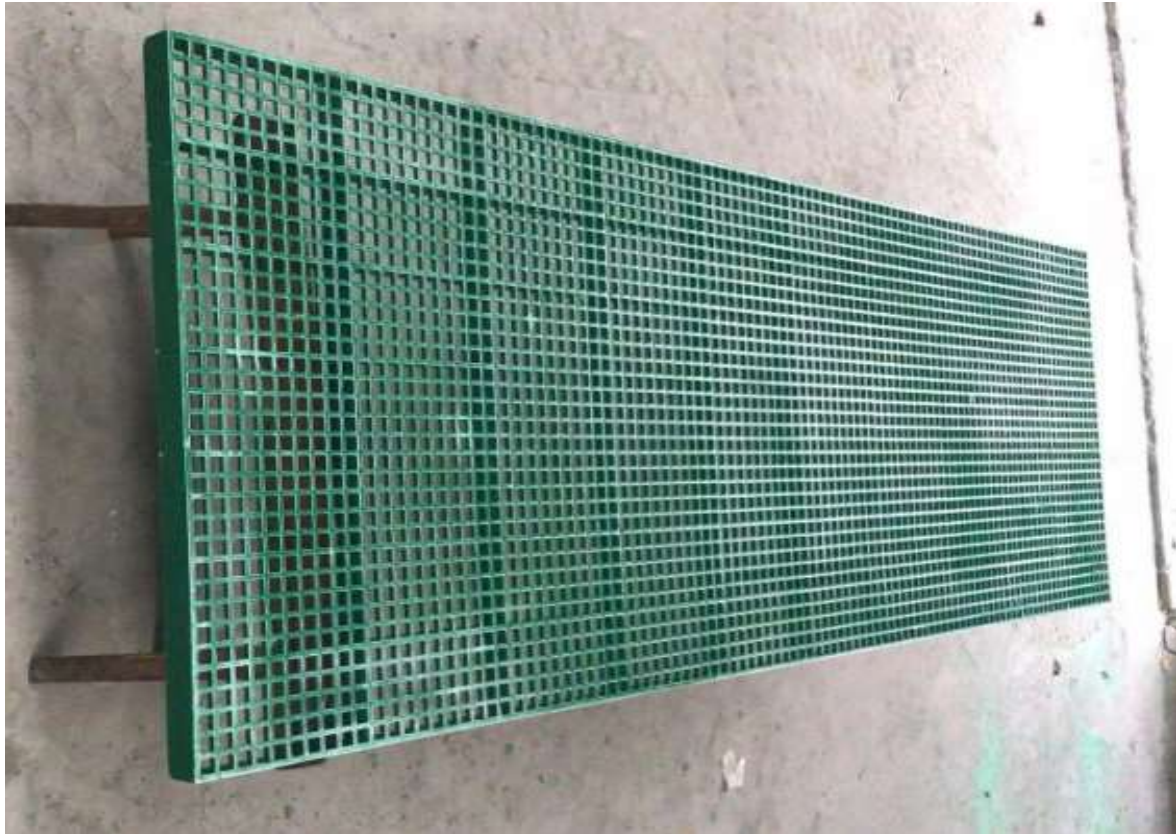


그림 3.6 비철거식 노후 웅벽 및 석축 보강공법용 식생패널 시제품 (후면 실물사진)

KTR 한국화학융합시험연구원

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(동명동) TEL: (02)2164-0011 FAX: (02)2634-1008
 성적서번호: TAK-2018-160058 접수 일자: 2018년 10월 19일
 대표자: 김재현 시험완료일자: 2018년 11월 01일
 업체명: (주)대한지오엔씨
 주소: 경기도 성남시 분당구 청자일로 177, B동 2206호 (청자동, 분당인텔리자2)
 시료명: FRP (식생용) 시편

시험결과					
시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법	
인장강도(세로)	MPa	-	562	KS M ISO 527-4 : 2002(*)	
인장강도(가로)	MPa	-	48.5	KS M ISO 527-4 : 2002(*)	
압축강도(가로)	MPa	-	117	KS M ISO 14126 : 2012(방법 2)(*)	
굴곡강도(가로)	MPa	-	101	KS M ISO 178 : 2012(**)	

※ 가로, 세로는 임의로 정함(의뢰자재용)
 * 시험속도: 5 mm/min, 시험편: 15형, 시험편수: 세로(3개), 가로(2개)
 ** 시험속도: 1.7 mm/min, 지지간격: 60 mm, 시험편수: 2개
 *** 시험편수: 1개
 ~용도: 용질관리용

비고: 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인용 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
 2. 이 성적서는 총합, 평균 및 표준편차 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Jung Yu Seok
 작성자: 정유석
 Tel: 02-2692-3704

Yan Seok
 기술책임자: 유석
 Tel: 1577-0081(ARS 0-48)

2018년 11월 01일

KTR 한국화학융합시험연구원

원본대조필

위변조 확인용 QR code

Page: 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INC. KTR-CP-T08-F01-0908 A4(210 X 297)

그림 3.7 비철거식 노후 웅벽 및 석축 보강공법용 식생패널용 FRP시편의 공인인증시험 결과

(나) 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법용 복합소재 영구앵커 지압판 개발

a. 영구앵커 지압판 개발의 필요성

주관기관인 (주)대한지오이엔씨에서 보유한 기존 식생옹벽 기술은 보강재를 네일만 사용할 수 있는 공법으로 그 사용성에 한계가 있었다. 그러나 노후 옹벽 및 석축 보강시에는 현장여건 대상 구조물의 활동성여부 등에 따라 보강재로 영구앵커가 선정될 수 있기 때문에 이에 대한 연구를 수행하였다.

보강재로 영구앵커가 선정되는 경우 앵커의 긴장력에 의해 파손될 수 있으므로 앵커 긴장력에 대한 안정성 확보를 위한 지압판을 시공하여야 한다. 그러나 국내에서 일반적으로 가장 많이 활용하고 있는 설계하중 400 ~ 450 kN의 영구앵커에 대응하는 격자블럭형 RC지압판의 경우 자중이 1,500 kg 이상이기 때문에 운반비가 과다하게 소요되고 설치시 25ton 크레인 이상의 중장비가 필요하다. 특히 노후 옹벽 및 석축의 경우 인접구조물의 영향성과 시공 중장비의 접근이 불가능한 경우가 있기 때문에 기존 RC지압판 대비 경량의 지압판의 필요성을 인식하고 이에 대한 연구를 수행하였다.

관련 기술 조사 분석 결과 일본에서는 RC지압판의 문제점을 극복하고 경량 지압판 사용에 따른 시공비 절감을 위하여 고강도콘크리트, 플라스틱, 강재, 복합소재 등 다양한 소재와 형태의 경량지압판을 개발하여 적용하고 있으며, 경량지압판과 시공방법을 신기술로 지정하고 있다. 그러나 국내의 경우 지압판 설계방법과 품질 및 시험기준이 마련되어 있지 않아 지압판과 관련된 연구개발이 미흡한 실정이며, 비교적 제품개발에 유리한 강재 지압판, 강콘크리트 합성구조 지압판이 개발되고 있으나 현재 상용화 되고 있는 경량 지압판은 일부 강재지압판에 국한되고 있는 실정이다.

b. 복합소재 영구앵커 지압판 구상

국토해양부(2011) ‘그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼’에 따르면 지압판에 작용하는 하중은 상시하중과 일시하중으로 구분할 수 있는데 상시하중으로는 설계앵커력이 작용하며, 일시적으로 크게 작용하는 지진하중이나 초기긴장력은 일시하중으로서 설계앵커력의 1.5배를 초과해서는 안 된다고 명기하고 있다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 가장 많이 적용되는 영구앵커의 설계하중 400 kN을 상시하중으로 설정하고, 상시하중의 1.5배인 600 kN을 일시하중으로 하여 목표하중을 설정하여 영구앵커 지압판을 개발하였다.

본 연구 초기 그림 3.8과 같이 강재 지압판을 구상/개발하여 제작하였으며, 시험을 수행하였다. 시험결과 성능을 만족하였으나 국내 상용화된 강재지압판과의 차별성을 확보하기 위하여 보다 경량의 지압판을 구상하였다.

구상된 영구앵커 지압판은 FRP 식생패널과 같이 유사한 자재를 사용하는 FRP 복합소재 경량지압판이다. 복합소재 경량지압판은 상부와 하부 지지판(Skin) 사이에 보강판(Core)을 배치한 복합소재(SMC(Sheet Molding Compound) + FRP(Fiber Reinforced Plastic)) 샌드위치패널 구조의 지압판으로서 상하부 지지판과 보강판 사이는 접착제와 요철부에 의해 맞물려 결합되도록 구상되었다. 특히, 상부 및 하부 지지판(Skin)은 보강섬유가 가로세로 양 방향으로 수직배열 되도록 성형한 시트 몰딩 컴파운드(SMC : Sheet Molding Compound) 방식의 유리섬유강화플라스틱(FRP : Fiber Reinforced

Plastic)으로 이루어지며, 보강판(Core)은 유리섬유 강화플라스틱으로 이루어지는 것을 특징으로 한다. 복합소재 앵커 지압판은 가로 세로 1,000 × 1,000 mm 크기로 계획되었으며, 상하부 지지판(Skin)과 보강판(Core)의 상세 제원은 구조검토 및 시뮬레이션 결과, 실물성능시험을 바탕으로 보완하였다.

최종 개발된 복합소재 영구앵커 지압판의 형상 및 도면은 다음 그림 3.9~10과 같으며, 복합소재 지압판을 제작하기 위한 금형은 그림 3.11과 같다. 최종적으로 금형으로 제작된 상하부 지지판(Skin)과 보강판(Core)은 그림 3.12와 같으며, 상하부 지지판과 보강판을 활용하여 제작된 복합소재 지압판은 그림 3.13과 같다.



그림 3.8 연구초기 철재 지압판 개발과 시험 결과

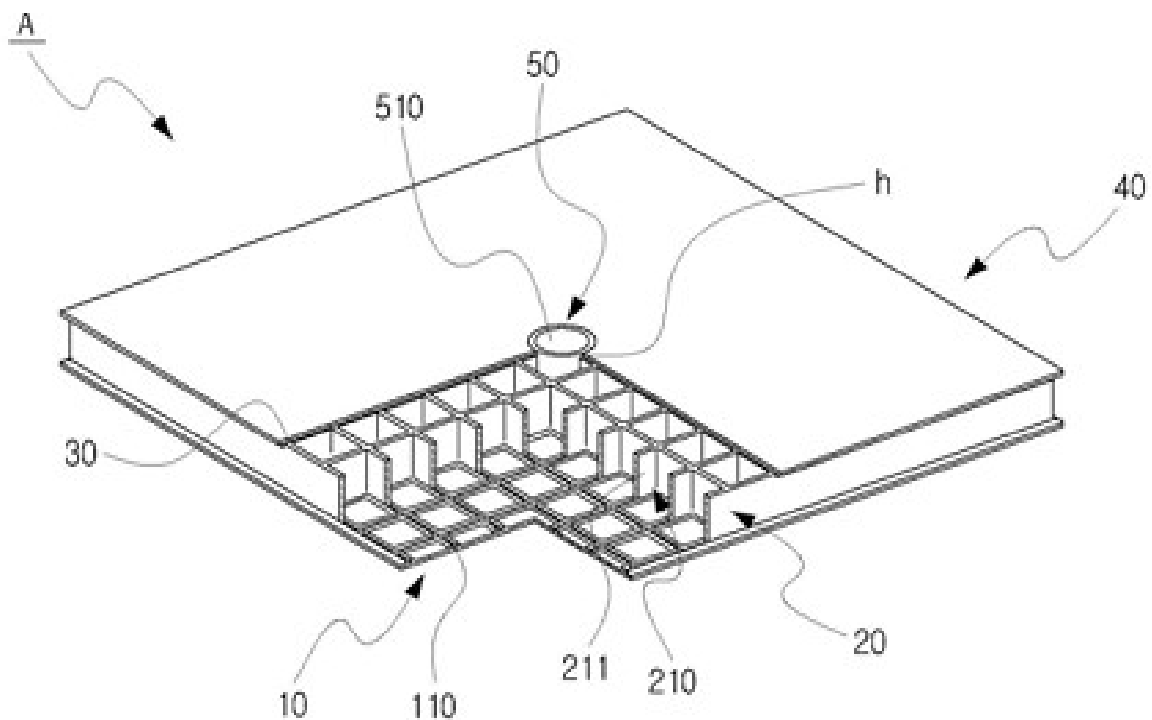
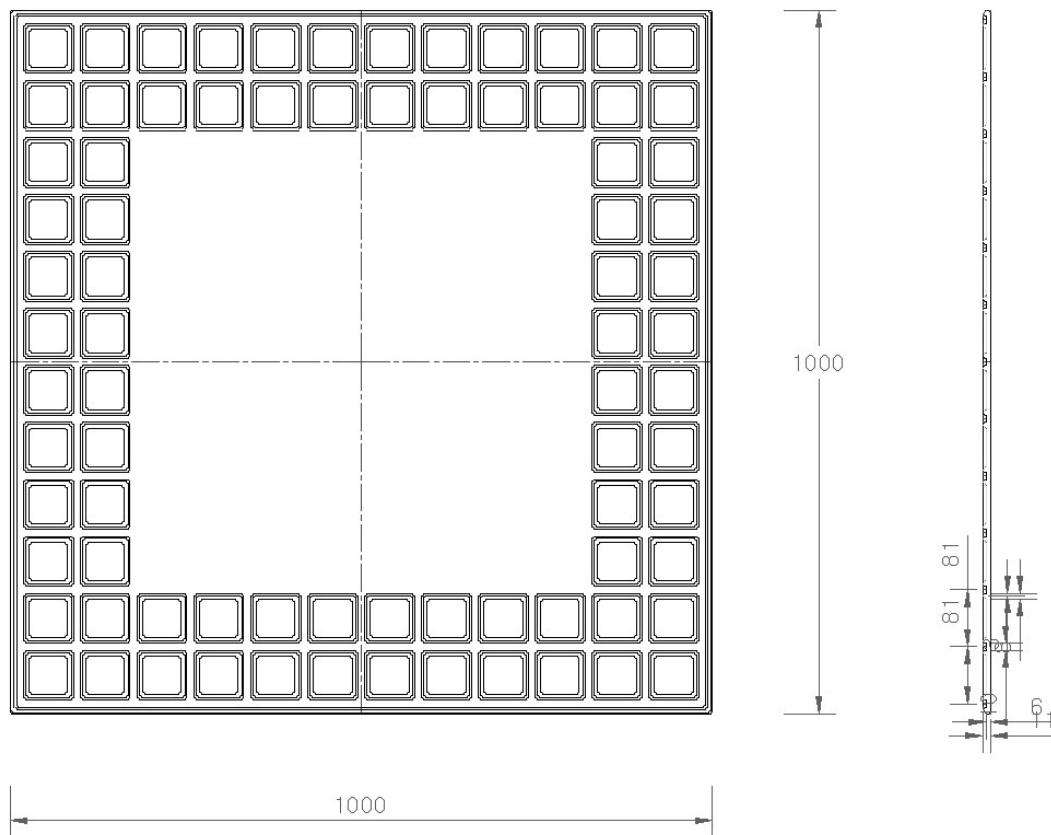
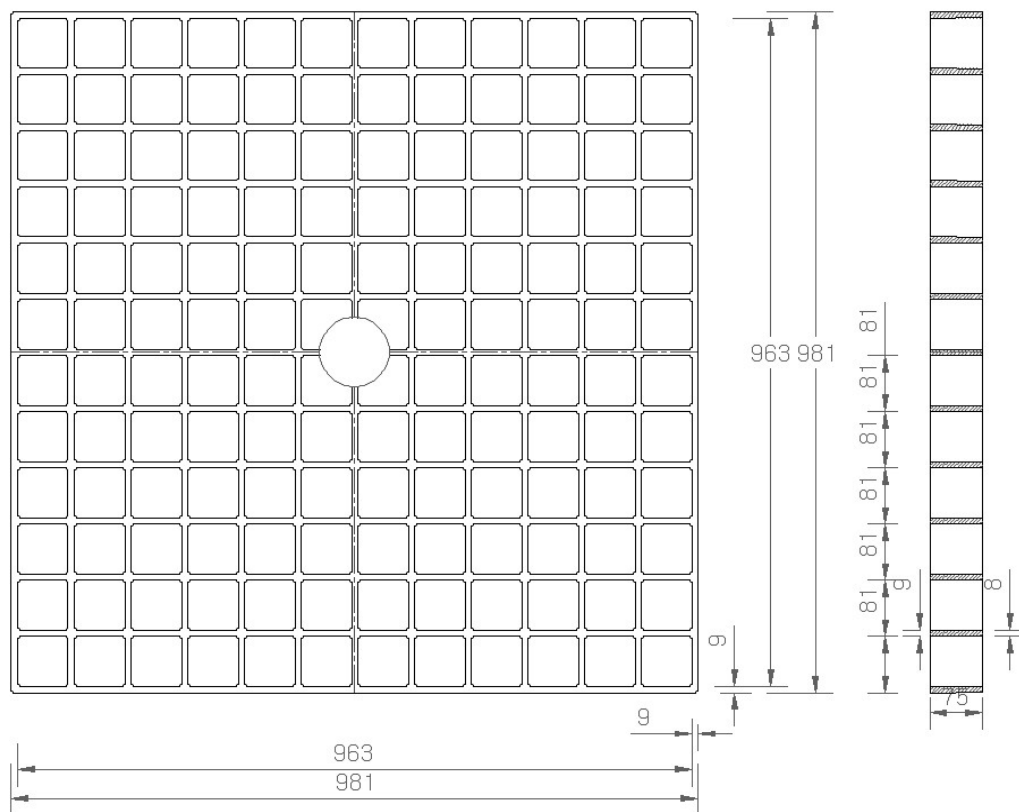


그림 3.9 비철거식 노후 웅벽 및 석축 보강공법용 복합소재 영구앵커 지압판 구상



(a) 복합소재 영구앵커 지압판의 Skin



(b) 복합소재 영구앵커 지압판의 Core

그림 3.10 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법용 복합소재 영구앵커 지압판 상세

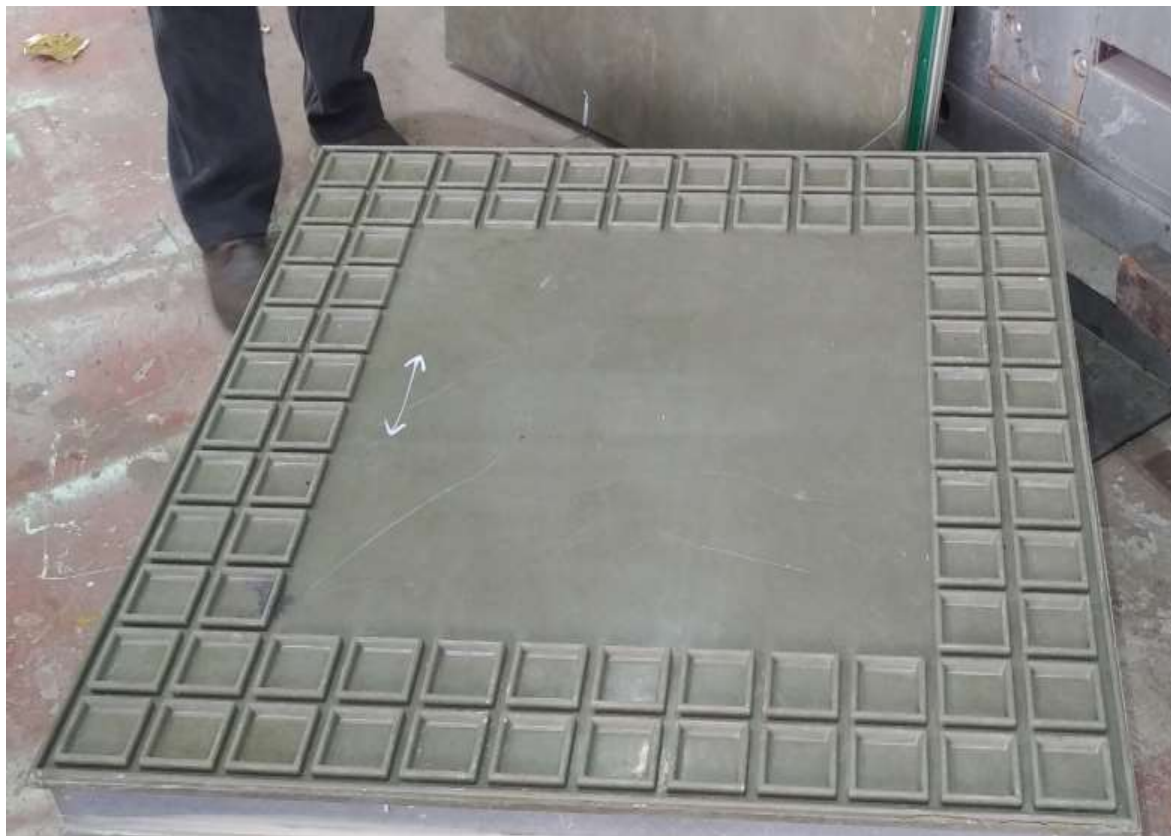


(a) 복합소재 영구앵커 지압판의 Skin



(b) 복합소재 영구앵커 지압판의 Core

그림 3.11 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법용 복합소재 영구앵커 지압판 제작 몰드

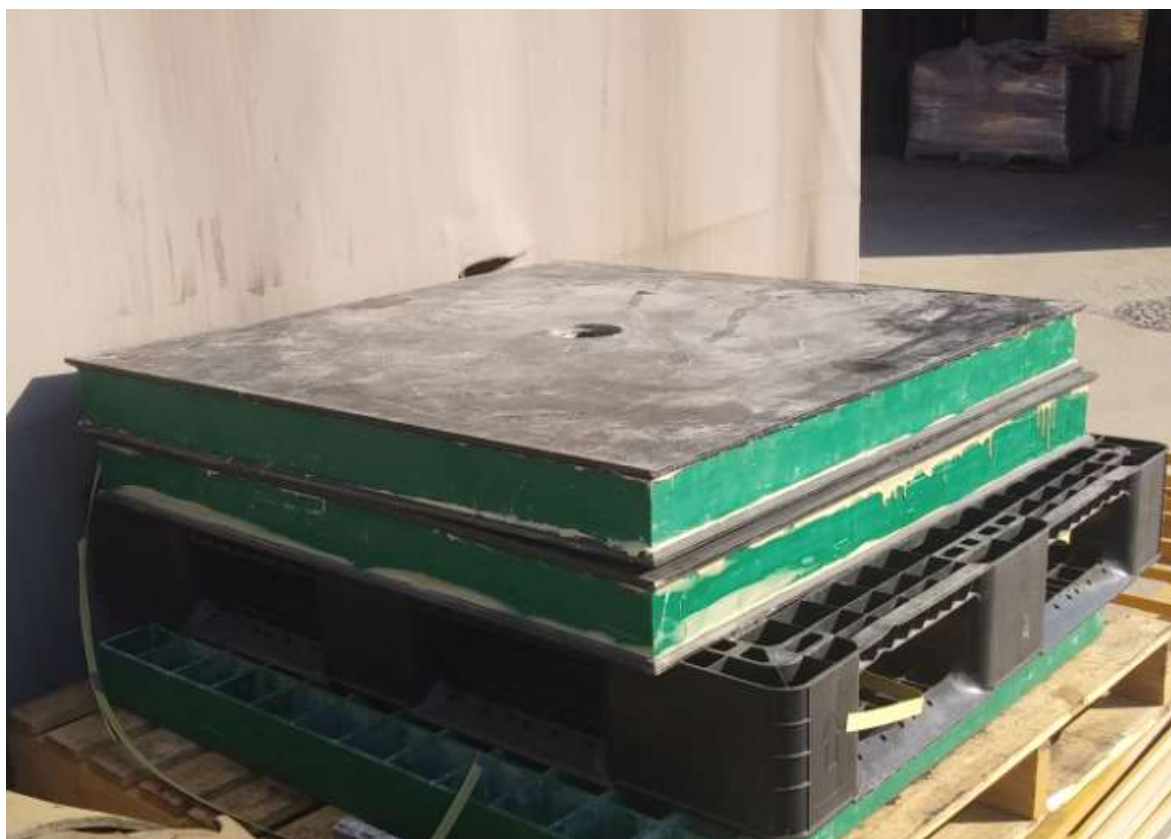


(a) 복합소재 영구앵커 지압판의 Skin



(b) 복합소재 영구앵커 지압판의 Core

그림 3.12 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법용 복합소재 영구앵커 지압판 제작용 Skin 및 Core



(a) 복합소재 영구앵커 지압판 시제품 외관 1



(b) 복합소재 영구앵커 지압판 시제품 외관 2

그림 3.13 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법용 복합소재 영구앵커 지압판 시제품

c. 복합소재 영구앵커 지압판에 대한 성능 검토

최종 확정된 복합소재 영구앵커 지압판에 대한 구조 검토를 수행하기 위하여 복합소재 앵커 지압판을 구성하는 상하부 지지판(Skin)과 보강판(Core)에 대한 공인인증시험을 수행하였으며, 우선적으로 앵커 지압판의 목표하중에 대한 안정성을 확인하기 위하여 앵커 긴장력 작용시를 단순보 및 캔틸레버보 형태로 가정하여 안정성 검토를 수행하였다. 앵커 긴장력 작용시 단순보 형태를 가정한 지압판의 안정성 검토는 현재 RC지압판의 안정성 검토시 가장 일반적으로 사용하는 방법이다.

표 3.12 복합소재 앵커 지압판의 Skin 및 Core의 물리적 특성

구분	인장강도	탄성계수	비고
Skin	140MPa	9,806MPa	
Core	140MPa	9,806MPa	

2점지지 단순보로 가장한 복합소재 앵커 지압판의 최대 변위량 및 최대 모멘트, 최대 응력은 다음 Eq. (1) ~ (3)에 따라 구할 수 있으며, 이때의 안전율 F.S는 Eq. (4)에 따라 2.02로 분석되었다. 한편, 캔틸레버보로 가정한 복합소재 앵커 지압판의 최대 변위량 및 최대 모멘트, 최대 응력은 각각 Eq. (3), (5) ~ (6)에 따라 구할 수 있으며, 이때의 안전율 F.S는 Eq. (4)에 따라 2.70으로 분석되었다.

$$\Delta \max = 5 \times w \times L^4 / (384 \times E \times I) \dots\dots\dots \text{Eq. (1)}$$

$$M \max = w \times L^2 / 8 \dots\dots\dots \text{Eq. (2)}$$

$$\sigma \max = M / Z \dots\dots\dots \text{Eq. (3)}$$

$$F.S. = \sigma \max \dots\dots\dots \text{Eq. (4)}$$

$$\Delta \max = w \times L^4 / (8 \times E \times I) \dots\dots\dots \text{Eq. (5)}$$

$$M \max = 3 \times w \times L^2 / 8 \dots\dots\dots \text{Eq. (6)}$$

표 3.13 계산식에 따른 복합소재 영구앵커 지압판의 구조검토 결과

구분	단순보	캔틸레버보	비고
처짐량(mm)	8.6	5.2	
모멘트(N·mm)	2.8 E+0.8	2.1 E+0.8	
작용응력(N/mm ²)	6,918.4	5,188.8	
안전율 (F.S)	2.02	2.70	

본 연구에서는 선행적으로 계산식에 의한 구조검토를 수행하였으나 현재 복합소재 앵커 지압판에 관한 연구 사례 및 제품개발 사례가 매우 부족하기 때문에 제품개발에 있어 많은 시행착오 및 반복 시험이 필요할 것으로 예상됨에 따라 설계된 복합소재 앵커 지압판에 대한 성능 확인을 위해 우선적으로 상용 유한요소해석 프로그램인 Patran을 활용하여 All FEM(Finite Element Method) Model 해석을 수행하였다. 시뮬레이션 해석을 위한 모델링은 그림 3.14(a)와 같이 상하부 지지판(Skin)과 보강판(Core)으로 이루어진 복합소재 앵커 지압판이 일정 영역으로 모델링된 지반위에 설치된 것(그림 3.14(b))으로 모델링하였다.

시뮬레이션 해석을 위한 모델링시 터널 시뮬레이션 해석 관련 기준 및 설계사례를 참조하였다. 터널의 경우 관련 설계기준에 의해 시뮬레이션 해석 수행시 지반의 해석영역을 해석 경계로 인한 응력 및 변위 오차 발생을 최소화하기 위하여 터널 상하좌우로 터널 직경(D)의 2 ~ 3배 이상으로 설정하도록 하고 있으나(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016) 일반적으로 안전측의 설계를 위해 4D 이상으로 수치해석을 진행하고 있다. 본 연구에서는 앵커 지압판 폭 B의 크기가 터널 지경(D)에 비하여 매우 작으므로 위 기준과 수치해석 사례에 준하여 앵커 지압판 폭 B에 대한 5B 깊이의 풍화토 지반을 모델링하였다(그림 3.14(b)). 따라서 지압판 폭 B에 대한 5B 영역의 지반은 앵커 인장력의 작용방향인 z축을 기준으로 측면인 x, y축의 경우 각각의 축방향의 변위를 구속시켰으며, z축의 경우 하부의 변위를 구속시켜 모델링하였다. 복합소재 앵커 지압판은 위 지반 상부에 놓여진 구조물로서 별도의 구속조건을 설정하지 않고 앵커 인장력 작용시 변형에 따른 하중전달 양상이 달라 질 수 있도록 모델링하였다.

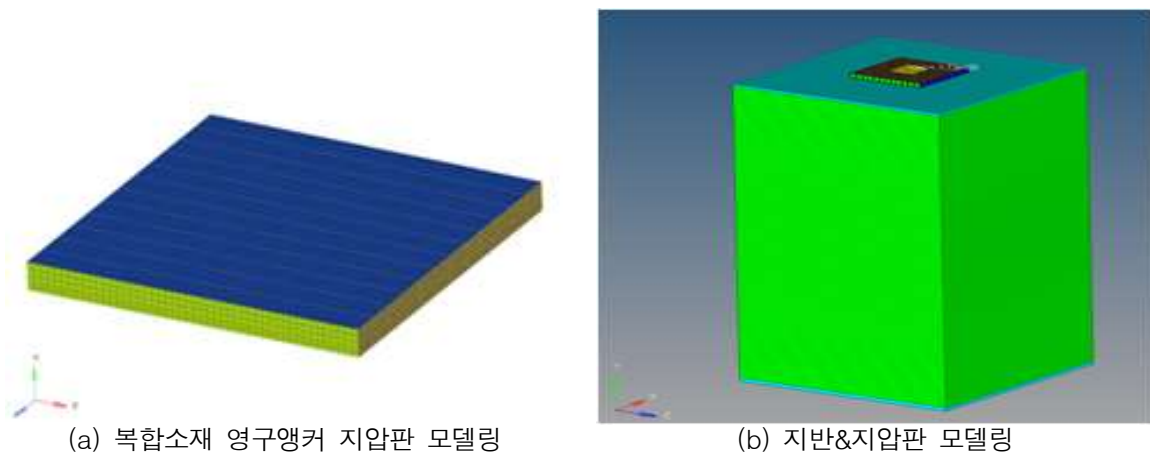


그림 3.14 복합소재 영구앵커 지압판에 대한 시뮬레이션

표 3.14 복합소재 앵커 지압판의 Skin 및 Core의 물리적 특성

구분	인장강도	탄성계수	비고
Skin	140 MPa	9,806 MPa	
Core	140 MPa	9,806 MPa	
Steel Plate	400 MPa	200,000 MPa	
Ground	-	70 MPa	

시뮬레이션 해석시 활용된 물성치는 표 3.14와 같다. 앵커의 긴장력을 복합소재 앵커 지압판으로 전달하는 Steel Plate는 실제 앵커 시공시 적용하는 SS400 규격의 강판으로 모델링하였으며, 복합소재 앵커 지압판의 경우 실제 제작시 사용될 FRP 소재로 시험시편을 제작하여 공인인증시험기관의 시험을 통해 확인된 물성치를 적용하였다. 지반으로 모델링된 풍화토의 경우 N치 30이상의 일반적인 풍화토에 적용하는 변형계수를 적용하였다.

앵커의 인장력 400kN의 1.5배인 600kN의 앵커 긴장력이 상부 300 × 300 × 30t mm 규격의 steel plate를 통해 6.7 N/mm²의 등분포하중으로 복합소재 앵커 지압판에 적용하는 것으로 가정하였다. 위와 같은 모델링 과정을 거쳐 복합소재 앵커 지압판의 설계하중인 600 kN까지 200 kN의 간격으로 시뮬레이션 해석을 수행한 결과 표 3.11과 같이 앵커 작용하중인 400 kN에서 안전율 2.15, 설계하중인 600 kN시 안전율 1.44를 확보할 수 있는 것으로 해석되었으며, 작용하중인 400 kN에서 1.94 mm, 설계하중인 600 kN에서 2.90 mm의 처짐이 발생하는 것으로 해석되었다. 시뮬레이션 해석 결과 작용하중 및 목표하중에서 탄성거동을 보이고 있으며, 안전율을 충분히 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

표 3.15 복합소재 영구앵커 지압판 시뮬레이션 결과

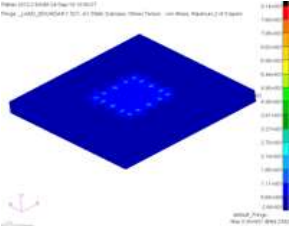
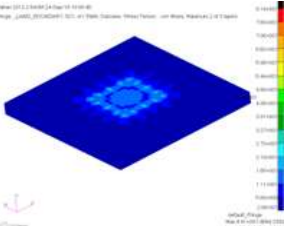
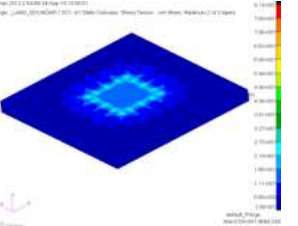
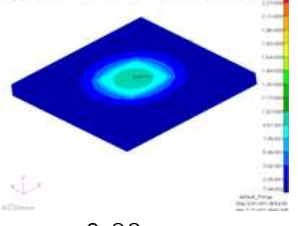
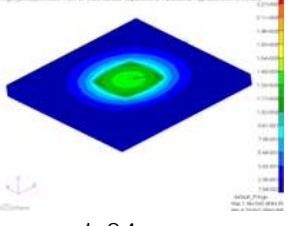
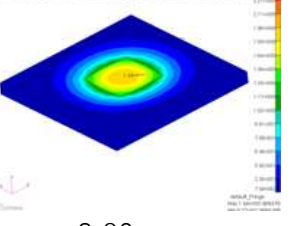
구분	재하하중		
	200kN	400kN	600kN
응력 (Mpa)	 32.9 Mpa	 65.3 Mpa	 97.4 Mpa
변위량 (mm)	 0.98 mm	 1.94 mm	 2.90 mm



그림 3.16 복합소재 영구앵커 지압판에 대한 자체 성능시험



그림 3.17 복합소재 영구앵커 지압판에 대한 자체 성능시험 결과 분석

설계된 복합소재 앵커 지압판에 대한 시뮬레이션 해석 결과 목표하중에서 안정한 것을 확인하였으나 실제 하중재하시 발생하는 거동 및 파괴 양상을 파악하고, 이를 보완하기 위하여 그림 3.16~17과 같이 자체시험을 수행하였다. 자체시험 결과를 바탕으로 취약 부분에 대한 보완 연구를 수행하여 보강판(Core)과 상하부 지지판(Skin)의 두께를 향상시키고 보강판(Core)과 상하부 지지판(skin) 사이의 요철부 등을 조정하여 시제품을 개발 완료하였다.

d. 복합소재 영구앵커 지압판에 공인인증기관에 의한 실물성능시험

개발이 완료된 복합소재 앵커 지압판에 대한 실물성능시험은 국내에 지압판 시험 관련 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 공인인증시험기관인 한국에스지에스(주)와 그 방법을 조율하여 수행하였다.

실물성능시험은 그림 3.18과 같이 앵커 헤드에 가해진 축력이 지반에 등분포하중으로 전달되는 것을 모의 할 수 있도록 하부 재하판에 물다짐을 수행한 토조를 제작하였으며(그림 3.18, 그림 3.19(a)), 토조 위에 복합소재 앵커 지압판을 거치하여 시험하였다(그림 3.18, 그림 3.19(b)). 앵커 긴장 정착시 앵커의 긴장력은 Anchor Head와 Steel Plate를 통해 지압판에 전달되므로, 앵커 설계하중 400 kN에 사용되는 일반적인 Steel Plate(300 x 300 x 30t mm)를 동일하게 설치하여, 압축 축력이 작용하도록 시험을 구상하였다(그림 3.18, 그림 3.19(c)). 시험 방법은 다음과 같이 4단계의 절차에 따라 수행되었으며, 총 3회 수행되었다.

Step 1 : 토조 물다짐(그림 3.19(a))

Step 2 : 복합소재 앵커 지압판 설치(그림 3.19(b))

Step 3 : 계측기기설치(그림 3.19(c))

Step 4 : 하중재하시험(그림 3.19(d))

거동양상을 측정하기 위한 센서는 변위측정을 위한 LVDT(Linear Variable Differential Transformer), 변형율을 측정하기 위한 Strain gauge를 사용하였다. 변위측정을 위한 LVDT는 Steel Plate(가력지점)에 2개, 복합소재 앵커 지압판 본체에 2개를 설치하여 측정하였으며, 변형율을 측정하기 위한 Strain gauge는 복합소재 앵커 지압판의 상하부 동일 위치에 부착하여 측정하였다.

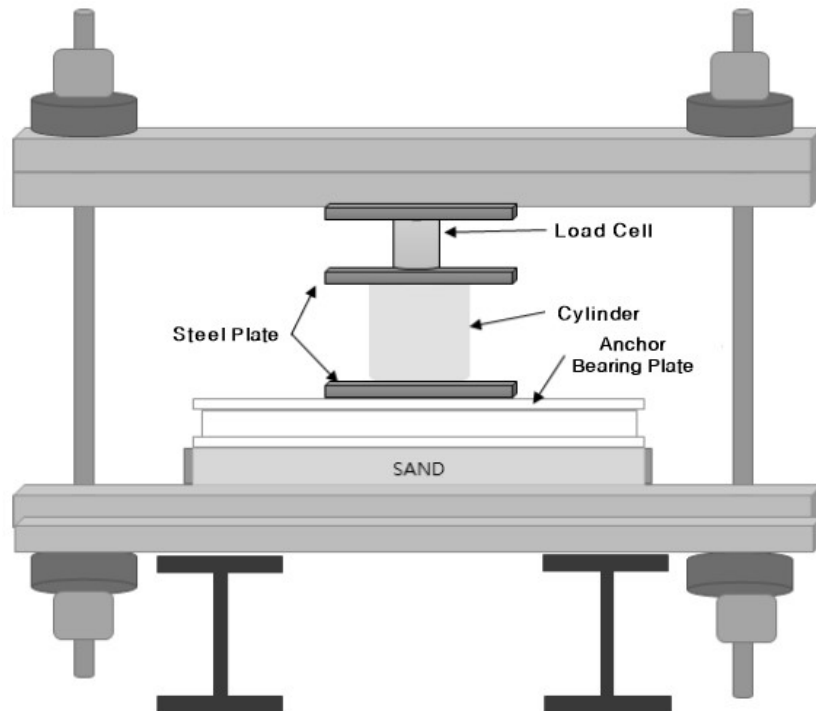


그림 3.18 복합소재 영구앵커 지압판에 대한 실물성능시험 모식도



(a) 토조 물다짐



(b) 앵커지압판 및 steel plate 거치



(c) 계측기기 설치



(d) 하중 재하

그림 3.19 복합소재 영구앵커 지압판에 대한 실물성능시험 단계



그림 3.20 복합소재 영구앵커 지압판 실물성능시험 결과

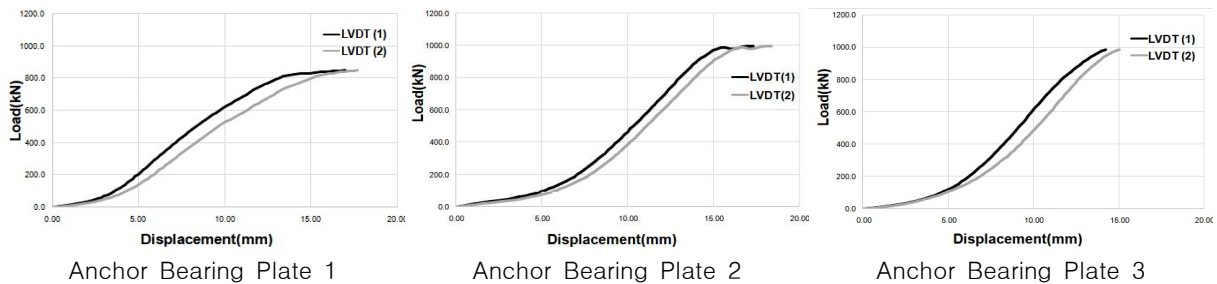
시험 결과 Test 1~3의 최대 하중 835.9~964.3kN에서 Steel Plate(가력지점) 변위 14.7~18.4mm, 복합소재 앵커 지압판 양단변위 3.8~4.8mm가 발생하였으며, 설계하중인 600 kN(영구앵커 설계하중 400 kN의 1.5배)에서 Steel Plate(가력지점) 변위 11.1~13.0mm, 복합소재 앵커 지압판 양단변위 3.7~4.8mm가 발생하였다. 3회에 걸친 실물성능시험 결과 개발된 복합소재 앵커 지압판의 파괴하중이 800 kN 이상인 것을 확인할 수 있었다.

표 3.16 복합소재 앵커 지압판의 실물성능시험 결과

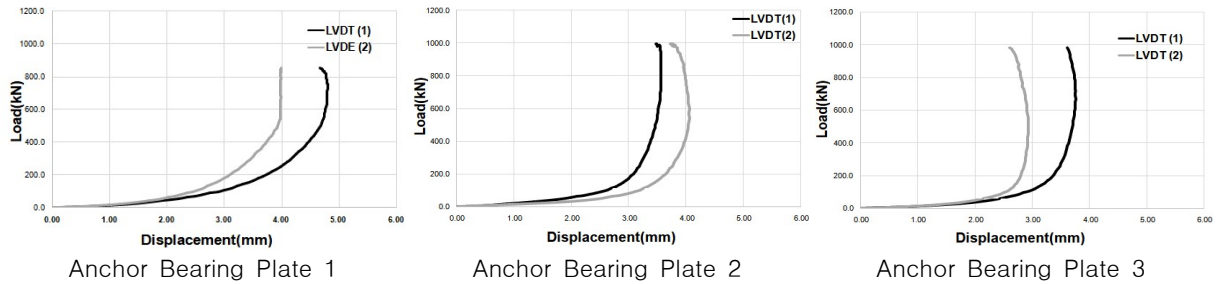
구분	파괴하중 (kN)	변위 (mm)	
		Steel Plate	지압판 양단
Test 1	835.9	17.3	4.8
Test 2	976.1	18.4	4.1
Test 3	964.3	14.7	3.8

표 3.17 복합소재 앵커 지압판의 실물성능시험결과_설계하중

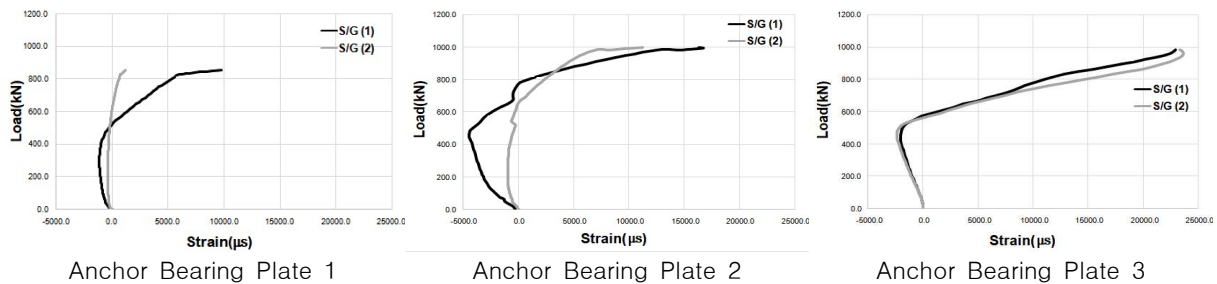
구분	파괴하중 (kN)	변위 (mm)	
		Steel Plate	지압판 양단
Test 1	589.0	11.2	4.8
Test 2	601.7	13.0	4.1
Test 3	598.8	11.1	3.9



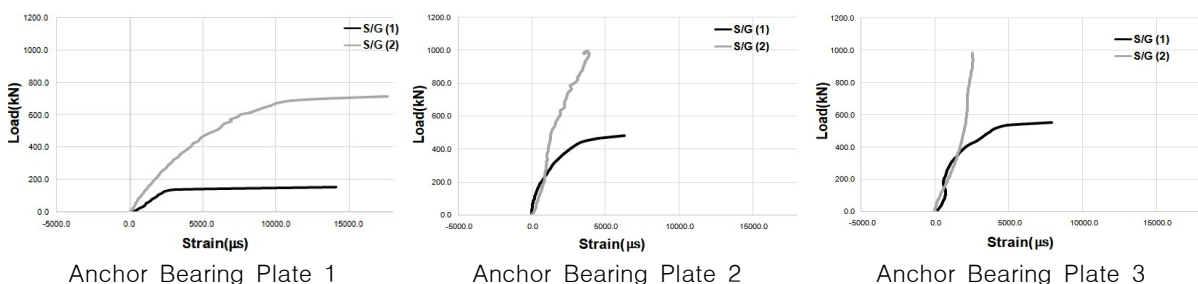
(a) Steel Plate에서의 하중-변위 곡선



(b) 지압판 단부에서의 하중-변위 곡선



(c) 지압판 상부 하중-변형률 곡선



(d) 지압판 하부 하중-변형률 곡선

그림 3.21 복합소재 영구앵커 지압판 실물성능시험 결과

복합소재 앵커 지압판 상부 지지반(skin)에서 측정된 변형률 양상(그림 3.21(c))으로 미루어 재하하중 약 500 kN까지 압축력이 작용하지만 그 이후로 복합소재 앵커 지압판의 휨 변형으로 인한 인장력이 작용되는 것을 확인할 수 있으며, 이와 같은 거동의 반작용으로 복합소재 앵커 지압판의 사방면 끝의 가운데에 설치된 LVDT에서 하중 재하 방향의 반대방향으로의 거동이 그림 3.21(b)에서 관찰되었다.

한편, 시험시 하중이 재하되는 Steel Plate에 설치된 LVDT (1)과 LVDT (2)의 하중-변위 그래프는 정확히 일치하지 않는 것을 확인할 수 있으며(그림 3.21(a)), 이는 실제 하중이 재하되는 Steel Plate가 복합소재 앵커 지압판 상부의 정가운데 위치하지 않아 편심작용이 작용하였기 때문인 것으로 추정된다. 이러한 편심의 영향으로 인하여 복합소재 앵커 지압판 사방면 끝단에서의 변위를 측정한다

LVDT (1)과 LVDT (2)에서는 Steel Plate에서 보다 더 큰 차이를 보이고 있다(그림 3.21(a)). 복합소재 지압판 하부면에 부착된 Strain Gauge의 경우 지압판과 지면의 마찰면에서의 하중 집중과 변위로 인한 손상 등으로 인하여 복합소재 지압판 파괴시까지 계측정보가 수집되지 못한 것을 확인 할 수 있다(그림 3.21(d)). 실물성능시험 결과 하중작용시 처짐량(변위량)은 시뮬레이션 결과와 다소 상이한 것으로 나타났다. 재하하중 600kN일 경우 시뮬레이션 결과 2.90mm의 처짐이 발생하였으나 실물성능시험시 11.1~13.0mm의 처짐이 발생하였는데 그 이유는 시뮬레이션시 지반이 풍화암 조건이었으나, 실물성능시험의 경우 물다짐된 토조에서 수행되어 지반자체의 침하에 따른 영향이 있었을 것으로 추정된다.

한편, 지압판에 앵커 설계하중 400 kN에 대한 지압판의 설계하중 600 kN이 작용할 경우 시뮬레이션에서의 지압판 안전율은 1.44로 분석되었으나 실물실험결과 안전율은 1.39~1.63의 범위를 보였다.

표 3.18 설계하중에서의 복합소재 앵커 지압판의 안전율

구분	시뮬레이션 결과	실물실험결과		
		TEST 1	TEST 2	TEST 3
설계하중(600kN)에서의 안전율	1.44	835.9/600 =1.39	976.1/600 =1.63	964.3/600 =1.61

e. 복합소재 영구앵커 지압판 개발 결과

본 연구를 통해 개발된 복합소재 앵커 지압판(앵커 설계하중 400 kN, 지압판 설계하중 600 kN)은 표 3.19와 같이 중량 약 55 kg에 불과한 경량 지압판으로서 일반적으로 활용되는 약 1,500 kg의 RC격자블럭(2,000 × 2,000 × 400 × 400 mm) 대비 중량이 약 4 %에 불과하며, 최근 시범적으로 적용되고 있는 경량 지압판인 강재 지압판 대비 약 45 % 경량화 되었다. 따라서 기존 RC지압판 대비 경량으로 제작되어 운반비를 절감할 수 있으며 현장상황에 따라 인력시공이 가능하기 때문에 시공비의 절감이 가능할 것으로 기대된다.

표 3.19 복합소재 앵커 지압판의 자중 및 기존 지압판과의 중량 비교

구분	복합소재 지압판(개발 기술)				철재 지압판	RC 격자블럭 지압판
	Skin	Core	접착소재	합계		
자중(kg)	12.8	26.8	2.0	54.3 (4%)	100 (6.3%)	1,580 (100%)

(다) 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법용 부수 자재 개발

a. 식생패널 결속을 위한 연결클립 개발

연구개발을 통해 개발된 식생패널은 3,005 x 1,058mm 규격으로 제작되며, 시공시 개별 식생패널을 연결하여 시공하게 된다. 따라서 식생패널을 서로 결속시키기 위한 연결클립을 구조검토를 통해 설계, 제작하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



(a) 식생패널 결속 연결클립 (b) 식생패널 결속 브라켓의 사용에
그림 3.22 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법용 부수 자재[결속 연결클립] 개발

b. 식생패널 고정을 위한 지지용 브라켓 개발

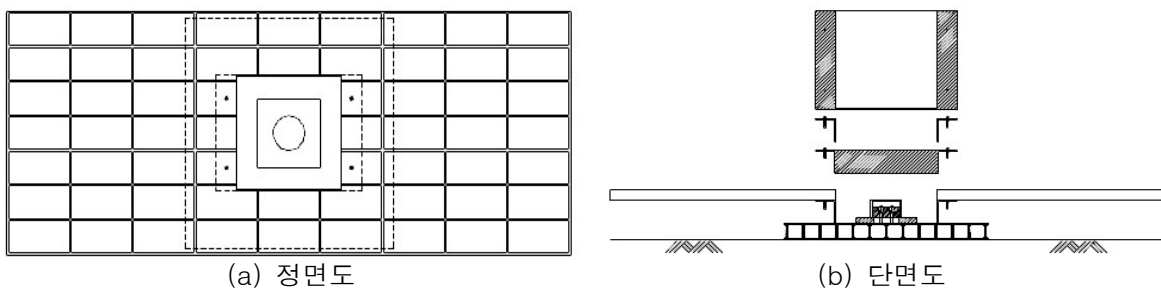
식생패널은 지반에 앵커볼트로 고정된 연결대에 지지용 브라켓을 통해 고정, 지지된다. 따라서 현장 상황, 시공상황에 따라 적절한 위치에 시공될 수 있도록 현장 조립식으로 구상, 설계되었으며, 구조검토를 통해 안정성을 확보할 수 있는 제원으로 제작되었다.



(a) 식생패널 지지용 브라켓 (b) 식생패널 지지용 브라켓의 사용에
그림 3.23 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법용 부수 자재[지지용 브라켓] 개발

c. 앵커 패널 커버 개발

노후 석축 및 옹벽 보강시 영구앵커의 시공이 필요한 경우 영구앵커 긴장력을 지반에 분산시키기 위해 영구앵커 지압판을 사용하여야 하며, 본 연구에서는 복합소재 영구앵커 지압판을 개발하였다. 영구앵커 지압판을 사용하여야 할 경우 영구앵커의 유지관리를 위해 영구앵커 헤드부에 대한 식생을 수행하지 않으므로 영구앵커 헤드부에 대한 구획화와 식생기반재의 유실을 방지하기 위하여 설치하는 앵커 패널 커버를 구상하였으며, 그 제작품은 다음과 같다.



(a) 정면도 (b) 단면도
그림 3.24 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법용 부수 자재[앵커 패널 커버] 구상



그림 3.25 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법용 부수 자재[앵커 패널 커버] 시제품

(라) 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법 개발

위와 같은 주요 자재 개발을 수행하여 완성한 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 기술을 개발하였다. 개발 기술은 보강재의 종류에 따라 네일보강형과 앵커보강형으로 나뉘며 그 형상은 다음 그림과 같다.

a. 네일보강형 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법

네일보강형 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법의 개념도는 그림 3.26과 같으며, 대상 구조물에 대한 보강과 슛크리트(선택적) 시공 후 식생패널을 조립하여 시공하는 것으로 계획하였다. 네일 보강재와 식생패널은 별도의 연결대로 연결/지지되기 때문에 콘크리트 패널의 재원에 따라 시공간격이 결정되는 콘크리트 패널식 절토부 옹벽과 달리 네일보강재의 간격을 설계에 따라 조정 가능하며, 이에 따라 보다 경제적인 시공이 가능하다. 또한, 지형 및 지반 상태에 따른 배수공 위치와 개수의 조절이 용이하도록 고안되었다.

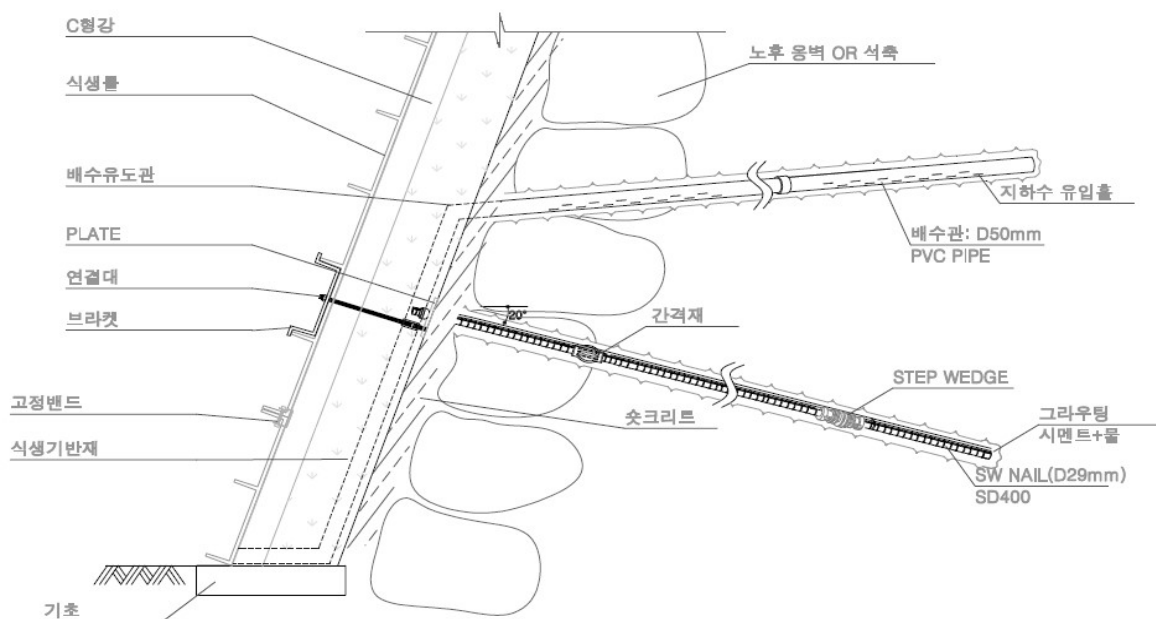


그림 3.26 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법(네일보강형) 개념도

b. 영구앵커보강형 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법

영구앵커보강형 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강 공법의 개념도는 그림 3.27과 같으며, 대상 구조물에 대한 보강과 슛크리트(선택적) 시공 후 식생패널을 조립하여 시공하는 것으로 계획하였다. 영구앵커 적용시 앵커의 긴장력이 노후 시설물에 영향을 미치지 않고 성능이 발휘되도록 앵커 지압판이 추가로 설치되며, 영구앵커의 유지관리를 위해 영구앵커 헤드부가 노출되도록 앵커 패널 커버가 고안되었다. 영구앵커와 식생패널은 별도의 연결대로 연결/지지되기 때문에 콘크리트 패널의 재원에 따라 시공간격이 결정되는 콘크리트 패널식 절토부 옹벽과 달리 영구앵커 보강재의 간격을 설계에 따라 조정 가능하며, 이에 따라 보다 경제적인 시공이 가능하다. 또한, 지형 및 지반 상태에 따른 배수공 위치와 개수의 조절이 용이하도록 고안되었다.

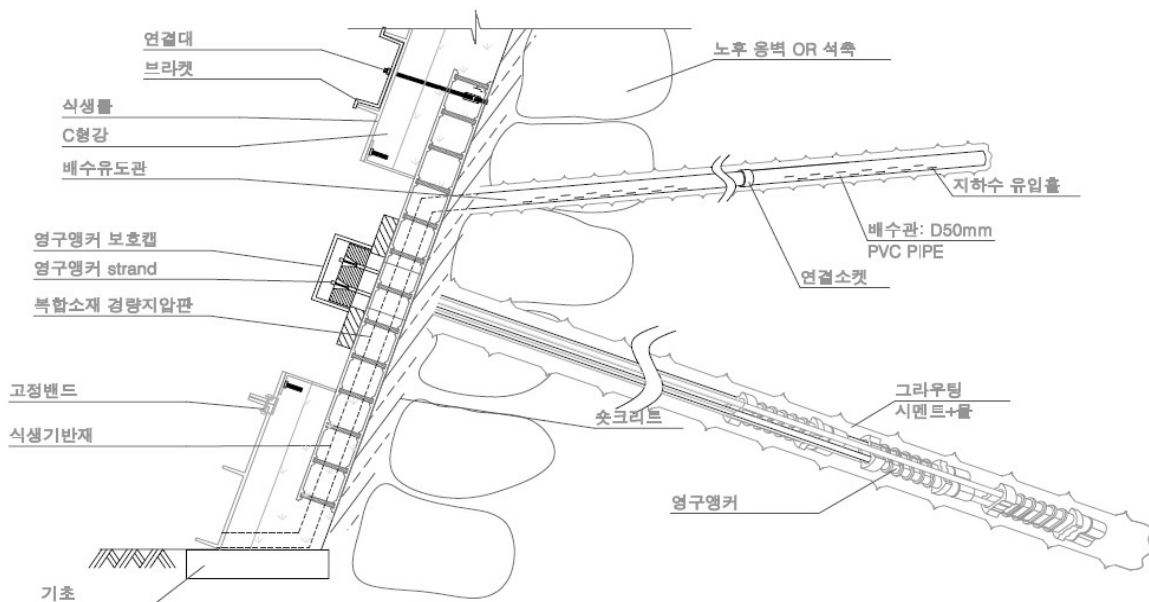


그림 3.27 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법(앵커보강형) 개념도

3.3 노후 옹벽 및 석축 보강의 비철거식 보강공법 시공기술 개발

(1) 노후 옹벽 및 석축 보강의 비철거식 보강공법의 시공방법 개발

노후 옹벽 및 석축에 대한 보강을 수행하기 위해 우선 지반조사를 통해 분석된 현황자료를 바탕으로 안정성 검토를 수행하여 보강공법의 종류를 결정하여야 한다. 토사의 심도가 깊거나 보강대상물인 옹벽이나 석축의 높이가 낮은 경우 일반적으로 네일링 공법을 적용하며, 보강대상물의 높이가 높거나 보강대상물 상부 구조물로 인하여 활동력이 큰 경우 영구앵커 공법을 적용하는 것이 바람직하다. 따라서 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법은 보강대책공법으로 네일링과 영구앵커 적용가능할 수 있도록 고려되어야 하며, 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법 개발시 이를 고려하였다. 보강대책공법으로 영구앵커공법을 적용할 경우 영구앵커 긴장 정착시 도입된 인장하중이 지반에 고르게 전달될 수 있도록 지압판을 설치하여야 하기 때문에 지압판 설치에 관한 시공상의 차이점이 발생한다.

다.

(가) 네일링 공법 적용시

보강대책으로 네일링 공법이 적용되는 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법의 시공순서는 다음과 같으며, 시공관련 상세 내용은 ‘노후 옹벽구조물 비철거식 네일식생옹벽 보강공법 시방서’에 명기하였다.



(a) 필요시 코아천공



(b) 보강재 천공



(c) 보강재 삽입/설치



(d) 보강재 그라우팅



(e) 와이어메쉬 설치



(f) 쏫크리트 타설



(g) 옹벽공 기초 타설



(h) 연결대 보강재 연결



(i) 식생패널 설치



(j) 식생패널 결속



(k) 식생기반재 취부



(l) 시공완료

그림 3.28 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법 시공순서 [보강재 네일링 적용시]

(나) 영구앵커 공법 적용시

보강대책으로 영구앵커 공법이 적용되는 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법의 시공순서는 다음과 같다. 보강대책공법으로 영구앵커공법을 적용할 경우 영구앵커 긴장 정착시 도입된 인장하중이 지반에 고르게 전달될 수 있도록 지압판을 설치하며, 식생패널과 지압판 사이의 유격으로 인한 식생 기반재 유실을 방지하기 위해 앵커 패널 커버를 설치한다. 시공관련 상세 내용은 ‘노후 옹벽구조물 비철거식 네일식생옹벽 보강공법 시방서’에 명기하였다.



(a) 필요시 코아천공



(b) 보강재 천공



(c) 보강재 삽입/설치



(d) 보강재 그라우팅



(e) 와이어메쉬 설치



(f) 쏫크리트 타설



(g) 옹벽공 기초 타설



(h) 영구앵커 지압판 설치



(i) 영구앵커 긴장/정착



(j) 연결대 연결



(k) 식생패널 설치



(l) 식생패널 결속



(m) 앵커 패널 커버 조립



(n) 식생기반재 취부



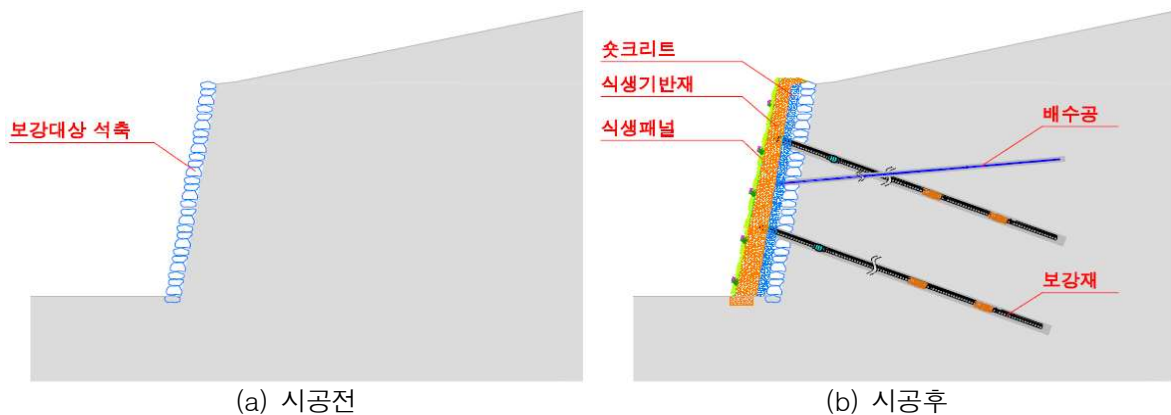
(o) 시공완료

그림 3.29 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법 시공순서 [보강재 영구앵커 적용시]

(다) 옹벽 형식에 따른 개발기술의 적용방안 연구

a. 보강 대상이 석축인 경우

연구 개발 기술은 식생패널과 식생기반재에 의한 식생 활착을 유도하는 친환경 녹화 기술로서 식생패널 설치시 식생패널의 경사가 완만할수록 우수의 유입과 식생생장에 보다 유리하다. 특히 석축의 경우 그 구조상 높이가 높지 않으며, 수직으로 설치되지 않고 일반적으로 1:0.2~1:0.3으로 축조되기 때문에 식생활착에 보다 유리하다고 볼 수 있다. 그림 3.20은 보강대상 석축에 대한 적용 개념도로써 와이어매쉬+숏크리트(10~20cm, 필요시), 식생패널+식생기반재 포설(20~30cm)을 위해 보강대상 구조물로부터 약 0.2~0.5m의 공간이 확보되어야 적용할 수 있다(시공 작업공간 별도).



(a) 시공전

(b) 시공후

그림 3.30 석축에 대한 개발기술 적용 개념도

b. 보강 대상이 옹벽인 경우(네일보강시)

보강 대상이 높지 않고 활동력이 작아 네일보강으로 안정성이 확보되는 옹벽에 대한 적용 개념도는 그림 3.31과 같다. 연구 개발 기술은 식생패널과 식생기반재에 의한 식생 활착을 유도하는 친환경 녹화 기술로서 식생패널 설치시 식생패널의 경사가 완만할수록 우수의 유입과 식생생장에 보다 유리하기 때문에 수직으로 축조된 옹벽을 대상으로 할 경우 그림과 같이 식생패널 적용에 의한 구배 완

화가 필요하다. 이때의 경사는 최소 1:0.2~0.3으로 조성되어야 하며, 구배를 고려하였을 경우 보강 대상 옹벽 높이 1m당, 0.2~0.3m의 용지와 와이어매쉬+숏크리트(10~20cm, 필요시), 식생패널+식생기반재 포설(20~30cm)을 위한 약 0.2~0.5m의 용지가 확보되어야 하기 때문에 높이 5m의 옹벽의 경우 1.0m 이상의 용지가 확보되어야 유리하다.

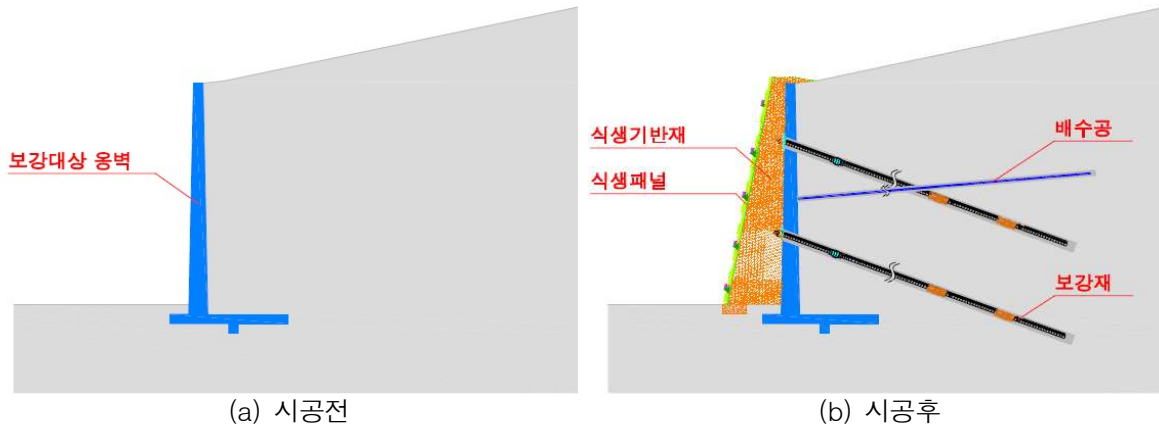


그림 3.31 옹벽에 대한 개발기술 적용 개념도(네일보강시)

c. 보강 대상이 옹벽인 경우(영구앵커보강시)

보강 대상 옹벽의 활동력이 크거나 옹벽이 다단으로 구성되어 영구앵커 보강으로 안정성이 확보되는 옹벽인 경우에 대한 적용 개념도는 그림 3.32와 같다. 연구 개발 기술은 식생패널과 식생기반재에 의한 식생 활착을 유도하는 친환경 녹화 기술로서 식생패널 설치시 식생패널의 경사가 완만할수록 우수의 유입과 식생생장에 보다 유리하기 때문에 수직으로 축조된 옹벽을 대상으로 할 경우 그림과 같이 식생패널 적용에 의한 구배 완화가 필요하다. 이때의 경사는 최소 1:0.2~0.3으로 조성되어야 하며, 구배를 고려하였을 경우 보강대상 옹벽 높이 1m당, 0.2~0.3m의 용지와 와이어매쉬+숏크리트(10~20cm, 필요시), 식생패널+식생기반재 포설(20~30cm)을 위한 약 0.5m의 용지가 확보되어야 하기 때문에 높이 5m의 옹벽의 경우 1.0m 이상의 용지가 확보되어야 유리하다. 따라서 보강 대상 옹벽이 다단으로 구성되어 있는 경우 단과 단사이의 소단은 1.0m 이상 확보되어야 적용할 수 있다.

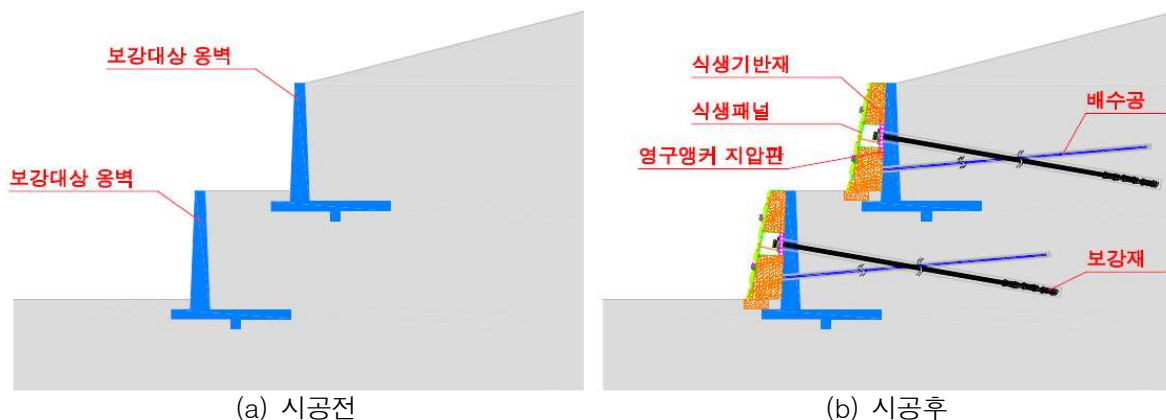


그림 3.32 옹벽(다단)에 대한 개발기술 적용 개념도(영구앵커보강시)

(2) 노후 옹벽 및 석축 보강의 비철거식 보강공법의 시험시공

개발기술은 오산시 및 오산세교2서부우회도로 및 대로3-12호선 317지방도연결공사통합건설사업관리단의 협조를 받아 ‘서부우회도로(가장~두곡간) 및 대로3-12호선 개설공사’에 시범 적용하였다.

표 3.20 노후 옹벽 및 석축 보강의 비철거식 보강공법의 시험시공 내역

공사명	발주처	감리사	원도급사	적용사항
서부우회도로 (가장~두곡간) 및 대로3-12호선 개설공사	오산시	오산세교2서부우회도로 및 대로3-12호선 317지방도연결공사통합 건설사업관리단	대우조선 해양 주식회사	- 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법 - 영구앵커 타입 1공 - 유지관리 키트 - 지표변위계 1개소, 하중계 1개소, 경사계 3개소

주식회사 대한지오이엔씨

경기도 성남시 분당구 경자동 인텔리지2 B동 2206호 TEL (031)713-5227/8 FAX (031)713-6225

문서번호 : 제 18-26 호
시행일자 : 2018. 11. 07.

수신 : 오산세교2서부우회도로 및 대로3-12호선 317지방도 연결공사통합건설사업관리단

참조 : 대우조선해양건설주식회사

제 목 : "LoRa 기반의 옹벽 유지관리기술 제안 및 적용" 의 건

1. 귀사의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 당사에서 진행하고 있는 국책연구과제 (국토교통과학기술진흥원) "노후옹벽 및 석축 유지관리를 위한 식생옹벽 비철거식 시공기술 및 LPWA기술 LoRa기반의 유지관리기술 개발" 과 관련, 이를 활용 할 수 있도록 LoRa기반의 옹벽 유지관리 기술을 당 현장과 계약된 대로3-12호선의 식생옹벽에 제안 및 적용하고자 하오니 검토하여 주시기 바랍니다.

3. LoRa기반의 유지관리 기술 적용에 따른 비용 및 유지관리에 필요한 모든 제안 비용은 (주)대한지오이엔씨에서 부담하며 관련기기의 설치 및 시공은 현장감독관의 승인하에 시공하도록 하겠으니 해당 기술을 당 현장에 적용할 수 있도록 제안 드리는 바입니다.

부록 : 제작관리 사양서 1부

연구개발계획서 요약 1부 - 끝 -

경기도 성남시 분당구 경자동 인텔리지2 B동 2206호
(주)대한지오이엔씨
대표이사 김재

(a) 시험시공 신청 공문

SUNJIN
ENGINEERING & ARCHITECTURE

서부우회도로(가장~두곡간) 및 대로3-12호선 개설공사 건설사업관리용역
(주)18126 경기도 오산시 청백동 158 / 전화 031-378-7560 · 팩스 031-378-7561

문서번호 CO-GN-030-267호

시행일자 2018. 11.

경유

수신 (주)대한지오이엔씨

참조

제 목 노후옹벽 및 석축 유지관리 기술개발 관련기기 설치 승인

선결

의사

결재

공통

담당자

1. (주)대한지오이엔씨 제18-26(2018.11.07)호 관련입니다.
2. 귀사에서 진행중인 국책연구과제 "노후옹벽 및 석축 유지관리를 위한 식생옹벽 비철거식 시공기술 및 LPWA기술 LoRa기반의 유지관리기술 개발" 관련으로
3. 대로3-12호선에 관련기기의 설치 및 시공을 귀사 의견대로 승인하오니 세부사항은 원도급사와 협의 진행하시기 바랍니다. 끝.

책임건설사업관리기술자 김 장 혁

(b) 시험시공 승인 공문

그림 3.34 노후 옹벽 및 석축 보강의 비철거식 보강공법의 시험시공 신청 및 승인 공문

(가) 노후 옹벽구조물 비철거식 식생옹벽 보강공법 시험시공

본 연구에서는 실제 노후된 옹벽이나 석축이 있는 위험지를 확보하지 못하여 (주)대한지오이엔씨에서 시공하고 있는 절토부 사면에 대한 네일식생옹벽 시공예정지에 대하여 수행하였다. 개발된 노후 옹벽 구조물 비철거식 식생옹벽은 네일링옹벽과 앵커식생옹벽으로 구분되지만, 영구앵커의 긴장 및 정착에 따른 공정이 추가되는 앵커식생옹벽으로 수행하였다.



(a) 보강재 천공



(b) 보강재 설치 및 그라우팅



(c) 와이어메쉬 설치



(d) 쏫크리트 타설



(e) 복합소재 앵커 지압판 거치



(f) 로드셀 설치



(g) 앵커 인장



(h) 앵커 정착



(i) 앵커 보호캡 설치(앵커공 마무리)



(j) 식생패널 설치



(k) 식생패널 결속



(l) 앵커 패널 커버 체결



(m) 식생기반재 취부



(n) 유지관리키트 연결/마무리

그림 3.35 유지관리 키트(하중계) 설치

(나) 노후 옹벽 및 석축 유지관리 키트 시험 시공

노후 옹벽 및 석축 유지관리 키트의 시험 설치 위치는 다음과 같다. 경사계 유지관리키트 3개소, 지표변위계 유지관리키트 1개소, 하중계 유지관리키트 1개소 등 총 5개소에 대하여 유지관리키트를 설치하였으며, 설치장소로부터 150~250m 이격된 곳에 통신중계기를 설치하였다.



- : 유지관리키트 (경사계 3개소)
- : 유지관리키트 (지표변위계 1개소)
- : 유지관리키트 (하중계 1개소)
- : 통신중계기

그림 3.36 유지관리 키트 설치 위치도

경사계 유지관리키트는 경사측정 계측기기가 유지관리키트 내에 내장된 일체형으로서 공사종료 후 식생패널에 고정하는 방법으로 3개소를 설치하였으며, 설치 과정은 다음과 같다.



(a) 유지관리키트(경사계 1)



(b) 유지관리키트(경사계 1) 설치 후

그림 3.37 유지관리 키트(경사계 1) 설치



(a) 유지관리키트(경사계 2)



(b) 유지관리키트(경사계 2) 설치 후

그림 3.38 유지관리 키트(경사계 2) 설치



(a) 유지관리키트(경사계 3)



(b) 유지관리키트(경사계 3) 설치 후

그림 3.39 유지관리 키트(경사계 3) 설치

지표면위계는 유지관리키트+지표면위계로 구성되며, 옹벽 높이 5m(1개 소단 높이) 지점의 끝에 설치하였으며, 설치 결과는 다음과 같다.



(a) 유지관리키트(지표변위계)



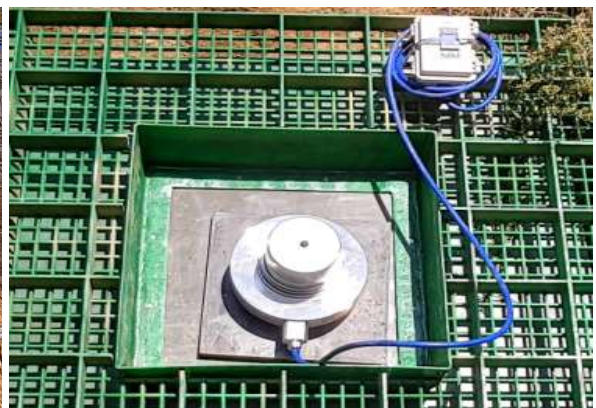
(b) 유지관리키트(지표변위계) 설치 후

그림 3.40 유지관리 키트(지표변위계) 설치

하중계는 유지관리키트+로드셀로 구성되며, 영구앵커 인장정착시 설치된 로드셀을 공사종료 후 유지관리 키트에 연결하여 설치하였다.



(a) 식생패널 설치전 영구앵커 시공 및 로드셀 설치



(b) 설치 사례

그림 3.41 유지관리 키트(하중계) 설치

중계기는 유지관리키트로부터 150~250m 이격된 지점에 1개소 설치되었으며, 220v의 상용 전원에 연결되어 있음. 그 설치 결과는 다음과 같다.



(a) 통신중계기



(b) 통신중계기 설치 후

그림 3.42 유지관리 키트(통신 중계기) 설치

(다) 노후 옹벽 및 석축 보강의 비철거식 보강공법의 현장 적용 효과

표 3.21 기존 공법 대비 개발기술(노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법)의 현장 적용성 검토

구분	개발기술(네일보강형)	철거+패널식 옹벽	철거+네일합벽식 옹벽	격자블럭+앵커보강
개념도				
시공방법 (100m, 500m ² , 보강재10공 기준)	① 보강재 천공 및 설치 (4일) ② 와이어메쉬설치+숏크리트 (3일) ③ 식생패널 설치 (3일) ④ 식생기반재 포설 (3일) [총 13일]	① 노후 시설물 철거 (10일) ② 보강재 천공 및 설치 (4일) ③ 콘크리트 패널 설치 (5일) ④ 뒷채움 및 다짐 (5일) [총 24일]	① 노후 시설물 철거 (10일) ② 보강재 천공 및 설치 (4일) ③ 옹벽 철근 배근 및 거푸집 설치 (10일) ④ 콘크리트 타설 (5일) [총 29일]	① 보강재 천공 및 설치 (4일) ② 격자블럭 거치 (10일) ③ 영구앵커 인장 정착 (5일) [총 19일]
특징	• 노후 옹벽 및 석축의 비철거에 따른 시공시 안정성 확보 및 인접구조물 영향성 감소 • 경량자재의 현장 조립시공에 따른 중장비 사용 최소화 • 현장 맞춤형 옹벽형상 조성, 보강간격 조정 가능	• 노후 옹벽 및 석축의 철거에 따른 시공시 안정성 저하 및 인접구조물 영향성 고려 필요 • 중량의 콘크리트 기초 및 콘크리트 패널사용으로 시공시 중장비 필수 • 콘크리트 패널 규격에 따른 보강간격 조정 불가	• 노후 옹벽 및 석축의 철거에 따른 시공시 안정성 저하 및 인접구조물 영향성 고려 필요 • 가설구조물 설치, 철근배근, 콘크리트 타설 및 양생 등으로 인한 시공기간 증가로 급속시공 불가	• 노후 옹벽 및 석축의 비철거에 따른 시공시 안정성 확보 및 인접구조물 영향성 감소 • 중량의 콘크리트 지압판 상용에 따른 시공시 중장비 필수 • 이완 블록, 압괴 등의 개별 거동에 대한 대책 필요
적용 효과	• 개발 기술은 노후된 옹벽 및 석축을 철거하지 않고 시공할 수 있기 때문에 시공시 안정성을 확보 할 수 있으며, 인접구조물에 대한 영향성이 적음. • 특히 경량의 자재를 현장에서 조립시공하기 때문에 기존 공법 대비 중장비의 사용을 최소화 할 수 있으며, 현장 맞춤형 옹벽형상 조성이 가능하고, 보강간격 조정이 용이함.			

a. 시공효율성

노후 시설물에 대한 철거 후 옹벽을 축조하는 공법의 경우 노후 시설물의 철거에 시간적·경제적 비용이 발생하며, 노후 시설물 상하부에 인접하여 구조물이 위치한 경우 노후 시설물을 철거하고 신규 구조물을 설치하기까지의 시공중 안정성 확보를 위해 가시설공사나 보강공사가 필요 한 경우 추가적인 시간적·경제적 비용이 소요된다. 기존의 패널식 옹벽의 경우 개발기술처럼 노후 시설물을 철거하지 않고 시공할 수 있으나 철근콘크리트로 제작된 패널의 자중으로 인하여 기초작업이 레벨링 콘크리트 타설과 기초블럭 설치, 마이크로 파일 등으로 이루어져야 하며, 기초블럭과 콘크리트패널 설치를 위한 중장비의 사용이 필수적이다. 노후 시설물에 대한 격자블럭과 앵커보강 기술의 경우 개발 기술보다 시공효율성이 보다 높다고 할 수 있으나 해당 공법의 경우 격자블럭이 설치되는 접지 면적 외에 위치한 이완된 석축 암괴 등 전면부에 대한 보수가 별도로 수행되어야 하기 때문에 노후 시설물의 전면 상태에 따라 시공효율성이 개발기술보다 나빠질 수 있다.

그러나 개발기술은 노후 시설물을 철거하지 않고 시공하기 때문에 노후 시설물 철거에 따른 공사기간과 철거 비용을 절감할 수 있으며, 시공 중 안정성을 확보 할 수 있다. 특히 표 3.21과 같이 노후 시설물을 철거한 후 신규시설물을 축조하는 공법대비 50% 이상의 공기를 절감할 수 있으며, 노후 시설물 전면에 대한 식생패널 설치를 통해 대상시설물의 부분적 노후화에도 대응할 수 있는 친환경 공법이다.

b. 시공안정성

노후 석축의 경우 구조적 취약성에 의하여 네일링 보강 및 보강 효과에 대한 다양한 연구가 수행되어 검증된바 있다(김상규 외, 1974; 정인준 외 1975; 김시년 외, 1984; 김홍택 외 1992). 특히 개발 기술을 포함한 노후 시설물에 대한 보수 보강은 현장 조사 및 안정성 분석을 통해 보강재원과 보강 수량을 결정하여 수행되기 때문에 보강효과 및 안정성은 확보된다고 볼 수 있다.

그러나 노후 시설물을 철거하고 신규구조물을 축조하는 경우 노후 시설물을 철거하고 신규 구조물을 설치하기까지의 시공중 안정성 확보를 위한 검토 및 조치가 필요하며, 격자블럭과 앵커보강 기술의 경우 격자블럭이 설치되는 접지 면적 외에 위치한 이완된 석축 암괴 등 전면부의 안정성 확보가 추가적으로 필요하다.

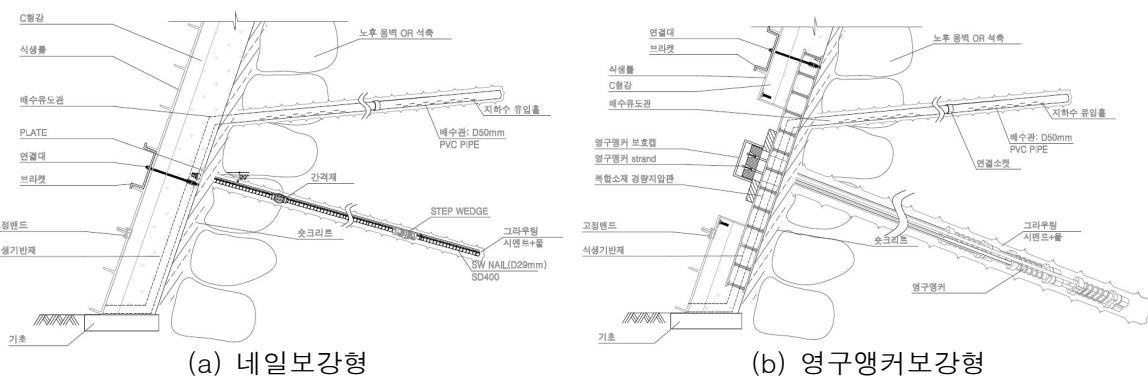


그림 3.43 보강재 형식에 따른 개발기술 개념도

한편, 콘크리트 패널식 옹벽의 경우 개발기술과 유사하게 노후 시설물을 대상으로 비철거식 보강을 적용할 수 있을 것으로 판단되나 철근콘크리트로 제작된 패널의 자중으로 인하여 기초작업이 레벨링 콘크리트 타설과 기초블럭 설치, 마이크로 파일 등으로 이루어져야 하며, 기초블럭과 콘크리트패널 설치를 위한 중장비의 사용이 필수적이다. 특히 그 자중으로 인하여 기초와 보강재의 시공품질, 성능 확보가 매우 중요하며, 이를 확보하지 못하는 경우 그림 3.34(a)와 같은 유실이 발생할 수 있다. 그러나 개발기술의 경우 와이어메쉬와 슛크리트로 이루어진 옹벽 외부에 식생패널이 식생을 위한 식생 기반재의 유실을 방지하고 형상을 유지하기 조립·시공되기 때문에(그림 3.34(b)) 경량의 FRP소재로 제작되어 하중에 의한 영향이 매우 적어 보다 안정하다.



(a) 콘크리트 패널식 옹벽의 유실사례

(b) 개발기술의 식생패널 설치

그림 3.44 기존기술과 개발기술의 패널 설치

3.4 LoRa 기반의 노후 옹벽 및 석축 유지관리 키트 개발

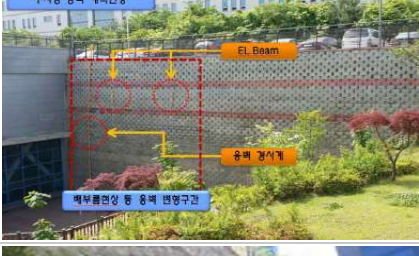
(1) LoRa 기반 유지관리 키트 적용 센서 및 계측빈도 선정

a. 노후 옹벽 계측 사례

현재 옹벽에 대한 계측사례 조사결과 표 3.22와 같다. 주로 시공중이거나 공용중인 대규모 보강토 옹벽을 대상으로 안정성 확인을 위한 자동화계측을 수행하고 있으며, 지자체에서 관할 유지관리대상을 대상으로한 간이 계측관리를 수행하고 있는 것으로 확인된다. 특히 크랙게이지를 활용한 계측 관리의 경우 크랙게이지의 정확성이나 현장방문의 필요성 등 단점이 많으나 크랙게이지 자재구입 및 설치 비용이 매우 저렴하기 때문에 보고되지 않은 사례가 더욱 많을 것으로 예상된다.

표 3.22 유지관리 키트의 통신 기능 및 성능 확인 시험 결과

현장명	과업범위	적용항목	현장사진
000우회도로 보강토옹벽	· 노후 옹벽 배부름 현상 및 균열, 배면 도로 침하 발생 · 우회도로 준공 전 보강토옹벽의 하단 변위 진행 유무 판단	· Tiltmeter · 균열계 · 지표침하계 · 경사계	

하안00 아파트 보강토옹벽	· 보강토옹벽 배부름 현상 및 균열 과다 발생으로 주민민원 제기 · 우기철 호우에 따른 변위진행 유무 판단자료 활용	· Tiltmeter · 균열계 · 지표침하계	
속초00 아파트 보강토옹벽	· 보강토옹벽 배부름 현상 및 균열 누수발생 등으로 주민 민원제기 · 우기철 호우에 따른 변위진행 유무 판단 자료 활용	· Tiltmeter · 균열계 · 지표침하계 · 광파측정기	
00레포츠센터 보강토옹벽	· 보강토옹벽 배부름 현상 및 균열, 누수, 배면도로 침하발생 · 옹벽 구조체의 변위 진행 유무 판단	· Tiltmeter · 균열계 · 지표침하계 · 경사계	
밀양-울산 고속국도 보강토옹벽	· 고성토부 보강토옹벽에 대한 계측관리 수행으로 시공안전성 점검	· 경사계 · 레벨측정타겟 · 크랙게이지 · 광파타겟	
성남시 금광1동 성광빌라	· 재해취약지(옹벽)에 대한 모니터링	· 크랙게이지	
서울시 중랑구	· 관리대상시설물(옹벽)에 대한 모니터링	· 크랙게이지	
충청 교육청	· 관리대상시설물(옹벽)에 대한 모니터링	· 크랙게이지	

현재 옹벽에 대한 계측사례 조사결과 계측관리를 위해 설치된 계측기기는 Tiltmeter, 균열계, 지표침하계, 경사계, 광파타겟, 크랙게이지 등으로 확인된다.

b. 계측기 및 계측빈도 선정

노후 석축 및 옹벽은 급경사지, 비탈면, 옹벽구조물 등으로 분류할 수 있으며, 이에 대한 계측 관련 기준은 건설공사비탈면 설계기준 및 해설서, 건설공사비탈면 표준시방서, 급경사지 계측 표준시방서 등에 명기되고 있다.

표 3.23 계측기와 계측빈도 (건설공사 비탈면 설계기준 해설, 2016)

계측의 대상	계측수법 계측기명	계측빈도의 목표(수동계측대상)			
		시공단계	유지관리단계	효과판정	긴급시
지표면변동 (변형, 변위)	지표면신축계	1회/일 또는 1~2회/주	4~6회/년	1~2회/주 또는 1회/월	1~2회/일
작용외력	로드셀 (센토홀 식)	1회/일 또는 1~2회/주	4~6회/년	1~2회/주 또는 1회/월	1~2회/일
구조물의 변형, 변위	구조물 표면경사계	1회/일 또는 1~2회/주	6~12회/년	1~2회/주 또는 1회/월	1~2회/일
※해빙기·우기·태풍 등의 이상 기상시나 지진시에는 계측빈 도를 적의 밀실하지 않도록 한다.		공사에 선행 혹은 병행하여 현장계 측을 하며, 대책공 시공이나 공사의 안전성을 확보한다.	보전대상물이 나 인명의 안전확보 를 위해 긴급대피 등의 조치를 목적 으로 한다.	비탈면붕괴 대책 공 시공후의 대책 효과 확인을 목적 으로 한다.	시공도중이나 유 지관리단계에 있 어서 붕괴나 땅사 태의 변동이 현재 화된 경우

표 3.24 계측빈도와 시간 (건설공사 비탈면 표준시방서, 2016)

구분	계측항목	계측빈도		
		깎기 직후 ~ 1개월	1개월 ~ 3개월	3개월 이후
깎기구간	지중경사계 지하수위계 신축계	2회/1주이상	1회/1주	1회/월

표 3.25 수동계측시 계측빈도의 목표 (급경사지 계측 표준시방서, 2016)

계측 대상	계측기	계측빈도의 목표(수동계측대상)				
		조사계획 단계	시공단계	유지관리단계	효과판정	긴급시
구조물의 변형, 변위	구조물 표면경사계	-	1회/일 또는 1~2회/주	6~12회/년	1~2회/주 또는 1회/월	1~2회/일
	광파 측량법					
	지중 경사계					
	크랙 게이지					

표 3.26 급경사지 상시계측관리 설치 센서 종류 (급경사지 계측 표준시방서, 2016)

계측항목	센서종류	계측통신방식	유무선	사용빈도
구조물 거동 및 응력	구조물경사계 (틸트미터)	전기식, 진동현식, FBG광센선식	유선	상
		디지털	유무선	상
	변형률계	전기식, FBG광센선식	유선	상
		진동현식	유선	상
	벽면토압계	전기식	유선	하
		진동현식	유선	하
	앵커하중계	전기식	유선	중
		진동현식	유선	중
	철근응력계	전기식	유선	중
		진동현식	유선	중
	로드셀	전기식	유선	상

표 3.27 비탈면 유지관리 단계별 관리기준치(비탈면안정소위원회, 1996 (일본))

계기구분과 계측치	대응구분	점검유주의 또는 관측강화	대책검토	경계 응급대책	엄중경계 일시폐
신축계	지표면의 변위속도	5mm 이상 /10일	5~50mm /5일	10~100mm /10일	100mm 이상 /일
지중신축계					
광파측거의					
삽입형 지중경사계	활동면 부근의 변위속도	1mm 이상 /10일	5~50mm /5일	-	-

표 3.28 각 레벨별 지표면 변위속도 관리기준치(비탈면안정소위원회, 1996 (일본))

구분	지표면 변위속도	대응
통상레벨	100mm이상/30일 (3.3mm/day)	점검유주의, 관측강화, 통상의 시공, 시공관리 체제
주의레벨	5~50mm이상/5일 (1~10mm/day)	대책공 검토, 관리계측의 강화, 계측빈도 증가, 주변조사, 관리기준치 제고
경계레벨	10~100mm이상/1일 (10~100mm/day)	경계, 응급대책, 시공중단, 관찰 계측강화, 계측빈도 증가, 주변조사, 대책고의 재고 시공
대피레벨	100mm이상/1일 (100mm이상/day)	엄중경계, 일시대피, 시공중지, 통행정지

표 3.29 각 대응별 지표면 변위값, 경사계 경사도의 관리기준치(비탈면안정소위원회, 1996 (일본))

구분 (5일누적1일변위)		지표면 변위값 관리기준값 (누적변위 50mm)	경사계 경사도 관리기준값 (누적경사 30°)	대응
1차	5일	≤ 80% (40mm)	≤ 80% (24°)	안전
	1일	≤ 60% (6mm)		
2차	5일	80~100% (40~50mm)	80~100%(24~30°)	주의
	1일	60~100% (6~10mm)		
3차	5일	100~120% (50~60mm)	100~120%(30~36°)	경계
	1일	100 < (10mm)		

위와 같은 관련기준에서 정의하는 계측기기 및 계측빈도는 절대적인 것은 아니며, 계측기기의 경우 급경사지의 종류·지형·지질조건·재해형태·규모 등을 감안하여 적합한 계측기기를 사용하도록 하고 있다. 계측빈도의 경우에도 급경사지의 변위 및 변형 상황, 위험도, 계측기기의 특성이나 내구성, 현지 조건 등을 고려하여 설정하며, 급경사지의 붕괴나 활동 등은 호우, 해빙, 지진 등의 외적 요인으로 인해 발생하는 경우가 많으므로 이와 같은 요인이 발생된 경우에는 당초 계측계획으로 설정된 계측 빈도에 구애받지 않고 계측 빈도를 조정할 수 있도록 하고 있다.

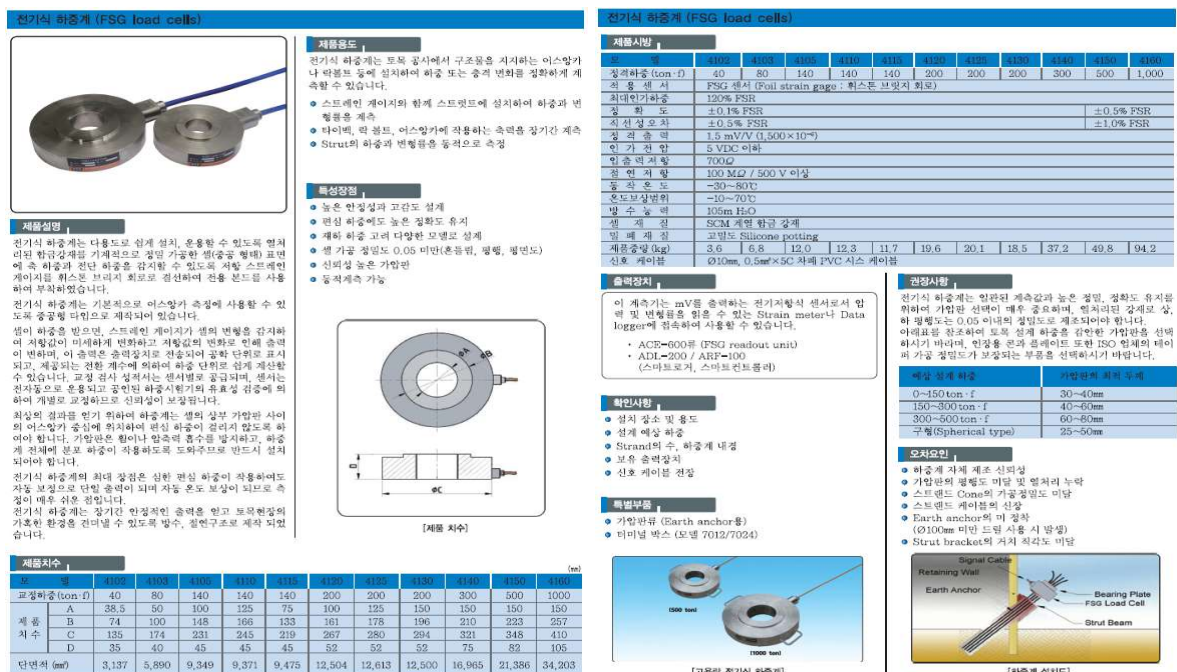
본 연구에서는 위와 같은 관련기준을 참조하여 노후 옹벽 및 석축 유지관리를 위한 계측기기로서 구조물 표면경사계, 신축계, 앵커하계(보강재 하중계)를 선정하였다. 계측빈도의 경우 상시계측 개념으로 접근하였으나 도로교통연구원 등 관련 전문가 자문 결과를 반영하여 상시계측에 대한 실효성 및 소비전력 과다 등의 문제를 고려하여 수동계측에 준하여 계측빈도를 설정하되 현지조건, 위험도, 민감도 등에 따라 사용자(발주처, 설치자)의 요구를 반영하여 조정할 수 있도록 구상하였다.

옹벽을 포함한 급경사지 계측에 관한 계측기기 및 계측 빈도의 경우 인사고 영향을 줄 수 있는 매우 민감한 사항이기 때문에 일반기업에서 결정하기에 부담이 있으며, 국내 관련 기준에서도 명확히 규정되어 있지 않아 국가 연구기관을 통해 연구되고 정립되어야 할 것으로 판단된다.

(2) 계측센서의 선정

(가) 하중계 센서

전기식 하중계는 다용도로 쉽게 설치, 운용할 수 있도록 열처리된 합금강재를 기계적으로 정밀 가공한 셀(중공 형태) 표면에 축 하중과 전단 하중을 감지할 수 있도록 저항 스트레인이게이지를 휘스톤 브리지 회로로 결선하여 사용한다. 셀이 하중을 받으면, 스트레인 게이지가 셀의 변형을 감지하여 저항값이 미세하게 변화하고 저항값의 변화로 인해 출력이 변하며, 전하 계수에 의하여 하중 단위로 계산, 센서는 공인된 하중시험기의 유효성 검증에 의하여 개별로 교정하므로 신뢰성 보장된다.



구분	규격
정격교정 하중	140 ton·f
입력 저항	700 Ω
최대 인가하중	150% FSR
정확도	$\pm 0.1\%$ FSR
분해능	0.025%FSR
셀 내경(D)	$\Phi 75$ mm



그림 3.46 전기식 하중계(로드셀) 센서

(나) 경사계 센서

MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기반의 자이로(3축)센서를 이용하여 토목 구조물의 기울기 변위량 측정하는 것으로 계획하였다. 해당 경사계 센서는 계속 하고자 하는 한 지점에 고정된 플레이트 위에 경사계 키트를 부착 사용한다.

구분	규격
분해능	0.1%FS
정확도	$\pm 1.0\%$ FS
측정범위	$\pm 10.0^\circ$

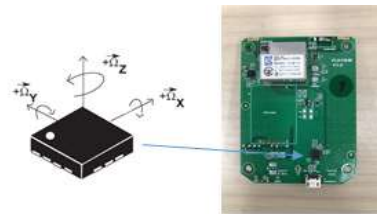


그림 3.47 경사계 센서

NXP Semiconductors
Data sheet: Technical data

Document Number: MMA8452Q
Rev. 10, 04/2016

MMA8452Q, 3-axis, 12-bit/8-bit digital accelerometer

The MMA8452Q is a smart, low-power, three-axis, capacitive, micromachined accelerometer with 12 bits of resolution. This accelerometer is packed with embedded functions with flexible user programmable options, configurable to two interrupt pins. Embedded interrupt functions allow for overall power savings relieving the host processor from continuously polling data.

The MMA8452Q has user selectable full scales of ± 2 g/ ± 4 g/ ± 8 g with high-pass filtered data as well as non-filtered data available real-time. The device can be configured to generate inertial wakeup interrupt signals from any combination of the configurable embedded functions allowing the MMA8452Q to monitor events and remain in a low-power mode during periods of inactivity. The MMA8452Q is available in a 16-pin QFN, 3 mm x 3 mm x 1 mm package.

Features

- 1.95 V to 3.6 V supply voltage
- 1.6 V to 3.6 V interface voltage
- ± 2 g/ ± 4 g/ ± 8 g dynamically selectable full-scale
- Output data rates (ODR) from 1.56 Hz to 800 Hz
- 99 μ g/Hz noise
- 12-bit and 8-bit digital output
- I²C digital output interface
- Two programmable interrupt pins for six interrupt sources
- Three embedded channels of motion detection
 - Freefall or motion detection: one channel
 - Pulse detection: one channel
 - Transient detection: one channel
- Orientation (portrait/landscape) detection with set hysteresis
- Automatic ODR change for auto-wake and return to sleep
- High-pass filter data available real-time
- Self-test
- Current consumption: 6 μ A to 165 μ A

Typical applications

- E-compass applications
- Static orientation detection (portrait/landscape, up/down, left/right, back/front position identification)
- Notebook, e-reader, and laptop tumble and freefall detection
- Real-time orientation detection (virtual reality and gaming 3D user position feedback)
- Real-time activity analysis (pedometer step counting, freefall drop detection for HDD, dead-reckoning GPS backup)
- Motion detection for portable product power saving (auto-sleep and auto-wake for cell phone, PDA, GPS, gaming)
- Shock and vibration monitoring (mechanical compensation, shipping and warranty usage logging)
- User interface (menu scrolling by orientation change, pulse detection for button replacement)

Ordering information			
Part number	Temperature range	Package description	Shipping
MMA8452QT	-40°C to +85°C	QFN-16	Tray
MMA8452QR1	-40°C to +85°C	QFN-16	Tape and Reel

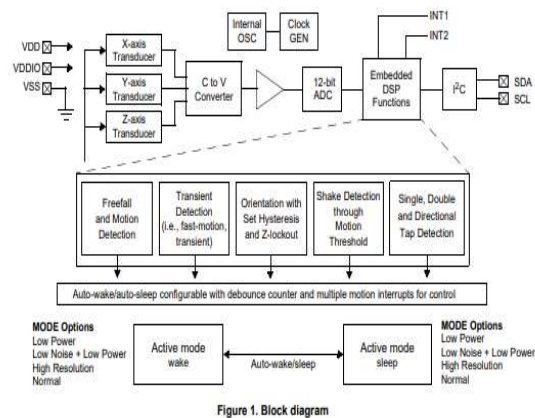
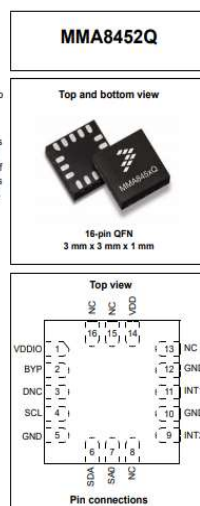


Figure 1. Block diagram

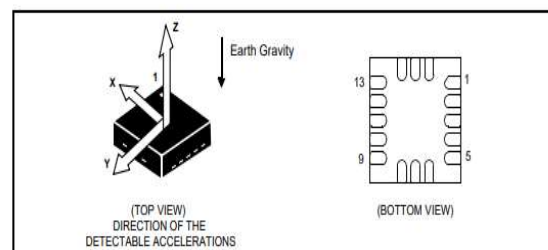


그림 3.48 유지관리 키트에 적용된 경사계 센서 사양

(다) 변위계 센서

와이어식 변위계는 회전식 고정밀 포텐시오 메터와 시계 태엽 구동부에 내장된 wire를 변위가 일어날 것으로 예상되는 암반 또는 토사 사면이나 옹벽 등에서 설치하여 wire의 변위를 정밀하게 측정하는 센서로서 wire가 움직이면 회전형 포텐시오메터를 회전시켜 발생하는 전압(mV) 측정하게 된다.

구분	규격
적용센서	포텐시오메터
측정범위	600mm
정확도	±0.3% FSR
정밀도	±0.2mm
입력전압	3~12VDC
와이어 장력	8N, 스테인레스 스틸 와이어 Φ0.5mm



그림 3.49 변위계(와이어) 센서

관람위 와이어식 변위계 (Long range crackmeter)

제품설명

모든 5000 평방미터 와이어식 변위계는 회전식 고정밀 포텐시오메터와 시계 태엽 구동부에 wire가 내장되어 wire를 밀접한 상태로 당겨 암반사면이나 철도사면, 아파트의 옹벽 등에서 크게 떨어날 수 있는 변위를 정밀하게 측정할 수 있습니다. 알루미늄과 나일론 클러스터 케이스를 사용하여 정밀한 변위 측정의 정확이 가능합니다.

모든 5000 평방미터 와이어식 변위계는 신축이음부의 변위가 발생하면 신축이음부에 연결된 wire가 움직이면서 회전형 포텐시오메터가 회전을 하여 기계적 변위량을 전압(mV)으로 나타내게 됩니다.

특성사항

- 극한 환경에서도 동작 가능한 안정성과 신뢰성
- 현장에서 측정범위 조정가능 구조
- 설치가 간편
- 반영구적 계속 가능

제품용도

- 콘크리트 구조물 이음부의 변위 측정
- 교각, 교대의 이음부 변위 측정
- 교량 공사시 이음부의 변위 측정

출력장치

이 계측기는 전압을 출력하는 전기저항식 센서로서 전압(mV) 센서 출력장치류 (Readout, Data logger, 자동화 계측을 위한 Multiplex module)에 접속하여 사용될 수 있으며 어느 회사의 장비에도 호환될 수 있습니다.

- ACB-1500 (ELS readout unit)
- ACB-900 (MEMS 미니로그)
- ADL-200 / AFE-100 (스마트로거, 스마트컨트롤러)

확인사항

- 설치 장소 및 용도
- 신호 케이블의 전장
- 보유 출력장치의 종류

제품사양

구분	표준 부착형
적용센서	포텐시오메터
측정범위	500mm 1000mm 2000mm 3000mm
정확도	1kG
분해능	무한 (infinite)
정확도	±0.1% FSR
직선성오차	±0.5% FSR
동작온도	-30~80℃
입력전압	3~12VDC
와이어굵기	8N (6kg/9m)
와이어지수	스테인레스 스틸 와이어 Φ0.5mm
주요재질	알루미늄, 나일론 클러스터 케이스
제품중량	1.4kg 1.7kg 2.0kg 2.6kg

모형 5000의 다양한 응용 설치도

그림 3.50 유지관리 키트에 적용된 변위계 센서 사양

(라) 센서의 추가 적용성

연구개발시 적용된 유지관리 키트의 센서는 하중계, 경사계, 지표변위계 3종류이지만, 무선 계측 센서 인터페이스 표준화(UART, GPIO, ADC)로 다양한 계측센서와 연동이 가능하도록 개발되었으며, 향후 옹벽 안정성 모니터링을 위해 추가적으로 요구될 수 있는 지하수위계, 지중경사계 등의 다양한 센서를 연동시킬 예정이다.

(마) 센서 교정

와이어식 변위계는 개별로 교정하여 제품 출하시 교정검사 성적서를 함께 제공하기 때문에 이를 참조하였다.



(a) 로드셀 하중값과 통신키트 연동



(b) IoT 플랫폼에서 센서값 연동 확인



(c) 로드셀 센서 자체 하중 시험



(d) 로드셀 센서와 통신부 연결

그림 3.51 유지관리 키트 센서 값 교정 시험 및 결과

Calibration Sheet					
FSG Load Cell					
Model : 4103 Serial No. : 763331 Range : 80ton-f Input&Output terminal resistance : 3500 Readout : ACE-600			Cal. Date : 2018.12.05 Cal. Temp : 23°C Excitation voltage : 2V Cable Length : 3m Cell ID : 075mm		
Load (ton-f)	Reading (μV/V)			Calculated Load (ton-f)	Error (% FSR)
	Cycle 1	Cycle 2	Average		
0.0	0	0	0	0.00	0.00
20.0	768	766	767	20.19	0.24
40.0	1524	1523	1524	40.11	0.13
60.0	2280	2278	2279	59.99	-0.01
80.0	3036	3040	3039	80.00	0.00
Load(ton-f) = (Current Reading - Zero Reading) x Sensitivity Zero Reading : Initial Reading prior to installation. Sensitivity (ton-f / μV/V) : 0.026324 Initial Reading (μV/V) : 386					
[Connection of cable] Red : (+)Vcc Black : (-)Vcc White : (+)Signal Green : (-)Signal If any factor(overload, temperature, humidity etc.) that affects to the precision, accuracy of measuring instrument, it is useless.					
Calibrated By : E. S. Kim					

Calibration Record			
Long range crackmeter			
Model : 5900 Serial No. : 5699888 Range : 600mm Resistance 5kΩ		Cal. Date : 2018.12.05 Cal. Temp : 23°C Readout : ACE-1500 Input Voltage : DC 5V	
Displacement (mm)	Reading (mV)	Calculated Disp. (mm)	Error (% FSR)
0	97	0.205	0.034
100	864	100.358	0.060
200	1623	199.465	-0.080
300	2389	299.487	-0.085
400	3156	399.639	-0.060
500	3921	499.531	-0.078
600	4692	600.205	0.034
Displacement(mm) = (Current Reading - Offset) / Sensitivity Sensitivity : 7.6583 Offset : 95.43			
[Cable connection] Resistance measuring : Red, Black Voltage measuring : +5V : Red, Common Ground : Black, Signal Voltage : White If any factor(overload, temperature, humidity etc.) that affects to the precision, accuracy of measuring instrument, it is useless.			
Calibrated By : S. H. Kim			

9, Dongjeong-ro 27beon-gil
Gunsu-si, Gyeonggi-do,
(16850) Korea
Phone : 82-31-459-8753/7
Fax : 82-31-459-8758
E-mail : ace@aceinstruments.com
Web : www.aceinstrument.com

ACE ACE INSTRUMENT CO., LTD.
The first value in Geotechnical
& Structure Instrumentation

9, Dongjeong-ro 27beon-gil
Gunsu-si, Gyeonggi-do,
(16850) Korea
Phone : 82-31-459-8753/7
Fax : 82-31-459-8758
E-mail : ace@aceinstruments.com
Web : www.aceinstrument.com

ACE ACE INSTRUMENT CO., LTD.
The first value in Geotechnical
& Structure Instrumentation

그림 3.52 센서 교정 결과

(3) LoRa 기반 유지관리 키트 개발

(가) LoRa 기반의 노후 응벽 및 석축의 유지관리 키트

a. LoRa 통신부 설계

유지관리 키트 LoRa 통신에 제공되는 LoRa Module은 LoRaWAN 표준 1.0.2을 준수하고, KC인증 및 일본 TELEC 인증을 획득 제품(공동연구기관)을 사용하며, 그 상세 제원은 다음과 같다.

PLM100S Module, Board

- ARM® Cortex®-M4 32-bit processor with FPU, 64 MHz
- LoRa Transceiver :
 - LoRa Technology RF modulation
 - Frequency: 902 ~ 958 MHz
 - Modulation : FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™
- 512KB Flash, 16KB SRAM
- LoRaWAN 1.0.2
- UART, GPIO, ADC Interface
- Rx Sensitivity : -137dBm (BW:125kHz, SF:12)
- Power Supply : 19,000mAh Battery

Specification

- LoRaWAN 1.0.2, Class A/B/C
- Bluetooth Low Energy 4.3/5.0
- General Information

MCU	* ARM® Cortex®-M4 32-bit processor with FPU, 64 MHz * 2.4 GHz transceiver(BLE) - Data Rate : Max 2Mbps - Output Power : +4 to -20 dBm in 4 dB steps - Sensitivity : -96 dBm Bluetooth LE 1 Mbps -89 dBm Bluetooth LE 2 Mbps
LoRa Transceiver	* LoRa Technology RF modulation * Frequency: 902 ~ 958 MHz * Modulation: FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™ and OOK
Internal Memory	512KB Flash, 16KB SRAM
Interface Type	I2C, UART 2 ports, GPIO
Security	* 8kbit Secure Storage * Crypto Engines (LEA, AES, ARIA) * Unique Chip ID(7Bytes)
Operation Range	Up to 15Km (LOS)
LoRa Rx Sensitivity	Up to -136dBm (BW:125kHz, SF:12)
LoRa RF Tx Power	0 to 14dBm (PA Boost mode : 20dBm)
DC Input Voltage	+3.3V
Operation Voltage	+2.1 to +3.6V
Operating Temp.	-30°C ~ +70°C
Maximum Current	50mA

Specification

- Mechanical Information

Dimension	22.0(H) X 19.0(W) X 3mm(T)
Weight	3g
Antenna Receptacle	Murata, MM9329-2700
PCB Thick	1.0mm

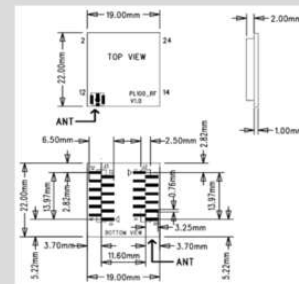
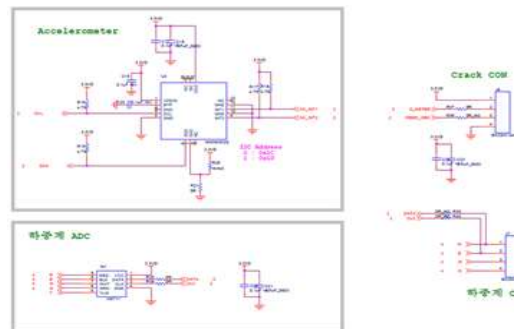


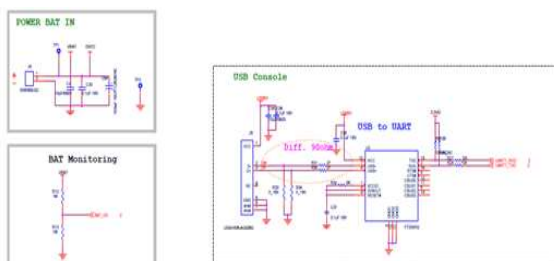
그림 3.53 유지관리 키트 LoRa 통신 LoRa Module



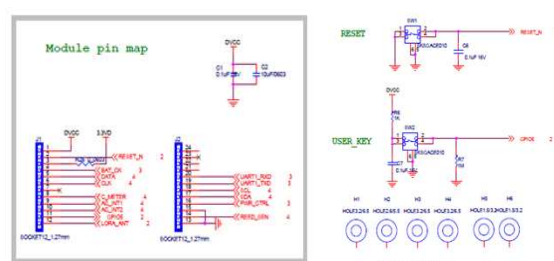
(a) LoRa 통신키트 블록 설계도



(b) 통신키트 센서 인터페이스 회로도



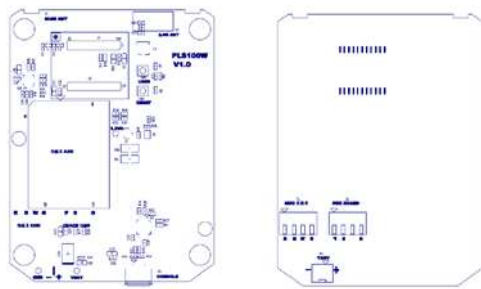
(c) 통신키트 Power, USB 회로도



(d) 통신키트 LoRa Module 인터페이스

그림 3.54 노후 응벽 및 석축 유지관리 키트 LoRa 통신부 설계

b. 유지관리 키트 시제품 제작

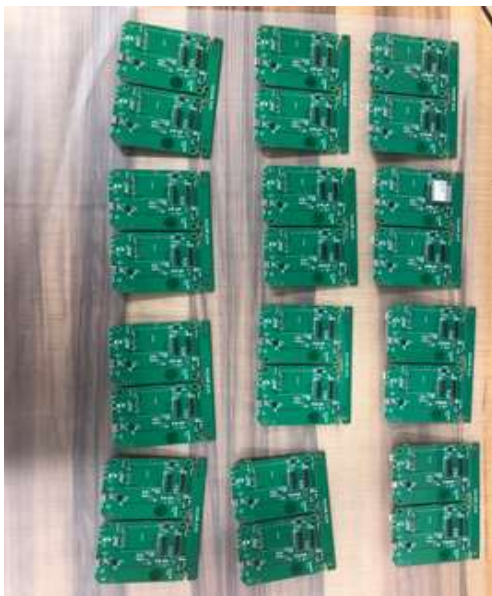


(a) 유지관리 키트 PCB 데이터

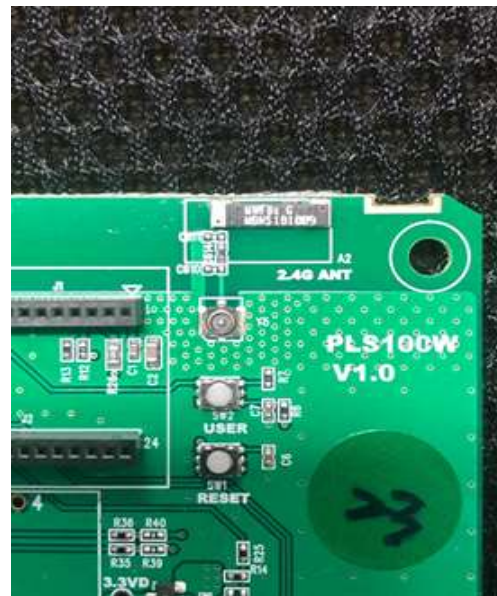


(b) 유지관리 키트 기구 설계

그림 3.55 노후 옹벽 및 석축 유지관리 키트 설계 도면 2



(a) 유지관리 PCB / SMT



(b) 유지관리 키트 Board



(c) 통신키트 구조물 금형



(d) 통신키트 구조물 목업/사출

그림 3.56 노후 옹벽 및 석축 유지관리 키트 제작

c. 테스트베드에 대한 유지관리 키트 시범적용



그림 3.57 LoRa 로드셀 키트 시작품



그림 3.58 LoRa 지표변위계 키트 시작품

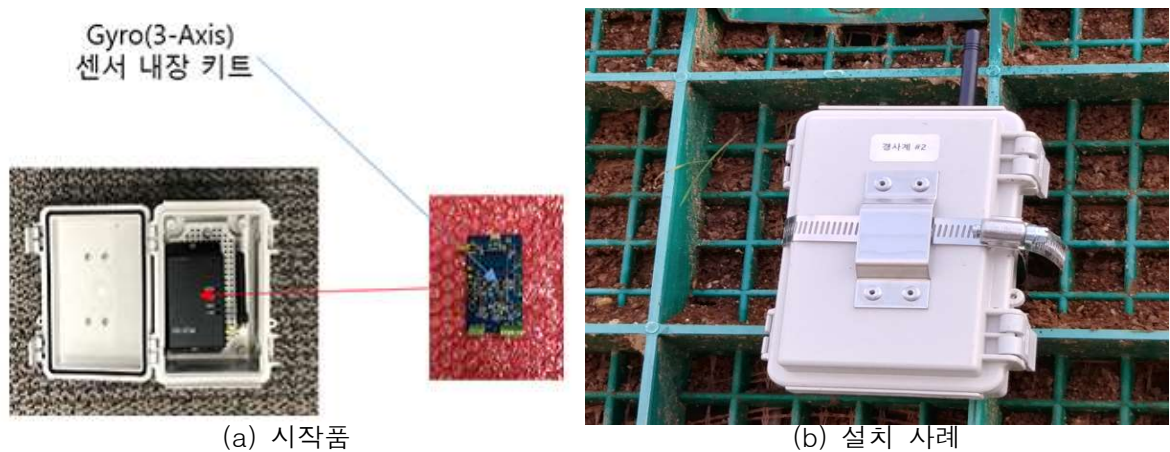


그림 3.59 LoRa 경사계 키트 시작품

(4) 유지관리 키트 성능 시험

유지관리 키트에 대한 시험은 통신 기능 및 성능에 대한 확인시험, 방송통신기자재(전파적합성) 시험, 유지관리키트의 방진·방수 시험으로 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(가) 유지관리 키트의 통신 기능 및 성능 확인시험 (첨부#3. 유지관리 키트의 통신 기능 및 성능 확인시험)

성격서번호 : TTA-19-2350

2. 시험 환경

본 장에서는 시험대상의 성능 및 기능시험을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 시험 환경을 기술한다. 본 시험은 금곡고/공내교(경기도 성남시 분당구 경자동)과 글로벌 IoT 시험 인증 센터(TTA 판교)에서 진행하였다. 다음 [그림 2_1]와 [그림 2_2]은 각각 시험환경 구성도 및 실제 시험환경을 보여준다.

[그림 2_1] 시험환경 구성도



실제 시험환경은 위 시험환경 구성도를 바탕으로 실제 구축된 시험환경 그대로를 보여준다.

[그림 2_2] 실제 시험환경



* You can verify the forgery and authenticity by the barcode at the end of this document.

그림 3.60 시험 구성

성격서번호 : TTA-19-2350

성격서번호 : TTA-19-2350

시험대상이 되는 하드웨어 및 소프트웨어 규격은 다음과 같다.

[표 2-1] LoRa Gateway (시험대상)

구분	규격
제조사	휴고엘네트웍스
운영체제	Linux kernel version: Linux 3.4.86 OpenWRT
프로세서	Dual ARM Cortex A9 Dual 32-bit up to 750 MHz Processors Cache: 356KB L2
LoRa 칩셋	Semtech SX1276
RAM	512MB DDR3
SW	Ver1.0
용도	LoRa 방파제 게이트웨이

[표 2-2] LoRa 유지관리 키트 (시험대상)

구분	규격
제조사	휴고엘네트웍스
프로세서	16-bit RISC Architecture
LoRa 칩셋	Semtech SX1276
RAM	128 kB flash/16 kB RAM
RF	900MHz transceiver
SW	Ver 1.0
용도	LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 키트

시험을 수행하고 측정하기 위한 시험 장비의 하드웨어 및 소프트웨어의 규격은 아래와 같다.

[표 2-3] 시험용 노트북#1

구분	규격
제조사	엘지전자(주)
모델명	LG14Z06
운영체제	Windows 7 Professional E
프로세서	Intel® Core™ i7-6500U CPU @ 2.50 GHz 2.50 GHz
RAM	8 GB
SW	Tera Term 4.92
용도	LoRa Gateway 및 LoRa 유지관리 키트 모니터링 및 제어용

[표 2-4] 시험용 노트북#2

구분	규격
제조사	삼성전자(주)
모델명	NTP-9502BE-X716A
운영체제	Windows 10 Home
프로세서	Intel® Core™ i7-8565U CPU @ 2.80 GHz 1.99 GHz
RAM	16 GB
SW	Tera Term 4.83
용도	LoRa 유지관리 키트 모니터링용

[표 2-5] 월드 박스

구분	규격
제조사	ROHDE & SCHWARZ
모델명	CHMZ-Z10
사양	0.4 GHz to 4 GHz: > 80 dB 4 GHz to 6 GHz: > 60 dB
용도	RF Sensivity 시험을 위한 차폐 환경 제공

[표 2-6] 전원 공급기

구분	규격
제조사	(주)보영테크놀로지
모델명	SDP 30-5D
출력	30V/5A, 5V/2A 고정
용도	전력소모 측정을 위한 전원 공급용

[표 2-7] 전류 측정기

구분	규격
제조사	FLUKE
모델명	8845A
사양	범위: 100 μ A ~ 10 A 최대 분해능: 100 pA 정확도: 0.050 + 0.005 (측정 % + 범위의 %)
용도	Tx, Rx 전력소모 측정용

TPG-0024-1-B(00)

Copyright 2019 TTA

페이지 (7) / (총 18)

TPG-0024-1-B(00)

Copyright 2019 TTA

페이지 (8) / (총 18)



그림 3.61 시험 대상

성격서번호 : TTA-19-2350

성격서번호 : TTA-19-2350

3. 시험 항목 및 결과

3.1. 통신거리(m)

□ 시험목적

- LoRa Gateway와 LoRa 유지관리 키트 간 최대 1,000 m 이격거리에서 통신이 가능한함을 확인한다.

□ 시험구성

- [그림 3-1] 시험환경 구성도 참조
- LoRa Gateway 설치 장소: 경기도 성남시 분당구 경자동 골짜고
- LoRa 유지관리 키트 설치 장소: 경기도 성남시 분당구 경자동 골짜고
- 통신거리: 1,000 m



TPG-0024-1-B(00)

Copyright 2019 TTA

페이지 (9) / (총 18)

□ 시험결과

통신 실행 번호	실행 수신 여부	수신 RSSI (dBm)
1	수신	-119
2	수신	-117
3	수신	-119
4	수신	-116
5	수신	-115
6	수신	-120
7	수신	-116
8	수신	-118
9	수신	-117
10	수신	-117
11	수신	-117
12	수신	-117
13	수신	-117
14	수신	-117
15	수신	-117
16	수신	-118
17	수신	-117
18	수신	-117
19	수신	-117
20	수신	-115
21	수신	-116
22	수신	-116
23	수신	-116
24	수신	-116

TPG-0024-1-B(00)

Copyright 2019 TTA

페이지 (12) / (총 18)



그림 3.62 통신거리 측정 시험

성격서번호 : TTA-19-2350

성격서번호 : TIA-19-2350

3.2. RF Sensitivity(dBm)

- ☐ 시험목적
 - LoRa 유무선인 키트가 LoRa Gateway에서 송신한 -120dBm 이하의 파워를 수신할 수 있음을 확인한다.
- ☐ 시험구성
 - [그림 2-1] 시험환경 구성도 참조
- ☐ 시험절차
 - 1) LoRa Gateway를 켜고 박스에 넣고 전원을 공급한 후 파워 송신 상태로 설정하여 LoRa 유무선인 키트에 전원을 공급한 후 파워 수신 상태로 설정한다.



- 2) LoRa Gateway 에서의 10 개의 송신 패턴 로그와 해당 패턴에 대한 LoRa 유닛관리 키트에서의 수신 패턴 로그를 비교하여 RSSI 값이 -120 dBm 이하인 경우에도 통신이 가능함을 확인한다.

- LoRa Gateway 의 송신 패턴 확인

[illegible]

LoRa 유지관리 키트의 수신 펌웨어 확인

[illegible]

- 시행결과

송신 전력 (dBm)	수신 전력 (dBm)	RSSI (dBm)
1	-122	-122
2	-123	-123
3	-124	-124
4	-122	-122
5	-123	-123
6	-121	-121
7	-121	-121
8	-122	-122
9	-123	-123
10	-123	-123

TPG-0024-1-B(00) Copyright 2019 TTA 0401지 (13) / (총 18)

TPG-0024-1-B(00) Copyright 2019 TTA 04월 14일 (제 14) / (제 18)



그림 3.63 RF Sensitivity 시험

성격서번호 : TIA-19-2350

성적서번호 : TIA-19-2350

3.3. 전력소모(mA)

- ☐ 시험목적
 - LoRa 유무선 컨트롤러의 통신 신호 수신 시의 소모전류를 확인하여 각각 100 mA, 20 mA 이하임을 확인한다.
- ☐ 시험구성
 - [그림 2_1] 시험환경 구성도 참조
- ☐ 시험절차
 - 1) 전원 공급기를 통하여 LoRa 유무선 컨트롤러에 3.3 V의 전압을 공급하고 소모전류를 측정할 수 있는 전류 측정기를 연결한다.



- 2) LoRa 유지관리 키트 를 송신 상태로 설정한 후 3분간 소모전류를 측정한다.

- LoRa 유지관리 키트를 송신 상태로 설정

```

C:\Users\user> g++ 10-10-10.cpp
C:\Users\user> .\10-10-10.exe
100

```

The screenshot shows a Windows command prompt window. The user has compiled a C++ program named 10-10-10.cpp using g++ and then executed it. The program reads a 10x10 matrix of integers from a file named input.txt and prints the sum of the elements in the 5th row (index 4). The output shows the sum is 100.

- 전류 측정기로 수신 상태의 소모전류 측정



- 시험결과

상태	전압 (V)	측정 시간 (s)	평균 소모전류 (mA)
송신 상태	3.3	300	96.43
수신 상태	3.3	300	12.38

TPG-0024-1-B(00) Copyright 2019 TTA 040121 (15) / (총 18)

TPG-00241-B(00) Copyright 2019 TTA 페이지 (17) / (총 18)



그림 3.64 전력소모 측정 시험

표 3.30 유지관리 키트의 통신 기능 및 성능 확인 시험 결과

시험항목	시험결과	
통신거리(m)	1,000m 이격거리에서의 통신	통신가능
RF Sensitivity(dBM)	-120dBm 이하의 패킷 수신	수신가능
전력소모(mA)	평균 소모전력	송신 : 96.43mA 수신 : 12.38mA

유지관리 키트의 통신기능에 대한 성능 확인 시험결과 표 3.30과 같이 1,000m의 이격거리에서의 통신이 가능한 것으로 확인되었다. 무선통신 기술 중 무선 계측관리에 사용되고 있는 ZigBee 또는 Bluetooth의 경우 표 3.31과 같이 통신 가능 거리는 100m 내외로 알려져 있기 때문에 개발 기술은 기존 기술 대비 전송커버리지가 10배 이상 향상된 기술로서 무선 계측관리에 보다 유리한 기술이라고 할 수 있다.

표 3.31 무선통신 기술 비교

항목	WPAN			WPAN/WLAN
	ZigBee	Bluetooth	UWB	Wi-Fi
주파수대역	868/915 MHz 2.4 GHz	2.4~2.480 GHz	3.1~10.6 GHz	2.4 GHz 5.0 GHz
전송속도	~ 250 K	~ 1 M	~ 500 m	~ 11 M
통신거리	~ 75 m	~ 100 m	10 m	100 M
배터리 수명	2~3 년	4~8 시간	-	1~3 시간
응용분야	단순 원격제어 센서분야(250K이하)	기기간 데이터 통신분야(1M 내외)	기기간 고화질(HD) 스트리밍(100M이상)	대용량 데이터 통신분야(인터넷등)

※ 출처 : 누리텔레콤, ZigBee 적용 분야 및 사례(2006)

(나) KC인증 (첨부#3. 방송통신기자재등(전파적합성) 시험성적서 및 보고서)

97A8-C214-B591-BAC3

방송통신기자재등의 적합등록 필증
Registration of Broadcasting and Communication Equipments

상호 또는 식별 Trade Name or Register	주식회사 피엘네트웍스
기자재명칭(제품명칭) Equipment Name	900 MHz LoRa 통신 모듈
기본모델명 Basic Model Number	PLS100W
파생모델명 Series Model Number	
등록번호 Registration No.	R-RK-PLN-PLS100W
제조사/제조(초입)국가 Manufacturer/Country of Origin	주식회사 피엘네트웍스 / 한국
등록연월일 Date of Registration	2019-10-24
기타 Others	

위 기자재는 「전파법」 제58조의2 제3항에 따라 등록되었음을 증명합니다.
It is verified that foregoing equipment has been registered under the Clause 3, Article 58-2 of Radio Waves Act.

2019년(Year) 10월(Month) 25일(Day)

국립전파연구원장
Director General of National Radio Research Agency

※ 제발등록방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표지"를 부착하여 유통하여야 합니다.
위반시 과태료 처분 및 등록이 취소될 수 있습니다.

(a) 시작품

Standard Bank
BANK OF STANDARD BANK CO. LTD.

발급번호: 제M19KR-443호

방송통신기자재등(전파적합성) 시험성적서

- 발급번호 : M19KR-443호
- 접수번호 / 접수일 : STB19-5683 / 2019년 10월 11일
- 시험기간 : 2019년 10월 14일 ~ 2019년 10월 15일
- 신청인(상호명) : 주식회사 피엘네트웍스
사업자등록번호 : 141-81-46330
대표자 성명 : 박성동
주 소 : 경기도 성남시 분당구 성남대로43번길 10 210호 211호 (구미동, 하나EZ타워)
- 기자재 명칭 / 모델명 : 900 MHz LoRa 통신 모듈 / PLS100W
- 제 조 자 / 제조국가 : 주식회사 피엘네트웍스 / 한국
- 시험결과 : 적합

방송통신기자재등 시험기관의 지정 및 관리에 관한 고시 제13조의 규정에 의하여 시험성적서를 발급합니다.
2019년 10월 24일

(주)스탠다드뱅크 대표이사 (인)
주소 : 경기도 군포시 군포정단상업2로 48(부곡동)
전화번호 : 031-393-9384
팩스번호 : 031-393-9390

※ 인증 받은 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표지"를 부착하여 유통하여야 합니다.
위반 시 과태료 처분 및 등록이 취소될 수 있습니다.
본 시험성적서와 시험결과는 신청인이 제출한 서류에 한합니다.

1 / 32
본 시험성적서는 스탠다드뱅크의 자산 관리물이 무단 전재 및 복사할 수 없습니다.

(b) 설치 사례

그림 3.65 LoRa 유지관리 키트 KC 인증 결과

(다) KORAS 방진·방수 인증 (첨부#3. 유지관리 키트의 방진·방수 시험성적서)

KEPCO

한국전기안전공사 안전인증센터

시험성적서

TEST REPORT

성적서 번호: STC-2019-053
(Report No.)
페이지(Page of): 1 / 1 (총 6)

1. 신청자
Customer
○ 기관명: 주식회사 피델네트웍스
Name
○ 주소: 경기도 성남시 분당구 성남대로 43번길 10, 210호 211호(구미동, 하나E2타워)
Address

2. 시험성적서 용도: 참고시험
Use of Test Report

3. 시험대상 품목: LoRa Modem
Product
○ 모델명: PLS100W(4Page 참조)
Model
○ 제조 번호: 해당없음
Serial No.

4. 시험 기간: 2019. 11. 29.
Test Period

5. 시험 방법/항목: IEC 60529 Ed.2.2: 2013 / IP67
Test Method/Item

6. 시험 결과: 적합
Test Result

확인
Tested by
성명 이요준 (서명)
Name Y. J. Lee / Signature

승인자
Approved by
성명 김용경 (서명)
Name Y. J. Kim / Signature

직책: 기술책임자
Position

□ 이 시험결과에 의뢰자가 제시한 시료 및 시험명에 한하여, 표시된 시험결과에 시험기관이 인정받은 범위 내에서 유효합니다.
The results shown in this test report refer only to the sample tested unless otherwise stated and this laboratory is not accredited for the test results marked *.

□ 이 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명된 한국전기안전공사(KOLAS)로부터 승인받은 용도에 대한 시험결과입니다.
The above test certificate is the accredited test results for Korea Laboratory Accreditation Scheme, which signed the ILAC-MRA.

□ 안전인증센터에서 발급한 성적서는 원본만 유효하며, 복사본은 인정하지 않습니다.
The original document produced by KESCO Safety Test Center is valid and the copy of this document is invalid.

2019. 12. 13.

한국전기안전공사 안전인증센터장
The head of Korea Electrical Safety Corporation Safety Test Center

□ 55365 전라북도 완주군 이서면 오광로 12
12, Oksung-Ro, Iseo-Myeon, Wanju-Gun, Jeollabuk-Do, 55365, Korea

QP-5101-01(8)

안전인증센터

A4(210mm×297mm)

그림 3.66 유지관리 키트 방수방진 인증

제 C-2019-021658 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭) 노후 석축 옹벽 유지관리 서버

2. 저작물의 종류 컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램

3. 저작자 성명(법인명) 주식회사 피델네트웍스
경기도 성남시 분당구 성남대로43번길

4. 생년월일(법인등록번호) 284911-0135599

5. 창작연월일 2019년07월19일

6. 공표연월일 2019년07월19일

7. 등록연월일 2019년08월05일

8. 등록사항 저작자: 주식회사 피델네트웍스,
창작: 2019.07.19, 공표: 2019.07.19

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2019년 08월 05일

한국저작권위원회

그림 3.67 유지관리시스템 S/W 등록

3.5 LoRa 기반의 노후 옹벽 및 석축의 유지관리 계측정보 관리시스템 구축

(1) 노후 옹벽 및 석축 유지관리 계측정보 관리서버 개발

(가) 노후 옹벽 및 석축 유지관리 계측정보 관리서버 개발 목적

- LPWA LoRa 방식의 통신모뎀 단말 키트와 연동하여 경사계, 지표변위계, 하중계의 데이터 값 수집 및 임계값 이상 시 알람 공지하여 안전사고 예방
- 저전력 원거리통신의 LPWA(Low Power Wide Area) 기술인 LoRa 방식의 IoT를 적용 노후석 축 및 옹벽의 하중, 경사도, 균열등을 효율적으로 측정하여 안전사고 대비
- LPWA LoRa IoT Device와 노후석축, 옹벽, 토사류 붕괴감지 센서를 연동한 단말(유지관리 키트) 개발 및 상용화로 토목 안전사고 방지
- LPWA LoRa 단말 유지관리 모바일 Web 으로 언제 어디서나 모니터링 가능

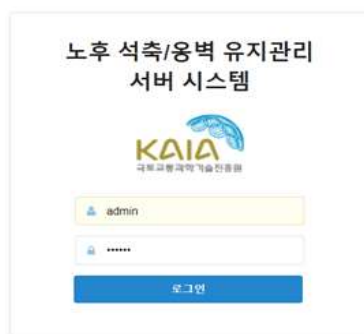
(나) 노후 옹벽 및 석축 유지관리 시스템 구성

- 유지관리 시스템 구성도



그림 3.68 유지관리 시스템 구성도

(다) 유지관리 시스템 구성 화면



(a) 유지관리 서버 로그인



(b) 유지관리모니터링 화면



(c) 유지관리 센서 데이터 화면



(d) SMS 관리 화면

그림 3.69 유지관리 시스템 구성도

(2) LoRa 기술을 활용한 노후 옹벽 및 석축의 안전관리 기술 개발

(가) 기존 사면 모니터링시스템(GNSS기반)과 개발 기술과의 비교

a. 기존 사면 모니터링시스템

국내 비탈면은 해당 비탈면의 관리 주체에 따라 한국도로공사, 철도시설공단, 시설물관리공단, 행정안전부 및 국토교통부(지자체) 등 다양한 기관에서 관리하고 있다. 특히 국토교통부에서는 “도로 절개면 유지관리시스템 개발 및 운영”의 일환으로 지자체에서 관리하는 국도비탈면 중 4개 지구를

선별하여 신축계, 경사계, TDR, 강우계 등을 활용한 비탈면 모니터링 시스템을 구축하여 운영중에 있으며, 2019년 12월 현재 서울, 대전, 부산, 원주지방 국토관리청에 기구축된 상시계측시스템에 대한 고도화사업을 진행 중에 있다. 행정안전부에서는 자연재해대책법, 급경사지 재해예방에 관한 법률 등에 따라 급경사지관리대상지 중 붕괴위험이 높은 지역을 붕괴위험지역을 선정하고 그 중에서도 위험도가 높은 지구를 대상으로 예·경보시스템을 구축하여 운영하고 있으며, 한국도로공사에서는 비탈면 문제 발생시 신속한 초기 대응을 위해 2013년부터 고속도로 비탈면 경보시스템인 ‘사면올빼미’를 개발하여 활용하고 있다.

초기 비탈면 경보시스템은 계측기와 유선으로 연결하였으나 최근 개발된 비탈면 경보시스템인 사면올빼미의 경우 무선 계측관리를 수행하고 있다. 그 외에도 한국지질자원연구원, 국립산림연구원, 한국전자통신연구원에서도 비탈면 모니터링 시스템을 구축한바 있다.

그러나 현재까지 수행되어 오던 셀룰러방식의 모뎀·모듈에 의한 사물인터넷 서비스(사면 계측관리시스템 포함)는 가격 및 솔루션에 대한 라이선스 문제 등으로 진입장벽이 높고 개개 디바이스별로 월정료가 고가여서(만원~수천원/월) 서비스의 확장이 더디게 일어났다. 또한 셀룰러방식의 모듈은 이동통신의 음성이나 멀티미디어 전송을 목적으로 최적화 설계되었기 때문에 전력 소모가 상대적으로 커서 상시 전원이 필요한 단점이 제시되어 왔다(LPWA기반 광역 IoT 기술 및 표준화, 전자통신 동향 분석 제31권 제2호(2016)).

b. GNSS기반 기존 사면 모니터링 시스템

GNSS(Global Navigation Satellite System)이란 우주궤도를 돌고 있는 인공위성에서 발신하는 전파를 이용하여 지구 전역에서 움직이는 물체의 위치·고도·속도를 계산하는 위성항법시스템으로 현재 미사일 유도 같은 군사적 용도뿐만 아니라 측량이나 항공기, 선박, 자동차 등의 항법장치에 많이 이용되고 있는 시스템으로 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽의 Galileo, 중국의 Beidou, 일본의 QZSS 등이 대표적인 GNSS 시스템이다. 이미 구축된 시스템을 바탕으로 하기 때문에 저렴한 가격으로 전세계 어느 곳에서나 일정한 수준의 항법 성능을 제공하는 장점이 있으나 단위시간당 항법을 제공해주는 출력이 낮고 간섭신호에 영향을 받아 항법 오차가 증가하거나 항법을 제공하지 못하는 상황에 빠지기 쉬운 약점이 있다.

국내에서는 통합 GNSS를 무인자동차용 정밀측위서비스, 스마트폰용 DGPS 신호 제공 서비스, 국가시설물 안전관리 서비스, 기상 및 과학 분야 서비스 등 다양한 분야에서 활용하고 있으며, 관련 연구가 진행 중에 있다. 특히 정밀측지측량용 GNSS는 기존의 다른 지표변위계에 비하여 변위 위치정보의 절대값을 얻을 수 있는 장점 때문에 선진 각국에서 계측모니터링 센서로의 적용성이 증가되는 추세에 있으며, 국내에서도 GNSS를 활용한 시설물 모니터링, 계측관련 연구와 제품개발 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 GNSS의 장점에도 불구하고 GNSS 단독으로 사면 계측시 지표변위 측정의 오류로 인해 지반의 병진, 활동, 처짐 등의 세가지 요인을 추출해낼 수 없는 한계성이 있기 때문에 벡터해석이 불가능하며, 많은 오류를 나타내고 있는 실정이다(급경사지 주민대피 계측관리시스템 구축 및 계측시방서 개발연구, 2015). 따라서 이에 대한 문제점 파악 및 문제 해결을 위해 GNSS와 TRS, RTK 등 다양한 센서 및 시스템을 조합하여 활용하고 있다.

특히 이러한 GNSS기반 모니터링 시스템은 상시 계측을 위하여 지속적으로 위성신호를 수신받아야 하기 때문에 이를 위한 전력 공급장치의 연결이 필수적이며, 따라서 GNSS기반 모니터링 시스템은 모니터링 시스템 구축에 많은 비용이 필요하다.

c. 개발기술 모니터링 시스템

개발기술의 경우 계측시스템은 성능검증이 완료된 상용화된 계측센서를 적극 활용하여 제작되며, 유지관리 통신 키트에 직접 연결되므로 별도의 추가 설비나 장치가 필요 없다. 특히 개발 완료된 경사계형 유지관리키트의 경우 유지관리 키트 내에 일체화되어 있는 것이 특징이다.

개발기술의 통신시스템은 저전력 장거리 통신기술 중 LoRa 기술을 활용하며, 통신 및 전력 공급장치 관련 기기를 최소화 할 수 있다. 특히, 계측빈도 1회/분로 설정할 경우 유지관리키트 내장배터리로 1년이상 구동할 수 있기 때문에 관련 법률에서 규정하고 있는 정기 점검시(2회/년) 마다 배터리를 교체할 경우 별도의 전원 공급장치를 설치할 필요가 없다.

유지관리 키트에서 계측된 정보는 LoRa 통신기술을 활용하여 중계기로 전달되며, 중계기에서 LTE 통신으로 서버로 축적된다. 이때 중계기는 상시 전력공급 장치를 마련하기 어려운 비탈면이 아니라 RoLa 통신이 가능한 범위(~1km이내 추천)에서 전력공급 장치가 마련된 곳에 설치할 수 있기 때문에 모니터링 대상 비탈면 내에 설치되는 기존기술의 중계기 설치 비용대비 많은 비용을 절감할 수 있다.

종합적으로 모니터링 시스템 구축에 필요한 서버구축, 상황실 구축 등을 제외하면, 개발기술은 아래 표와 같이 기존 사면 모니터링 시스템 대비 유지관리 시스템 비용을 80% 이상 대폭 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 한정된 예산에서 더 많은 유지관리 시스템을 구축할 수 있으므로 붕괴위험지 및 관리대상지에 대한 효과적인 방재정책 수립에 이바지 할 수 있을 것으로 기대된다.

표 3.32 기존 사면 계측시스템(GNSS기반)과 개발기술과의 모니터링 시스템 비교²⁾

구분	계측시스템	통신시스템	시스템 구축 비용	
기존 사면 모니터링 시스템 ¹⁾	GNSS 시스템 + TRS or RTK + 계측센서	CDMA or LTE	GNSS 설치	10,000,000 원/개소
			센서설치(3개소)	1,000,000 원/개소
			중계기설치	30,000,000 원/개소
			합 계	43,000,000
개발기술	계측센서	LoRa or LTE	유지관리키트설치(경사계)	500,000 원/개소
			유지관리키트설치(하중계)	1,500,000 원/개소
			유지관리키트설치(신축계)	1,500,000 원/개소
			합 계	5,500,000

주 1) 충주국토 관내 상시계측시스템 고도화 사업 공고(조달청, 2019.10.19)를 참조한 개략 비용임.

주 2) 모니터링 시스템 구축을 위한 서버 구축, 상황실 구축을 제외한 비용임.

(나) 테스트베드에 대한 유지관리 시스템 구축 및 현장적용성 검토

표 3.33 기존 공법 대비 개발기술(LoRa기반 유지관리키트)의 현장 적용성 검토

구분	개발기술	수동계측	상시계측(TRS 기반)	상시계측(GNSS 기반)
개념도				
공법개요	경사계가 내장된 유지관리 키트에 지표변위계, 지중경사계, 하중계 등을 조합하여 사용할 수 있는 자동계측시스템.	현장에 설치된 계측기기에 방문/접속하여 계측정보를 취득하는 수동 계측시스템.	GPS기반 말뚝형태의 계측기기를 통해 병진, 전도, 침하를 측정할 수 있는 자동계측시스템	GNSS를 기반으로 다양한 계측기기와 병행하여 계측정보를 취득하는 자동계측시스템
시공 및 계측방법	① 계측기기 설치(경사계 설치시 생략) ② 유지관리키트 설치 ③ 게이트웨이 설치(상용망 이용시 생략) ④ 자동화 계측	① 계측기기 설치 ② 현장방문/계측값 획득	① 계측기기 설치 ② 데이터 로깅장치 설치 ③ 게이트웨이 설치 ④ 전원공급장치 설치 ⑤ 자동화 계측	① 계측기기 설치 ② 데이터 로깅장치 설치 ③ 게이트웨이 설치 ④ 전원공급장치 설치 ⑤ 자동화 계측
통신 시스템	LoRa 기반 (+ LTE)	-	LTE 기반 (+ RF, LoRa)	LTE 기반 (+ RF, LoRa)
특징	- 해당 구조물의 현장 정기점검시 배터리 교체를 통해 별도의 전원공급장치 필요없이 자동계측관리 가능 - 사업자 통신망의 LoRa통신 방식 적용시 게이트웨이 등 자동계측통신시스템 구축 불필요(구축비용 절감)	- 계측시마다 현장 방문/접속 필요 - 실시간 예경보 시스템 구축 불가능	- GPS 기반에 따른 과도한 전력소모로 전원공급장치 필요 - 게이트웨이 등 자동계측통신시스템 구축비용 과다	- GNSS 기반에 따른 과도한 전력소모로 전원공급장치 필요 - 게이트웨이 등 자동계측통신시스템 구축비용 과다 - 구축사례 : 지방국토관리청(운용중)

a. 테스트베드 내 센서 기능 교정 테스트

연구를 통해 개발된 유지관리키트는 통신거리, 전력소모 등에 관한 통신 기능 및 성능 확인시험과 전자파적합성 시험, 방수방진 시험을 수행하여 그 성능을 검증하였으며, 유지관리키트와 함께 사용될 계측기기에 대한 검교정을 별도로 수행하였다.

한편, 개발된 유지관리키트의 테스트베드에 대한 적용, 시공시 유지관리키트에 대한 현장 반응성 시험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

㉠ 기능 교정 테스트

테스트베드에 설치될 유지관리 키트를 대상으로 각 센서별 현장 반응성 시험을 수행하여 센서 교정 작업을 진행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

표 3.34 경사계 기능 교정 테스트 결과

기준각		측정값							
각도	각도변화	센서 측정값	변화값	기준 각도변화 대비 차이값	센서 초기각 대비 변화값	기준각도 대비 차이값	1°당 변화값	max	min
0	0	1.460	-	-	0.000	-	-	1.073	0.825
1	1	2.433	0.973	-0.027	0.973	-0.027	0.973		
2	1	3.458	1.025	0.025	1.998	-0.002	1.025		
3	1	4.490	1.032	0.032	3.030	0.030	1.032		
4	1	5.463	0.973	-0.027	4.003	0.003	0.973		
5	1	6.441	0.978	-0.022	4.981	-0.019	0.978		
6	1	7.413	0.972	-0.028	5.953	-0.047	0.972		
7	1	8.336	0.923	-0.077	6.876	-0.124	0.923		
8	1	9.329	0.993	-0.007	7.869	-0.131	0.993		
9	1	10.295	0.966	-0.034	8.835	-0.165	0.966		
10	1	11.204	0.909	-0.091	9.744	-0.256	0.909		
20	10	21.022	9.818	-0.182	19.562	-0.438	0.982		
30	10	30.825	9.803	-0.197	29.365	-0.635	0.980		
40	10	40.624	9.799	-0.201	39.164	-0.836	0.980		
50	10	50.362	9.738	-0.262	48.902	-1.098	0.974		
60	10	60.027	9.665	-0.335	58.567	-1.433	0.967		
70	10	69.720	9.693	-0.307	68.260	-1.740	0.969		
80	10	79.304	9.584	-0.416	77.844	-2.156	0.958		
90	10	88.036	8.732	-1.268	86.576	-3.424	0.873		
100	10	79.791	8.245	-1.755	81.251	1.251	0.825		
110	10	69.066	-10.725	-0.725	70.526	0.526	1.073		
120	10	58.530	-10.536	-0.536	59.990	-0.010	1.054		
130	10	48.340	-10.190	-0.190	49.800	-0.200	1.019		
140	10	38.280	-10.060	-0.060	39.740	-0.260	1.006		
150	10	28.639	-9.641	0.359	30.099	0.099	0.964		
160	10	19.093	-9.546	0.454	20.553	0.553	0.955		
170	10	9.626	-9.467	0.533	11.086	1.086	0.947		

표 3.35 변위계 기능 교정 테스트 결과

전압 (mV)	길이 (mm)	전압 (mV)	길이 (mm)	전압 (mV)	길이 (mm)	전압 (mV)	길이 (mm)
0	0	1040	160	2080	320	3120	480
65	10	1105	170	2145	330	3185	490
130	20	1170	180	2210	340	3250	500
195	30	1235	190	2275	350	3315	510
260	40	1300	200	2340	360	3380	520
325	50	1365	210	2405	370	3445	530
390	60	1430	220	2470	380	3510	540
455	70	1495	230	2535	390	3575	550
520	80	1560	240	2600	400	3640	560
585	90	1625	250	2665	410	3705	570
650	100	1690	260	2730	420	3770	580
715	110	1755	270	2795	430	3835	590
780	120	1820	280	2860	440	3900	600
845	130	1885	290	2925	450	3965	610
910	140	1950	300	2990	460	4030	620
975	150	2015	310	3055	470	4095	630

표 3.36 하중계 기능 교정 테스트 결과

로드셀 유압 측정 하중 (kN)	센서 측정 하중 (kN)	오차 (kN)
19.8	19.5	-0.3
39.8	40.3	0.5
60.2	60.5	0.3
80.1	80.5	0.4
99.8	99.5	-0.3
120.0	120.8	0.8
140.0	139.5	-0.5

㉠ 통신거리 테스트

현장에 설치된 단말과 게이트웨이 간의 통신 거리 테스트 결과 5대 단말(경사계 3대, 변위계 1대, 하중계 1대) 모두 신호 세기가 양호한 위치에 설치하였다.

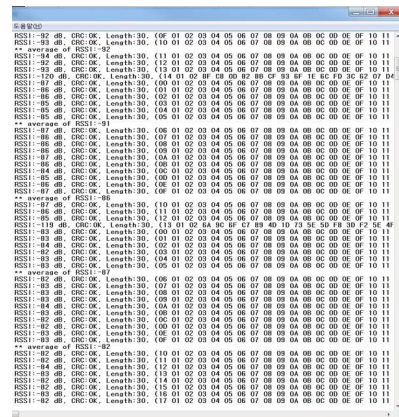


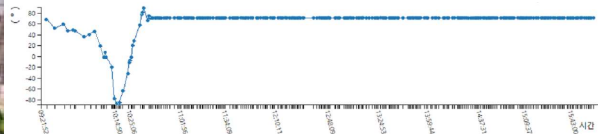
그림 3.70 통신거리에 대한 현장 반응성 시험

b. 현장 검증 테스트

유지관리키트 경사계형의 경우 현장에서 각 경사계 별로 기울기를 변화하여 서버에 전송되는 값과 일치하는지, 유지관리키트 변위계형의 경우 변위계 길이를 변화하여 서버에 전송되는 값과 일치하는지, 유지관리키트 하중계형의 경우 보강재의 긴장력 재하 정도를 변화시켜 서버에 전송되는 값과 일치하는지 등의 현장 검증 테스트를 진행 하였으며, 테스트 결과 정상적으로 모니터링 되는 것을 확인하였다.



(a) 계측기기(경사계) 조작



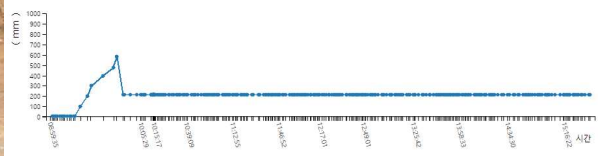
- 현장반응성시험 : 각도 0 ~ 90 °
- 계측기기 설치 : 73 °

(b) 계측기기 조작시 모니터링 결과

그림 3.71 유지관리키트(경사계형)에 대한 현장 반응성 시험



(a) 계측기기(변위계) 조작



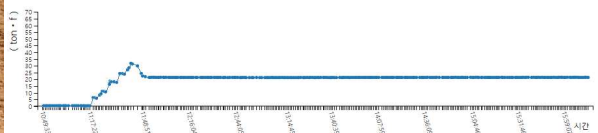
- 현장반응성시험 : 변위 0 ~ 600 mm
- 계측기기 설치 : 214 mm

(b) 계측기기 조작시 모니터링 결과

그림 3.72 유지관리키트(변위계형)에 대한 현장 반응성 시험



(a) 계측기기(하중계) 조작



- 현장반응성시험 : 앵커하중 0 ~ 300 kN
- 계측기기 설치 : 205.8 kN

(b) 계측기기 조작시 모니터링 결과

그림 3.73 유지관리키트(하중계형)에 대한 현장 반응성 시험

c. 적용효율성

표 3.33과 같이 수동 계측시스템은 계측기기의 설치 외 추가적인 공정이 필요 없으나 주기적인 현장 방문을 통해 계측을 수행하여 계측정보를 취득하여야 하기 때문에 계측결과를 활용한 시설물 유지관리와 이상유무를 확인하여 조치하기가 사실상 불가능하다.

현재 활용되고 있는 상시계측 시스템은 유선 자동화 계측시스템이나 LTE 통신기반 자동화 계측시스템으로 분류할 수 있으며, 사면에 산재된 계측기로부터의 계측정보를 게이트웨이까지 취합하는데 RF, LoRa 등의 다양한 통신방식을 활용하고 있다. 도로공사 사면올빼미의 경우 자체적으로 구축된 LoRa망을 활용함으로써 통신 관리비용을 절감할 수 있으나 기존 계측관리시스템은 데이터 로깅장치, 게이트웨이, 전원공급장치 등이 필수적으로 설치되어야 하며, 이러한 비용은 수백만원 이상인 것으로 알려져 있다.

그러나 개발기술은 유지관리 키트 내에 내장된 배터리를 통해 1년이상 구동/통신할 수 있기 때문에 별도의 전원공급장치가 필요없고 계측기기에 유지관리키트를 연결하여 고정하는 것으로 시공을 완료할 수 있어 시공이 매우 편리하며, 경사계 유지관리키트는 3축 경사계가 내장되어 있어 별도의 계측기기의 설치가 필요하지 않는 것이 특징이다. 개발 기술의 이러한 특성은 비탈면의 규모가 작아 소요되는 계측기기가 1~2개소인 경우 기존 계측관리 시스템으로는 시스템구축비용에 따른 부담이 높지만 개발기술의 경우 상용망 활용함으로써 시스템 구축비용을 더욱 절감할 수 있는 것이 특징이다.



(a) 시스템 구성도



(b) 컨트롤 박스

그림 3.74 도로공사 사면올빼미 시스템



(a) 유지관리키트(경사계형)



(b) 유지관리키트(경사계형)의 설치

그림 3.75 보강재 형식에 따른 개발기술 개념도

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

1.1 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법

(1) 연구성과 목표 : 특허출원 1건, 논문 1건(비SCI), 시제품 2건

(2) 연구성과 : 특허출원 2건 중 등록 1건, 논문 1건(비SCI, 게재예정), 시제품 2건

(가) 시제품 : 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법(네일링 타입), 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법(앵커 타입), 비철거식 옹벽 및 석축 보강공법 도면 1식.

(나) 시제품 관련 공인인증 시험성적서 3건.

(다) 시제품 관련 공인인증 시험성적서 및 보고서 1건.

1.2 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법의 시공방법

(1) 연구성과 목표 : 특허출원 0.5건, 시제품 1건

(2) 연구성과 : 특허출원 1건, 시제품 1건

(가) 시제품 : 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강공법 시방서 1식.

(나) 시방서 제안 및 승인 공문 1건.

1.3 LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축 의 유지관리 키트

(1) 연구성과 목표 : 특허출원 0.5건, 시제품 1건

(2) 연구성과 : 특허출원(주관기관에서 특허출원), 시제품 1건

(가) 시제품 : 하중계 키트 1본, 지표변위계 키트 1본, 경사계 키트 3본, 총 5본 시제품 제작

(나) KC 공인 인증 획득(2019, 10, 24)

a. 등록번호 : R-R-Pln-PLS100W

b. 전자파시험성적서, 방송통신기자제등의 적합등록 필증

(다) 시험 성적서 : 2019. 11월 31일까지 TTA 공인시험 성적서 획득 계획

1.4 LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축 의 유지관리 계측정보 관리시스템

(1) 연구성과 목표 : S/W 등록 1건

(2) 연구성과 : S/W 등록 1건

(가) 노후 석축 옹벽 유지관리 서버, 제C-2019-021658호

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준							양적성과 현황			
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	담당 기관	목표치	달성치	가중치
주관	A	노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법	A-1	시제품 연구	①	시제품 관련 도면	시제품 도면 1식	-	신제품 도면	완성여부	2.0	(주)대한 지오 이엔씨	특허: 출원 1건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 2건 SW: 1건	특허: 출원 2건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 2건 SW: 1건	40
			A-2	시제품 제작	①	시제품	시제품 시험 성적서	-	공인인증 시험기관 의뢰	시험성적 서	3.0	(주)대한 지오 이엔씨			
	B	노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법의 시공방법	B-1	시방도서 제작	①	시방도서	시방도서	-	시방도서	완성여부	2.0	(주)대한 지오 이엔씨	특허: 출원 0.5건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건	특허: 출원 1건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건	20
			B-2	시험 시공	①	시험시공	시험시공		시험시공	완성여부	3.0	(주)대한 지오이 엔씨			
공동	C	LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축 의 유지관리 키트	C-1	시제품 제작	①	시제품	시제품 시험 성적서	-	공인인증 시험기관 의뢰	시험성적 서	5.0	(주)피엘 네트 웍스	특허: 출원 0.5건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건	특허: 출원 1건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건	20
	D	LoRa 기반 노후 옹벽 및 석축 의 유지관리 계측정보 관리시스템	D-1	시제품 제작	①	계측정보 관리시스템	시스템 구축		시스템 구축	S/W 등록	5.0	(주)피엘 네트 웍스	특허: 출원 1건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건	특허: 출원 1건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건	20
계											20		특허: 출원 2건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 4건 SW: 1건	특허: 출원 3건 등록: 1건 논문: 1건 시제품: 4건 SW: 1건	100

2. 관련 분야 기여도

2.1 노후 석축 및 옹벽에 대한 보강 기술 확보

현재 수행되고 있는 노후 옹벽 및 석축 보강 사업과 관련기술은 대부분 노후된 옹벽 및 석축의 표면에 대한 보수보강이나 훼손된 부분의 보수보강으로 이루어지고 있으며, 노후된 옹벽 및 석축 자체 대한 보수보강은 영구앵커공, 영구앵커+격자블럭공, 철제빔 설치 등으로 이루어지고 있다. 그러나 위와 같은 보수보강 공법은 적용에 주의가 필요하다. 보강 대상 옹벽에 대한 앵커시공 시공시 앵커 긴장력에 대한 안정성 검토를 수행하여야 하며, 앵커 긴장력에 의한 옹벽면의 편칭파괴의 가능성이 있으므로 앵커 긴장력이 옹벽구조물과 지반에 고르게 전달될 수 있도록 앵커지압판 적용을 검토하여야 한다. 특히 대상 옹벽구조물이 노후화된 경우 앵커 긴장력에 대한 내적구조검토 결과가 안정하더라도 적용에 유의하여야 한다.

한편 석축의 경우 일반적으로 그 구조상 높게 축조되지 않기 때문에 대상 구조물을 철거한 후 신규 구조물을 축조하며, 현장여건에 따라 영구앵커공법을 적용하기도 한다. 그러나 석축에 대한 보강공법 적용시 노후 석축의 경우 전석 사이로 토사 유실이 발생하여 배면의 안정성이 저하되는 경우가 많기 때문에 이에 대한 고려 없이 표면만을 보수하거나 앵커보강을 할 경우 오히려 안정성에 문제가 발생할 수 있으며, 석축은 콘크리트 옹벽이나 보강 그리드가 시공된 보강토옹벽이 연속체 거동을 보이는 것과 달리 석축은 전석사이의 결속력이 없기 때문에 앵커보강을 수행하더라도 국부파괴의 가능성이 높으므로 이를 고려하여야 한다.

본 연구개발을 통해 개발된 개발기술은 노후 옹벽 및 석축의 붕괴 위험징후 포착시 긴급히 보강공사를 수행할 수 있도록 공장에서 생산한 자재 및 보강재를 현장에서 바로 조립, 시공할 수 있는 보강기술로서 노후된 옹벽 및 석축 보강시 인접구조물에 대한 영향이 없도록 기존 옹벽 및 석축을 철거하지 않고 보강하는 미철거 보강기술로 개발되었다. 또한 전면부에 녹화가 가능하여 친환경적이며, 경관의 개선효과가 고려된 보강기술이다.

본 연구개발 기술은 노후한 옹벽과 석축의 특성을 반영한 전용 보강기술 확보 차원에 그 의의가 있다. 특히, 개발 기술은 노후 옹벽 및 석축의 붕괴 위험징후 포착시 긴급히 보강공사를 수행할 수 있도록 공장에서 생산한 자재 및 보강재를 현장에서 바로 조립, 시공할 수 있는 보강기술로서 노후된 옹벽 및 석축 보강시 인접구조물에 대한 영향이 없도록 기존 옹벽 및 석축을 철거하지 않고 보강하는 미철거 보강기술이다. 또한 전면부에 녹화가 가능한 친환경적인 면과 경관의 개선효과가 고려된 보강기술이다.

노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강공법(앵커타입) 연구시 개발된 복합소재 앵커 지압판은 해당 기술뿐만 아니라 일반적인 영구앵커공법 적용시 앵커 지압판으로 사용가능하며, 기존 RC지압판에 비하여 자중이 5% 수준으로 제작되어 현장작업성 향상에 따른 시공비 절감 등의 효과가 기대된다.

2.2 LoRa 기반 계측관리 시스템 기술 확보

노후 옹벽 및 석축을 포함한 급경사지 관련 계측시스템은 대부분 셀룰러방식의 모뎀·모듈에 의한 계측시스템을 구축하였다. 그러나 이러한 계측관리 시스템은 가격 및 솔루션에 대한 라이선스 문제

등으로 진입장벽이 높고 개개 디바이스별로 월정료가 고가여서(만원~수천원/월) 급경사지 계측관리 시스템의 활성화가 미진하였다. 또한 셀룰러방식의 모듈은 이동통신의 음성이나 멀티미디어 전송을 목적으로 최적화 설계되었기 때문에 전력 소모가 상대적으로 커서 상시 전원이 필요하다는 단점이 매우 크다(LPWA기반 광역 IoT 기술 및 표준화, 전자통신 동향 분석 제31권 제2호(2016)).

그러나 최근 사물인터넷(Internet of Things, IoT)은 차세대 이동통신 서비스의 생태계 구축을 위해 중요한 역할을 수행할 것으로 기대되고 있으며 이동통신 서비스의 전문가 및 관련 기업들을 사물인터넷을 이동통신 산업의 지속적인 성장을 위한 핵심 동력으로 간주하고 있다. 특히 NOKIA의 분석에 따르면 2025년까지 사물인터넷 접속기기의 수는 약 300억 개까지 증가할 것으로 추산하고 있으며 그중 저전력 장거리통신(Low Power Wide-Area, LPWA) 접속기기는 2025년까지 대략 70억 개에 이를 것으로 예상하고 있다. 특히 특히 저전력 장거리 통신기술(LPWA)은 비면허 대역 주파수를 활용하여 독자적인 사물인터넷 망을 구축하는 것이 가능하다는 장점으로 현재 SigFox와 LoRa 기술이 개발되어 활용되고 있다.

본 연구개발을 통해 개발된 노후 옹벽 및 석축 유지관리 시스템은 저전력 원거리 통신기술인 LPWA LoRa 통신방식과 LoRaWAN 표준을 적용하여 노후석축 및 옹벽 유지관리를 위한 하중계, 지표변위계, 경사계 계측, 통신 일체형 키트, 유지관리 응용서버로 구성되며, 유지관리 키트는 저전력, 원거리 통신이 가능한 내장된 배터리로 계측 및 통신을 수행할 수 있는 일체형 단말기로 구성된 것을 특징으로 한다.

3. 본 연구의 적용범위 및 한계 등 후속연구의 필요성

3.1 연구개발 기술의 적용범위

(1) 비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강기술의 적용범위

비철거식 노후 옹벽 및 석축 보강기술은 그림 4.1과 같이 개발 기술은 석축이나 옹벽, 다단 구조물(옹벽 또는 석축)을 대상으로 모두 적용가능하며, 식생패널과 식생기반재에 의한 식생 활착을 유도하는 친환경 녹화 및 보강기술로서 식생패널 설치시 식생패널의 경사가 완만할수록 우수의 유입과 식생생장에 보다 유리하다. 따라서 와이어매쉬+숏크리트(10~20cm, 필요시), 식생패널+식생기반재 포설(20~30cm)을 위해 보강대상 구조물로부터 약 0.2~0.5m의 공간이 확보되어야 효과적으로 적용할 수 있으며, 보강재 시공을 위한 천공장비 진입 및 작업공간의 확보가 필수적이다. 따라서 적용 대상 현장의 현장조건이 연구개발 기술의 적용범위를 결정하는데 가장 중요한 요소이며, 대상현장에 대한 현장 적용 가능성 여부를 판단하는 것이 매우 중요하다.

한편, 구조적 안정성을 확보하기 위한 보강요소로서 현장여건을 고려한 안정성 검토를 통해 네일링 또는 영구앵커공법 적용 할 수 있으나 네일링의 경우 일반적으로 최소 4m의 연장으로 시공되며, 영구앵커의 경우 관련 기준에 따라 최소 8.5m의 연장으로 시공되므로 보강재의 종류에 따라 보강대상으로부터 해당 구간의 지중구조물에 대한 확인이 필요하다. 특히 지중구조물이 존재하지 않더라도 사유지 침범의 가능성이 있으므로 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.

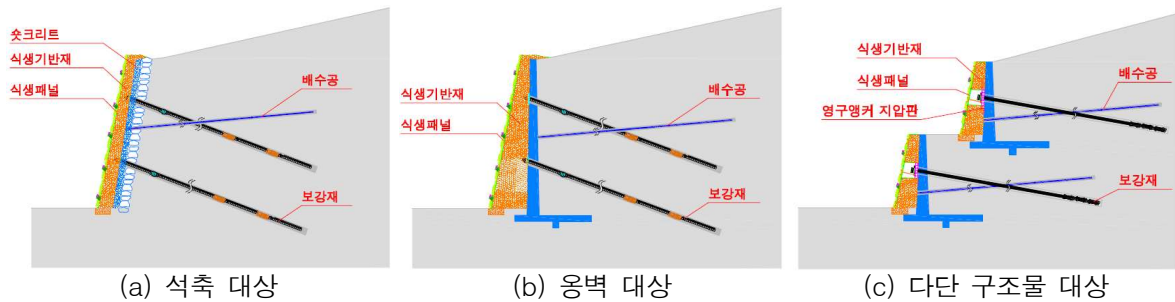


그림 4.1 개발기술 적용 개념도

(2) LoRa 기반 유지관리 키트를 활용한 유지관리기술의 적용 범위

LoRa 기반 유지관리 키트를 활용한 유지관리기술의 경우 1회/분의 계측빈도로 모니터링을 수행할 경우 별도의 전원 공급 장치 없이 내장된 배터리만으로 1년이상 구동이 가능하다. 1회/분의 계측빈도는 관련 수동계측 시 최고 사양의 계측빈도인 1~2회/일 대비 700배 이상의 고빈도의 계측이지만 상시계측 수준은 아니다. 따라서 LoRa 기반 유지관리 키트를 활용한 유지관리기술은 안정성이 확보된 구조물을 대상으로 진행되어야 하며, 안정성이 매우 낮은 구조물의 경우 상시계측관리가 효율적일 것으로 판단된다.

3.2 연구개발 기술의 한계

연구과제 구상시 개발기술에 대한 테스트베드 적용 및 이를 활용한 현장 적용성 검증을 2차년도에 수행하는 것으로 계획하였으나 연구개발이 진행중인 기술로서 안정성 검증 부족 등의 사유로 인하여 발주처 및 시행처를 확보하는데 어려움이 발생하였다. 따라서 테스트베드 적용 대상 현장은 주관연구기관인 (주)대한지오이엔씨에서 시공중인 현장을 대상으로 노후 옹벽이나 석축이 아닌 일반 깎기비탈면 내 일부구간에 마련하여 시험시공을 수행하였다.

이와 같은 테스트베드 현장의 한계로 인하여 노후 옹벽이나 석축을 대상으로 한 비철거식 식생옹벽 기술의 시공검증이 부족하였으며, 따라서 개발 기술의 상용화를 위한 적용 범위는 옹벽 높이 5m 이하의 소규모 구조물을 대상으로 적용한 뒤 시공실적 누적과 그에 따른 안정성 검증을 통해 그 적용 범위를 확대하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

한편, LoRa 기반 유지관리 키트를 활용한 유지관리기술의 경우 노후된 옹벽이나 석축을 보강한 후 수행하는 모니터링 기술로서 공용후 안정성이 확보된 구조물을 대상으로 하기 때문에 상시전원이 공급되어 실시간 계측관리가 이루어지는 상시자동화계측의 필요성이 없으므로 도로교통연구원 등 관련 전문가 자문 등을 통해 상시계측에 대한 실효성 및 소비전력 과다 등의 문제를 고려하여 수동계측에 준하여 계측빈도를 설정하되 현지조건, 위험도, 민감도 등에 따라 사용자(발주처, 설치자)의 요구를 반영하여 조정할 수 있도록 구상하였다. 테스트베드에 대한 계측기기는 표면경사계, 신축계, 앵커하중계(보강재 하중계)를 선정하였으며, 계측빈도는 1회/분으로 수행하였다. 특히 옹벽을 포함한 급경사지 계측에 관한 계측기기 및 계측 빈도의 경우 인사사고 영향을 줄 수 있는 매우 민감한 사항이기 때문에 일반기업에서 결정하기에 부담이 있으며, 국내 관련 기준에서도 명확히 규정되어 있지 않아 국가 연구기관을 통해 연구되고 정립되어야 할 것으로 판단된다.

3.3 국내 관련 기술 기준 부족에 따른 후속 연구의 필요성

(1) 영구앵커 지압판 관련 기술 기준 부족에 따른 후속 연구의 필요성

노후 옹벽이나 석축을 대상으로 한 비철거식 식생옹벽 기술 연구시 개발된 복합소재 영구앵커 지압판의 경우 수계산과 시뮬레이션 해석, 실물성능시험을 바탕으로 그 성능을 검증하였다. 본 연구에서 복합소재 영구앵커 지압판에 관한 실물성능시험은 국내에 지압판에 관한 설계·시험 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 공인인증시험기관인 한국에스지에스(주)와 시험방법을 조율하여 수행하였다. 그러나 일본의 경우 그라운드 앵커 수압판 설계 및 시험 매뉴얼(グラウンドアンカー受圧板設計・試験マニュアル)이 마련되어 있으며, 이를 바탕으로 다양한 재료와 형식의 지압판이 개발되어 있으며, 일부 기술의 경우 일본 국토교통성 건설신기술로 지정되어 활용되고 있는 것이 특징이다.

특히 국내의 경우 영구앵커 지압판에 관한 안정성검토는 재료 물성시험결과를 활용한 구조검토만으로 이루어지고 있기 때문에 실제 영구앵커 긴장력 작용시 앵커 지압판의 거동특성을 확인하기 어려우며, 파손되는 사례도 확인되고 있다.

따라서 국내에서도 일본과 같이 앵커 지압판에 관한 설계 및 시험 매뉴얼이 정립되어야 할 것으로 판단되며, 이는 일반 기업이 아닌 정부나 공공기관이 수행하여야 할 것으로 판단된다.

(2) 계측 관리 기준 부족에 따른 후속 연구의 필요성

국내 비탈면 관련 설계기준 중 가장 상위 기준에 해당하는 건설공사 비탈면 설계기준 및 표준시방서(국토교통부, 2016)에는 비탈면에 설치되는 계측기와 계측빈도가 상세히 명기되어 있지 않으나 건설공사 비탈면 표준시방서에서 다음 표4.1과 같은 계측항목 및 계측빈도를 규정하고 있다. 그러나 표와 같이 공사단계에 대한 기준으로써 공용중에 대한 내용은 별도로 언급되어 있지 않다.

표 4.1 계측빈도와 시간 (건설공사 비탈면 표준시방서, 2016)

구분	계측항목	계측빈도		
		짜기 직후 ~ 1개월	1개월 ~ 3개월	3개월 이후
짜기구간	지중경사계 지하수위계 신축계	2회/1주이상	1회/1주	1회/월

건설공사 비탈면 설계기준 및 해설서(한국시설안전공단, 2016)에는 표4.2와 같은 계측기기별 계측빈도를 제시하고 있으나 수동계측대상을 대상으로한 기준으로써 긴급시 1~2회/일의 빈도로 계측을 수행하도록 하고 있다.

한편, 비탈면에 대한 실시간 계측관리에 대한 내용은 표4.3과 같이 급경사지 계측표준시방서(국민안전처, 2016)에서만 확인되고 있으나 상시계측관리시의 계측관리기준은 대상 시설의 구조거동에 의한 분석방법과 계측기간 중 경사 변화 등을 고려한 종합적인 검토를 통해 결정하도록 하고 있다. 이와 같은 기준이 마련된 이유는 상시계측관리가 위험도가 매우 높은 비탈면을 대상으로 수행되기 때문에 현장조건에 적합한 계측관리기준 마련의 필요성이 있기 때문이다.

표 4.2 계측기와 계측빈도 (건설공사 비탈면 설계기준 해설, 2016)

계측의 대상	계측수법 계측기명	계측빈도의 목표(수동계측대상)			
		시공단계	유지관리단계	효과판정	긴급시
지표면변동 (변형, 변위)	지표면신축계	1회/일 또는 1~2회/주	4~6회/년	1~2회/주 또는 1회/월	1~2회/일
작용외력	로드셀 (센토홀 식)	1회/일 또는 1~2회/주	4~6회/년	1~2회/주 또는 1회/월	1~2회/일
구조물의 변형, 변위	구조물 표면경사계	1회/일 또는 1~2회/주	6~12회/년	1~2회/주 또는 1회/월	1~2회/일
※해빙기·우기·태풍 등의 이상 기상시나 지진시에는 계측빈 도를 적의 밀실하지 않도록 한다.		공사에 선행 혹은 병행하여 현장계 측을 하며, 대책공 사시공이나 공사의 안전성을 확보한다.	보전대상물이 나 인명의 안전확보 를 위해 긴급대피 등의 조치를 목적 으로 한다.	비탈면붕괴 대책 공 시공후의 대책 효과 확인을 목적 으로 한다.	시공도중이나 유 지관리단계에 있 어서 붕괴나 땅사 태의 변동이 현재 화된 경우

표 4.3 급경사지 상시계측관리 설치 센서 종류 (급경사지 계측 표준시방서, 2016)

계측항목	센서종류	계측통신방식	유무선	사용빈도
구조물 거동 및 응력	구조물경사계 (틸트미터)	전기식, 진동현식, FBG광센선식	유선	상
		디지털	유무선	상
	변형률계	전기식, FBG광센선식	유선	상
		진동현식	유선	상
	벽면토압계	전기식	유선	하
		진동현식	유선	하
	앵커하중계	전기식	유선	중
		진동현식	유선	중
	철근응력계	전기식	유선	중
		진동현식	유선	중
	로드셀	전기식	유선	상

그러나 개발 기술은 노후된 옹벽이나 석축을 보강한 후 유지관리를 위한 계측관리를 수행하는 경우로서 수동계측빈도로 계측관리를 수행하거나 실시간 계측관리를 수행하는 것은 비효율적이다. 특히 상시계측관리의 경우 실시간 계측 및 계측정보의 전송을 위해 전력소모와 통신량에 의하여 별도의 전원공급시스템과 대용량의 통신이 가능하여야 하기 때문에 시스템 구축을 위해 많은 비용이 소요된다.

따라서 비교적 안정된 구조물을 대상으로 수행하는 유지관리 시스템 구축을 위해서는 자동화 계측시스템의 장점을 활용하여 상시계측에 준하는 수동계측 대비 고빈도의 계측빈도의 설정이 매우 중요할 것으로 판단되며, 위 계측빈도에 대한 연구가 공공기관의 전문가를 통해 마련되어야 할 것으로 판단된다.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 연구개발성과의 활용방안

재난안전 분야는 타 분야와 비교하여 사업화가 매우 더디며, 그나마 소방 등 일부분야에 한정되어 활성화되어 있는 상황으로서 요소기술과 플랫폼의 모듈화 된 기술체계가 요구되고 있다. 특히 재난안전 분야의 관리시스템에 활용되는 센서 및 관련 기술의 경우 그 수요가 많지 않아서 관련 기술이 점차 뒤처지고 있으며, 최근 도입된 다수의 국내 재난안전 관련 시스템이 운용에 문제점이 있는 것으로 나타남에 따라 실무적용을 고려한 시스템 안정성확보가 무엇보다 중요하다('16 중소중견기업 기술전략 로드맵 전략보고서).

연구개발 기술의 국내 주요 기술수요처로는 자연재해 위험지구를 지정, 관리하고 재해 예방 대책을 마련해야하는 행정안전부(지자체 포함), 도로 및 철도 관련 재해에 관한 예방 대책을 마련해야 하는 도로공사와 철도공사가 주 수요처가 될 것으로 예측된다. 그러나 본 연구개발 기술의 경우 LoRa기술을 활용한 예경보 시스템으로서 저전력으로 장거리 통신이 가능하므로 유지관리가 용이하고 효율적인 재해 예경보 시스템 구축이 가능하기 때문에 세계 신규시장 선점과 관련 표준 기술 주도가 가능할 것으로 판단되며, 미국 및 일본을 포함한 해외 선진국의 진출도 가능할 것으로 판단된다.

1.1 건설신기술 등록 추진

건설신기술이란 국내에서 최초로 개발한 건설기술 또는 외국에서 도입하여 개량한 기술로 국내에서 신규성·진보성·현장적용성이 있다고 판단되는 건설기술에 대하여 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 관련 심의를 거쳐 인증하는 제도이다. 건설신기술로 등록된 기술은 국토교통부장관이 기존 유사기술보다 우선 사용 권고를 할 수 있으며, 입찰참가자격, 시공능력평가, 건설사업수행능력 평가 등에 가산점을 받을 수 있는 건설분야의 최고의 기술인증제도이다. 특히 본 연구 관리기관인 국토교통과학기술진흥원에서 건설신기술 업무를 처리하므로 본 연구과제 성과물을 활용하면, 스마트 건설기술 부합성과 첨단기술성 관련 평가 항목에 만점을 받을 수 있을 것으로 예상되기 때문에 건설신기술 신청을 2020년도 1/4분기에 추진하여 2020년도 안에 등록되도록 노력할 계획이다.

1.2 관련 기술 박람회 참가 및 기술마켓 등록 추진

(1) 관련 기술 박람회 참가를 통한 기술 홍보

국토부, 한국도로공사, 철도공사 등 주요 수요처를 대상으로 연구개발 기술을 포함한 사면보강, 방재기술 등을 홍보하고 설명할 수 있도록 관련 기술 박람회에 참가와 기술마켓 등록을 추진할 계획이다. 관련 기술 박람회로는 국토교통기술대전, 안전산업박람회, 건설안전박람회 등이 있으며, 안전산업 박람회 및 건설안전박람회는 2020.9.23~25에 개최될 예정이다.



그림 5.1 2019 한국도로공사 특별박람회 참가 [(주)대 한지오이엔씨]



(a) 2019 국토교통기술대전



(b) 2020 안전산업박람회

그림 5.2 연구개발 기술 관련 박람회

(2) 관련기관 기술마켓 등록을 통한 기술홍보

기술마켓이란 중소기업에서 개발된 신기술을 발주기관에서 검토, 도입한 후 그 내용을 공유하는 시스템으로 기술마켓이 등록된 기술은 설계, 시공시 관련 기술을 활용 할 수 있도록 설계 및 시공 기업에게 관련 정보를 제공해 주는 시스템이다. 현재 기술마켓을 운영중인 기관은 한국도로공사, 한국토지주택공사, 한국철도공사, 한국철도시설공단 등이 있다.



(a) 한국도로공사 기술마켓



(b) SOC공공기관 통합 기술마켓

그림 5.3 연구개발 기술 관련 기술마켓

1.3 테스트베드 제공 및 시범적용 대상기술 수요조사 신청

- 수요조사 목적 및 대상

- (목적) 국토교통분야 중소·벤처기업이 보유한 우수 기술을 대상으로 LH 보유현장에 시범적용 등을 통한 기술검증 및 기술사업화 지원
- (대상) 국토교통 R&D 수행* 중소·벤처기업, 건설·교통 신기술 보유 중소·벤처기업

- 진행사항

- 테스트베드 적용 신청에 관한 기술 설명회 개최 (2019.12.09, 시흥시스마트시티사업단)
- 테스트베드 적용 예정지에 대한 현장조사, 협의 일정 조율 중

KAIA, 청렴을 실천 혁신을 앞다!

국토교통과학기술진흥원

수신 (주)대한지오이엔씨 대표이사(최민형 연구책임자)
(경유)
제목 사회문제해결형 과제 스마트시티 실증도시 연계 대상과제 알림

1. 우리원 국토인프라실-1200호(19.08.02) 관령입니다.
2. 위 호와 관련하여, 귀 기관에서 신청하신 사회문제해결형 과제가 스마트시티 실증도시 테스트베드 연계 대상과제로 확정되어 불일과 같이 알려드립니다. 국토교통R&D 연구결과가 스마트시티 실증도시에 적용될 수 있도록 지자체 협의 등 후속 조치를 하여 주시기 바랍니다.

붙임 사회문제해결형 과제 스마트시티 실증도시 연계 대상과제(알림사항) 1부. 끝.

국토교통과학기술진흥원

수신처: (주)대한지오이엔씨 대표이사(최민형 연구책임자)

■ 직책 | 기밀 | 실명 | 일자/시각 | 발송처

발신처

시행: 국토인프라실-1707(시행일자:2019.12.30) | 김*
주소: 경기도 안양시 동안구 시민대로 286 (B) | http://www.kaia.re.kr
전화: 031-369-6335 | 팩스: 031-361-9922 | netri@kaia.re.kr | 민원개(5호)

테스트베드 시범적용 계획

노후 용벽 및 석축 유지관리를 위한 식생옹벽용 비철거식 시공기술
및 LPWA기술 LoRa기반의 유지관리 기술 개발

국토교통과학기술진흥원

(주)대한지오이엔씨

(a) 스마트시티 실증도시 연계 대상과제 알림 (b) 시흥시스마트시티사업단 테스트베드 시범적용 계획서

그림 5.4 테스트베드 제공 및 시범적용 대상기술 수요조사 신청

2. 사업화 계획

2.1 생산 계획

구분		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021년) 개발 종료 후 2년	(2022년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	1.7%	5.0%	6.0%
	판매량(단위:지구) ¹⁾	5	16	20
	판매 단가(원)	470,000,000	440,000,000	425,000,000
	국내 매출액(백만원)	2,351	7,052	8,463
해외 ²⁾	시장점유율(%)	0.003%	0.010%	0.013%
	판매량(단위:건) ³⁾	13	41	56
	판매 단가(달러) ³⁾	10,000	9,990	9,980
	해외 매출액(백만달러) ³⁾	0.13	0.41	0.56
당사 생산 능력 ⁴⁾		50%	65%	80%

* 주 1) 국내 국민안전처 급경사지 붕괴위험지역 정비사업의 개소수 기준.

2) 세계시장규모는 2008년 교육과학기술부 'MEMS 센서기술' 자료에 의거 IT건설 융합시장의 1%범위로 예측하였으며, 연평균 증가율 4.6%를 반영하여 추정하였음.

3) 해외 판매단가 및 해외 매출액은 계측관리시스템의 경우 직접 판매를 목표로 하며, 보강기술의 경우 기술이전 등의 기술계약을 목표로 하여 설정하였음.

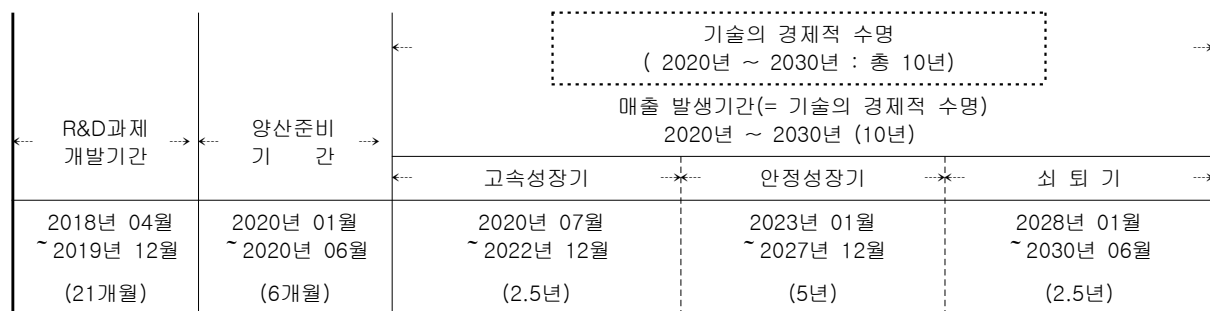
4) 사업초기 전문생산업체 OEM생산에 따른 품질 확보 및 설비투자 절감을 목표로하여 당사 생산 능력을 설정함.

2.2 투자 계획

(단위: 백만원)

항목		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021년) 개발 종료 후 2년	(2022년) 개발 종료 후 3년
매출원가		1,565	4,708	5,494
판매관리비		124	373	449
자본적 지출	토지	-	-	-
	건물/건축물	-	-	-
	기계 장치 등	500	500	300
자본적 지출 합계		500	500	300

2.3 사업화 전략



(1) (주)대한지오이엔씨

구분	구체적인 내용
형태/규모	• 상용화 형태 : 개발기술 공법 • 수요처 : 국민안전처, 지자체, 도로공사/철도시설관리공단 등 • 예상 단가 : 1조 200~250만(보강시스템) • 개발 투입 인력 및 기간 : 3명(2018.04.16~2019.12.31)
상용화 능력 및 자원 보유	• 관련 기술에 대한 다년간의 설계/시공 경험과 실적을 보유하고 있음. • 관련업종에 대한 다수의 특허 등 전문기술을 보유하고 있음.
상용화 계획 및 일정	• <그림> 사업화전략과 같은 상용화 일정을 바탕으로 사업화 전략을 수립함. • 개발된 기술은 주관연구기관[(주)한빛안전기술단]으로 부터 기술협약 및 기술이전 받아 사업화를 수행할 예정임.

(2) (주)피엘네트웍스

구분	구체적인 내용
형태/규모	• 상용화 형태 : 유지관리 시스템 • 수요처 : 국민안전처, 지자체, 도로공사/철도시설관리공단 등 • 예상 단가 : 1조 100~150만(유지관리 시스템) • 개발 투입 인력 및 기간 : 3명(2017.06.26~2018.12.31)
상용화 능력 및 자원 보유	• 창업5년 미만의 업체로서 보유 인력은 다년간의 설계/시공 경험과 실적을 보유하고 있음. • 관련업종에 대한 다수의 특허 등 전문기술을 보유하고 있음.
상용화 계획 및 일정	• <그림> 사업화전략과 같은 상용화 일정을 바탕으로 사업화 전략을 수립함. • 개발된 기술은 주관연구기관[(주)한빛안전기술단]으로 부터 기술협약 및 기술이전 받아 사업화를 수행할 예정임.

3. 사업화 모형

3.1 사업화 모형 수립(BM) 배경

최근 노후 석축 및 옹벽의 붕괴 및 유실로 인한 피해가 증가하고 있으며, 국민안전이 사회적 이슈로 떠오르고 있다. 이에 따라 연구개발된 ‘노후 석축 및 옹벽의 비철거형 보강공법 및 유지관리 기술’을 개발하여 시장에 공급할 수 있는 사업 모델을 마련하고자 사업화 모형을 수립해 보았다.

3.2 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(1) 사업화 목표

- 걱정 없는 안심사회 구축을 위해 생활안전/재난재해에 관련한 노후 시설물 유지 관리 기술로서 개발된 ‘노후 석축 및 옹벽의 비철거형 보강공법 및 유지관리 기술’의 사업화를 통해 국내

노후 석축 및 옹벽 보강 시장에 대한 선점/기술적 우위 달성 및 글로벌 사업화를 목표로 함.

(2) 핵심 경쟁 요인

- 노후 석축 및 옹벽의 비철거형 보강공법
 - 국내외에서 노후 석축 및 옹벽에 관한 보강을 수행하고 있으며, 이에 기존 비탈면 보강공법을 전용하고 있음. 따라서 기존 비탈면 보강공법과의 경쟁이 예상됨.
 - 그러나 본 연구개발 기술과 같이 인접구조물의 영향을 고려하여 노후 된 석축 및 옹벽을 비철거하면서, 급속 현장 조립시공 할 수 있는 전용 보강공법에 대한 연구 및 기술은 미비한 실정임.
- LoRa 기반 노후 석축 및 옹벽의 유지관리 기술
 - 급경사지 계측관리를 위한 연구 및 기술은 국내외에서 많은 시도되었으며, 국내외 적으로 일부 운용되고 있음. 따라서 기존 비탈면 계측관리 시스템과의 경쟁이 예상됨.
 - 그러나 기존 계측관리 시스템은 셀룰러방식의 모뎀·모듈에 의한 사물인터넷 서비스 형식으로 가격 및 솔루션에 대한 라이선스 문제 등으로 진입장벽이 높고, 개개 디바이스별로 원정료가 고가여서(만원~수천원/월), 서비스의 확장이 더디게 일어났음. 또한 셀룰러방식의 모듈은 이동통신의 음성이나 멀티미디어 전송을 목적으로 최적화 설계되었기 때문에 전력 소모가 상대적으로 커서, 상시 전원이 필요 한 단점이 있어 시장 활성화 및 확대가 미비한 실정임.

단기목표	중기목표	장기목표
국내사업 안정화	사업확대 및 글로벌 진출기반 조성	글로벌 사업 선도 및 응용범위 확대
• 지자체 붕괴위험지구를 대상으로 한 공법적용/매출확대 • 노후 석축 및 옹벽 보강에 대한 차별적인 기술력으로 관련 시장 적극적 공략 • KOTRA 수출지원 사업 참가로 해외 판로 개척	• 노후 석축 및 옹벽 보강 분야 국내 시장 1위 업체로의 도약 • 도로공사, 철도시설관리공단 등을 대상으로 한 공법적용/매출확대 • 지속적인 해외홍보, 마케팅으로 해외 시장 진출 • 유지관리 시스템 운영 등 적극적인 마케팅으로 고부가가치적 매출 증대	• 노후 석축 및 옹벽보강, 유지관리 분야 글로벌 TOP브랜드로 성장 • 유지관리 시스템을 활용 타 분야로 사업영역 확대(가설앵커, 사면앵커, 타이케이בל 기타 등등)

3.3 목표 시장 구조

(1) 경쟁 기업 현황

- 노후 석축 및 옹벽에 대한 보수·보강 사례는 많이 보고되고 있으나 사면보강공법을 전용한 것이 대부분이며, 별도의 전문 보강기술은 보고된 자료가 많지 않음.
- 본 연구기술과 가장 유사한 기술인 ‘프라임 구조체를 이용한 사면보강용 옹벽’의 경우 신규

축조되는 옹벽에 대한 기술로서 노후된 석축 및 옹벽의 안정성 저하 대책으로 활용 될 가능성은 있으나 프라임 구조체에 콘크리트를 타설, 양생하여야 하기 때문에 본 연구 목적과 같이 긴급 보강공법으로는 바람직하지 않으며, 특히 유지 관리를 위한 별도의 기술도 마련되어 있지 않음.

(2) 시장 진입 장벽

- 이와 같은 연구개발 대상의 국내외 현황으로 미루어 기존의 사면 및 옹벽 보강업체와의 경쟁이 이루어질 것으로 판단되나 본 연구개발 기술과 같이 노후된 석축 및 옹벽의 비철거식 보강기술과 유지관리기술에 관한 기술을 개발하여 사업화를 수행하는 업체는 확인되지 않으므로 본 연구개발 기술이 시장에서 우위에 있다고 할 수 있음. 따라서 가장 큰 시장 진입 장벽으로는 동종 시공경험의 부족이라고 볼 수 있음. 그러나 공동연구기관2의 경우 관련 시공경험과 노하우가 있으므로 이를 활용하여 시장 진입 장벽을 낮출 수 있을 것으로 기대됨.

3.4 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 국내 주요 고객군
 - 노후 석축 및 옹벽에 관한 보강공사, 위험지구 개선사업을 수행하는 국민안전처 및 지자체와 관련 시공사가 주요 판매처임. 또한, 도로 및 철도 시설물의 관리를 수행하는 도로공사와 철도시설관리공단, 국토관리청 등과 해당 사업을 실질적으로 수행하는 시공사가 주요 판매처가 될 것으로 예측됨. 특히 국민안전처 붕괴위험지역 정비사업 예산이 2015년 기준으로 크게 증가하고 다소 감소하고 있으나 안전에 대한 사회적 인식 및 국민의 요구에 따라 일정 수준 유지 할 것으로 예측됨.

표 5.1 국민안전처 최근 6년간 급경사지 붕괴위험지역 정비사업 예산

(단위 : 백만 원)

세부사업명	2017 예산	2016 예산	2015 예산	2014 예산	2013 예산	2012 예산
급경사지 붕괴위험지역 정비사업	141,048	149,422	195,500	37,900	37,400	34,000

* 주) 출처 : 행정안전부 예산개요, 2012~2017)

- 해외 주요 고객군
 - 주요 거래 국가로는 노후 시설물과 건축물이 많은 일본과 유럽이 될 것으로 예상됨. 특히 위 국가들은 건축물에 대한 문화재적 가치를 중시하기 때문에 노후 석축이나 옹벽의 비철거식 보강공법을 통해 안정적인 보강사업을 수행 할 수 있을 뿐아니라 유지관리 기술을 통해 모니터링을 수행할 수 있음. 해외 주요 판매처로는 중앙정부 및 지자체가 될 것으로

예측되나 직접적인 계약을 수행하는데 한계가 있으므로 본 연구를 통해 KOICA, 중소기업
 수출지원센터의 수출지원사업 등의 프로그램을 적극 활용하여 해외시장에 진출할 계획임.
 한편, 정보화 사회를 바탕으로 센서를 활용한 안전관리 분야가 포함된 IT 건설 융합시장의
 규모가 전세계적으로 확대될 것으로 예측되고 있으며, 위 분야에 대한 제품개발과 시장
 진출을 위해서는 IT업계와의 전략적 협업 등의 전략이 필요할 것으로 판단됨.

표 5.2 현재 및 미래의 국내·외 시장규모

(단위 : 억원)

구 분	현재의 시장규모(2016년)	예상 시장규모(2026년)
세계 시장규모	*34,591	*54,237
국내 시장규모	1,296	2,293
산출 근거	국내시장 규모 산출 근거 : 산림청 예산개요, 2011~2016	

* 주) 세계시장규모는 2008년 교육과학기술부 'MEMS 센서기술' 자료에 의거 IT건설 융합시장의 1%범위로 예측하였으며, 연평균 증가율 4.6%를 반영하여 추정하였음.

3.5 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

(1) 국내 노후 석축 및 옹벽 보강, 유지관리기술 산업의 SWOT분석

Strength	Weakness
•세계적 수준의 정보기술 및 인프라 보유 •건설 시공분야 시공/설계/제조 관련 인프라 보유 •급경사지 계측정보 시스템 등 관련 구축사업을 통한 건설 IT융합 노하우 축적 •IT기술을 이용한 건설분야 부가가치 제고영량 보유	•모니터링 시스템 구축비용, 운용비용에 따른 사업 활성화 부진 •노후 석축 및 옹벽에 대한 전문적인 보강공법 등 기술 부족 •건설, IT의 접목을 통한 기술혁신 인프라 취약
Opportunity	Threat
•안전에 대한 관심 증대로 토목분야 스마트 모니터링 시스템 수요 증대 •건설 IT융합에 대한 수요 급증 •사물인터넷관련 관심 및 수요 급증 •노후 구조물의 유지관리 및 보수보강 수요 증대	•기술력은 선진국, 가격경쟁력은 중국 등이 우위 •브랜드 가치 경쟁, 세계시장 경쟁 심화

그림 5.5 국내 노후 석축 및 옹벽 보강, 유지관리기술 산업의 SWOT분석

(2) 수익창출 목표

- 국민안전처 급경사지 붕괴위험지역 정비사업 예산이 2017년 기준으로 일정수준 유지되는 것을 가정하여 연구개발 기술의 적합성과 유지관리 기술을 바탕으로 사업초기(연구개발 1년 후) 1.7%의 점유율과 2년 후 5.0%의 점유율을 목표로 하고 있으며, 매년 20%의 성장을 목표로 연구개발 10년 후 25.0%의 점유율을 목표로 함.

표 5.3 사업화 계획 및 기대효과

(단위 : 백만원)

구분		개발종료 2019	개발종료 1년후 2020	개발종료 2년후 2021	개발종료 3년후 2022	개발종료 10년후 2029
매출액	국내 ¹⁾	-	2,351	7,052	8,463	30,324
	국외 ²⁾	-	132	414	520	2,551
	계	-	2,483	7,466	8,983	32,876
매출원가	매출원가 ³⁾	-	1,565	4,708	5,494	16,245
	감가상각비 ⁴⁾	-	47	169	237	2,515
판매관리비	판매관리비 ⁵⁾	-	124	373	449	1,644
	감가상각비 ⁶⁾	-	4	13	19	254
연구비	정출	420	-	-	-	-
	기부	150	-	-	-	-
자본적합계		-	500	500	300	-
총원가		570	2,240	5,764	6,500	20,658
이익		-570	243	1,703	2,483	12,217
누적이익		-570	-327	1,375	3,858	54,347
비용절감 ⁷⁾		-	470	1,410	1,693	6,065
수입대체 ⁸⁾		-	118	353	423	1,516

* 주 : 1) 2019년 시장점유율 1.7%, 2020년 시장점유율 5.0%, 이후 매년 20% 증가를 목표로 설정함

2) 2008년 교육과학기술부 'MEMS 센서기술' 자료에 의거 IT건설 융합시장의 1%범위로 예측하였으며, 연평균 증가율 4.6%를 반영하여 추정

3) 매출액의 65%를 기준으로 이후 매년 3% 절감을 목표로 설정함.

4) 초기 설비 투자비에 따른 가격경쟁력 확보를 위해 초기 매출원가의 3%를 기준으로 설정하고 매년 20%씩 증가하는 것으로 설정함.

5) 매출액의 5%규모로 설정함.

6) 초기 설비 투자비에 따른 가격경쟁력 확보를 위해 초기 매출원가의 3%를 기준으로 설정하고 매년 20%씩 증가하는 것으로 설정함.

7) 내수 판매액만을 바탕으로 보강공사 및 유지관리시스템 구축에 따른 비용 절감효과를 판매액의 20% 규모로 설정하였으나, 실제 더 클것으로 판단됨.

8) 현재 관련 사업에서 해외 업체가 직접 시공, 제작 판매하고 있지 않으나 통신관련 부품과 기술료 등을 고려하여 수입대체 효과를 국내 매출액의 5%로 설정하였음.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

- 일본 신기술정보시스템(<https://www.netis.mlit.go.jp>)
- 그라운드 앵커 설계·시공 기준 등 해설, 일본(グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説(JGS4101-2012))
- 그라운드 앵커 수압판 설계 및 시험 매뉴얼, 일본 (グラウンドアンカー受圧板設計・試験マニュアル)
- 도로 토공 절토공·사면 안정 공 지침, 일본(道路土工一切土工・斜面安定工指針)
- 산사태 모니터링 체제 구축 가이드-산사태 지역의 안전·안심을위한 효율적인 산사태 감시 체제, 일본(地すべり監視体制構築の手引き-地すべり地の安全・安心のための効率的な地すべり監視体制)

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	- 본 연구개발 기술은 노후된 옹벽 및 석축의 비철거 보강기술과 유지관리에 관한 기술로서 현재 상용화된 기술을 개선, 융합하여 마련된 기술임. 따라서 연구개발 기술의 성공 판별 후 사업화가 진행된다면, 사면보강 기술을 보유한 업체들은 사면보강 기술을 바탕으로 유사 기술을 마련할 수 있음.	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 기술적 위험 요소 분석
 - 중량 구조물의 연구개발과 성능시험
 - 본 연구개발 기술은 노후 옹벽 및 석축의 비철거식 보강기술에 관한 연구로서 지지부의 수압판은 철근콘크리트로 제작되는 중량물이기 때문에 주의가 필요함.
 - 중량 구조물의 시험 시공
 - 본 연구개발 기술은 2차년도 시험시공을 계획하고 있음. 이때 지지부 시공을 위한 보링, 앵커설치, 수압판설치, 앵커 긴장 정착 등의 토목공사 중 앵커공사를 포함하고 있으며, 중장비가 투입될 계획임. 따라서 이에 대한 주의가 필요함.
- 안전 관리 대책
 - 중량 구조물의 연구개발을 위해 주관연구기관과 공동연구기관은 연구실 안전관리 수칙을 마련하여 안전한 연구개발을 위해 노력할 계획임.
 - 주관연구기관과 공동연구기관 지반보강관련 전문 설계, 시공업체로서 다년간의 시공실적과 운영실적이 있음. 따라서 시방서, 안전관리 수칙을 마련하여 시험시공시 안전한 시공을 위하여 노력할 계획임

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문 /특허 /기타)	논문명 /특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	기능성 앵커 지압판	(주)대한 지오 이앤씨	주	대한민국	-	등록 2019.11.05	단독	-
2	특허	LoRa 네트워크 시스템을 이용한 옹벽 및 석축 관리 시스템	(주)대한 지오 이앤씨	주	대한민국	-	출원 2018.12.28	단독	-
3	특허	노후옹벽의 보강구조 및 보강방법	(주)대한 지오 이앤씨	주	대한민국	-	출원 2019.01.04	단독	-
4	논문	SMC(Sheet Molding Compound) + FRP 복합소재 샌드위치 패널구조의 앵커지압판 개발 연구	(주)대한 지오 이앤씨	주	한국방재 학회 논문집	KCI IF (2년) 0.47	19권7호 (2019.12월호) 게재예정	단독	비SCI
5	S/W	노후 석축 옹벽 유지관리 서버	(주)피엘 네트 웍스	주	대한민국	-	2019.08.05	단독	-

제11장. 기타 사항

제12장. 참고 문헌

- 그라운드 앵커의 수압판 설계 방안의 제안, 2009 한국암반공학학회학술발표회, pp. 187-193
- FRP쏘일네일의 두부정착장치에 사용되는 FRP지압판의 휨거동에 관한 연구, 2005 대한토목학회 정기학술 대회, 2005.10, pp. 2,844-2,847
- 급경사지 주민대피 계측관리시스템 구축 및 계측시방서 개발 연구, 국민안전처, 2015
- 급경사지 재해예방을 위한 전문가 토론회 자료, 행정안전부, 2019
- 제29회 한국지반공학회 사면안정기술위원회 계속교육-최신 비탈면 안정해석 및 보강기술, 지반공학회, 2018
- 신기후체제 대비 한반도 기후변화 전망보고서, 기상청, 2017
- 터널설계기준, 국토교통부, 2016
- 건설공사 비탈면 설계기준, 국토해양부, 2016
- 건설공사 비탈면 표준시방서, 국토해양부, 2016
- 급경사지 계측 표준시방서, 행정안전부, 2016
- 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(옹벽), 국토해양부, 2012
- 그라운드 앵커설계·시공 및 유지관리 매뉴얼, 국토해양부, 2011

-
- 홍천국토 관내 상시계측시스템 고도화 사업 공고, 국토교통부 원주지방국토관리청, 2019
 - 의정부국토 관내 상시계측시스템 고도화 사업, 국토교통부 서울지방국토관리청, 2019
-

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발 성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.