보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()
국토교통기술촉진연구 사업 제2차연도 최종보고서

R&D / 20CTAP-C152052-02

고성능 낙석·토석 대책시설 국산화를 위한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 개발 최종보고서

2020. 12. 31.

주관연구기관 / (주)대한지오이엔씨
협동연구기관 / 상지대학교 산학협력단
협동연구기관 / (주)지오코리아이엔지

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'고성능 낙석·토석 대책시설 국산화를 위한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 개발'(연구개발 기간 : 2019.04.19~ 2020.12.31.) 과제의 최종보고서(안)을 제출합니다.

2020. 12. 31.

주관연구기관명 : (주)대한지오이엔씨 대표이사 김 재 선 (인)

협동연구기관명 : 상지대학교산학협력단 대표이사 차 영 환 (인)

협동연구기관명 : (주)지오코리아이엔지 대표이사 이 강 중 (인)

참 여 기 관 명 : (주)대한지오이엔씨 대표이사 김 재 선 (인)

: (주)지오코리아이엔지 대표이사 이 강 중 (인)

주관연구기관책임자 (주)대한지오이엔씨 최 민 형 (인)

협동연구기관책임자 상지대학교산학협력단 황 영 철 (인)

협동연구기관책임자 (주)지오코리아이엔지 이 강 중 (인)

참 여 기 관 책 임 자 (주)대한지오이엔씨 최 민 형 (인)

(주)지오코리아이엔지 이 강 중 (인)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>20CTAP-C152052-02</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2019.04.19 ~2020.12.31</td><td>단계구분</td><td>2/2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">2018년 국토교통기술촉진연구사업 창의도전연구분야</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">고성능 낙석·토석 대책시설 국산화를 위한
5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">최민형</td><td>해당단계 참여연구원 수</td><td>총: 9 명
내부: 9 명
외부: 명</td><td>해당단계 연구비</td><td>정부: 424,000천원
민간: 144,860천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 568,860천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여연구원 수</td><td>총: 9 명
내부: 9 명
외부: 명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 554,000천원
민간: 188,681천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 742,681천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="2">(주)대한지오이엔씨</td><td colspan="3">참여기업명 (주)대한지오이엔시
(주)지오코리아이엔지</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:-</td><td colspan="3">상대국 연구기관명:-</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명:-</td><td colspan="3">연구책임자:-</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 보안등급 및 사유</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호	3	2	1	-	-	1	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

[요약] 개발기술은 국내 관련 기준에서 정의하는 48~61kJ급 일반 낙석방지울타리의 성능 부족으로 인하여 증가되고 있는 피해사례를 저감시키기 위하여 해외에서 적용하고 있는 포켓식 고성능 낙석방지울타리 국산화에 대한 연구임. 특히 2,040MPa급 고강도 강선을 활용하여 링형 네트를 개발하여 해외 1,770MPa급 강선을 활용하여 제작되는 링형 네트 대비 13.9% 경량화된 링형 포획망과 감쇄부재의 길이를 조정하여 성능을 조정할 수 있는 감쇄에너지 감쇄장치를 주요 부재로 포켓식 고성능 낙석방지울타리를 개발하고 국내 최대의 500kJ급 실물성능평가를 수행하여 그 성능을 검증하였음. 한편, 저전력 장거리 통신기술을 활용하여 전력공급장치와 통신중계기기 설치가 필요 없이 낙석발생 알람과 낙석방지울타리의 기울기, 변위를 모니터링 할 수 있는 경제적인 준실시간 낙석방지울타리 유지관리 시스템을 구축할 수 있는 기술임.

보고서 면수 226

〈 요약문 〉

<table>
<tr><td>연구의
목적 및 내용</td><td>○ 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발
– 고강도 소재를 활용한 고성능 포켓식 낙석방지울타리 요소자재 개발
– 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 제품 및 시스템 개발
○ 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 및 결과를 반영한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증
– 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 연구
– 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 실물실험에 의한 성능평가
– 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 결과를 반영한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션(수치해석) 검증
○ 낙석・토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발
– 낙석・토석 대책시설 유지관리 및 경보 키트 개발
– 낙석・토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>연구개발성과</td><td>• 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 기술 국산화
• 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법
• 낙석・토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템
<예상되는 연구개발성과 유형>
<table><tr><td rowspan="2">구분</td><td rowspan="2">논문</td><td rowspan="2">특허</td><td rowspan="2">보고서 원문</td><td rowspan="2">연구시설・장비</td><td rowspan="2">기술요약 정보</td><td rowspan="2">소프트웨어</td><td rowspan="2">화합물</td><td colspan="2">생명자원</td><td colspan="2">신품종</td></tr><tr><td>생명정보</td><td>생물자원</td><td>정보</td><td>실물</td></tr><tr><td>예상성과(N/Y)</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td><td>N</td><td>Y</td><td>Y</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td>• 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 기술 국산화
• 고성능 낙석방지울타리 관련 기술을 선진국 대비 2%에서 50% 이상으로 향상
• 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 기술 국산화를 통한 외화유출 방지
• 국내 철강재 관련 인프라를 활용하여 해외기술대비 60~70% 수준의 경제적인 고성능 낙석방지울타리 도입
• 해외기술대비 경제성 확보를 통한 재해예방공사 증가로 효과적인 방재정책 수립과 인적・물적 피해 비용 절감
• 국내 기업이 진출하지 못한 고성능 낙석방지울타리 시장을 개척함으로서 관련 원자재 생산 기업 및 가공업체, 시공 및 관리업체까지 효과 파급
• 4차 산업인 IoT를 구조물 감시 센서류와 토목 시공에 접목하여 안전관리 융합 시스템 구축</td></tr>
<tr><td>핵심어</td><td>낙석방지울타리</td><td>고성능
낙석방지울타리</td><td>링네트</td><td>유지관리
시스템</td><td>낙석</td></tr>
</table>

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	○ Development of 5,000kJ class pocket-type rockfall barrier system - Development of rockfall barrier parts using high-strength materials - Deveolpment of 5,000kJ class pocket-type rockfall barrier system ○ Performance evaluation of 500kJ class pocket-type rockfall barrier&Simulation verification of 5,000kJ class pocket-type rockfall barrier - A study on performance evaluation method for high class rockfall barrier - Performance evaluation of 500kJ class pocket-type rockfall barrier - Simulation verification of 5,000kJ class pocket-type rockfall barrier ○ Development of maintenance system for rockfall&debris flow barrier - Development of maintenance ket for rockfall&debris flow barrier - Development of maintenance system for rockfall&debris flow barrier
Results	• Domestic production of 5,000kJ class pocket-type rockfall barrier • Performance evaluation method for high class rockfall barrier • Development of maintenance system for rockfall&debris flow barrier
Expected Contribution	• Domestic production of 5,000kJ class pocket-type rockfall barrier. • Improve the technology of high class rockfall barrier of 2% level in developed countries to 50% or more. • Prevention of foreign currency outflow through domestic production of 5,000kJ class pocket rockfall prevention fence technology • Development of economical high class rockfall barrier at 60-70% level compared to overseas technology by utilizing domestic steel-related infrastructure. • Establish disaster prevention policies that are effective in increasing disaster prevention work by ensuring the economic efficiency of high class rockfall barrier, and reduce human and property damage costs • By developing a high class rockfall barrier market where domestic companies have not entered, the effect will spread to related raw material producers, processors, construction companies, and management companies. • Construction of a safety management integrated system by combining IoT, which is a fourth industry, with structural monitoring sensors and civil engineering construction

Keywords	Rockfall Barrier	High Class Rockfall Barrier	Ring-Net	Maintenance Technology	Rockfall

〈 목 차 〉

제1장. 연구개발과제의 개요 ····· 1

1. 연구개발 목적 ····· 1
2. 연구개발 배경 및 필요성 ····· 4
3. 연구개발 목표 및 범위 ····· 9

제2장. 국내외 기술 개발 현황 ····· 11

1. 낙석방지울타리에 관한 국내외 관련 기준 현황 ····· 11
2. 고성능 낙석방지 울타리에 관한 국내외 기술 현황 ····· 14
3. 기술개발 성숙도 ····· 25

제3장. 연구수행내용 및 성과 ····· 27

1. 연구개발 추진 전략 및 방법 ····· 27
2. 연구개발 성과 ····· 33
3. 연구결과 ····· 44
   - 3.1. 연구개발 기술의 구성 ····· 44
   - 3.2. 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발 ····· 45
   - 3.3. 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 및 결과를 반영한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증 ····· 99
   - 3.4. 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발 ····· 131
   - 3.5. 500kJ급 포켓식 고성능 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 시험시공 ····· 168

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 190

1. 목표달성도 ····· 190
2. 관련 분야 기여도 ····· 193
3. 본 연구의 적용범위 및 한계 등 후속연구의 필요성 ····· 197

제5장. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 202

1. 연구개발성과의 활용방안 ····· 202
2. 사업화 계획 ····· 206
3. 사업화 모형 ····· 208

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 223

제7장. 연구개발성과의 보안등급 ····· 223

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ····· 224

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 224

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 224

제11장. 기타 사항 ····· 225

제12장. 참고 문헌 ····· 225

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 개요

1.1 연구개발 목적



그림 1.1 고성능 낙석방지울타리 연구개발의 도출

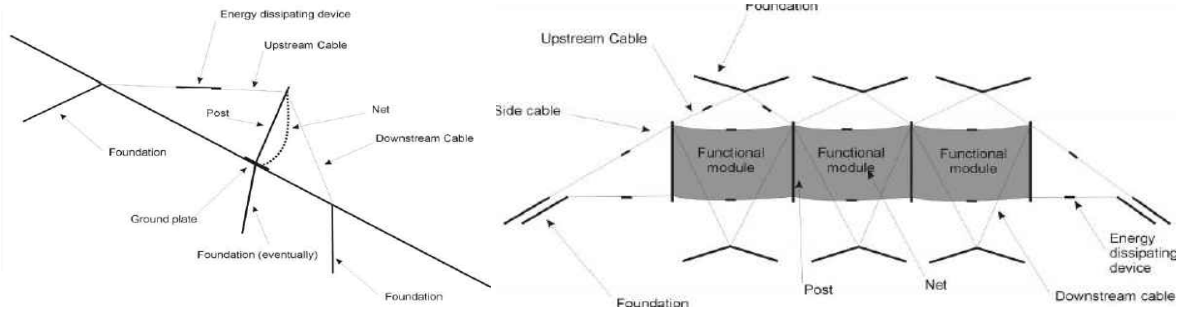
국내 낙석방지울타리의 방호성능은 관련 기준 및 관련 표준도에 따라 48, 61kJ급의 일반 낙석방지울타리가 정형화되어 있는 상황으로 낙석방호 성능 부족으로 인하여 낙석으로 인한 피해사례가 지속적으로 보고되고 있으며, 투과형 토석류 대책시설에 관한 관련 설계기준이나 방호성능 기준은 아직 마련되어 있지 않은 상황이다. 특히, 최근 기후변화에 따라 강수량뿐만 아니라 강우의 지속시간 및 강우강도도 증가 될 것으로 예측되고 있으며, 이는 지반의 간극수압을 증가시켜 낙석과 토석류를 포함한 사면재해 역시 증가 될 것으로 예측되고 있다.

본 연구는 해외에서 고성능 낙석방지울타리와 투과형 토석류 대책시설로 가장 많이 활용되고 있는 링형네트시스템을 국산화함으로서 국내 고성능 낙석방지울타리 및 투과형 토석류 대책시설 개발능력을 확보하기 위하여 수행되었다. 특히, 국내외에서 적용되고 있는 링형네트시스템은 일반적으로 3.0mm의 1,770MPa급 강선을 활용하여 제작된 링형포획망을 활용하고 있으나 본 연구에서는 국내 철강 인프라를 활용하여 2.8mm의 2,040MPa급 고강도 강선으로 링형네트시스템을 국산화함으로서 기존 기술 대비 12.9% 경량화를 달성하였으며, 이를 통해 경제성을 확보하였다. 한편, 고성능 낙석·토석 대책시설의 효과적인 유지관리를 위하여 IoT 기술 중 저전력장거리 통신기술인 LoRa를 활용한 계측관리 시스템 개발 적용하여 기존 계측시스템 대비 저비용으로 계측관리와 유지관리를 수행할 수 비구조적 대책기술 개발을 병행하였으며, 이를 통해 고성능 낙석·토석 대책시설에 대한 방재시스템 구축을 목적으로 수행되었다.

1.2 연구개발 기술의 형상 및 특징

고성능 낙석방지울타리는 관련 기준인 ETAG 027에서 네트(NET), 케이블(Cable), 지지부

(Foundation), 지주(Post), 에너지 감쇄장치(Energy Dissipating Device) 등으로 구성된다고 정의하고 있기 때문에 전 세계적으로 시스템의 구성과 형상이 유사하며, 개발 기술도 유사한 구성과 형상을 보인다. 그러나 상세적으로 네트와 지지부, 지주, 에너지 감쇄장치는 개발 업체에 따라 다른 형상과 구성을 보이고 있으며, 개발 기술의 구성과 형상은 다음 그림과 같다.



(a) SIDE VIEW (b) BACK VIEW

그림 1.2 고성능 낙석방지울타리 시스템의 구성요소(ETAG 027)



그림 1.3 개발시스템의 형상 및 구성

개발기술 중 주요요소인 포획망(NET)는 국내외에서 고성능 낙석방지울타리로 가장 일반적으로 활용하고 있는 링형포획망의 형상을 보인다. 그러나 1,770MPa급 3.0mm 강선을 활용하여 제작하는 기존 국내외 링형포획망과 달리 개발된 링형포획망은 2,040MPa급 2.8mm 강선을 활용하여 제작되며, 이를 통해 기존 링형포획망과 유사항 성능임에도 기존 링형포획망의 87.9% 수준으로 경량화되었다.

에너지 감쇄장치(Energy Dissipating Device)는 감쇄부재인 파이프가 2개의 롤러를 통과하며 발생하는 변형과 마찰력을 활용하여 작용하는 에너지를 감쇄시키도록 고안되었으며, 감쇄부재인 파이프의 제원과

길이에 따라 에너지 감쇄장치의 성능을 조절하기 용이한 것이 특징이다. 개발된 낙석·토석 대책시설의 감쇄장치는 동일한 감쇄장치 몸체에 D60.5-3.2t 제원의 파이프를 감쇄부재로 사용할 경우 50kJ/m급의 감쇄성능으로 500kJ급 시스템에 활용되며, D60.5-5.5t 제원의 파이프를 감쇄부재로 사용할 경우 170kJ/m급의 감쇄성능으로 5,000kJ급 시스템에 활용된다.

지주(Post)는 지주상부와 지주하부가 힌지로 연결되어 낙석 포획시 고성능 낙석방지울타리의 변형과 변위를 허용할 수 있도록 구성되며, 고성능 낙석방지울타리 시스템 설치시 연결부재로 활용하는 샤클과 와이어클립의 사용 수량을 최소화함으로서 연결부재의 손상으로 발생할 있는 위험요소를 최소화하기 위한 형상으로 고안되었다.

지지부(Foundation)는 설치 현장조건에 따라 현장 취급 및 가공에 용이한 와이어로프 앵커로 구성하거나 확장형 지지부를 활용하여 부족한 지지력을 향상시킬 수 있도록 고안되었다.

한편, 개발된 고성능 낙석방지울타리는 유지관리를 위해 선택적으로 경사계와 신축계를 기반으로 한 유지관리키트 활용할 수 있도록 고안되었다. 특히, 유지관리키트는 상용 LoRa통신기술과 내장 베터리로 1년이상 구동이 가능하여 1년 1~2회의 현장점검시 베터리를 교체할 경우 별도의 전력공급장치와 통신설비 구축 없이 계측관리를 기반으로 한 시스템 유지관리를 수행할 수 있는 것을 특징으로 한다.



(a) 2,040MPa 강선 링형포획망



(b) 에너지 감쇄장치



(c) 힌지식 지주



(d) 와이어로프 앵커



(e) 확장형 지지부



(f) 유지관리키트

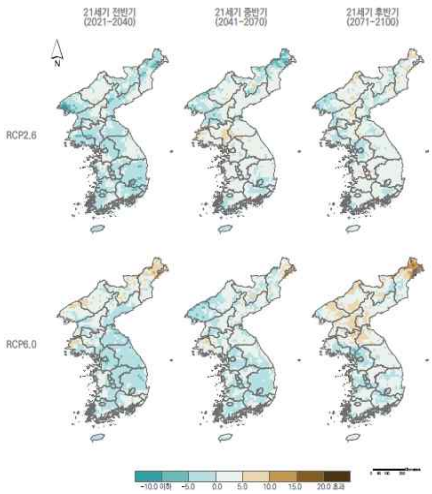
그림 1.4 개발 시스템의 주요 구성요소 및 형상

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 하고 있다. 특히, 신기후체제 대비 한반도 기후변화 전망보고서(2017, 기상청)에 따르면, RCP2.6 시나리오에 따른 한반도 연강수량의 증가율은 21세기 후반기에 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 1.5 한반도 기후변화 전망

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)

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 일

으키기 때문에 이에 따른 산사태, 토석류, 옹벽 붕괴 등 비탈면 재해 또한 증가 될 수 있으므로 이에 대한 대비가 필요할 것으로 판단된다.

2.2 국내 고성능 낙석방지울타리 현황

1) 국내 낙석방지울타리 현황

낙석·토석 대책시설이란 낙석 및 토석류 발생을 예방하고 피해를 저감시키기 위하여 설치하는 시설물로 낙석방지망, 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽, 피암터널, 토석류 대책시설로 분류된다(낙석·토석 대책시설 설계기준, 국토교통부(2016)). 이러한 낙석·토석 대책시설은 설계 및 시공, 경제성으로 인해 전체 위험비탈면 대책공법 중 70% 이상을 차지하고 있으며, 낙석방지울타리는 낙석방지시설의 20%를 차지하고 있다(한기장, 2016).

국내에서는 관련 기준인 건설공사 비탈면 설계기준 및 표준시방서(국토교통부, 2016), 도로안전시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2009)에서 방호성능 48~61kJ에 상응하는 낙석방지울타리와 1,500형 및 1,000형 낙석방지망에 대한 설계 방법을 명기하고 있다. 그러나 위와 같은 기준은 미국 200kJ, 일본 100kJ 이상의 방호성능을 요구하는 낙석방지울타리에 비하여 기준치가 낮은 상황으로 이에 대한 개선이 요구되고 있다(한국시설안전공단, 2013).

특히 국내에서 발생한 17개소의 낙석피해사례를 바탕으로 낙석에너지를 검토한 결과 26~1372kJ 범위에서 평균 307kJ로 분석되었으며, 이를 바탕으로 국내에 적합한 낙석방지울타리를 50~1500kJ의 9등급으로 분류하는 것을 제안하기도 하였다(김기동, 2015). 따라서 흡수 가능한 에너지에 비해 낙석에너지가 커서 다음과 같은 낙석방지울타리 파괴 사례가 빈번히 발생하고 있는 것이 현실이다.



(a) 2018.07.10 강원도 화천



(b) 2018.08.30 강원도 양구 군도6호선



(c) 2018.11.11 중부내륙고속도로



(d) 2019.02 부산

그림 1.6 낙석 및 낙석으로 인한 낙석방지울타리 파손 사례(1)



(e) 2013.07.15 중앙고속도로



(f) 2020.08.02 중부고속도로



(g) 2020.08.08 대전통영고속도로



(h) 2020.08.08 호남고속도로



(g) 2020.08.04. 강원도 정선군



(h) 2020.07.13. 전라북도 장수군

그림 1.6 낙석 및 낙석으로 인한 낙석방지울타리 파손 사례(2)

유럽의 경우 관련기준 최고사양인 4500kJ급 낙석방지울타리뿐만 아니라 10,000kJ급 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가를 통해 개발을 완료하였으며, 일본에서는 3,000kJ급 낙석방지울타리 실물시험을 유럽에서 수행한 사례도 보고되고 있다.

최근 시설물 유지관리에 대한 관심과 재해예방사업 수행을 위한 시설물 전수 조사 및 상세조사를 수행함에 따라 중대형 낙석이 발생할 수 있는 암반비탈면 및 자연비탈면이 다수 확인되고 있다. 그러나 국내에서는 48~61kJ급 이상의 낙석을 방호할 수 있는 낙석방지울타리에 대한 설계기준 및 기술에 대한 연구가 부족한 실정이며, 최대 100kJ급 낙석방지울타리 시험 및 검증, 제품개발 사례만이 보고되고 있다.

따라서 중대형 낙석을 방호할 수 있는 국내 기술의 대책공법 부족으로 인하여 고사양 낙석방지울타리에 관한 해외 기술이 적용되고 있으며, 이로 인하여 표준 사양이상의 낙석방지울타리는 고성능의 외산시장과 100kJ 미만의 저사양의 국산시장으로 이원화되어 있는 상황이다.



(a) 동량-삼탄, 지오브르그코리아 (1,500kJ급)



(b) 전라선, ㈜동아특수건설 (1,000kJ급)



(c) 서울시, 프로테크엔지니어링 (200kJ급)

그림 1.7 국내 적용된 고성능 포켓식 낙석방지울타리 사례 (국외기술)



(a) 천평, (주)성원안전 (90kJ급)



(b) 충남, (주)삼우공간건축사무소 (60kJ급)



(c) (주)창광이앤씨 (90kJ급)

그림 1.8 국내 기술 고성능 낙석방지울타리 사례

2) 낙석·토석 대책시설 유지관리시스템 및 예경보시스템 부족

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.



(a) 현장 전경 (b) 동해고속도로 비탈면 상시 계측시스템

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

그림 1.9 동해고속도로 비탈면 상시 계측시스템



(a) 삼척 붕괴위험지구 현장 전경 (b) 삼척 급경사지 상황관제 시스템

그림 1.10 행정안전부 및 국토교통부의 비탈면 모니터링 시스템 구축 사례

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 운영결과 제기되어 왔으며, 이러한 별도 전원시스템과 통신중계기 설치 등에 따른 과다한 시스템 구축비용으로 인하여 비탈면 모니터링 시스템의 활성화가 미진한 것으로 판단되고 있다.

3. 연구개발 목표 및 범위

3.1 연구개발 목표 및 범위

1) 연구개발 목표

구분	내용
최종 목표	고성능 낙석·토석 대책시설 국산화를 위한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 개발
연구개발 범위	• 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 기술 국산화 • 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 연구 • 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발

2) 연구개발 범위

구분	세부 과제명	세부 연구 목표	연구 개발 범위
1차 연도 (2019)	500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 기술 국산화	• 고성능 낙석방지울타리 요소자재 개발 • 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발	• 고강도 선재를 활용한 링형 네트 개발 • 지주 개발 • 지지부 개발 • 감쇄장치 개발 • 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발
	고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 연구	• 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 연구 • 500kJ급 낙석방지울타리 실물시험장 건설	• 해외 선진국 사례 연구를 통한 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 연구 • 수직 낙하형 500kJ급 낙석방지울타리 성능평가 방법 개발 • 수직 낙하형 500kJ급 실물 성능평가 시험장 설계 및 건설
	낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 키트 개발	• 통신 및 계측이 일체화된 낙석 방지 울타리의 지주 또는 와이어로프에 부착할 수 있는 진동 및 기울기 감지 센서 개발	• 센서 부분 개발 • 통신 부분 개발
2차 연도 (2020)	5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 개발	• 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 결과를 반영한 고성능 포켓식 낙석방지울타리 각부재 개선 연구 및 제품화 • 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 개발	• 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 결과를 반영한 고성능 포켓식 낙석방지울타리 각부재 개선 연구 • 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 제품화 • 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증 결과를 활용한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 제품화
	5,000kJ급 낙석방지울타리 및 부재성능평가	• 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 실물실험에 의한 성능평가 • 500kJ급 낙석방지울타리 실물실험 결과를 반영한 5,000kJ급 낙석방지울타리 시뮬레이션(수치해석) 검증	• 국내 비탈면설계기준, 비탈면표준시방서, 도로공사 재료 및 품질관리기준, 해외 ETAG 027 준용한 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 실물 성능평가 • 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리의 시뮬레이션(수치해석) 검증 • 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 각 부재요소 검증 • 시뮬레이션(수치해석) 분석을 통한 각요소 자재별 작용하중에 대한 실물검증

	낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발	• 실증시험 및 연구를 통해 관리 기준치 검증 • 시스템 활용 및 운용 방안 적용 • 장비 적합성 인증 획득	• 실증시험 및 연구를 통해 관리 기준치 검증 • 시스템 활용 및 운용 방안 적용 • 장비 적합성 인증 획득

본 연구는 고성능 낙석·토석 대책시설 국산화를 위한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 개발을 목표로 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 기술 국산화, 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 연구, 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발을 수행하였다.

특히, 국내 고성능 낙석방지울타리 관련 기준과 실물시험설비 부족으로 인하여 해외 고성능 낙석방지울타리 최소 사양에 준하는 방호성능 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가를 수행하였으며, 개발된 방호성능 5,000kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 검증은 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가와 시뮬레이션 검증을 통해 신뢰성을 확보한 시뮬레이션을 활용하여 검증하였다.

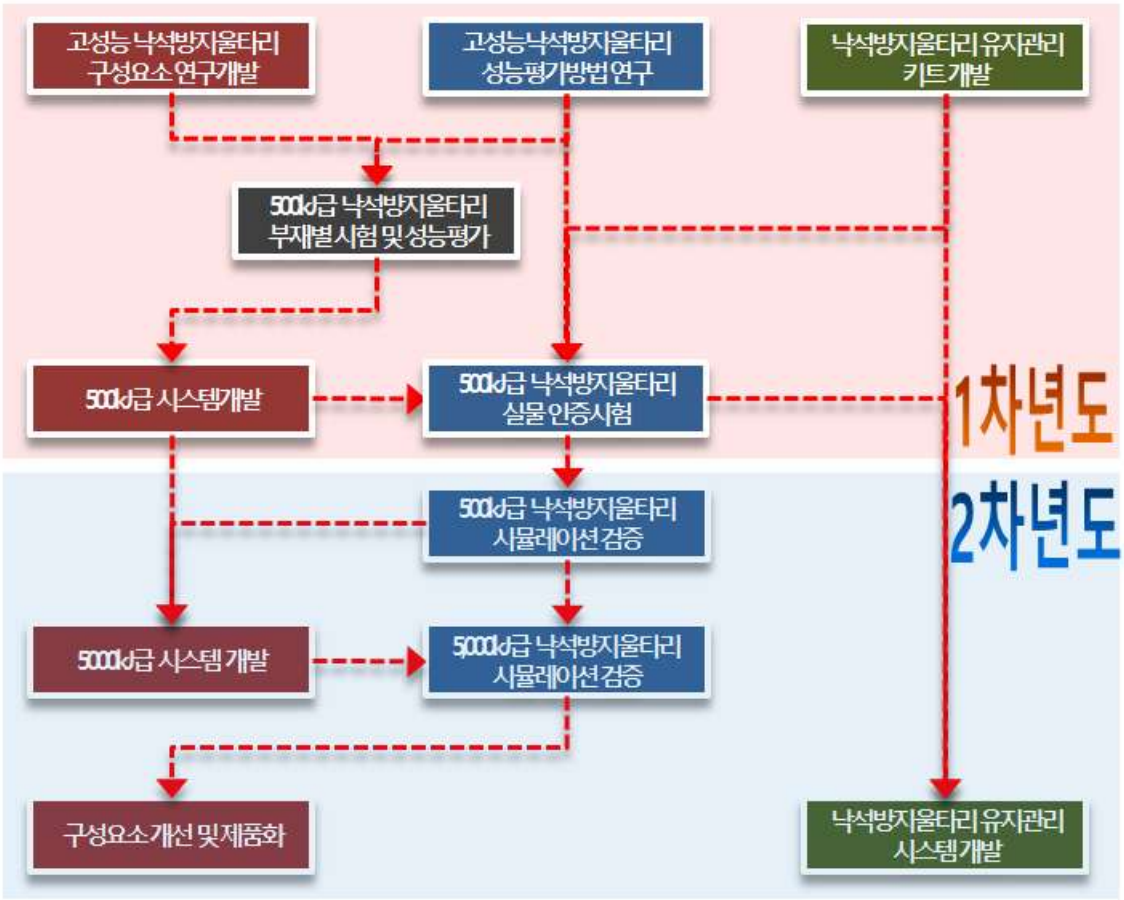


그림 1.11 연구개발 범위 및 연구개발 흐름도

제2장. 국내외 기술 개발 현황

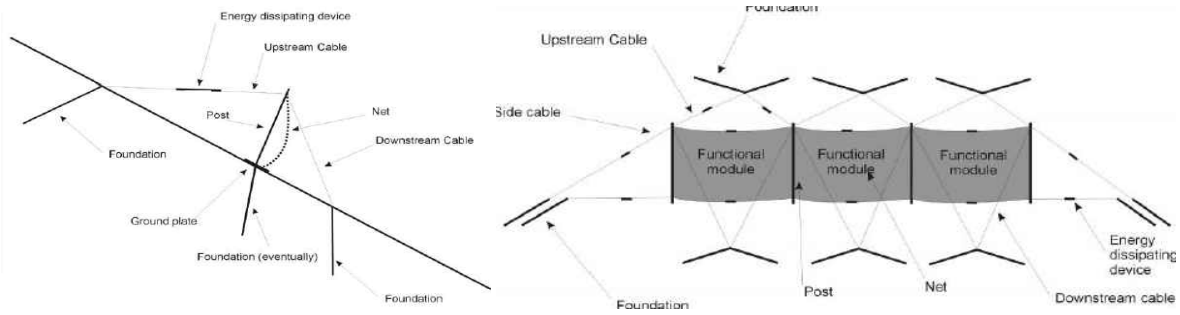
1. 낙석방지울타리에 관한 국내외 관련 기준 현황

1.1 국외 낙석방지울타리 관련 기준

1) 유럽

유럽의 경우 낙석방지 시설에 대한 통합기준의 필요성이 대두됨에 따라 유럽 여러나라의 성능평가 방법과 스위스의 설계지침을 고려하여 2008년 유럽통합지침 ETAG 027을 제정하였다. ETAG 027에서는 낙석방지 울타리의 성능등급을 100kJ~4,500kJ이상 9등급으로 분류하고 있으며, 성능등급 별로 Service Energy Level과 Maximum Energy Level에 대해 실물 시험을 통한 성능평가 시험과 구성요소에 대한 검증시험을 수행하도록 하고 있다.

한편, ETAG 027에서 고성능 낙석방지울타리 시스템은 네트(NET), 케이블(Cable), 지지부(Foundation), 지주(Post), 에너지 감쇄장치(Energy Dissipating Device) 등으로 구성된다고 정의하고 있다.



(a) SIDE VIEW (b) BACK VIEW

그림 2.1 고성능 낙석방지울타리 시스템의 구성요소(ETAG 027)

2) 미국

2003년 스위스 설계지침을 준용하여 낙석방지울타리 권장 성능시험 방법 NCHRP Report 20-07을 제안하였으며, 2015년 낙석방지울타리 시스템의 인증 및 관리지침 NCHRP24-35을 권고하고 있다. NCHRP24-35에서는 낙석방지 울타리의 성능등급을 100~5,000kJ까지 9등급으로 분류하고 있으며, 성능등급별 낙석징량과 등급별 낙석에너지의 타격위치를 정확하게 결정할 수 있는 방법을 이용하여 수행하도록 하고 있다.

3) 일본

2017.12월 17년만에 낙석대책편람(落石対策便覧)이 개정되었으며, 낙석대책시설의 요구성능, 실물 성능시험 조건을 명기하고 있다. 특히 2017.03 고에너지 흡수형 낙석방호공 등의 성능 검토방법에

관한 연구(高エネルギー吸収型落石防護工等の性能照査手法に関する研究, 共同研究報告書 / 土木研究所) 성과가 반영된 된 것으로 확인된다.

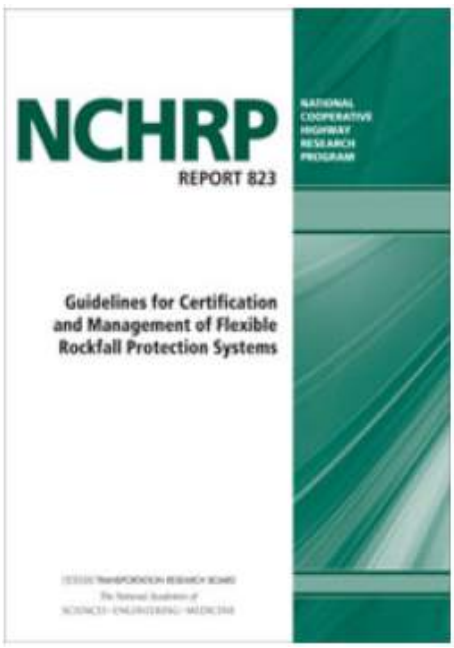
표 2.1 유럽과 미국, 국내의 낙석방지울타리 등급 비교

구분		등급								
유럽 ETAG 027[1)]	Energy Level	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	SEL (kJ)	–	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
	MEL (kJ)	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500
미국 NCHRP Report 20-07	Energy Level	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Test B (kJ)	50	125	250	375	500	750	1000	1500	2500
	Test C (kJ)	100	250	500	750	1000	1500	2000	3000	5000
국내 비탈면설계기준[2)]	Energy Level	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	48	61	–	–	–	–	–	–	–

주1) : 각 등급별 실물 실증시험을 통해 인증획득 필요
2) : 61kJ 이상의 방호성능이 필요한 경우 실증시험을 수행한 제품을 사용하도록 규정



ETAG 027(EOTA, 2013)



NCHRP 24-35 (U.S.A, 2016)

그림 2.2 고성능 낙석방지울타리 관련 기준

1.2 국내 낙석방지울타리 관련 기준

국내 낙석방지시설 관리지침에는 48~61kJ의 낙석에너지를 방호할 수 있는 낙석방지 울타리의 주요 구성요소가 제시되어 있다. 그러나 제시된 규격이 상응하는 흡수가능에너지와 어떤 상관관계가

있는지 근거가 불명확한 실정이며, 와이어로프 간격을 유지시키는 간격유지대와 같은 다른 주요한 구성 요소에 대한 규격이 제시되어 있지 않다.

특히 일반적인 낙석방지울타리의 방호성능이 미국 200kJ, 일본 100kJ인데 비하여 기준치가 낮게 책정되어 있으며, 비탈면의 형상, 낙석 규모 등에 상관없이 표준도에 의한 단일모델이 시공되고 있어 실제 낙석방호능력에 대한 의문이 제기되고 있으며, 구성요소 전체의 조합에 의한 낙석에너지 흡수능력 평가방법은 아직 표준화되어 있지 못한 실정이다.

표 2.1 국내 낙석방지울타리 관련 기준(국토교통부, 2016)

건설공사 비탈면 설계기준 2016

제21장 낙석방지울타리

(1) 낙석방지울타리의 흡수가능에너지는 낙석방지울타리를 구성하는 각각의 부재의 최소 흡수에너지의 합으로 계산할 수 있다.

(4) **정확한 흡수가능에너지를 평가하기 위해서 실물 성능평가시험을 실시하고 그 결과를 설계에 이용하여야 한다**. 단, 공인시험기관의 시험 등을 통해 사전에 검증된 형식의 경우에는 성능평가시험을 생략할 수 있다.

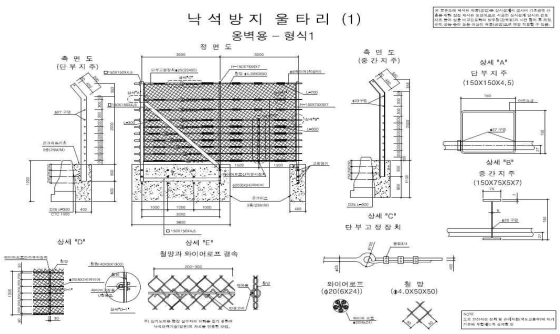
건설공사 비탈면 표준시방서 2016

제21장 낙석방지울타리

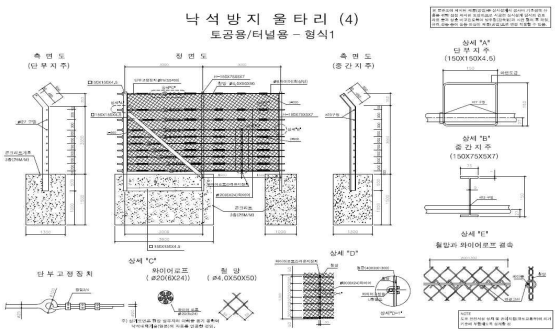
1.3 시공 전 검토사항

(4) 흡수가능 에너지의 확인

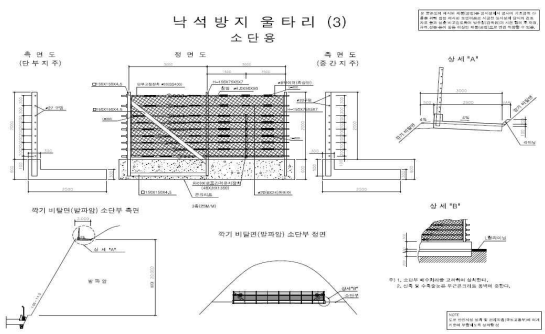
낙석이 낙석방지울타리를 뛰어넘지 않도록 적정한 높이와 이격거리를 결정한 후 울타리의 허용범위내에서 흡수가능에너지를 결정하여 낙석에너지와 비교하여 설계하며 기초의 안정성에 대해 검토하여야 한다. **이 시방은 흡수가능 에너지 48kJ, 61kJ의 표준적인 낙석방지울타리의 설치에 대하여 기술**하였으므로 시공전에 현장 비탈면의 낙석규모(낙석의중량, 형태, 낙하높이, 비탈면의경사, 암질, 비탈면의 상태등)에 따른 낙석에너지를 검토하여 그 낙석에너지를 안전하게 흡수할 수 있는 구조의낙석방지울타리를 설치하여야 하며, **필요한 흡수 가능에너지가 커서 표준형의 낙석방지울타리로서는 낙석을 방호 할 수 없을 경우에는 에너지를 추가로 흡수 할 수 있는 구조를 가지거나 새로운 형태의 고에너지 흡수형 낙석방지울타리 형식 또는 낙석방지옹벽을 사용 할 수 있으며, 새로운 제원이나 형태를 가진 낙석방지울타리를 설계하거나 설치하고자 할 때에는 새로운 형식의 낙석방지울타리가 어느정도까지의 에너지를 흡수 가능한지 검증 후 사용하여야 한다.**



(a) 낙석방지울타리 옹벽용-형식1



(b) 낙석방지울타리 토공용/터널용-형식1



(c) 낙석방지울타리 소단용

(d) 보강토옹벽 균열 발생 사례

그림 2.3 국내 낙석방지울타리 표준도의 예

2. 고성능 낙석방지 울타리에 관한 국내외 기술 현황

2.1 고성능 낙석방지 울타리 해외 기술 현황

1) 국외 고성능 낙석방지울타리 관련 기술 현황

(1) 국외 고성능 낙석방지울타리 관련 기술 현황

유럽의 경우 관련기준 최고사양인 4500kJ급 낙석방지울타리뿐만 아니라 실물 성능평가를 통해 10,000kJ급 낙석방지울타리를 개발 완료하였으며, 일본의 경우100kJ 이상의 방호성능을 갖는 낙석방지울타리 기술을 보유한 업체는 17개사 이상으로 추정된다(https://isabou.net 참조). 특히, 일본 프로텍엔지니어링(プロテックエンジニアリング)에서는 5,000kJ의 방호성능을 갖는 고성능 낙석방지울타리의 실물 성능시험을 이탈리아에서 수행하기도 하였다.

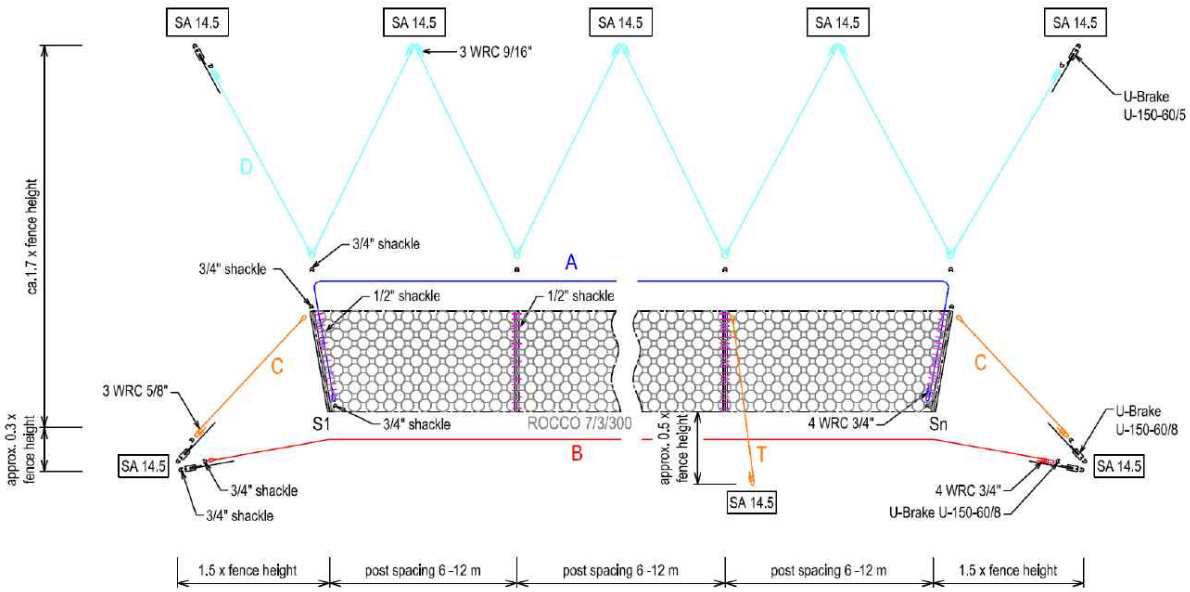


그림 2.4 GEOBRUGG 사의 500kJ급 고성능 낙석방지울타리

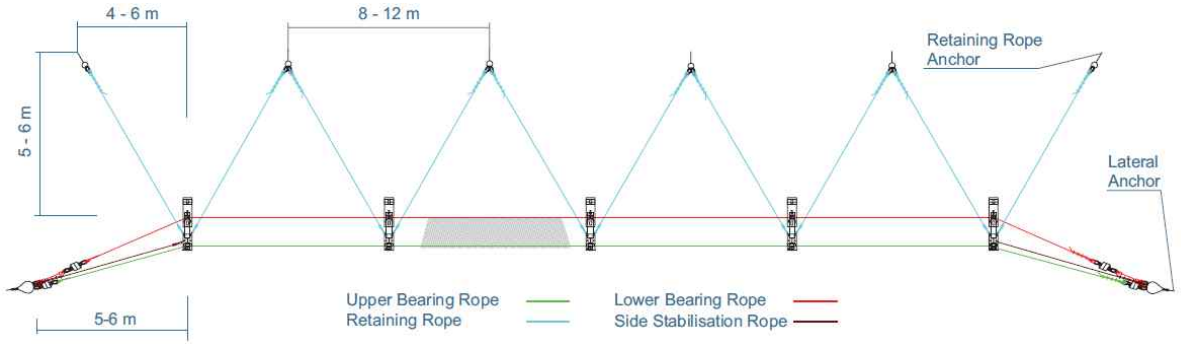


그림 2.5 TRUMER 사의 500kJ급 고성능 낙석방지울타리

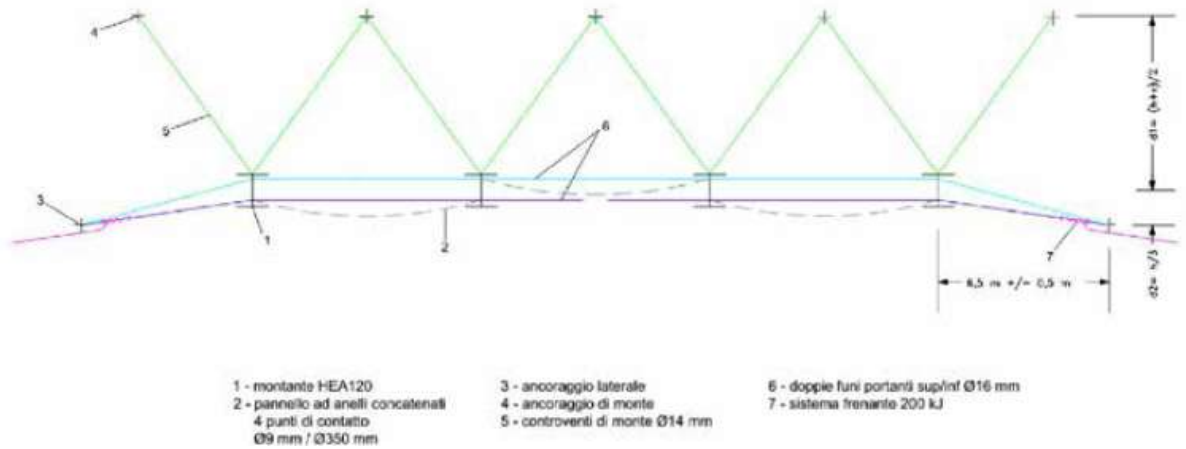


그림 2.6 INCOFILL 사의 500kJ급 고성능 낙석방지울타리

(2) 고성능 낙석방지울타리를 위한 링형 포획망 관련 기술

고성능 낙석방지울타리의 주요 구성요소 중 하나인 NET의 경우 다음과 같이 강선, 와이어로프 등을 이용하여 제작하고 있으나 일반적으로 직경 3mm의 1,770MPa급 강선을 활용하여 제작된 링형 포획망을 활용하고 있다. 그 중 국내에 적용된 링형 포획망은 1770MPa급 강선으로 제작된 6/3/300, 12/3/300, 16/3/300 등의 제원으로 확인되고 있다.



(a) GEOBRUGG



(b) MACCAFERRI



(c) TRUMER



(d) PFEIFER ISOFER

그림 2.7 국내외에 적용된 고성능 포획망 사례

(3) 고성능 낙석방지울타리를 위한 감쇄장치 관련 기술

주요 구성요소 중 하나인 에너지 감쇄장치는 일반적으로 케이블과 지지부 사이에 설치되며, 낙석방지울타리 시스템 성능을 결정하는데 큰 영향을 미친다.

이러한 에너지 감쇄장치는 Fig. 4와 같이 다양한 소재를 활용한 다양한 형태의 에너지 감쇄장치가 개발되어 활용되고 있다. 에너지 감쇄장치는 작용메커니즘에 따라 크게 하중 작용시 감쇄장치 자체의 변형과 변형량에 의해 에너지를 저감시키는 변형형(Figs. 4(a)~(b), (i))과 감쇄장치와 와이어로프 사이의 마찰로 억제시키는 마찰형(Figs. 4(c)~(e)), 변형형과 마찰형을 조합한 복합형(Figs. 4(f)~(h), (j)) 등으로 분류된다.



(a) UMM (변형형)



(b) MACCAFERRI



(c) ISO200



(d) ISOFER-INCOFIL



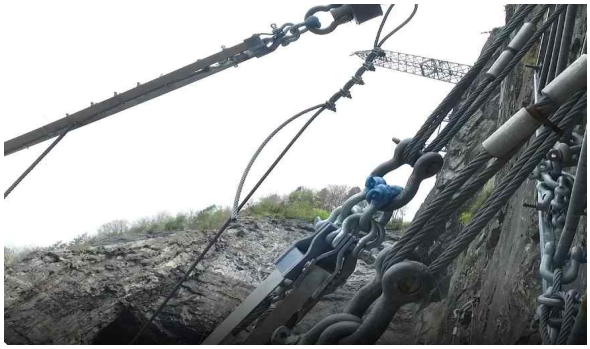
(e) IGOR-SAFE



(f) ARTIGIANA COST



(g) GEOBRUGG type 1



(h) GEOBRUGG type 2



(i) TRUMER type 2



(j) TRUMER type 2

그림 2.8 국외에 적용된 감쇄장치 사례

(4) 해외 관련 특허 기술

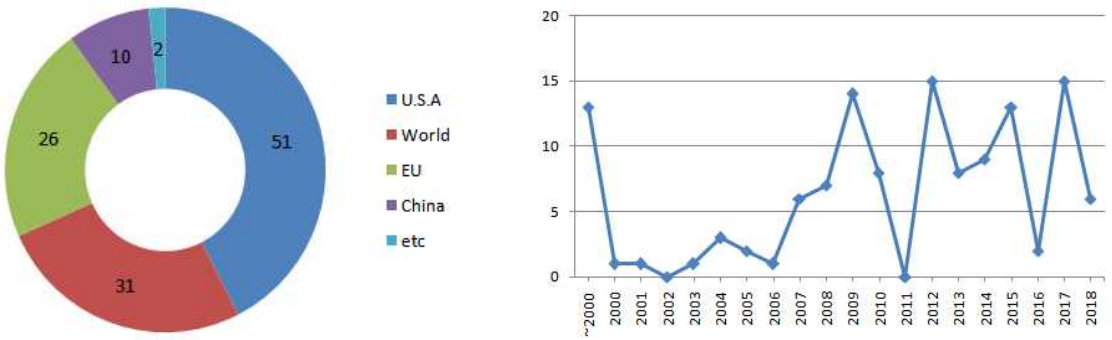
특허청 특허정보넷 www.kipris.or.kr의 해외특허 검색을 활용하여 낙석방지울타리에 관한 특허 분석을 수행한 결과 총 120건의 특허가 검색되었으며, 연간 특허 출원 9건의 특허 출원이 지속적으로 이루어지고 있다.

특허 현황 분석 결과 특허소유 상위 11개 업체에서 관련 특허의 48.3%를 소유(평균 5.3개)하고 있으며, 고성능 낙석방지울타리 기술을 선도하고 있는 Geobrugg의 경우 관련 특허의 20.0%를 차지(24개, 중국법인 포함)하고 있다. 이는 경제성 및 효율성 확보를 위해 지속적인 제품 개선 및 개발이 이루어지고 있음을 나타낸다. 특히, 해외 관련 특허는 국내와 같은 정착구나 완충구가 아니라 낙석방지울타리 시스템이나 감쇄장치에 대한 내용이 주를 이루고 있기 때문에 기술적 가치도 국내 보유 기술보다 상위에 있다.

표 2.2 해외 고성능 낙석방지울타리 관련 주요 특허 현황

지식재산권명	출원/등록인	출원/등록국	출원/등록번호	출원/등록일
Brake for rockfall protecting net	Asia Professional Limited	U.S.A	15055530	2016.03.29
Flexible barrier net	GEOBRUGG (CHENGDU) ENGINEERING CO., LTD.	China	201410307958	2014.06.30
Energy dissipation device for protecting structures or the like	Geoprotection S.r.l.	Italy	13001844.3	2013.04.10

DEVICE FOR THE IMPACT DAMPING OF CABLE CONSTRUCTIONS, IN PARTICULAR FOR BARRIER STRUCTURES FOR FALLING ROCK, MUD FLOWS AND SNOW	GEOBRUGG AG	Czech	PCT/CH2009/000151	2009.05.08
Wire ring net for rocky wall barriers and method for making it	Italgeo S.R.L.	Italy	0150482	2008.03.19
Wire netting for protection against rock falls	FATZER AG	Czech	01205603	2006.01.11
Method for producing a ring for a safety net, especially for rockfall or avalanche baffle works, and also a safety net	Stephan Wartmann	U.S.A	11268507	2005.11.08
Impact absorbing net and a method for absorbing impact	Yugen Kaisha Yoshiba Kozo Dezain	U.S.A	06027785	2000.02.22
Wire rope net for protection fences against falling rocks, avalanches and felling	Kaiser; Hermann	U.S.A	05996972	1999.12.07
Energy dissipation loop and dynamic barrier with such energy dissipation loops for arresting rockfall	Thomel, Laurent	France	98480032.6	1998.05.07



(a) 해외 국가별 특허 출원 현황 (b) 해외 연도별 특허 출원 현황

그림 2.9 해외 낙석방지울타리 관련 특허 출원 현황

2) 국외 급경사지 모니터링 시스템 기술 현황

표 2.3 국외 급경사지 모니터링 시스템 기술

기술명	등록번호	특허권자	비고
斜面の監視システム	21041040(출원)	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

해외에서도 급경사지에 대한 유지관리 시스템으로 계측을 통한 모니터링을 수행하고 있으며, 다음 표와 같이 계측을 통한 모니터링 관련 기술 특허들이 보고되고 있다. 그러나 관련 기술들은 계측기

기나 GPS기반 계측을 활용한 모니터링 시스템이나 비디오영상 분석을 통한 모니터링 시스템이 대부분을 차지하고 있다.

2.2 고성능 낙석방지 울타리 국내 기술 현황

1) 고성능 낙석방지 울타리 국내 기술 현황

(1) 기존 낙석방지울타리의 한계

현장조사를 통해 낙석규모와 발생 유형를 판단하고 예상되는 낙석에너지를 설계에 반영하여 적절한 낙석방지울타리를 설계하여야 하지만 낙석방지울타리를 비탈면의 부속시설로 취급하여 설계를 무시하고 일률적인 일반도에 의존하여 시공하고 있는 것이 현실이다. 또한 예상되는 낙석의 규모와 패턴을 평가하는데 관련 규정 및 기준이 미흡하여 효과적인 설계 반영이 어려운 실정이다.

따라서 흡수 가능한 에너지에 비해 낙석에너지 큰 낙석이 발생할 경우 다음과 같은 낙석방지울타리 파괴 사례가 보고되고 있다.



(a) PVC코팅망 및 와이어로프의 파손 (b) PVC코팅망 및 와이어로프의 파손

(c) 와이어로프의 파단 (d) 기초의 전도

그림 2.10 낙석방지울타리 파손 사례(한국시설안전공단, 2013)

(2) 낙석방지울타리 관련 시장의 이원화

최근 시설물유지관리에 대한 관심 증가와 필요성에 따라 시설물 유지관리를 위한 전수 조사 및 상세조사 등을 통해 중대형 낙석이 발생할 수 있는 암반비탈면 및 자연비탈면이 확인되고 있으나 국내 기술의 경우 실물실증 시험을 통해 검증된 낙석방지울타리는 방호성능 100kJ 이하로서 관련 제품 개

발 및 연구가 미흡한 상황이다. 따라서 고성능 낙석방지울타리가 필요한 경우 해외기술이 적용되고 있기 때문에 표준 사양이상의 낙석방지울타리는 고성능의 외산시장과 100kJ 미만의 저사양의 국산시장으로 이원화되어 있다.



(a) 동량-삼탄, 지오브르그코리아 (1,500kJ급 사례)



(b) 전라선, ㈜동아특수건설 (1,000kJ급 사례)



(c) 서울시, 프로테크엔지니어링 (200kJ급 사례)

그림 2.11 국내 적용된 고성능 포켓식 낙석방지울타리 사례 (국외기술)



(a) 천평, (주)성원안전 (90kJ급)



(b) 충남, (주)삼우공간건축사무소 (60kJ급)



(c) (주)창광이앤씨 (90kJ급)

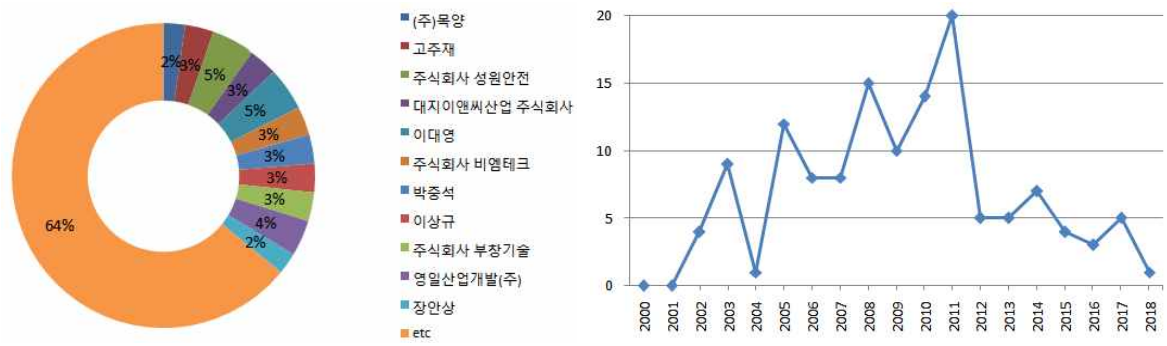
그림 2.12 국내 기술 고성능 낙석방지울타리 적용 사례

(3) 국내 관련 특허 기술

국내 낙석방지울타리(낙석방지책 포함) 관련 특허 131건 중 고성능 낙석방지울타리와 유사한 특허 현황은 다음과 같다.

공개된 낙석방지울타리 관련 특허의 대부분이 와이어로프를 지주에 연결하는 고정구나 와이어로프를 단부 지주에 연결하는 완충구에 대한 것으로 기존 낙석방지울타리 성능을 일부 향상시키는데 그 목적이 있으며, 형상의 변형을 통해 특허 등록된 제품이 대부분이다. 그러나 고정구의 경우 낙석방지울타리의 성능향상을 비약적으로 향상시킬 수 없으며, 완충구도 고사양의 낙석방지울타리를 개발하는데 한계가 있다.

특허 출원인 분석에 의하면 11개 업체에서 평균 3.6개의 특허를 보유하여 전체 국내 특허의 36%를 차지하고 있으며, 그 외의 56개 업체에서 평균 1.1개의 특허를 보유하고 있는 것으로 분석된다. 연도별로는 2002년부터 2011년까지 큰 폭으로 특허 출원건수가 상승하였으나 2018년 현재까지 큰 폭으로 감소하였다. 이와 같은 특허 출원 현황 분석을 통해 현재 국내 낙석방지울타리 관련 기술 개발 및 연구가 침체되고 있는 것으로 확인되며, 낙석방지울타리 관련 업체간 경쟁으로 인해 일부 업체를 제외한 중소기업의 기술은 사장되고 있는 것으로 추정된다.



국내 출원자별 특허 출원 현황 국내 연도별 특허 출원 현황

그림 2.13 국내 낙석방지울타리 관련 특허 출원 현황

표 2.4 국내 낙석방지울타리 관련 특허 현황

지식재산권명	출원/등록인	출원/등록국	출원/등록번호	출원/등록일
낙석 방지 장치	한국도로공사	대한민국	10-1704771	2015.12.10
사면 낙석방지책	주식회사 성원안전	대한민국	10-1572505	2015.11.23
에너지 소산 시스템 및 이를 이용한 낙석방지 울타리	주식회사 디에스글로벌이엔씨	대한민국	10-1475733	2014.12.17
충격 흡수 울타리	프로텍 엔지니어링	대한민국	10-1470685	2014.12.02
낙석방지울타리 성능평가 시험기	상지대학교 산학협력단	대한민국	10-1335580	2013.11.26
충격에너지의 분배 및 흡수가 가능한 낙석방지 울타리	주식회사 도영엔지니어링	대한민국	10-1207714	2012.11.27
충격흡수형 낙석방지울타리 및 이를 이용한 시공방법	고주재	대한민국	10-1198710	2012.11.01
충격흡수가 용이한 낙석방지책	(주) 에스에스	대한민국	10-1094247	2011.12.08

경강선재 케이블과 스프링을 이용한 낙석방지장치	주식회사 포스코	대한민국	10-0973841	2010.07.28
낙석방지용 울타리 시공방법	한국시설안전공단, 황영철	대한민국	10-0763497	2007.09.27

(4) 국내 신기술 인증 관련

국내에서는 건설 및 방재에 관한 신기술 개발과 적용 및 활성화를 위하여 신기술 인증 제도를 마련하고 있으며, 위 제도를 통해 검증된 기술의 설계 및 시공에 큰 혜택을 주고 있다. 이와 관련된 신기술 인증 제도는 국토교통부 건설신기술과 안전행정부 방재신기술로서 개발 기술과 유사한 낙석방지울타리 및 토석류와 관련된 신기술 인증 현황은 다음과 같다.

현재까지 유효한 낙석방지울타리 및 토석류 관련 신기술은 각각 1개로 확인되고 있다. '압축 코일스프링과 링형 충격완충장치를 이용한 토석류 완충형 방호시설과 시공 방법' 기술의 경우 200kJ의 실물 성능시험을 수행하였으며, '개폐형 휀스 모듈과 지주 간 연결장치를 이용한 낙석방지책과 시공법' 기술의 경우 60.5kJ의 실물 성능시험을 수행하였다. 특히 '압축 코일스프링과 링형 충격완충장치를 이용한 토석류 완충형 방호시설과 시공 방법' 기술의 경우 낙석방지울타리로 개발된 기술을 토석류 대책시설로 적용한 공법으로서 국내에서 수행한 최대 낙석시험에 해당된다.

표 2.5 국내 낙석방지울타리 신기술 인증 관련

신기술명	지정번호	개발사	상태	비고
압축 코일스프링과 링형 충격완충장치를 이용한 토석류 완충형 방호시설과 시공 방법	857	(주) 창광 이앤씨 (주)동성엔지니어링	유효	건설신기술
개폐형 휀스 모듈과 지주 간 연결장치를 이용한 낙석방지책과 시공법	749	동양건설주식회사 (주)삼보기술단 (주)삼우공간건축사사무소	유효	건설신기술
기어잠금장치를 갖는 중앙결속구를 이용한 분리형 낙석방지울타리 제조 및 설치 공법	487	(주)평원엔지니어링 (주)성원안전	만료	건설신기술
압축코일스프링을 이용한 낙석방지울타리 제작 설치 기술	361	(주) 창광 이앤씨 (주)동호	만료	건설신기술
낙석방지책용 강재지주정착구의 제작 및 설치공법	207	(주)덕원	만료	건설신기술
개폐식 및 착탈식 낙석방지책의 제조 및 설치공법	184	장명수	만료	건설신기술
압축코일 스프링을 이용한 낙석방지 시설 제작 및 설치기술	지정15-1호	(주)창광이앤씨 (주)동호	만료	방재신기술

2) 국내 급경사지 모니터링 시스템 기술 현황

무선센서 네트워크에 의한 산사태 감지 모니터링 시스템(10-1214300)은 근거리 무선통신 모듈인 Zigbee를 활용한 모니터링 시스템으로서 가격이 저렴하다는 장점이 있다.

웹 기반 EOC의 급경사지 모니터링 방법(10-1551413)은 3차원 웹 지도, 실시간 위성영상, 비탈면

센서에 의해 감지된 정보를 분석하여 이상 징후를 판단하는 모니터링 시스템으로서 대용량의 통신망과 전원 공급장치가 필요하다.

무선네트워크 기반 복합사면 감시 장치 및 방법(10-1710666)은 저속통신, 고속통신 두 종류의 무선네트워크 구축을 통한 무선네트워크 모니터링 시스템으로 셀룰러 방식의 이동통신망을 이용함으로 유지관리비용과 전력소모가 크다.

보고된 급경사지 모니터링 시스템에 대한 기술은 대부분 계측정보를 구축되어 있는 통신망을 통해 모니터링 시스템을 구축하는 것에 대한 기술이다. 활용하는 통신망은 대부분 샐룰러 기반 통신망으로서 영상정보 등 대용량의 송수신이 가능하여 활용도가 높지만, 대량의 전력 소모로 인해 별도의 전원 공급장치를 설치해야 하므로 현장적용성과 경제적인 문제점이 제기되어 왔다.

표 2.6 국내 급경사지 모니터링 시스템 기술

기술명	등록번호	특허권자	비고
무선센서 네트워크에 의한 산사태 감지 모니터링 시스템	10-1214300	K사	
웹 기반 EOC의 급경사지 모니터링 방법	10-1551413	K대학교	
앵커를 이용한 사면의 안정성평가방법	10-1668944	D대학교	
무선센서 네트워크에 의한 산사태 감지 모니터링 시스템	10-1214300	K사	

3) 국내 관련 연구 현황

국내에서도 낙석방지울타리 현황 및 문제점을 인식하고 다양한 연구를 수행한바 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

‘비탈면보호시설의 효율적 설계 및 적용’ 연구에서는 현행 낙석방지울타리에 대한 성능검증을 위하여 사용하중시험(17kJ), 극한하중시험(50kJ)을 수행하였다.

‘절토구간 도로 안전성 증진을 위한 낙석방지시설 설계지침 개선방안’ 연구에서는 현행 낙석방지울타리에 대한 성능검증을 위하여 사용하중시험(17kJ), 극한하중시험(50kJ)을 수행하였다.

‘낙석방지울타리 방재성능 개선을 위한 보강지주와 에너지 흡수용 퓨즈 개발’에서는 낙석방지울타리를 구성하는 지주의 신형상에 대한 실물시험을 통해 휨성능 능력을 평가하고 방재성능이 보다 우수한 합성기둥 부재 지주를 재시하였다.

‘고에너지흡수형 낙석방지울타리 개발 연구’에서는 흡수가능 충격에너지 100~200kJ에 해당될 것으로 기대되는 고에너지흡수형 낙석방지울타리를 개발하였으며, 100kJ 실물시험을 수행하였다.

‘낙석방지울타리 낙석지지능력 평가방안 수립 및 성능개선 기술개발’ 연구에서는 기존 낙석방지울타리에 대하여 50kJ의 낙석발생시에 대한 성능검증을 수행하였으며, 팽창메탈을 이용한 낙석방지울타리 신규 개발하였다.

그러나 위와 같이 해외선진국 기술과 같은 고성능의 낙석방지울타리 개발에 관한 연구는 미흡하여 100~200kJ급 낙석방지울타리 연구개발에 머물러 있는 실정이며, 국내에서 수행된 실물 성능평가는 100kJ에 불과하다.

표 2.7 낙석방지울타리 관련 연구 현황

보고서 제목	주관연구기관	발행년도
낙석방지울타리 설계 기법 수립 및 검증 실험 용역	상지대학교	진행중
비탈면보호시설의 효율적 설계 및 적용	한국시설안전공단	2013
절토구간 도로 안전성 증진을 위한 낙석방지시설 설계지침 개선방안	공주대학교	2012
낙석방지울타리 방재성능 개선을 위한 보강지주와 에너지 흡수용 퓨즈 개발	관동대학교	2010
낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발	강원대학교	2008
고장력 선재를 이용한 고성능 낙석방지 시스템 개발	상지대학교	2007
고에너지흡수형 낙석방지울타리 개발 연구	명지대학교	2006
낙석방지울타리 낙석지지능력 평가방안 수립 및 성능개선 기술개발	한국시설안전공단	2005
수직낙석시험을 통한 낙석방지울타리 성능평가	상지대학교	2005
Expanded Metal을 이용한 낙석방지울타리 개발	상지대학교	2005

3. 기술개발 성숙도

본 연구개발 기술은 고성능 낙석방지울타리 기술과 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 기술시범 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

최종성과물	기술성숙도(TRL)		설정근거
	연구 시작시	연구 종료시	
5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 기술 국산화 및 유지관리 시스템	1~4	8 ~9	-(연구시작시) 해외 선진국에는 관련 지침이나 성능기준이 명확하게 제시되어 있으나 국내에서는 100kJ이상의 낙석시험 및 고성능 낙석방지울타리 관련 시험이 시도되지 않았음. 따라서 국내 기준으로 TRL 1~4에 해당됨. -(연구종료시) 본 연구를 통해 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물실험을 통한 성능평가를 수행하고 이를 바탕으로 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 기술을 개발하였으며, 사업화를 추진하였음.

(1) 연구 착수시 기술개발 성숙도 [TRL 1~4단계]

본 연구에서 개발하고자 하는 고성능 낙석방지울타리는 해외에서 활발하게 적용하고 있는 포켓식 낙석방지울타리 개발을 목표로 하고 있으나 공개된 관련 기술이 매우 한정적이며, 국내에서도 관련 연구가 매우 미흡한 상황이다. 본 연구는 해외 관련 기술과의 차별성을 확보하기 위하여 일반적으로 링형 포획망 제작에 활용하는 1,770MPa급 강선보다 고강도의 선재를 활용하여 링형 포획망을 개발하는 것을 계획하였으며, 국내에서는 100kJ이상의 낙석시험 및 고성능 낙석방지울타리 관련 시험이 시도되지 않았기 때문에 연구 착수시기 기술성숙도는 TRL 1~4에 해당되었다.

(2) 연구 종료 후 기술개발 성숙도 [TRL 8~9단계]

본 연구를 통해 개발된 고성능 낙석방지울타리는 각 주요요소에 대한 공인인증 시험과 고성능 낙석방지울타리 시스템에 대한 실물성능시험과 시뮬레이션을 통해 검증되었으며, 시흥시 신천지구 급경사지 관리대상지를 대상으로 시험시공을 통해 현장적용성을 검토하였다. 따라서 연구 종료시 기술성숙도는 TRL 8~9에 해당되는 것으로 판단된다.

제3장. 연구수행내용 및 성과

1. 연구개발 추진 전략 및 방법

1.1 추진전략·방법

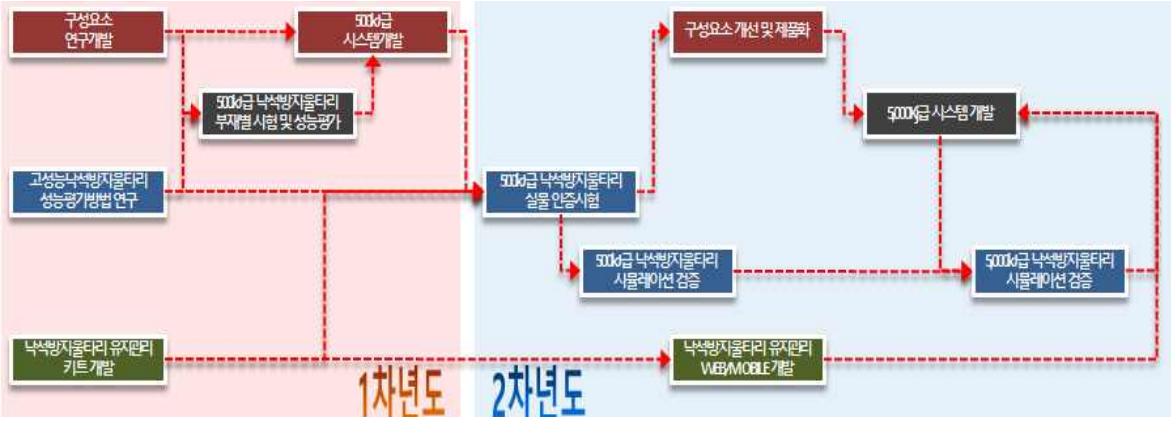


그림 3.1.1-1 연구개발 흐름도

1) 주관기관 ((주)대한지오이엔씨)

주관기관인 (주)대한지오이엔씨는 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 기술 국산화 연구개발을 수행하며, 공동기관에서 연구개발된 낙석방지울타리 유지관리 시스템을 연계하여 효과적인 고성능 낙석방지울타리의 유지관리 및 경보시스템을 구축하였다.

고성능 낙석방지울타리 기술개발을 위해 주요 구성요소인 NET, 감쇄장치, 지지부에 대한 개발 연구를 수행하여 2,040MPa급 2.8mm 강선을 활용한 링형포획망과 50kJ/m급 에너지 감쇄장치, 선단지압형 지지지부를 개발하고 이를 반영하여 고성능 낙석방지울타리 시스템을 개발하였다.

개발된 링형포획망, 감쇄장치, 지지부는 공인시험기관을 통해 그 성능을 검증하였으며, 고성능 낙석방지울타리 시스템에 대한 성능평가는 공동연구기관인 상지대학교 산학협력단을 통해 수행하였다. 최종 개발된 고성능 낙석방지울타리 시스템 중 500kJ급 시스템은 국토교통과학기술진흥원과 시흥시 협조을 통해 마련된 테스트베드를 대상으로 시범적용하였으며, 이를 바탕으로 적용성검토를 수행하였다.

2) 공동연구기관1 (상지대학교 산학협력단)

공동연구기관인 상지대학교 산학협력단은 고성능 낙석방지울타리 성능 평가방법 연구를 수행하였으며, 500kJ급 낙석방지울타리의 실물성능평가가 가능하도록 실물시험장을 확장하였다. 이를 바탕으로 개발된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가와 시뮬레이션을 수행하고 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰성을 검증하였으며, 최종적으로 5,000kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 검증을 수행하였다.

3) 공동연구기관 ((주)지오코리아이엔지)

LPWA기술 LoRa기반의 유지관리기술 개발을 수행하며 변위계 및 경사계를 활용한 고성능 낙석·토석 대책시설 유지관리시스템을 개발하였다. 특히 개발 시스템은 내장된 베터리와 통신키트를 활용함으로서 별도의 전력공급장치나 통신중계기가 설치되지 않으므로 시스템 구축비용을 절감할 수 있으며, 시공성이 높은 것이 특징이다.

최종 개발된 유지관리시스템은 국토교통과학기술진흥원과 시흥시 협조을 통해 마련된 테스트베드를 대상으로 시범적용하였으며, 이를 바탕으로 적용성검토를 수행하였다.

1.2 단계별 개발내용

1) 주관기관 ((주)대한지오이엔씨)

1차년도 2019.04.01 ~ 2019.12.31	기술동향 및 공법 자료 조사	선행기술 조사
	고성능 낙석방지 울타리의 각 부재 연구 개발	각 부재 요소 연구 개발
		특허 출원
	500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발	500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발
2차년도 2020.01.01 ~ 2020.12.31	고성능 낙석방지울타리 각부재 개선 연구 및 제품화	500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 결과 분석
		고성능 낙석방지울타리 각부재 개선 연구 및 제품화
		시제품 도면 개발
	5000kJ급 낙석방지울타리 상용화	시제품 도면 개발
		사업화 추진

2) 공동연구기관1 (상지대학교 산학협력단)

1차년도 2019.04.01 ~ 2019.12.31	고성능 낙석방지 울타리 성능평가 방법 연구	선행기술 조사
		성능평가방법 제안
	500kJ급 낙석방지울타리 성능평가 시험장 건설	시험장 건설
2차년도 2020.01.01 ~ 2020.12.31	500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가	시작품 제작
		실물실험에 의한 성능평가
	5000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션(수치해석) 검증	500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가
		5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리시뮬레이션(수치해석) 검증

3) 공동연구기관 ((주)지오코리아이엔지)

1차년도 2019.04.01 ~ 2019.12.31	낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 키트 개발	선행기술 조사
		국내시장 및 수요처 조사
		해외시장 조사
		요구성능 검토 및 설계
		초기 모델 설계
		시제품 제작 및 테스트
2차년도 2020.01.01 ~ 2020.12.31	낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발	관리 기준치 설정
		검증 시험
		시제품 성능 보완/개선
		상용화 제품 개발
		특허 출원 및 관련인증 획득

1.3 연구개발 추진 체계

연구개발과제	
과제명	고성능 낙석·토석 대책시설 국산화를 위한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 개발

기 관 별 참 여 현 황

구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	9	15
대 학	1	6	
국공립(연)	-		
출 연 (연)	-		
기 타	-		

주 관 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관
㈜대한지오이엔씨	상지대학교 산학협력단	㈜지오코리아이앤지
참 여 연 구 원	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**
주관연구책임자 최민형 외 4명	공동연구책임자 황영철 외 5명	공동연구책임자 이강중 외 3명
담당연구개발내용	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**
• 링형 네트 개발, 감쇄장치 개발, 연결부재 검토, 지주 개발, 지지부 개발 • 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발 • 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 결과를 반영한 고성능 낙석방지울타리 각부재 개선 연구 및 제품화 • 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발	• 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 연구 • 500kJ급 낙석방지울타리 성능시험장 건설 • 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 실물실험에 의한 성능평가 • 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 실물실험 결과를 반영한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증	• 진동 및 틸트 센서 개발 • 각 부재별 측정 및 적용 방법 검토 • 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 키트 개발 • 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발 • 검증 및 관련인증 획득

1.4 추진일정

1차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												책임자 (소속기관)	연구성과
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	계획수립 및 자료조사													최민형 ((주)대한지오이엔씨)	특허출원 2건 시제품 1건
2	고성능 낙석방지울타리 시스템 구성														
3	고성능 낙석방지울타리 설계도면 작성														
4	주요평가방법에 따른 성능평가항목 결정														
5	고성능 낙석방지울타리 성능평가 모의 실험														
6	500kJ급 낙석방지울타리 시제품 설계도면 작성														
7	500kJ급 낙석방지울타리 시제품 가공 및 실증시험														
8	선행기술 조사													황영철 (상지대학교 산학협력단)	-
9	해외 관련 기준 조사														
10	시험장 건설														
11	기술 동향 및 적용 사례 검토													이강중 ((주)지오코리아 이엔지)	시제품 1건 특허출원 1건
12	센서 검토 및 개발														
13	통신 장치 개발														
14	시제품 완성 및 테트스														

2차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												책임자(소속기관)	연구성과
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	계획수립 및 자료조사													최민형 ((주)대한지오이엔씨)	특허등록 2건 비SCI 논문 2건
2	설계도면 작성														
3	전체시스템 구성														
4	시뮬레이션 분석을 통한 요구성능 분석														
5	요구성능에 따른 부재요소 실내시험														
6	1차 시제품 설계도면 작성														
7	1차 시제품 가공 및 평가														
8	성능평가													황영철 (상지대학교산학협력단)	SCI 논문 1건 비SCI 논문 1건
9	500kJ급 낙석방지울타리 성능시험 평가 검증														
10	5,000kJ급 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증														
11	S/W 개발 경보시스템													이강중 ((주)지오코리아이엔지)	특허등록 1건 S/W등록 1건
12	H/W 개발 시제품 보완 및 제품 개발														
13	제품 검증 및 관련인증 획득														
14	상용화 추진														

2. 연구개발 성과

2.1 주요 연구개발 성과

표 3.2.1-1 특허 출원 및 등록 성과

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	낙석방지 울타리용 충격에너지 감쇄장치	대한민국	㈜대한지오이엔씨	2019.11.14	10-2019-0145943	-	㈜대한지오이엔씨	2020.11.02	10-2175766	-	-
2	사면보강재의 지지강화장치	대한민국	㈜대한지오이엔씨	2019.11.14	10-2019-0145944	-	㈜대한지오이엔씨	2020.07.24	10-2139640	-	-
3	비탈면 경보 장치와 연동된 낙석과 토석 대책 시설의 관리 및 경보 시스템 및 방법	한국	㈜지오코리아이앤지	2019.12.24	10-2019-0174585	-	㈜지오코리아이엔지	2020.06.12.	10-2124546	-	-

표 3.2.1-2 논문 게재 성과

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호*
1	Mitigation Method of Rockfall Hazard on Rock Slope Using Large-Scale Field Tests and Numerical Simulations	Advances in Civil Engineering	Jinam Yoon	Volume 2020	England	Hindawi	SCI	게재완료	ISSN: 1687-8086 (Print) 1687-8094 (Online)
2	낙석방지울타리 망의 변위량 및 성능검증을 위한 실물낙석시험	한국지반환경공학회 논문집	서진혁	21권 12호	한국	한국지반환경공학회	비SCI	2020.12	ISSN 1598-0820 (Print) ISSN 2714-1233 (Online)
3	고성능 낙석·토석 대책시설용 에너지 감쇄장치 개발 연구	한국방재학회 논문집	서상훈	20권 6호	한국	한국방재학회	비SCI	2020.12	ISSN 1738-2424 (Print) ISSN 2287-6723 (Online)
4	2,040MPa급 고강도 강선을 활용한 고성능 낙석·토석 대책시설용 링형 포획망 개발 연구	한국방재학회 논문집	서상훈	20권 6호	한국	한국방재학회	비SCI	2020.12	ISSN 1738-2424 (Print) ISSN 2287-6723 (Online)

표 3.2.1-3 시제품 성과

번호	시제품명	성과종류	개발기관	출원·등록 순번	비고
1	500kJ급 고성능 낙석방지울타리	시제품	㈜대한지오이엔씨		• 시험성적서 - 고성능 낙석방지울타리용 링형포획망(7/2.8/300, 12/2.8/300, 16/2.8/300) - 고성능 낙석방지울타리용 감쇄장치(D60.5-1.8t, D60.5-3.2t) - 지지부 시스템(와이어로프 앵커 D22x2)
2	5,000kJ급 고성능 낙석방지울타리	시제품	㈜대한지오이엔씨		• 시험성적서 - 고성능 낙석방지울타리용 링형포획망(19/2.8/300) - 고성능 낙석방지울타리용 감쇄장치(D60.5-5.5t) - 지지부 시스템(확장형 시스템)
3	유지관리키트	시제품	(주)지오코리아이엔지		• 시험성적서 - 센서 검교정 2종 - KC인증 1건.

표 3.2.1-4 S/W등록 성과

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
1	낙석방지 대책시설 유지관리 시스템	2020.10.07	(주)지오코리아이엔지	2020.10.26	C-2020-037147	(주)지오코리아이엔지	100

표 3.2.1-5 신규 인력 채용 성과

번호	기관명	성명	직급	과제참여기간	기타
1	(주)대한지오이엔씨	이송희	대리	2019.11.01~2020.12.31	

2.2 기술적 성과

1) 고성능 낙석방지울타리 관련 기술 확보

(1) 고성능 낙석방지울타리 관련 기술 확보

연구개발 수행 전 국내 낙석방지울타리 기술은 관련 기준에 준하여 실물성능시험 100kJ, 시뮬레이션 100kJ급이었으며, 이는 해외 기술의 1%수준에 불과하였다. 그러나 본 연구를 통해 낙석방지울타리에 대한 실물성능시험 500kJ급, 시뮬레이션 5,000kJ급을 수행하여 그 기술을 확보하였다. 이는 해외기술 대비 실물성능시험 5%, 시뮬레이션 50% 에 해당되는 기술이며, 연구수행전 국내 기술수준 대비 실물성능시험 5배, 시뮬레이션 50배에 해당한다.

특히 낙석방지울타리 실물성능평가 시험장이 국내에 2개소만 마련되어 있는 상황에서 본 연구를 통해 상지대학교 낙석방지울타리 실물성능평가 시험장을 500kJ급 실물성능평가를 수행할 수 있도록 개보수하였으며, 이를 통해 연구개발 기술에 대한 실물성능평가를 수행하였다.

표 3.2.2-1 연구개발 수행 전・후 기술수준 비교

구분	관련기준	실물성능시험	시뮬레이션
해외 기술	100 ~ 5,000kJ	100 ~ 10,000kJ	100 ~ 10,000kJ
연구개발 수행 전	48, 61 kJ	100kJ (1%)	100kJ (1%)
연구개발 수행 후	-	500kJ (5%)	5,000kJ (50%)

한편, 해외에서는 고성능 낙석방지울타리 기술에 대한 보편화가 이루어지고 있는 상황으로서 본 연구를 통해 고성능 낙석방지울타리에 대한 원천기술 3가지를 확보하였다. 해외 고성능 낙석방지울타리의 경우 포획망은 고강도 선재, 와이어로프 등을 활용하여 제작하고 있으며, 고강도 선재를 활용하여 포획망을 제작하는 경우 일반적으로 1,770MPa급 강선을 활용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 보다 고강도 선재인 2,040MPa급 강선을 활용하여 포획망을 개발・제작하였으며, 이를 통해 1,770MPa급 강선으로 제작되는 포획망 대비 87.1%의 자중을 갖는 경량의 포획망 개발 기술을 확보하였다.

한편, 고성능 낙석방지울타리의 주요 요소중 하나인 감쇄장치의 경우 거동방식과 개발 업체에 따라

매우 다양한 형태를 보이고 있다. 본 연구는 고성능 낙석방지울타리용 감쇄장치 개발에 관한 첫 연구로서 파이프를 감쇄부재로 하여 감쇄부재의 연장과 두께에 따라 감쇄장치의 성능을 조절할 수 있는 감쇄장치를 개발(특허10-2175766)하였다.

고성능 낙석방지울타리 지지부의 경우 그 자체로 비탈면 보강기술에 활용될 수 있는 기술로서 본 연구에서는 지압날개를 갖는 지지부를 개발(특허10-2139640)하였다. 개발된 지지부는 지지부 설치 시 지압날개를 확장하여 지지부와 지반 사이의 부착력을 증대시킴으로서 지지부의 설치 연장을 감소시킬 수 있는 기술이다.

표 3.2.2-2 기존 기술과 개발기술의 링형 포획망 제작 강선 제원 비교

구분		RXI-025	RXI-050	RXI-100	RXI-150	RXI-200	RXI-300	RXI-500
기존 기술 1,770 MPa	방호성능(CLASS/kJ)	2/250	3/500	5/1,000	6/1,500	7/2,000	8/3,000	9/5,000
	RING NET TYPE	7/3/300	7/3/300	12/3/300	12/3/300	16/3/300	16/3/300	19/3/300
	1 RING 인장하중(kN)	87.6		150.1		200.2		237.7
	1 RING 자중(kg)	0.37		0.63		0.84		0.99
개발 기술 2,040 MPa	RING NET TYPE	7/2.8/300		12/2.8/300		16/2.8/300		19/2.8/300
	1 RING 인장하중(kN)	87.9		150.7		201.0		238.7
		100.4%		100.4%		100.4%		100.4%
	1 RING 자중(kg)	0.32		0.55		0.73		0.87
		87.1%		87.1%		87.1%		87.1%



(a) 낙석볼 포획전 (b) 낙석볼 포획후

그림 3.2.2-1 연구개발 성과 – 고성능 낙석방지울타리용 링형 포획망



(a) 감쇄장치 작동전 (b) 감쇄장치 작동후

그림 3.2.2-2 연구개발 성과 – 고성능 낙석방지울타리용 감쇄장치



(a) 지압날개 확장전 (b) 지압날개 확장후

그림 3.2.2-3 연구개발 성과 – 고성능 낙석방지울타리용 지지부

2) 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 개발

표 3.2.2-3 성능평가 방법

<table>
<tr><th>구분</th><th>ETAG 27 (유럽)</th><th>개발 방법</th></tr>
<tr><td>실험방법</td><td>-SEL (Service Energy Level)
최대충격 에너지의 1/3E를 1회 후 보수 없이 잔여높이 1/2에서 1회로 총 2회 실시
-MEL (Maximum Energy Level)
최대성능을 확인하는 방법으로 최대충격에너지를 적용하여 1회 실시</td><td>-최대성능을 확인하는 방법으로 최대 충격에너지를 적용하여 1회 실시</td></tr>
<tr><td>낙석에너지 레벨</td><td colspan="2"><table>
<tr><td>Energy Level(kJ)</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr>
<tr><td>SEL</td><td>-</td><td>85</td><td>170</td><td>330</td><td>500</td><td>660</td><td>1000</td><td>1500</td><td>>1500</td></tr>
<tr><td>MEL</td><td>100</td><td>250</td><td>500</td><td>1000</td><td>1500</td><td>2000</td><td>3000</td><td>4500</td><td>>4500</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>충격 시 속도</td><td>MEL : 낙석 충돌 전 1m에서 속도가 25m/s</td><td>-</td></tr>
<tr><td>충돌위치</td><td>1/2 (중앙)</td><td>1/2 (중앙)</td></tr>
<tr><td>지주의 허용범위</td><td>-SEL : 1회시 70%, 2회시 네트통과해서는 안된다
<table>
<tr><td colspan="2">MEL</td></tr>
<tr><td>Category</td><td>Residual height</td></tr>
<tr><td>A</td><td>nominal height ≥ 50%</td></tr>
<tr><td>B</td><td>nominal height = 30~49%</td></tr>
<tr><td>C</td><td>nominal height ≤ 30%</td></tr>
</table></td><td>-1회 실시하며, 지주의 70% 이상에 대한 판정 여부 실시</td></tr>
</table>

낙석방지울타리는 주 기둥을 H형강으로 와이어로프와 철망을 주 기둥에 장착하여 낙석에너지를 단부에 지지된 와이어로프와 주 기둥, 철망을 통하여 흡수하도록 한 울타리 구조물이다. 이러한 낙석방지울타리 설계 시 흡수에너지에 대한 설계가 우선되어야 하나 국내는 낙석방지울타리의 흡수에너지를 평가할 수 있는 설계법과 실험법이 개발되어 있지 않다.

국외 관련 기준 조사 결과 NCHRP에서 TEST A, B의 경우 낙석의 통과여부만 판정하기 때문에 낙석방지울타리에 대한 객관적인 판정이 불가능하며, TEST C의 경우 낙석 흡수 에너지를 100 ~ 5000kJ로 시험을 수행하도록 하고 있다.

ETAG 27에서는 MEL 기준의 경우 낙석방지울타리의 설치 높이 대비 충격에너지 작용시 낙석방지울타리의 변형 후 높이(잔여높이)가 50% 내외 인지를 기준으로 하여 판정하지만, 낙석방지울타리의

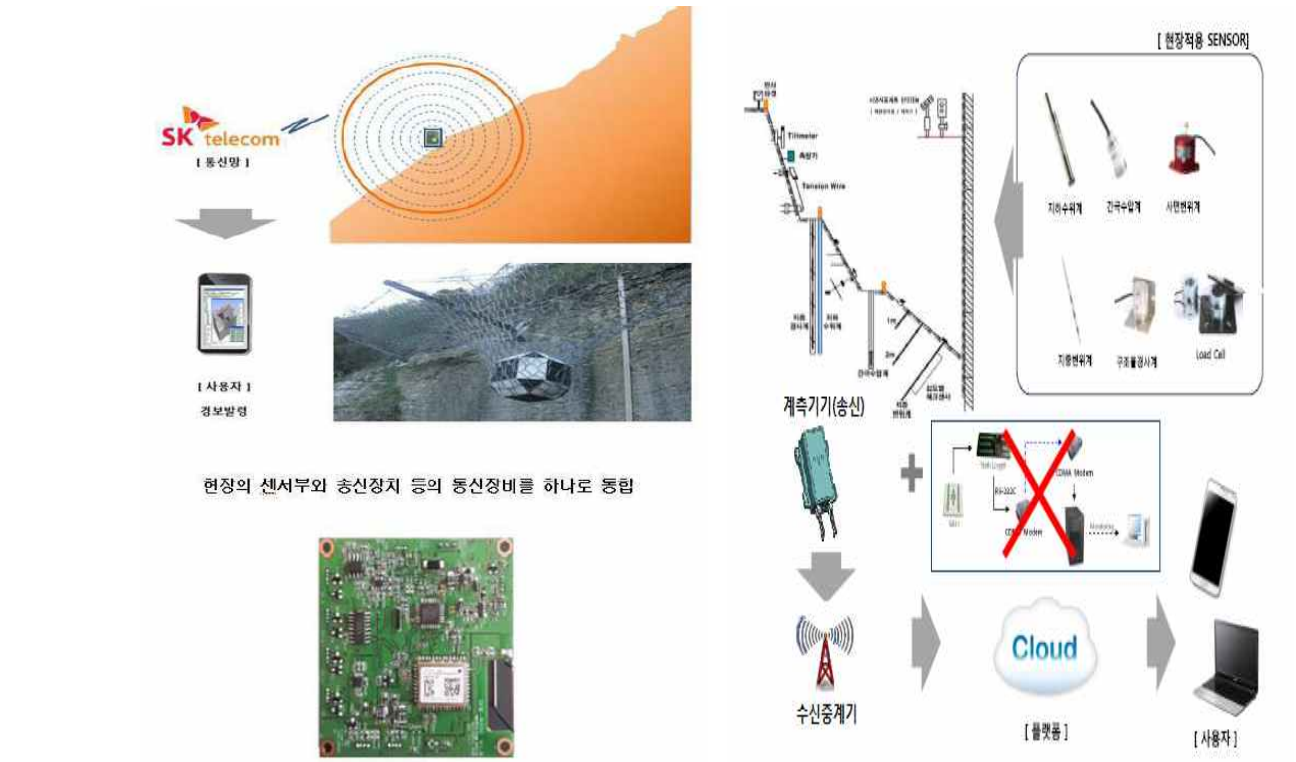
카테고리에 따라 잔여 높이가 30% 이하라도 합격 판정을 받을 수 있다. 그러나 SEL에서는 첫 번째 낙하시험에서 잔여 높이가 70% 이상이 되어야 한다고 명기하고 있으며, 두 번째 낙하시험에서 낙석을 포획하면 합격 판정을 받을 수 있다.

본 연구에서는 위와 같은 시험 방법의 장단점을 조합하여 시험방법을 고안하였으며, 이에 따른 실물 성능평가 방법을 개발하였다.

3) LoRa 기반 계측관리 시스템 기술 확보

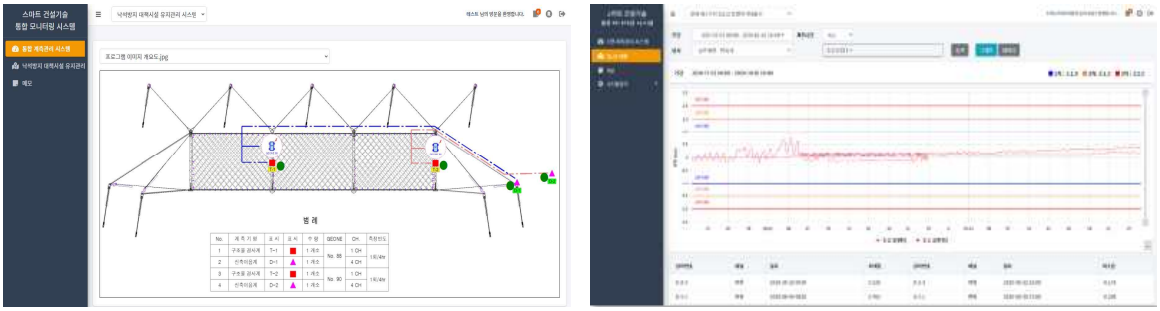
현재 구축되어 운영되고 있는 급경사지 모니터링 시스템은 기술적, 경제적으로 그 한계가 명확하여 관련 계측시장이 활성화 되고 있지 않다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 LoRa를 기반으로 한 계측관리 시스템은 저전력 장거리 통신이 가능한 오픈된 기술을 활용함으로서 그 활용도가 매우 높으며, 통신망 구축 및 계측관리 시스템 유지관리비용을 절감할 수 있는 기술로 계측관리 시장에 큰 파급효과를 불러 올 수 있는 기술로 기대되고 있는 기술이다. 따라서 본 연구를 통해 LoRa를 기반으로 한 계측관리 원천 기술을 확보함으로서 국내는 물론 국제적으로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



(a) 현장 적용 개념도 (b) 낙석방지울타리 유지관리 시스템

그림 3.2.2-4 낙성방지 울타리 유지관리 시스템 개념도



(a) 맵을 통한 위치기반 실시간 모니터링 (b) Data를 기반으로 현장 상황 확인

그림 3.2.2-5 PC환경 기반의 낙석방지 울타리 모니터링 시스템

2.3 경제적 성과

(1) 고성능 낙석방지울타리 국산화에 따른 외화 절감

현재까지 국내에는 상용화된 고성능 낙석방지울타리 기술이 부족하였기 때문에 도로, 철도, 산지사방 재해예방 관련 설계·공사시 고성능 낙석방지울타리의 적용이 필요할 경우 국내에 진입한 해외 고성능 낙석방지울타리 기술이 적용되어 왔다. 특히 고성능 낙석방지울타리의 주요 구성 요소 중 하인 지주, 와이어로프, 강선 등은 국내 철강재 인프라를 활용하여 사용할 수 있음에도 불구하고 고성능 낙석방지울타리 시스템 적용을 이유로 모든 구성요소를 고가의 외산 제품으로 적용되고 있으며, 기술료가 포함되어 매우 높은 가격에 형성되어 있는 실정이다.

그러나 본 연구개발을 통해 확보된 기술은 100% 해외 기술이 적용되는 고성능 낙석방지울타리 시장에 대한 외화 절감효과를 갖으며, 국내 철강 인프라를 활용하여 해외 기술의 42.5% 수준의 가격으로 시장진입이 가능(유지관리공 별도, 공인기관 원가보고서 발급)하기 때문에 고성능 낙석방지울타리 시장에 가격 경쟁력을 심화시킴으로서 한정된 예산으로 보다 많은 고성능 낙석방지울타리의 적용이 가능해질 것으로 기대된다.

(2) 계측관리 시장의 확대 및 활성화

본 연구개발을 통해 개발된 유지관리 시스템은 기존 계측 시스템과 달리 저전력 원거리통신이 가능한 통신키트와 경사계, 베터리가 일체화된 단말기로 제작되었으며, 상황에 따라 신축계를 결속하여 사용할 수 있도록 구성되어 있다.

본 유지관리 시스템은 현재 수행되고 있는 수동계측과 비탈면 상시계측관리 시스템의 중간단계에 있는 시스템으로서 급경사지 정기점검(연 2회)시 베터리 교체를 통해 4회/일 계측관리를 수행할 수 있다(계측빈도 설정에 따른 교체 주기 변경 가능). 특히 기존 시스템과 달리 공용통신망을 활용하기 때문에 별도의 전원공급장치나 통신시설 구축을 위한 시설비가 소요되지 않으므로 유지관리 시스템 구축비용을 획기적으로 절감할 수 있는 기술로서 기존 수동 계측관리 대비 50.6%, 기존 자동계측(RF+LTE) 관리 대비 60.9% 비용으로 유지관리를 수행할 수 있다.

급경사지 위험도와 계측의 정확성, 신뢰성이 요구되는 급경사지인 경우 관련 규정에 따라 현재 수행되고 있는 비탈면 상시계측관리 시스템을 설치하여 관리하는 것이 바람직하지만 비탈면 상시계측

관리 시스템의 경우 그 특성상 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 급경사지 위험도는 낮으나 정기적인 점검과 관리가 필요한 급경사지를 대상으로 본 개발 시스템을 활용하여 급경사지 관리를 수행할 경우 매우 유리한 시스템으로서 별도의 전원공급장치나 통신시설 구축을 위한 시설비가 소요되지 않으므로 유지관리 시스템 구축비용을 획기적으로 절감시켜 수행할 수 있으므로 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 고성능 낙석방지울타리 현장 적용에 의한 비용절감 효과

고성능 낙석방지울타리 현장 적용에 의한 비용절감 효과를 분석하기 위하여 외부 전문 원가분석 기관에 의뢰하여 원가 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 비교기술은 건설신기술 자료를 참조하였다.

유지관리공을 제외한 순수 고성능 낙석방지울타리에 대한 원가 분석 결과 설치면적당(m^2) 설계가는 유사 성능의 해외 기술대비 48.6%, 국내 건설신기술 지정 기술 대비 102.8%인 것으로 분석되었다. 특히 국내 건설신기술 지정 기술과 설치면적당(m^2) 설계가는 유사한 수준으로 확인되며, 국내 건설신기술 지정 기술의 방호성능이 200kJ급 인 것을 감안하면, 가격대비 성능이 보다 우수한 것으로 확인된다.

표 3.2.3-1 고성능 낙석방지울타리 현장 적용에 의한 비용절감 효과[1)]

구분		재료비	노무비	경비	합계	비교
개발기술 45m²	지반보강	8,115,668	2,981,695	1,016,848	12,114,211	
	지주설치	6,000,000	849,526	25,486	6,875,012	
	로프 및 충격흡수장치 설치	11,940,000	10,403,262	363,312	22,706,574	
	포획망 설치	15,435,900	2,985,079	193,658	18,614,637	
	합계				**60,310,434**	**1,340,232원/m² 100%**
완충형 낙석방지책 26m²	지반보강	1,287,984	2,265,407	287,840	3,841,231	
	지주설치	971,664	3,091,616	2,501	4,065,781	
	로프 및 충격흡수장치 설치	3,656,000	8,720,871	-	12,376,871	
	포획망 설치	8,896,067	4,711,212	-	13,607,279	
	합계				**33,891,162**	**1,303,506원/m² 97.3%**
링네트 75m²	지반보강	8,115,668	2,981,695	1,016,848	12,114,211	
	지주설치	6,000,000	849,526	25,486	6,875,012	
	로프 및 충격흡수장치 설치	31,901,815	68,056,093		99,957,908	
	포획망 설치	56,069,755	30,507,450	1,128,039	87,705,244	
	합계				**254,079,518**	**2,755,365/m² 205.6%**

※ 주1) 외부 전문 원가분석 기관의 원가 분석 용역 수행(첨부자료 #07 참조)

② 낙석방지울타리 유지관리 시스템에 의한 비용절감 효과

낙석방지울타리 유지관리 시스템 현장 적용에 의한 비용절감 효과를 분석하기 위하여 외부 전문 원가분석 기관에 의뢰하여 원가 분석을 수행하였다.

경사계 2개소, 신축계 2개소, 총 4개소의 계측기기 설치 및 유지관리시스템 설치 설계가는 기존 GNSS 기반 계측관리시스템의 52.9%, RF+LTE 통신 기반 계측관리시스템의 60.9% 수준이며, 수동계측 대비 59.2% 수준으로 확인된다.

표 3.2.3-2 고성능 낙석방지울타리 유지관리시스템 현장 적용에 의한 비용절감 효과[1)]

구분		재료비	노무비	경비	합계	비교
개발기술	계측기기 설치	4,400,000	1,625,188	1,787,708	7,812,896	
	시스템 구축	7,400,000			7,400,000	
	현장정기점검		1,625,188	1,787,708	3,412,896	
	유지관리시스템 운용[2)]		4,875,564	5,387,124	10,262,688	
	합계				**28,888,480**	**6,959,610원/m² 100%**
GNSS	계측기기 설치	35,802,816	5,611,264		41,414,080	
	시스템 구축	2,433,280	3,212,537		5,645,817	
	현장정기점검		1,820,532	800,000	2,620,532	
	유지관리시스템 운용[2)]		23,261,400		23,261,400	
	합계				**72,941,829**	**11,651,959원/m² 252.5%**
RF+LTE	계측기기 설치	4,400,000	2,502,992	2,753,292	9,656,284	
	시스템 구축	24,095,281			24,095,281	
	현장정기점검		1,625,188	1,787,708	3,412,896	
	유지관리시스템 운용[2)]		4,875,564	5,387,124	10,262,688	
	합계				**47,427,149**	**11,651,959원/m² 164.2%**
수동계측	계측기기 설치	4,400,000	1,625,188	1,787,708	7,812,896	
	현장정기점검		14,626,692	16,089,372	30,716,064	
	유지관리시스템 운용[2)]		4,875,564	5,387,124	10,262,688	
	합계				**48,791,648**	**14,223,133원/m² 168.9%**

※ 주1) 외부 전문 원가분석 기관의 원가 분석 용역 수행(첨부자료 #07 참조)
※ 주2) 1년(12개월) 유지관리 기준

표 3.2.3-3 고성능 낙석방지울타리 현장 적용에 의한 비용절감 효과

구분	개발기술	G사 링네트	C사 완충형 낙석방지울타리	일반 낙석방지울타리
개념도				
공법개요	• ETAG027에서 규정하는 고성능 낙석방지울타리 구성요소(링형 포획망, 감쇄장치, 힌지식 지주, 와이어로프, 지지부)를 활용한 방호성능 500~5,000kJ급 고성능 낙석방지울타리 기술	• ETAG027에서 규정하는 고성능 낙석방지울타리 구성요소(링형 포획망, 감쇄장치, 힌지식 지주, 와이어로프, 지지부)를 활용한 방호성능 500~5,000kJ급 고성능 낙석방지울타리 기술	• 특수 제작된 완충구를 활용하여 방호성능을 90kJ로 향상시킨 낙석방지울타리	• 국내 관련 기준에서 정의하는 방호성능 48, 61kJ급 표준형 낙석방지울타리
주요 구성 요소	• 링형 포획망(2,040MPa급 강선) • 감쇄장치 • 와이어로프 • 힌지식 지주	• 링형 포획망(1,770MPa급 강선) • 감쇄장치 • 와이어로프 • 힌지식 지주	• PVC 코팅망 • 특수 제작 완충구 • 와이어로프 • 지주	• PVC 코팅망 • 완충구 • 와이어로프 • 지주
시공비	500kJ급 1,340,232원/㎡	500kJ급 2,755,365원/㎡	200kJ급 1,303,506원/㎡	61kJ급 –
비용절감 효과	100%	235.3%	97.3%	–
특징	• 시공성이 다소 불리하나 방호성능 500~5,000kJ급으로 다양함. • 국산 자재를 활용하여 제작됨. • 순수 국내 기술과 국산 자재를 활용하는 고성능 낙석방지울타리 기술임. • 해외기술 대비 고강도 선재를 활용한 링형 포획망을 개발하여 보다 경령화된 기술임.	• 시공성은 가장 불리하나 방호성능 500~5,000kJ급으로 다양함. • 세계적으로 인정받고 있는 기술이지만 인증된 자재를 활용하여야 하기 때문에 시공비가 매우 높으며, 외화 유출의 문제가 있음.	• 시공성이 가장 좋으나 방호성능 90kJ급으로 한계가 있으며, 비탈면 하부나 소단에 설치되어야 함. • 국산 자재를 활용하여 제작됨. • 국내 발생 낙석 평균 에너지 170kJ급에도 안정성이 취약하여 추가비용 발생 가능성이 높음.	• 시공성이 가장 좋으나 방호성능 48, 61kJ급으로 한정되어 있으며, 비탈면 하부나 소단에 설치되어야 함. • 국산 자재를 활용하여 제작됨. • 국내 발생 낙석 평균 에너지 170kJ급에도 안정성이 취약하여 추가비용 발생 가능성이 높음.

표 3.2.3-4 낙석방지울타리 유지관리 시스템 현장 적용에 의한 비용절감 효과

구분	개발기술	상시계측 [GNSS]	상시계측	수동계측
개념도				
공법개요	• 경사계가 내장된 유지관리 키트에 지표변위계, 지중경사계, 하중계 등을 조합하여 사용할 수 있는 자동계측시스템.	• GNSS를 기반으로 다양한 계측기기와 병행하여 계측정보를 취득하는 자동계측시스템	• 수동계측과 동일한 구성의 계측기기를 활용하되 데이터 측정 및 취합을 원격으로 수행하는 시스템	• 현장에 설치된 계측기기에 방문/접속하여 계측정보를 취득하는 수동 계측시스템.
시공 및 계측 방법	① 계측기기 설치 ② 유지관리키트 설치 ③ 게이트웨이 설치(상용망 이용시 생략) ④ 자동화 계측	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	① 계측기기 설치 ② 현장방문/계측값 획득
통신 시스템	• LoRa 기반	• LTE 기반 (+ RF, LoRa)	• LTE 기반 (+ RF, LoRa)	-
시공 및 유지 관리[1)]	28,888,480	72,941,829	47,427,149	48,791,648
비용절감 효과	100%	252.5%	164.2%	168.9%
특징	• 현장 정기점검시 베터리 교체운영으로 별도의 전원공급장치 불필요 • 상용 LoRa통신 방식 적용으로 자동계측통신시스템 구축 불필요 • 준실시간 모니터링 및 경보 시스템 구축 가능	• GNSS 기반에 따른 과다한 전력소모로 전원공급장치 필요 • 게이트웨이 등 자동계측통신시스템 구축비용 과다 • 실시간 예경보 시스템 구축 가능	• 과다한 전력소모로 전원공급장치 필요 • 게이트웨이 등 자동계측통신시스템 구축비용 과다 • 실시간 예경보 시스템 구축 가능	• 계측시마다 현장 방문/접속 필요 • 실시간 예경보 시스템 구축 불가능

2.4 사회적 측면

1) 낙석방지시설에 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).

특히 국내 200kJ 이상의 고성능 낙석방지울타리의 경우 전적으로 100% 외산제품이 사용되고 있기 때문에 본 연구개발을 통해 고성능 낙석방지울타리에 관한 기술 확보를 통해 재난 및 안전관련 대응 수준을 선진국 수준으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

또한 고성능 낙석방지울타리 유지관리기술 시스템은 IoT 기반 환경을 이용하여 낙석방지울타리의 상태와 적치된 토석량에 따른 점검확인 필요성을 알림 할 수 있어 시설물의 유지관리에 보다 효과적이며, 준실시간 모니터링을 통해 낙석 발생시 위험경보를 담당자 및 오픈된 웹을 통해 알릴 수 있는 시스템으로서 국민적 관심 확대와 사회적 인식을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2) 낙석 사고 예방 및 방호

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, 낙석 위험지구 계측관리나 공사 전중후 계측관리의 경우 실시간 계측 또는 2회/일~1회/월의 빈도로 계측을 수행하기 때문에 낙석 발생 징후를 파악하는데 유리하지만, 전문용역기관을 통해 수행되기 때문에 계측관리비용을 담당할 발주처(사업자)와 비용협의가 필요하다.

그러나 개발 기술인 낙석방지울타리 관리 시스템은 낙석방지울타리 변위 감시 센서와 4차 산업 기술인 저전력 원거리(LPWA) 통신의 LoRa IoT 방식을 적용하여 원거리에서 저전력으로 낙석방지울타리의 변위를 감지하는 시스템으로서 유지관리 키트당 1회/시간 당 계측정보를 수집하여(조정가능) 낙석의 유무를 파악하는데 유리할 뿐만 아니라 유지관리 키트를 다수 설치하고 계측시점을 달리할 경우 보다 많은 계측빈도로 시설물의 유지관리를 수행할 수 있다. 특히 붕괴위험지구 계측관리나 공사 전중후 계측관리를 기존 GNSS 기반 계측관리시스템의 52.9%, RF+LTE 통신 기반 계측관리시스템의 60.9%의 비용으로 수행할 수 있기 때문에 한정된 예산으로 보다 많은 낙석방지울타리에 대한 계측관리 수행을 통해 낙석 사고를 예방하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 연구결과

3.1 연구개발 기술의 구성



그림 3.3.1-1 연구 개발 기술

연구개발기술은 위 개념도와 같이 포켓식 고성능 낙석방지울타리 기술과 낙석방지울타리 유지관리 시스템의 융합기술로 이루어진다. 고성능 낙석방지울타리는 Net, Cable, 지주, 지지부 등으로 구성되며, 노후 낙석방지울타리 유지관리 시스템은 센서부, 통신부, S/W 등으로 구성된다.

1) 포켓식 고성능 낙석방지울타리

포켓식 고성능 낙석방지울타리의 구성은 낙석방지울타리에 대한 유럽통합지침 ETAG 027에서 정의하고 있으며, 네트(NET), 케이블(Cable), 지지부(Foundation), 지주(Post), 에너지 감쇄장치(Energy Dissipating Device) 등으로 구성된다고 정의하고 있다. 따라서 본 연구에서는 위와 같은 구성요건에 따라 고성능 낙석방지울타리의 특성과 성능을 결정하는 네트, 지지부, 감쇄장치에 대한 연구에 집중하였으며, 개발된 제품에 대한 공인성능시험을 수행하여 그 성능을 확인하였다.

한편, 고성능 낙석방지울타리에 대한 성능평가 기준 및 시험방법에 관하여 ETAG 027에서 정의하고 있으나 국내에 관련 기준에 따라 고성능 낙석방지울타리의 성능평가를 수행할 수 있는 시험기관이나 시험장이 구비되어 있지 않기 때문에 낙석방지울타리 전문 시험장을 보유한 상지대학교 산학협력단을 공동연구기관으로 하여 개발기술에 대한 성능평가를 수행하였으며, 실물 성능시험이 불가능한 고사양의 고성능 낙석방지울타리의 경우 시뮬레이션을 활용하여 성능검증을 수행하였다.

2) 낙석방지울타리 유지관리 시스템

낙석방지울타리 유지관리 시스템은 유지관리키트, S/W로 구성된다. 유지관리 키트는 통신모듈, 베터리, 경사계가 일체화되어 있으며, 필요한 계측정보에 따라 신축계를 추가하여 유지관리 키트를 형성한다. 유지관리키트에서 계측된 정보는 저전력 장거리 통신이 가능한 LoRa 통신을 통해 서버로 전송・관리되며, 계측정보의 이상 유무에 따른 알림기능을 제공한다.

3.2 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발

1) 포켓식 고성능 낙석방지울타리 요소자재 개발

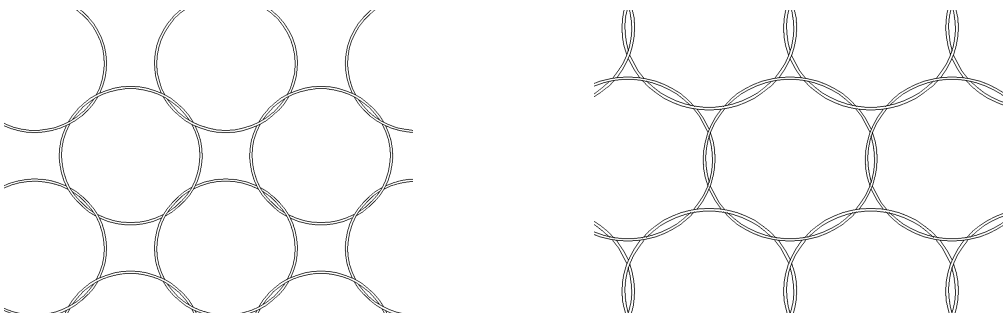
(1) 링형포획망 개발

① 기존 링형포획망 비교 분석

해외 고강도 낙석방지울타리용 링형 네트의 경우 다음 표와 같이 일반적으로 1,770MPa 규격의 강선을 사용하여 제작하고 있으며, 링형 네트의 형상 및 제원은 업체의 보유 기술에 따라 상이하다. 원형으로 제작되는 링형 네트의 경우 4점 연결, 6점 연결 방식이 있으며, 제조업체에 따라 4~6점 연결 방식의 링형 네트를 활용하고 있다.

표 3.3.2-1 해외 고성능 낙석방지울타리 기술 보유업체의 링형 네트 제원

적용 사양	링형포획망의 제원			
	GEOBRUGG	PROTEC ENG.	INCOFILL	TRUMER
소재	1,770MPa급 강선	1,770MPa급 강선	1,770MPa급 강선	1,770MPa급 강선
500kJ급	7/3/350	-	4/9/350	7.5/135
1,000kJ급	7/3/350	-	4/9/350	7.5/135
1,500kJ급	-	5/3/350	-	9.0/135
2,000kJ급	16/3/350	7/3/350	5/10.5/350	9.0/185
3,000kJ급	16/3/350	10/3/350	5/10.5/350	9.0/185
5,000kJ급	16/3/300	15/3/420	6/15/420	10.5/180



4점 연결 링형포획망 6점 연결 링형포획망

그림 3.3.2-1 해외 링형 포획망 구조 사례



(a) UMN



(b) GEOBRUGG



(c) TRUMER



(d) MACCAFERRI

그림 3.3.2-2 국내외에 적용된 링형포획망 사례

② 고강도 선재를 활용한 링형 네트 구상 및 개발

본 연구에서는 고성능 낙석방지울타리용 링형포획망 개발을 위해 자재시험 및 셈플 제작 후 시험을 통해 최적 소재를 선정하여 개발하고자 노력하였다. 링형 네트 개발에 활용할 수 있는 선재는 고강도 강연선, 피아노선, 와이어로프 등이며, 복합소재의 활용 가능성에 대해서도 검토하였다.

기존 1,770MPa급 강선을 활용한 링형 네트 대비 고강도 강연선, 피아노선, 와이어로프를 활용하여 링형 네트를 개발할 경우 성능 비교 결과(예상)는 다음과 같다.

표 3.3.2-2 링형 네트 개발 구상(고강도강연선 또는 피아노선 활용시) [KS D 7002:20118, KS D 3556:2002 참조]

기존 기술 대비 (강선)	고강도 강연선 활용시		피아노선 활용시
	SWPC7DL 5.0mm (2,160MPa급, 42.4kN)	SWPC7DL 5.0mm (2,360MPa급, 46.3kN)	PW-2 3.2mm (1860MPa급, 14.9kN)
6/3/300, 75kN	2/5/300, 84kN (7%경량)	2/5/300, 92kN (7%경량)	5/3.2/300, 75kN
12/3/300, 150kN	4/5/300, 172kN (7%경량)	4/5/300, 184kN (7%경량)	10/3.2/300, 150kN
16/3/300, 200kN	5/5/300, 210kN (13%경량)	5/5/300, 230kN (13%경량)	14/3.2/300, 209kN

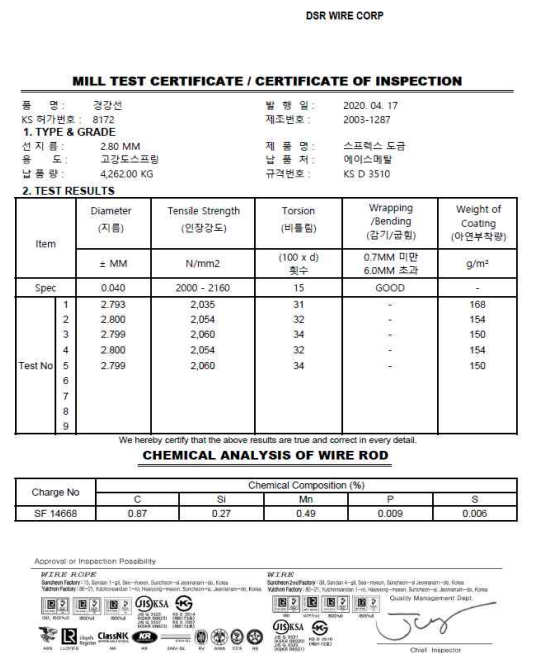
표 3.3.2-3 링형 네트 개발 구상(와이어로프 활용시) [KS D 3514:2018 참조]

기존 기술 대비 (강선)	링형 네트 개발 (와이어로프 활용시)		
	6x7 FC D10mm	6x19 IWRC D10mm	6x24 FC D10mm
6/3/300, 75kN	2/10/300, 105kN	2/10/300, 107kN	2/10/300, 91kN
12/3/300, 150kN	3/10/300, 158kN	3/10/300, 161kN	4/10/300, 182kN
16/3/300, 200kN	4/10/300, 211kN	4/10/300, 215kN	5/10/300, 227kN

연구과제 계획시 고강도 강연선을 활용한 링형 네트 제작이 가장 유리할 것으로 판단되었으나 고강도 강연선 소선의 획득과 성능 문제, 링형 네트 제작을 위한 원형 가공과 네트 조성 문제가 발생함에 따라 링형 네트 개발을 위한 선재는 피아노선을 활용하는 것으로 결정하였다.

본 연구에서 링형 네트 개발을 위해 사용한 선재는 (주)DSR제강 기술연구소 자문을 통해 주문 생산된 선재를 활용하였다. 링형 네트 개발용 강선은 1차적으로 1,960MPa급 3.2mm 강선을 활용하였으며, 1,960MPa급 3.2mm 강선을 활용한 링형 네트의 성능 평가를 위해 공인인증시험기관을 통해 3-Ring Test를 수행하고 시제품을 개발하였다.

그러나 연구 진행중 (주)DSR제강 기술연구소의 협조를 통해 보다 고사양인 2,040MPa급 2.8mm 강선을 활용하여 링형포획망을 개발하였다. 링형포획망 개발에 사용된 선재는 KS D 3510 규격의 2,040MPa급 직경 2.8mm의 강선이며, 1개소 소선의 강도는 약 152.6kN이다. 개발 링형포획망은 기존 기술 대비 고강도 선재를 활용함으로서 유사한 성능으로 선재의 직경을 감소시켜 기존 기술 대비 경량의 고성능 링형포획망을 개발할 수 있었다. 방호성능 500kJ급에 사용되는 개발 링형포획망(7/2.8/300)은 기존 링형포획망(7/3/300) 대비 100.4%의 유사한 성능임에도 자중이 12.9% 절감되었다.



DSR WIRE CORP

MILL TEST CERTIFICATE / CERTIFICATE OF INSPECTION

품 명 : 경강선 발 행 일 : 2020. 04. 17
KS 허가번호 : 8172 제조번호 : 2003-1287
1. TYPE & GRADE
선 지 름 : 2.80 MM 제 품 명 : 스프링소 도금
용 도 : 고강도스프링 납 품 처 : 에이스메탈
납 품 량 : 4,262.00 KG 규격번호 : KS D 3510
2. TEST RESULTS

Item		Diameter (지름)	Tensile Strength (인장강도)	Torsion (비틀림)	Wrapping /Bending (감기/굽힘)	Weight of Coating (아연부착량)
		± MM	N/mm2	(100 x d) 횟수	0.7MM 미만 6.0MM 초과	g/m²
Spec		0.040	2000 - 2160	15	GOOD	-
Test No	1	2.793	2,035	31	-	168
	2	2.800	2,054	32	-	154
	3	2.799	2,060	34	-	150
	4	2.800	2,054	32	-	154
	5	2.799	2,060	34	-	150
	6					
	7					
	8					
	9					

We hereby certify that the above results are true and correct in every detail.

CHEMICAL ANALYSIS OF WIRE ROD

Charge No	Chemical Composition (%)				
	C	Si	Mn	P	S
SF 14668	0.87	0.27	0.49	0.009	0.006

Approval or Inspection Possibility

WIRE ROPE

WIRE

Quality Management Dept.

Chief Inspector

(a) MILL TEST SHEET

그림 3.3.2-3 링형포획망 개발용 고강도 강선 제원

표 3.3.2-4 기존 기술과 개발기술의 링형포획망 제작 강선 제원 비교

구분		RXI-025	RXI-050	RXI-100	RXI-150	RXI-200	RXI-300	RXI-500
기존 기술 1,770 MPa	방호성능(CLASS/kJ)	2/250	3/500	5/1,000	6/1,500	7/2,000	8/3,000	9/5,000
	RING NET TYPE	7/3/300	7/3/300	12/3/300	12/3/300	16/3/300	16/3/300	19/3/300
	1 RING 인장하중(kN)	87.6		150.1		200.2		237.7
	1 RING 자중(kg)	0.37		0.63		0.84		0.99
개발 기술 1,960 MPa	RING NET TYPE	6/3.2/300		10/3.2/300		13/3.2/300		16/3.2/300
	1 RING 인장하중(kN)	94.6		157.6		204.9		252.2
		108.0%		105.0%		102.4%		106.1%
	1 RING 자중(kg)	0.36		0.60		0.77		0.95
		97.5%		94.8%		92.4%		95.8%
개발 기술 2,040 MPa	RING NET TYPE	7/2.8/300		12/2.8/300		16/2.8/300		19/2.8/300
	1 RING 인장하중(kN)	87.9		150.7		201.0		238.7
		100.4%		100.4%		100.4%		100.4%
	1 RING 자중(kg)	0.32		0.55		0.73		0.87
		87.1%		87.1%		87.1%		87.1%

개발된 링형포획망 개발용 강선은 별도의 강선 가공을 거쳐 링형포획망으로 제작하였으며, 그 형상은 다음과 같다. 링형포획망은 원형형상 가공을 위한 원형가공과 강선 클립 압착 과정을 거쳐 링형포획망을 제작하였다.



(a) 제작용 강선 (b) 강선의 원형가공 (c) 강선 클립 압착



(d) 5-RING 제작 (e) 5-RING 연결 (f) 링형 네트 제작

그림 3.3.2-4 링형 네트의 제작

③ 링형 네트의 성능평가

a. 링형포획망의 시험 방법

고성능 낙석방지울타리 시스템을 구성하는 요소자재들의 시험기준은 ETAG 027에서 상세히 규정하고 있으며, 고성능 낙석방지울타리 시스템을 구성하는 링형포획망에 관한 시험방법에 대해서도 서술하고 있다.

링형포획망의 시험편은 3개의 링으로 제작된 체인으로 시험(3-RING TEST)하며, 시편의 양단은 링을 구성하는 선재 직경의 4배 이상(최소 50mm)의 직경을 갖는 지그로 체결하도록 하고 있다. 시험전 시혐시편의 고정과 시스템 안정화를 위해 약간의 장력을 가하였다가 시험시작전 장력을 0으로 셋팅하도록 하고 있으며, 시편이 파단될 때까지 2mm./s의 속도로 긴장력을 재하하여 시험을 수행하도록 하고 있다.

표 3.3.2-5 유럽 ETAG 027 내 링형포획망 성능평가 방법

ETAG 027 GUIDELINE FOR EUOPEAN TECHNICAL APPROVAL OF FALLING ROCK PORTECTION KITS

ANNEX C. IDEXTIFICATION TESTS
C.3 Test on net elements
C.3.1 ring nets
C.3.1.1 test specimen
The test specimens are chains of three rings. The connetion of the single ring element with the other rings in the net assembly shall be reported in the test report/
During the taking of the sample there shall be no damage to the sample itself.

C.3.1.2 Test procedure
The chain of three ring is mounted in a calibrated test traction rig and it is connected to the machine with two circular elements of diameter not less than 4 times the diameter of the strand, anyway with a minimum diameter of 50 mm.
Before the test a slight tension is given to stabilize the system, then the force Before the test a slight tension is given to stabilize the system, then the force is reduced again to zero before the test starts.
The chain of three rings is tensioned by the test machine with a recommended displacement speed of 2 mm/s, until breaking.
The test traction rig shall be of class 1 (EN ISO 7500-1).



Figure C.1 – Scheme of the test on net rings

위와 같은 시험방법은 준정적시험(Quasi-Static Test)으로 불리며, 일반적인 시험 결과는 3-Ring 시편 파단까지(Point B, F_B) 다음 그림과 같은 양상을 띠는 것으로 알려져 있다. 시험결과 하중-변위 그래프는 초기 선형거동 구간(ϕ_1 기울기 구간)과 후기 선형거동 구간(ϕ_2 기울기 구간)을 갖는데 초기 선형거동 구간은 3-Ring 시험시편에 인장하중이 작용하면서 3-Ring을 구성하는 원형링이 타원형으로 기하학적 변형되는 구간이며, 후기 선형거동 구간은 3-Ring 시험시편이 하중 작용에 따라 탄소성 거동을 보이는 구간이다. 그러나 실제 3-Ring Test시 초기 선형거동구간과 후기 선형거동구간의 변위점(Point A, F_A)은 명확히 구분되어지지 않는데 이는 3-Ring을 시험시편을 구성하는 소선들이 응력 분포에 따라 재배치되며, 소선에 따라 하중 전이 시점이 달라 점진적으로 거동이 변하기 때문이다.

한편, 3-Ring Test 후 도식화된 하중-변위 그래프에서 면적(그림 3.3.2-5 의 빗금영역)은 다음식

Eq.(1).에 의하여 3-Ring 시편이 포획할 수 있는 에너지로 정의할 수 있다.

$$W = F \cdot S \qquad \text{Eq.(1).}$$

여기서, W = 에너지(kJ)

F = 힘(kN)

S = 이동거리 또는 변위(m)

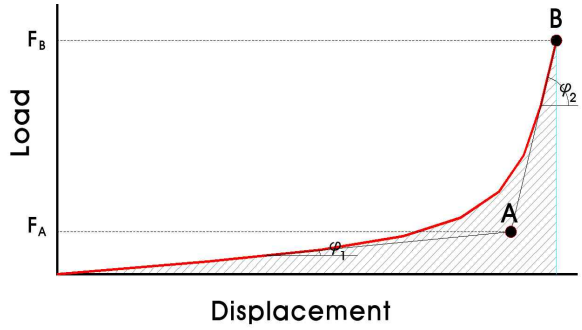
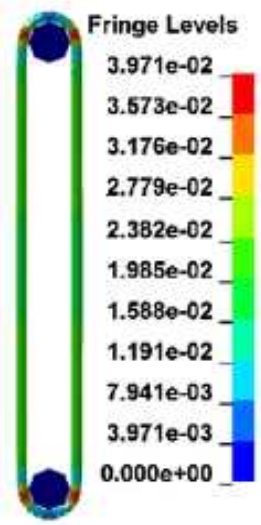
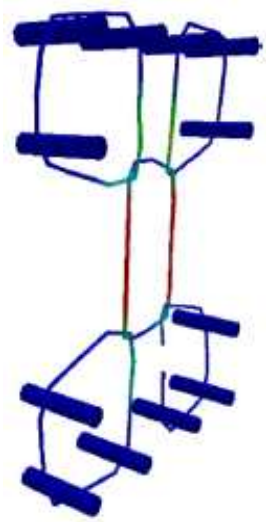


그림 3.3.2-5 3-Ring Test 결과 하중-변위 곡선

이와 같은 방법에 따라 Hu Xu et al. (2013)은 기존 1,770Mpa급 3.0mm의 강선으로 제작되는 링형 포획망에 대하여 R5(5/3/300), R7(7/3/300), R9(9/3/300), R16(16/3/300), R19(19/3/300) 사양의 링형 포획망에 대한 시뮬레이션과 3-Ring Test를 수행하였으며, 그 중 R5(5/3/300), R9(9/3/300), R16(16/3/300) 시편에 대한 시뮬레이션 및 실물시험 결과는 다음 그림 3.3.2-6(d)~(e)와 같다. 기존 1,770Mpa급 3.0mm의 강선으로 제작되는 링형 포획망에 대한 시뮬레이션 및 3-Ring Test 결과 하중-변위 그래프의 거동양상은 유사하게 나타나고 있으나 3-Ring Test의 파단하중이 시뮬레이션보다 9.8~33.3% 높게 측정되는 것으로 확인되어 3-Ring을 구성하는 선재의 선수가 증가할수록 크게 증가하였다. 그러나 3-Ring의 에너지 저감능력은 5/3/300, 7/3/300 시편을 제외한 9~19/3/300 시편에서 실물실험결과가 시뮬레이션해석 대비 낮게 측정되었다.



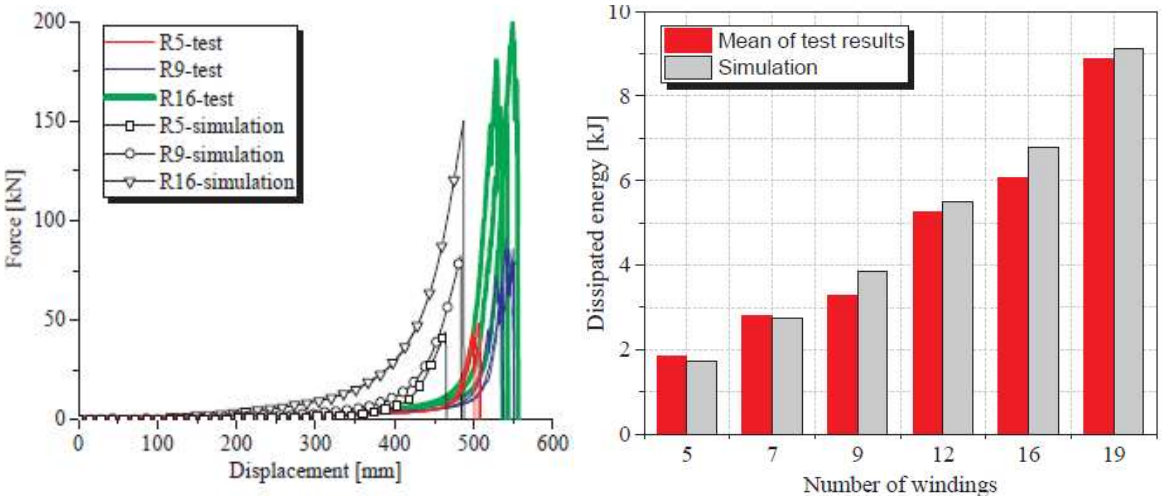
(a) 1-Ring Simulation



(b) 5-Ring Simulation



(c) 3-Ring Test



(d) 3-Ring Test Result (Force-Displacement Graph)

(e) 3-Ring Test Result (Dissipated Energy Graph)

그림 3.3.2-6 링형 포획망 3-Ring Test 시뮬레이션 및 시험 사례(Hu Xu et al. (2013))

한편, 링형 포획망에 대한 3-Ring Test외에 1-Ring Test(Hans Grassl et al. (2013), 5-Ring Test(Hu Xu et al. (2003)), 8-Ring Test(J.P. Escallón et. al. (2013)) 등을 수행한 사례가 보고되고 있으나 1-Ring Test의 경우 1-Ring 시편을 거치하는 지그의 크기 및 형상에 따라 시험편차가 매우 크게 발생하며, ETAG 027에서 3-Ring Test를 명기하고 있기 때문에 본 연구에서는 관련 기준을 참고하여 3-Ring Test를 수행하였다.

특히 기존 연구 사례에서는 링형 포획망 시뮬레이션 해석시 시편과 동일하게 1,770MPa급 3mm의 강선을 5~19선으로 모델링하지 않고 강선의 선수에 따른 단면적과 동일한 1개의 선수로 구성된 링으로 모델링하여 시뮬레이션 해석을 수행하였다. 그러나 위와 같은 모델링 및 해석 방법은 모델링과 시뮬레이션 해석시 소요되는 시간을 절감하기 위하여 수행되는 방법으로서 본 연구에서는 실제 시편과 동일한 2,040MPa급 2.8mm 강선을 7~19선으로 모델링하고 시뮬레이션 해석을 수행하였다.

b. 링형 포획망의 시뮬레이션 검토

현재 링형 포획망에 관한 공개된 시뮬레이션 해석 결과 및 실물성능시험 결과 자료가 매우 부족하기 때문에 재품개발에 있어 많은 시행착오 및 반복 시험이 필요할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 설계된 링형 포획망에 대한 사전 성능 검증을 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 Explict Dynamics을 활용하여 동적구조해석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

관련 시험 기준인 ETAG 027에서는 시뮬레이션에 관한 별도의 기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 기존 연구사례의 경우 모델링과 시뮬레이션 해석시 소요되는 시간을 절감하기 위하여 링형 포획망 시뮬레이션 해석시 시편과 동일하게 1,770 MPa급 3 mm의 강선을 5 ~ 19선으로 모델링하지 않고 강선의 선수에 따른 동일한 단면적을 갖는 1개의 선재로 구성된 링으로 모델링하여 시뮬레이션 해석을 수행하였다.

본 연구에서는 3-Ring 시편을 구성하는 선재 사이의 마찰, 선재의 재배열 등을 고려하기 위해 실제 시편과 동일한 2,040 MPa급 2.8 mm 강선을 7 ~ 19선으로 모델링하였다. 그러나 1가닥의 고장

력 선재를 7 ~ 19회로 엮은 7 ~ 19/2.8/300 시편의 모델링이 어렵기 때문에 2,040 MPa급 2.8 mm 강선을 직경 300 mm의 폐합된 링으로 모델링하고 그 링이 7 ~ 19개 중첩된 것으로 구현하였으며, 시편 단부에 50 mm의 직경을 가진 지그에 체결된 것으로 구현하였다. 시뮬레이션 해석시 이용한 물성치는 다음 표와 같다.

시뮬레이션은 시뮬레이션 해석에 소요되는 시간과 낙석 작용시 실제 거동 특성을 고려하여 10m/s 변위 속도 조건(해석 거동 시간 0.1s)으로 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



그림 3.3.2-7 3-Ring Test 결과 하중-변위 곡선

표 3.3.2-6 Characteristic of High Strength Steel Wire for Ring-Net

Diameter	Tensile Strength	Modulus of Elasticity	Poisson's Ratio
2.8 mm	2,040 MPa	2E+05 MPa	0.3

3-Ring 시뮬레이션 결과 일반적인 거동양상은 표3.3.2-7, 그림3.3.2-8과 같이 3-Ring 시험시편에 인장하중이 작용하면 3-Ring을 구성하는 원형링이 타원형으로 기하학적 변형을 한 후 기하학적 변형이 완료되는 시점에 준하여 하중이 급격하게 증가하고 시편이 파단되는 양상을 보여준다.

시뮬레이션 결과 4가지 시편의 F_A 하중과 초기 선형거동구간의 기울기(ϕ_1)는 대체적으로 3-Ring을 구성하는 선재의 가닥수가 많아질수록 증가하였다.

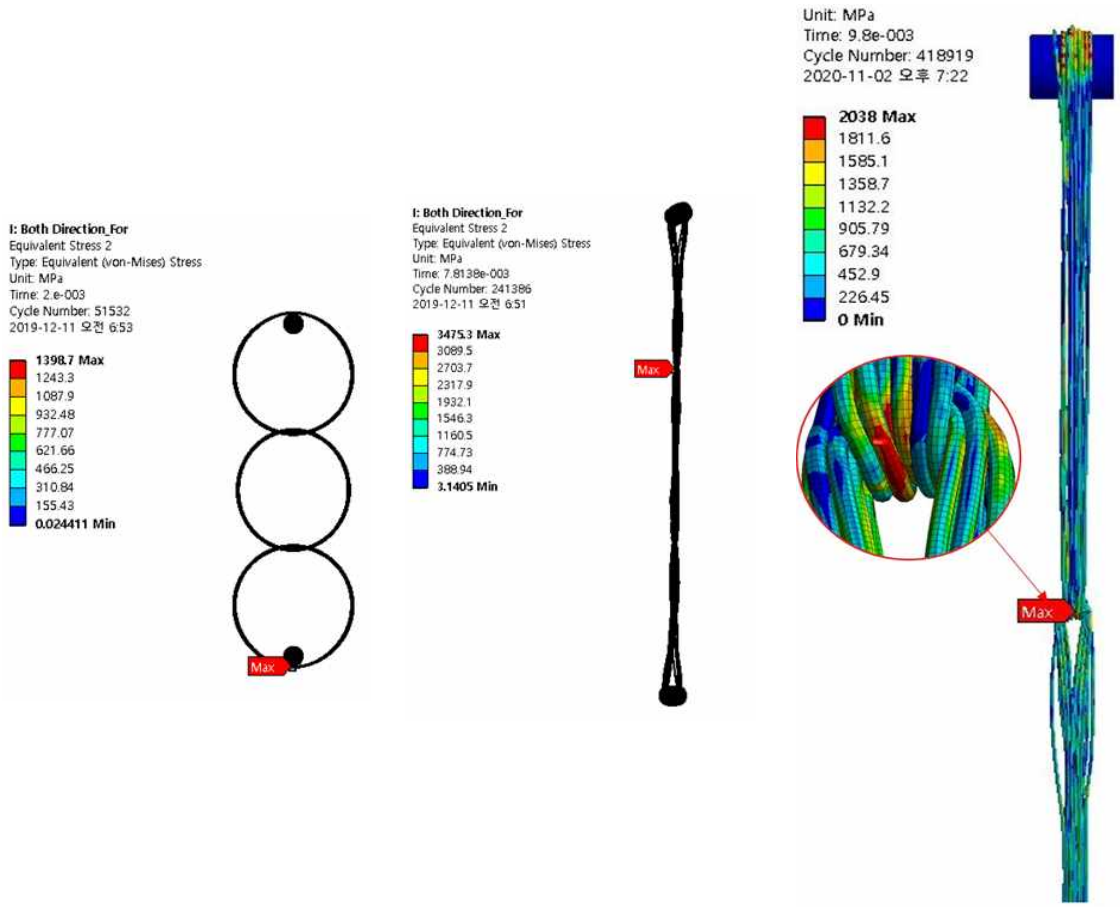
후기 선형구간(ϕ_2)의 기울기도 3-Ring을 구성하는 선재 가닥수가 많아질수록 증가하였으며, 시편의 파단하중인 F_B 하중은 시편(7/2.8/300, 12/2.8/300, 16/2.8/300, 19/2.8/300)에 따라 각각 99.0 169.7, 254.0, 300.9kN으로 설계하중 대비 각각 12.6%, 12.6%, 26.4%, 26.1% 증가된 하중에서 파단되어 대체적으로 3-Ring을 구성하는 선재의 가닥수가 증가할수록 파단하중이 크게 증가하였다. 이는 3-Ring을 구성하는 선재의 가닥수가 많아질수록 그림 3.3.2-14와 같이 3-Ring 시편의 유효직경이 증가하고 이에 따라 접속부 선재의 곡률반경이 증가하여 전단응력 대비 인장응력 발현이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 3-Ring 시편의 에너지 흡수능력은 표3.3.2-7과 같이 2.9 ~ 8.8kJ로서 기존 링형 포획망에 대한 3-Ring 시험사례(Hu Xu et al. (2013))와 비교하였을 때 유사한 성능을 발휘하는 것으로 확인된다. 따라서 시뮬레이션을 수행한 링형 포획망 3-Ring 시편을 제작하여 실물성능 시험을 수행하였

으며, 그 결과는 다음과 같다.

표 3.3.2-7 Result of 3-Ring Simulation

Division	7/2.8/300	12/2.8/300	16/2.8/300	19/2.8/300
Design Breaking Load (kN)	87.9	150.7	201.0	238.7
F_A (kN)	7.3	8.0	9.6	10.1
F_B (kN)	99.0	169.7	254.0	300.9
Design Performance Ratio (%)	112.6	112.6	126.4	126.1
ϕ_1 (mm/kN)	0.016	0.019	0.022	0.023
ϕ_2 (mm/kN)	4.748	4.982	7.664	7.746
Dissipated Energy (kJ)	2.9	5.4	7.2	8.8



(a) 0.0 sec (b) 0.1 sec (c) Detail of 0.1 sec

그림 3.3.2-8 Result of 3-Ring Simulation

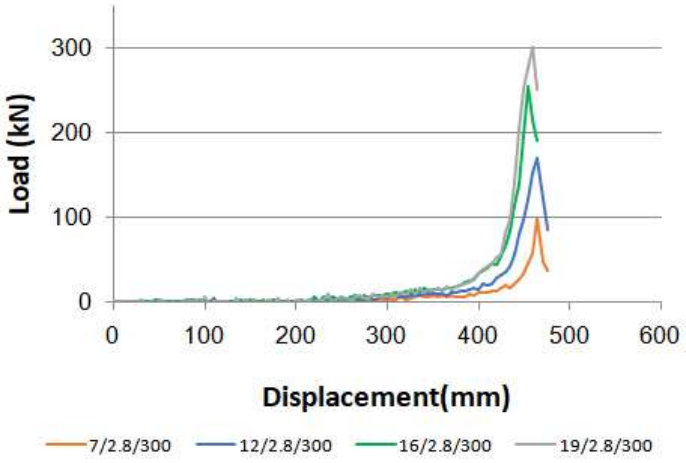


그림 3.3.2-9 Result of 3-Ring Simulation

c. 링형 포획망의 3-Ring Test

개발된 링형포획망용 3-Ring에 대한 실물성능시험은 국내에 링형포획망용 3-Ring 시험관련 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 공인인증시험기관인 ㈜한국건설시험원 부설 유니콘기술연구소와 그 방법을 조율하여 수행하였다. 실물성능시험은 유럽 관련 기준인 ETAG 027에 준하여 수행하되 시험 기관의 시험장비 성능을 고려하여 변위속도를 1mm/s로 결정하였으며, 시편 상하부의 고정은 시편 선재 직경의 4배가 넘는 제원을 갖는 1 3/4" SHACKL을 사용하여 고정하였다. 시험시 계측데이터는 LVDT에 의한 변위와 Load Sell에 의한 하중을 측정하였으며, 시험시 설치 현황은 다음과 같다.



(a) 3-RING 시험 모식도 (b) 3-RING 시험 세팅 (c) 계측기기의 설치

그림 3.3.2-10 3-RING 시험 준비 및 세팅

링형 포획망 3-Ring 실물성능 시험은 7/2.8/300 3회, 12/2.8/300 1회, 16/2.8/300 1회, 19/2.8/300 1회 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



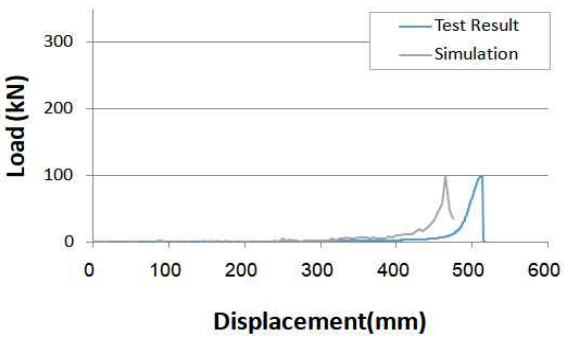
(a) 7/2.8/300_1 (b) 7/2.8/300_2 (c) 7/2.8/300_3 (d) 12/2.8/300 (e) 16/2.8/300 (f) 19/2.8/300

그림 3.3.2-11 3-RING 시험 준비 및 세팅

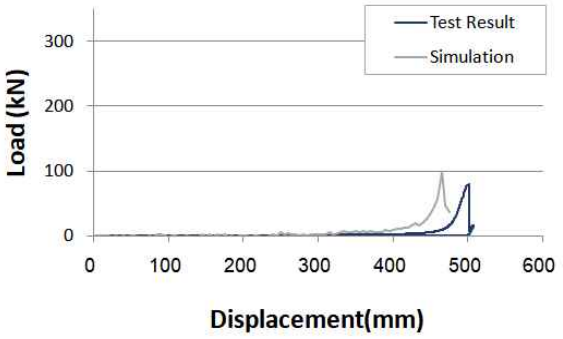


(a) 7/2.8/300_1 (b) 7/2.8/300_2 (c) 7/2.8/300_3 (d) 12/2.8/300 (e) 16/2.8/300 (f) 19/2.8/300

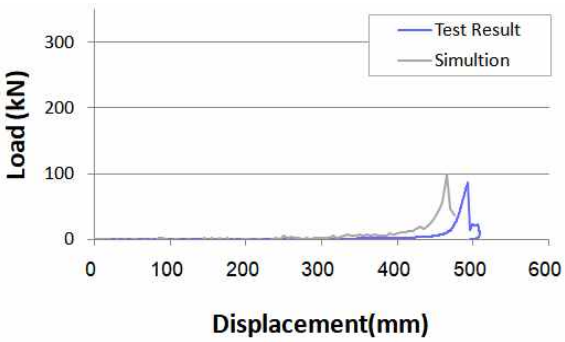
그림 3.3.2-12 3-RING 시험 결과



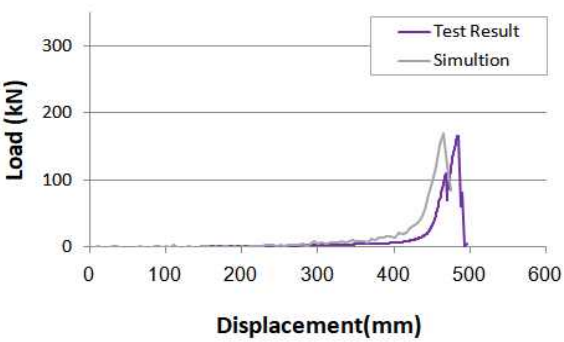
(a) 7/2.8/300_1



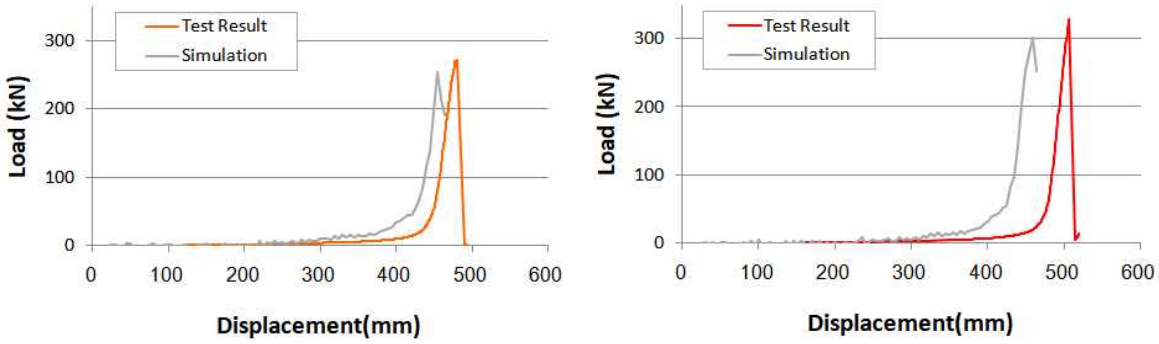
(b) 7/2.8/300_2



(c) 7/2.8/300_3



(d) 12/2.8/300



(e) 16/2.8/300 (f) 19/2.8/300

그림 3.3.2-13 3-RING 시험 결과 하중-변위 그래프

표 3.3.2-8 Result of 3-Ring Test

Division	7/2.8/300			12/2.8/300	16/2.8/300	19/2.8/300
Design Breaking Load (kN)	87.9			150.7	201.0	238.7
F_A (kN)	7.8	7.8	7.5	8.1	8.4	9.0
F_B (kN)	100.0	79.8	86.4	166.4	271.9	329.0
Design Performance Ratio (%)	113.7	90.7	98.2	110.4	135.3	137.8
ϕ_1 (mm/kN)	0.016	0.017	0.014	0.018	0.019	0.019
ϕ_2 (mm/kN)	3.49	3.38	4.15	4.49	8.37	8.96
Dissipated Energy (kJ)	3.1	3.0	2.9	5.3	7.3	8.7

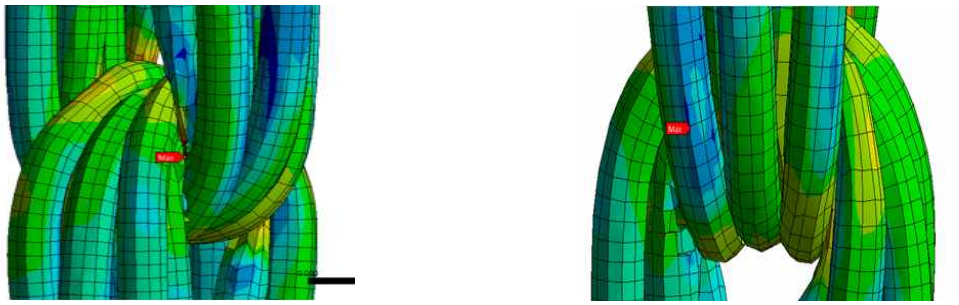
링형 포획망 3-Ring Test는 7/2.8/300 3회, 12/2.8/300 1회, 16/2.8/300 1회, 19/2.8/300 1회 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

실험결과 3-Ring Test의 일반적인 거동양상은 그림3.3.2-13과 같이 3-Ring 시험시편에 인장하중이 작용하면 3-Ring을 구성하는 원형링이 타원형으로 기하학적으로 변형을 하며 변위가 증가한 후 기하학적 변형이 완료되는 시점에 준하여 하중이 급격하게 증가하고 시편이 파단되었다.

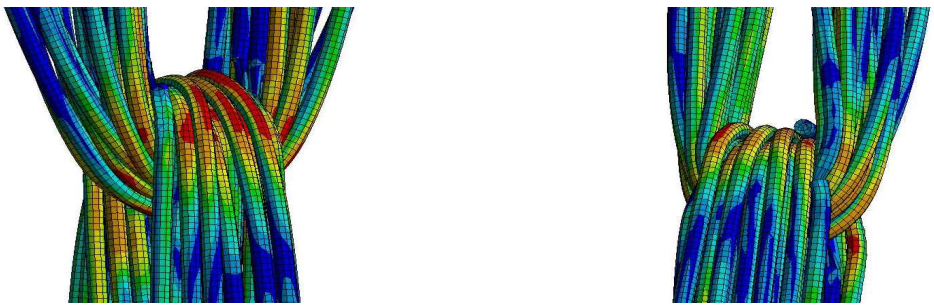
3-Ring 시편의 파괴는 그림3.3.2-15과 같이 모두 3-Ring 시편의 Ring 교점에서 발생하였다. 이와 같은 파괴 양상은 시뮬레이션 결과(그림3.3.2-14)에서도 확인 할 수 있는데 Ring 교점의 선재 중 가장 외측에 위치한 선재에서 변위와 응력이 가장 크게 발하기 때문인 것으로 판단된다.

F_A 하중과 초기 선형거동구간의 기울기(ϕ_1)는 대체적으로 3-Ring을 구성하는 선재의 가닥수가 많아질수록 증가하였다. 후기 선형구간(ϕ_2)의 기울기도 3-Ring을 구성하는 선재 가닥수가 많아질수록 증가하였으며, 시편의 파단하중인 F_B 하중은 시편(7/2.8/300, 12/2.8/300, 16/2.8/300, 19/2.8/300)에 따라 각각 78.8 ~ 100.0 166.4, 271.9, 329.0kN으로 설계하중 대비 각각 -9.2 ~ 13.8%, 10.4%, 35.3%, 37.8% 증가된 하중에서 파단되어 대체적으로 3-Ring을 구성하는 선재의 가닥수가 증가할수록 파단하중이 증가하였다. 따라서 12/2.8/300, 16/2.8/300, 19/2.8/300 시편의 경우 3-Ring을 구성하는 선재의 가닥수가 증가할수록 시뮬레이션 결과와 유사하게 ϕ_1와 ϕ_2, F_A와 F_B가 증가하는 경향이 확인된다.

그러나 가장 적은 선수로 구성된 7/2.8/300 3-Ring 시편 시험의 경우 파단하중(F_B)은 설계 파단하중 대비 90.7 ~ 113.7%인 79.8 ~ 100.0kN으로 편차가 큰 것으로 나타났다. 이는 선재의 가닥수가 적을수록 3-Ring 성능에서 한가닥의 선재가 부담하여야 하는 비중이 크며, 그림3.3.2-15와 같이 시편 유효직경이 작을 경우 3-Ring 간의 교점에서 Ring을 구성하는 선재의 재배열 상태에 따라 선재에 전단력이 더욱 크게 작용하기 때문인 것으로 판단된다.



(a) 7/2.8/300



(c) 19/2.8/300_3

그림 3.3.2-14 3-Ring Joint in 3-Ring Test Simulations



(a) 7/2.8/300



(b) 12/2.8/300



(c) 16/2.8/300



(e) 19/2.8/300

그림 3.3.2-15 3-Ring Joint of 3-Ring Test Result

d. 기존 기술과의 비교 분석

① 3-Ring Test 파단하중에 대한 비교 분석

제품개발시 2,040 MPa급 고강도 선재를 활용하여 제작한 3-Ring의 3-Ring Test 파단하중(그림 3.3.2-16. Line “design”)은 설계 제원상 기존의 1,770 MPa급 강선을 활용하여 제작하는 3-Ring의 3-Ring Test 파단하중(그림 3.3.2-16(a), Line “others”)과 유사할 것으로 가정하여 설계·제작 되었다. 그러나 실제 2,040 MPa급 고강도 선재를 활용하여 제작한 3-Ring의 3-Ring Test 파단하중은 설계된 파단하중 대비 0.8 ~ 37.8 % 향상된 성능으로 확인되었으며, 16/2.8/300 ~ 19/2.8/300 시편의 파단하중이 크게 증가하였다.

한편, 그림 3.3.2-16(a)와 같이 기존 1,770 MPa급 강선을 활용하여 제작된 3-Ring 시편에 대한 시뮬레이션과 실물성능시험결과는 파단하중 기준 9.8 ~ 33.3 %의 큰 차이를 보이지만 본 연구에서 수행된 2,040 MPa급 강선을 활용하여 제작된 3-Ring 시편에 대한 시뮬레이션과 실물성능 시험 결과는 -10.5 ~ 9.3 % 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 이는 1,770 MPa급 3 mm의 강선을 선수에 따라 동일한 단면적을 갖는 1개의 선재로 구성된 링으로 모델링하여 시뮬레이션 해석을 수행하는 기존 연구 결과 대비 2,040 MPa급 2.8 mm 강선을 7 ~ 19선으로 모델링하여 시뮬레이션 해석을 수행하는 본 연구의 방법이 실물 3-Ring Test 방법과 보다 유사하였기 때문인 것으로 판단된다.

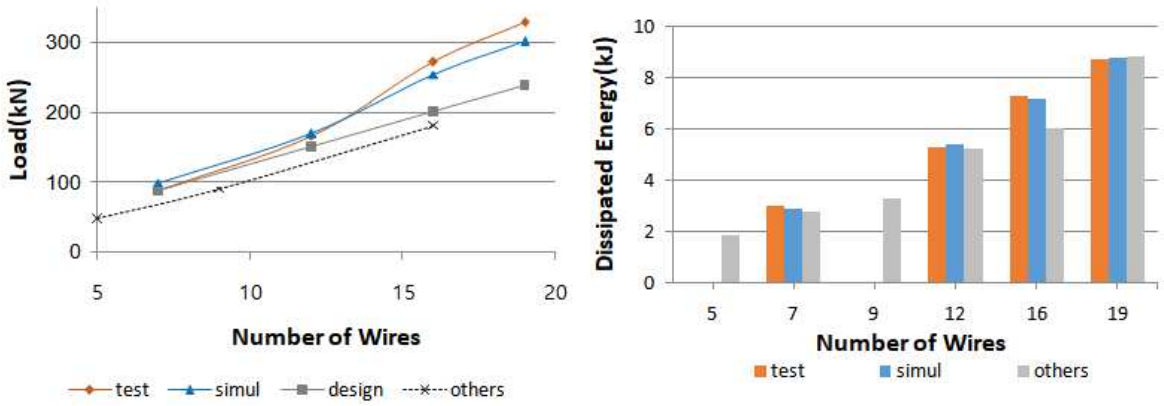


그림 3.3.2-16 Performance Comparison with Existing Product

② 3-Ring Test 하중-변위 그래프를 이용한 에너지 포획능력 비교 분석

하중-변위 그래프를 이용한 3-Ring 시편의 에너지 포획능력을 비교한 결과 그림 3.3.2-16(b) 와 같이 2,040MPa급 고강도 선재를 활용하여 제작한 3-Ring의 에너지 흡수 능력은 1,770 MPa급 선재를 활용하여 제작한 3-Ring의 에너지 흡수 능력대비 98.5 ~ 120.8 % 수준으로 확인된다.

특히 2,040 MPa급 고강도 강선을 활용한 7/2.8/300, 12/2.8/300 시편의 경우 기존 1,770 MPa급 강선을 활용한 7/3.0/300, 12/3.0/300 시편의 3-Ring 에너지 포획능력 대비 1.0 ~ 6.7 % 향상된 성능을 보여주고 있으며, 7/2.8/300 시편의 경우 7/3/300 시편의 에너지 포획능력 대비 20.8 % 향상된 성능을 보여주었다. 그러나 19/2.8/300 시편의 경우 19/3/300 시편의 에너지 포획능력 대비

1.5 % 낮은 성능을 보여주는 것으로 분석되었다.

위와 같이 2,040 MPa급 2.8 mm 고강도 강선을 활용하여 개발한 링형 포획망에 대한 3-Ring 시뮬레이션 및 Test 결과 1,770 MPa급 강선을 활용하여 제작되는 링형 포획망 대비 파단강도는 0.8 ~ 37.8 %, 에너지 포획능력은 -1.5 ~ 20.8 % 향상된 성능을 보이는 것으로 분석되었다.

한편, 본 연구를 통해 개발된 고강도 선재 링형포획망은 다음 표와 같이 고강도 선재를 사용함에 따라 링형 포획망 제작에 사용되는 선재의 자중을 약 12.9 % 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 고성능 낙석방지울타리는 낙석 포획시 고성능 낙석방지울타리의 변형량과 효과적인 낙석 포획을 위해 도로변이 아닌 산지에 설치되는 경우가 많으며, 토석류 대책시설로 활용될 경우 계곡을 따라 설치되는 경우가 많으므로 장비의 진입이 불가능하여 인력 운반을 고려하여야 한다. 이러한 경우 사용되는 자재는 가벼울 수 록 유리하며, 그 운반비 및 설치비용 절감에 매우 유리하다. 다음 표와 같이 기존 1,770 MPa급 강선을 활용하여 제작되는 링형 포획망(5 m × 3 m, 1 span 기준)의 경우 1 span에 85.5 ~ 222.3 kg의 자중을 보이는 반면, 2,040 MPa급 강선을 활용하여 제작되는 링형 포획망(5 m × 3 m, 1 span 기준)의 경우 1 span에 74.5 ~ 193.7 kg의 자중을 보인다. 이를 인력 운반할 경우 1인당 20 kg 운반 기준으로 링형 포획망 1 span 운반에 1 ~ 2명의 인력을 절감할 수 있다. 특히 고성능 낙석방지울타리 및 토석류 대책시설의 경우 설치 연장이 기본 15 m 이상이므로 소요되는 링형 포획망은 3 span 이상이며, 설치시 절감되는 인력을 고려할 경우 운반 및 설치시 인건비 절감 비용은 더 클 것으로 기대된다.

또한 포획망 자체 자중의 감소를 통해 링형 포획망이 고정되고 고성능 낙석방지울타리의 형상을 유지하는 메인케이블에 작용하는 자중을 감소시킴으로서 낙석발생시 고성능 낙석방지울타리의 거동에 보다 유리할 것으로 판단된다.

표 3.3.2-9 Ring-Net Comparison According to Required Protection Performance

Division	Protection Performance			
	250 ~500kJ	1,000 ~1,500kJ	2,000 ~3,000kJ	5,000kJ
Existing Product	7/3/300 7/3/350	12/3/300 12/3/350	16/3/300 16/3/350	19/3/300 19/3/350
	1.22kg/3-Ring	2.05kg/3-Ring	2.71kg/3-Ring	3.21kg/3-Ring
Develope Product	7/2.8/300	12/2.8/300	16/2.8/300	19/2.8/300
	1.06kg/3-Ring	1.78kg/3-Ring	2.36kg/3-Ring	2.8kg/3-Ring

표 3.3.2-10 Ring-Net Comparison According to Required Protection Performance

Division	Weight (kg)	Human Resources for Transportation	Division	Weight (kg)	Human Resources for Transportation
7/3/300	85.5	5	7/2.8/300	74.5	4
12/3/300	142.5	7	12/2.8/300	124.1	7
16/3/300	188.1	10	16/2.8/300	163.8	9
19/3/300	222.3	12	19/2.8/300	193.7	10

(2) 감쇄장치 개발

① 기존 감쇄장치 비교 분석

고성능 낙석방지울타리와 관련하여 유럽과 미국의 경우 각각 ETAG 027(EOTA, (2008)), NCHRP 24-35(AASHTO, (2015)) 등의 관련 기준에 따라 방호성능 100~5,000kJ에 해당되는 9가지 등급의 낙석방지울타리를 규정하고 있으며, 고성능 낙석방지울타리 시스템은 네트(NET), 케이블(Cable), 지지부(Foundation), 지주(Post), 에너지 감쇄장치(Energy Dissipating Device) 등으로 구성된다고 정의하고 있다. 이 중 주요 구성요소 중 하나인 에너지 감쇄장치는 일반적으로 케이블과 지지부 사이에 설치되며, 다음과 같은 두가지 역할을 수행함으로서 낙석방지울타리 시스템 성능을 결정하는데 큰 영향을 미친다.

a. 지지부 작용하중 저감효과

에너지 감쇄장치는 낙석포획시 네트와 케이블에 의해 1차적으로 저감된 충격에너지를 지지부로 전달하는 과정에서 에너지 감쇄장치 자체의 변형을 통해 충격에너지를 감쇄시키며, 이를 통해 지지부를 효과적이고 경제적으로 설계할 수 있도록 한다.

b. 낙석방지울타리 변형량 조정효과

와이어로프와 감쇄장치의 변위량은 낙석 포획시 낙석방지울타리의 변위량에 영향을 미치는데 와이어로프와 감쇄장치의 허용 변위가 클수록 지지부로 전달되는 하중은 감소하게 된다. 그러나 케이블의 탄소성 변형은 상대적으로 크지 않기 때문에 고성능 낙석방지울타리 시스템의 변형량은 결국 감쇄장치의 변형량에 의해 결정된다.

이러한 에너지 감쇄장치는 다음 그림과 같이 다양한 소재를 활용한 다양한 형태의 에너지 감쇄장치가 개발되어 활용되고 있다. 에너지 감쇄장치는 작용메커니즘에 따라 크게 하중 작용시 감쇄장치 자체의 변형과 변형량에 의해 에너지를 저감시키는 변형형(그림 3.3.2-17(a)~(b), (i))과 감쇄장치와 와이어로프 사이의 마찰로 억제시키는 마찰형(그림 3.3.2-17(c)~(e)), 변형형과 마찰형을 조합한 복합형(그림 3.3.2-17(f)~(h), (j)) 등으로 분류된다.



(a) UMM (변형형) (b) MACCAFERRI



(c) ISO200



(d) ISOFER-INCOFIL



(e) IGOR-SAFE



(f) ARTIGIANA COST



(g) GEOBRUGG type 1



(h) GEOBRUGG type 2



(i) TRUMER type 2



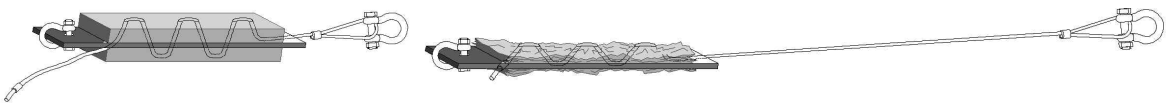
(j) TRUMER type 2

그림 3.3.2-17 국외에 적용된 감쇄장치 사례

② 감쇄장치 구상 및 개발

a. 당초 감쇄장치 구상

기술 개발을 위한 사전연구를 통해 구상한 감쇄장치(안)는 1안) 변형마찰형과 2안) 변형형이 있었다. 1안)의 경우 각관(또는 강관), 강판, 와이어로프를 활용하여 제작되는 형식으로 하중작용시 와이어로프가 각관(또는 강관)과 강판을 통과하는 동안 발생하는 마찰과 각관(또는 강관)의 찌그러짐으로 인한 변형에 의해 작용하는 하중을 감쇄시키는 형식이었으며, 2)안의 경우 강관으로 제작되어 하중작용시 강관의 변형에 의해 작용하는 하중을 감쇄시키는 형식이었다. 1안)의 경우 마찰과 변형에 의한 하중 감쇄 효과가 클 것으로 예상되나 마찰에 의한 하중감쇄 효과의 검증과 시뮬레이션(수치해석) 검증이 어려운 한계가 있으며, 생산비용이 높을 것으로 예상되며, 2안)의 경우 변형에 의한 하중감쇄 효과의 검증과 시뮬레이션(수치해석) 검증이 비교적 용이 할 것으로 판단되나 제품화에 정밀 가공이 필요할 것으로 예상되었다.



(a) 하중 작용 전 (b) 하중 작용 후

그림 3.3.2-18 감쇄장치 구상안 1안(변형마찰형)



(a) 하중 작용 전 (b) 하중 작용 후

그림 3.3.2-19 감쇄장치 구상안 2안(변형형)

b. 최종 감쇄장치 구상

최근 개발된 감쇄장치에 대한 비교 분석을 수행한 결과 최근 개발된 감쇄장치는 아래 그림과 같이 강재의 변형과 마찰작용을 활용하고 있는 것으로 확인되었다. 아래의 그림과 같이 G사는 강봉 또는 판재의 롤링에 의한 변형과 마찰 작용을 활용한 감쇄장치를 개발/적용하고 있으며, T사는 ㄱ형강의 롤링에 의한 변형과 마찰 작용을 활용한 감쇄장치를 개발/적용하고 있는 것으로 확인된다.

기존 개발된 에너지 감쇄장치 중 가장 최근에 개발된 감쇄장치의 경우(그림 3.3.2-20) 마찰과 변형 특징을 모두 갖는 복합형 형태를 띠고 있으며, 감쇄장치 몸체와 부재의 분리와 결합이 용이하도록 고려되는 등 유지관리 측면에서 진보된 형식을 띠고 있다. 특히 동일한 감쇄장치 몸체를 바탕으로 다양한 형태와 길이 감쇄 부재를 체결함으로서 감쇄장치의 성능을 조정하기 매우 유리한 것이 특징이다. 본 연구에서는 최근 개발되고 있는 에너지 감쇄장치 개발 연구 및 사례를 바탕으로 유사한 개념의 감쇄장치를 구상하였으며, 그 결과는 그림 3.3.2-21과 같다. 고안된 감쇄장치는 감쇄장치 몸체를 원형 강관의 감쇄 부재가 통과하면서 발생하는 변형과 마찰에 의해 기능이 발휘되도록 하였으며, 추가적으로 와이어로프를 감쇄장치 몸체에 채결한 후 여유장을 두고 지지부에 연결함으로서 감쇄장치가 성능을 다하거나 파손될

경우 와이어로프가 힘을 발휘 할 수 있도록 하는 등의 안전장치를 추가하였다.



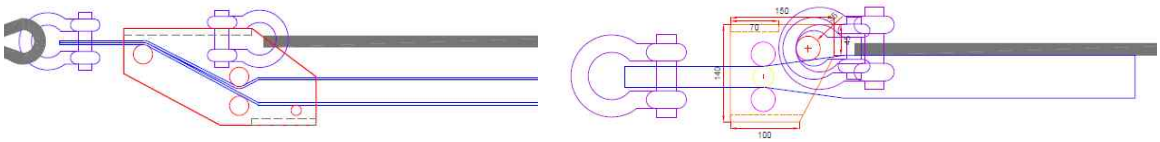
(a) G사 신형 감쇄장치 개발/적용 사례



(b) T사 신형 감쇄장치 개발/적용 사례

그림 3.3.2-20 최근 감쇄장치 개발 사례

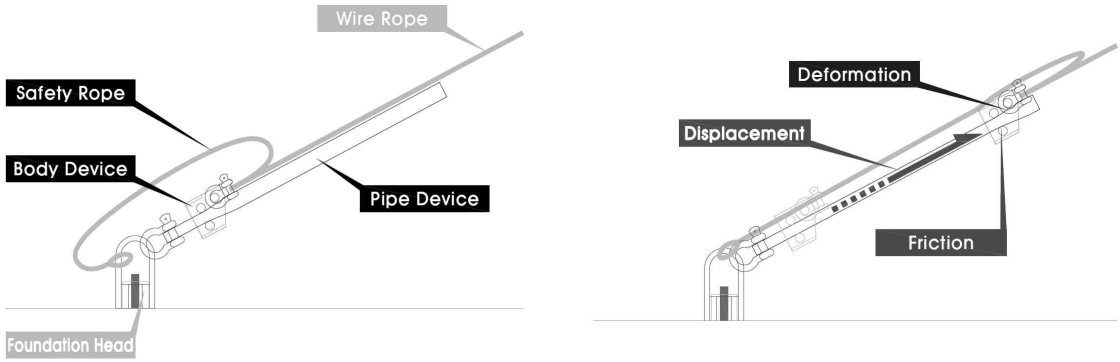
본 연구에서는 위와 같은 최근 감쇄장치 개발 사례 및 트렌드에 맞춰 강재의 롤링에 의한 변형과 마찰 작용을 활용한 감쇄장치를 구상하였다. 그러나 기 개발된 감쇄장치의 지적재산권을 회피하기 위하여 강관(파이프)의 롤링에 의한 변형과 마찰 작용을 활용한 감쇄장치를 개발하는 것으로 결정하였으며, 그 구상안은 다음과 같다.



(a) 감쇄장치 구상안과 시제품 (1안) (b) 감쇄장치 구상안과 시제품 (2안)

그림 3.3.2-21 감쇄장치 구상안

고안된 감쇄장치는 감쇄장치 몸체를 감쇄부재인 파이프가 통과하면서 발생하는 변형과 마찰에 의해 기능이 발휘되도록 고려하였으며, 추가적으로 와이어로프를 감쇄장치 몸체에 채결한 후 여유장을 두고 지지부에 연결함으로서 감쇄장치가 성능을 다하거나 파손될 경우 와이어로프가 힘을 발휘 할 수 있도록 하는 등의 안전장치를 추가하였다.



(a) Pre-operation Energy Dissipating Device (a) Post-operation Energy Dissipating Device

그림 3.3.2-22 Concept of Energy Dissipating Device

c. 감쇄 부재 선정 및 시험

에너지 감쇄장치의 감쇄부재인 파이프는 경제성 확보를 위하여 상용화된 파이프를 활용하는 것으로 결정하였으며, 에너지 감쇄장치가 낙석방지울타리 상하부의 메인 케이블에 연결되어 지지부에 결속되므로 감쇄부재인 파이프의 파괴강도가 메인 케이블용 와이어로프에 준하는 강도를 갖는 사양으로 고려하였다.

고성능 낙석방지울타리의 경우 일반적으로 다음 표 3.3.2-11과 같이 방호성능 등급에 따라 직경 D18 ~ 25mm의 IWRC 6×36 와이어로프를 활용하고 있으므로 이를 고려하여 감쇄부재 시험용 파이프를 선정하였으며, 그 제원은 다음 표 3.3.2-12와 같다.

표 3.3.2-11 Characteristic of Wire Rope(6X36 IWRC) for Rockfall Barrier

Division	D18	D20	D22	D25
Tensile Strength(kN)	214	265	332	414
Rockfall Barrier Class	~ 1,000kJ class	~ 2,000kJ class	2,000 ~ kJ class	

표 3.3.2-12 Characteristic of Pipe for Energy Dissipating Device

Division	D60.5, 1.8t	D60.5, 3.2t	D60.5, 5.5t
Area (mm)	331.9	576.0	693.5
Tensile Strength (kN)	117.8	204.5	337.4

선정된 감쇄부재 시험용 파이프를 대상으로 파이프가 일정 간격으로 배치된 강봉을 통과하며 발생하는 거동양상을 확인하기 위하여 그림 3.3.2-23 과 같은 파이프 롤링 시험을 수행하였다. 시험방법은 다음 그림과 같이 롤링 간격을 조정할 수 있는 외부지그와 파이프 시편을 고정시키는 내부지그로 구성된 파이프 롤링 시험 지그를 고안하여 압축 시험기에 거치한 후 시험을 수행하였다. 시험에 사용된 감쇄부재인 파이프는 직경 60.5mm, 5.5t의 배관용 탄소강관(KS D 3507)을 사용하였으며, 파이프 롤링 간격을 25, 30, 35, 40mm로 조정하여 수행하였다.


(a) Pipe Rolling Test Zig


(b) Pipe Rolling Test Setting


(c) Pipe Rolling Test


(d) Result of Pipe Rolling Test

그림 3.3.2-23 Pipe Rolling Test

본 시험은 핸드 유압기로 수행한 개략시험으로서 각 시험조건이 상이하여 직접적인 비교는 힘들지만 롤링 간격이 작을수록 최대 롤링하중이 상승하였다(표 3.3.2-13). 그러나 롤링간격 40, 35mm 시험의 경우 시편의 탄성거동이 끝나고 소성변형이 시작되는 감쇄부재의 활성점(Activation Point)인 F_A 하중이 확인되는 반면, 롤링간격 30, 25mm 시험의 경우 감쇄부재의 활성점이 명확히 구분되지 않은 특징을 보인다.

위와 같은 거동특성에 따라 감쇄장치용 파이프의 롤링간격은 40 또는 35mm가 가장 적합할 것으로 판단되며, 본 연구에서는 롤링간격 40mm를 갖는 감쇄장치를 개발하였다.

표 3.3.2-13 Result of Pipe Rolling Test

Division	Pipe Rolling Space (mm)			
	25	30	35	40
Max Load (kN)	95.6	85.8	76.2	48.6
F_A Load (kN)	-	-	57.2	36.5

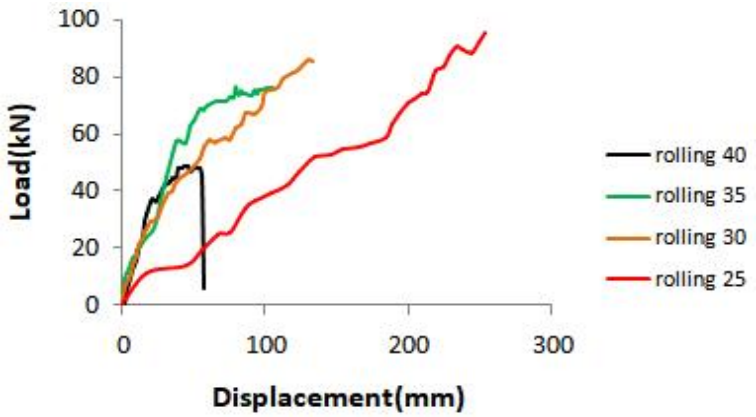
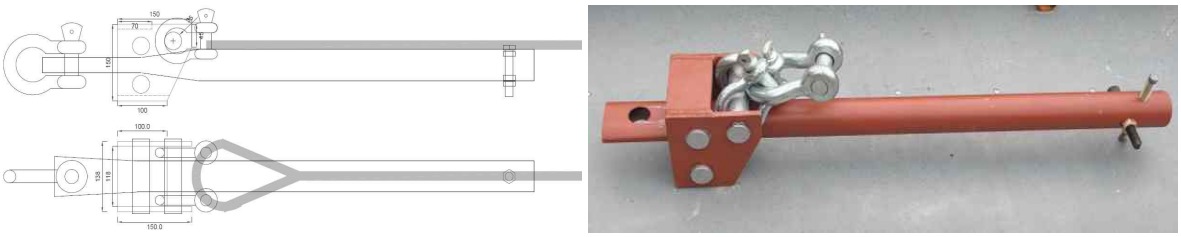


그림 3.3.2-24 Load-Displacement Curve of Pipe Rolling Test Result

d. 에너지 감쇄장치 상세 설계 및 제작

에너지 감쇄장치 대한 구상 및 감쇄부재에 대한 시험 결과를 바탕으로 한 에너지 감쇄장치 상세 설계 및 시제품은 다음 그림과 같다. 감쇄장치 몸체 및 강봉은 일반 구조용 압연 강재(KS D 3503)에 적합한 SS275 강종을 사용하였으며, 감쇄 부재는 일반 구조용 탄소 강관(KS D 3566) 및 배관용 탄소강관(KS D 3507)에 적합한 외경 D60.5mm의 자재를 사용하였다. 양단인 지지부 및 와이어로프 체결부는 가장 일반적으로 사용하는 미국 연방규격 RR-C-271D Type IVA, Grade A, Class 3에 적합한 샤클을 사용하였다.



(a) Detail Design of Energy Dissipating Device (b) Prototype of Energy Dissipating Device

그림 3.3.2-25 Energy Dissipating Device

③ 감쇄장치의 성능평가

a. 감쇄장치의 시험 방법

고성능 낙석방지울타리 시스템을 구성하는 요소자재들의 시험기준은 ETAG 027에서 상세히 규정하고 있으며, 고성능 낙석방지울타리 시스템을 구성하는 에너지 감쇄장치에 관한 시험방법에 대해서도 서술하고 있다.

에너지 감쇄장치의 시험은 시험시편의 고정과 시스템 안정화를 위해 약간의 장력을 가하였다가 시험 시작전 장력을 0으로 셋팅하도록 하고 있으며, 시편이 파단될 때까지 2mm./s의 속도로 인장력을 재하하여 시험을 수행하도록 하고 있다. 이와 같은 방법에 따라 에너지 감쇄장치에 대한 시뮬레이션

및 실물성능시험을 수행한 사례의 예는 다음과 같다(Ignacio Olmedo et al. (2017).; Castanon-Jano et. al. (2017).; Hu Xu et al. (2013).; Castro-Fresno D et al. (2009).; Grassl H et al. (2003)).

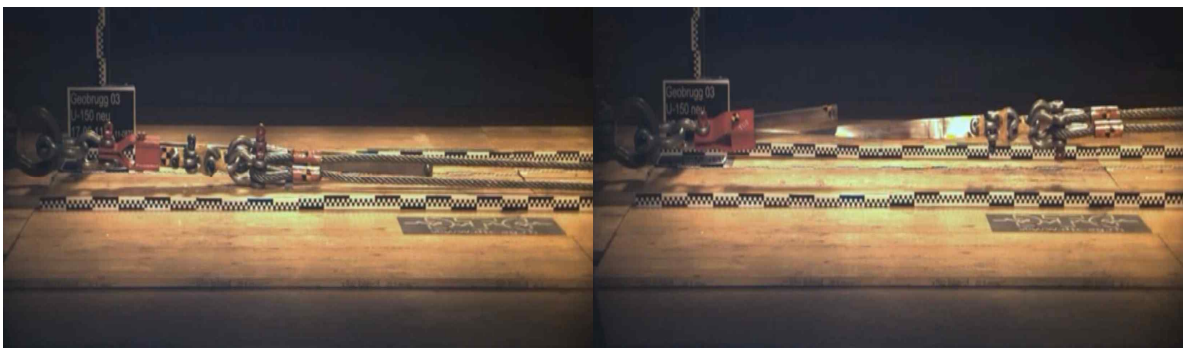
표 3.3.2-14 유럽 ETAG 027 내 감쇄장치 성능평가 방법

ETAG 027 GUIDELINE FOR EUOPEAN TECHNICAL APPROVAL OF FALLING ROCK PORTECTION KITS
ANNEX C. IDEXTIFICATION TESTS C.2 Test on energy dissipating devices C.2.1 Test specimen The specimen is one “energy dissipating device” part of the falling rock proection kit. The producer shall provide all the geometrical and mechanical properties of the device and a drawing before the SEL test. C.2.2 Test procedure C.2.2.1 Geometrical properties Befor the SEL and MEL tests a geometrical check of the “energy dissipating device” shall be carried out and the measurements are reported in the test report. C.2.2.2 Laboratory test The “energy dissipating device” to be tested is mounted in a calibrated test traction rig and a slight tension is given to stabilize the system, then the force is reduced again th zero before the test start. Next, the “energy dissipating devices” is tensioned by the test machine with a recommended displacement speed of 2mm/s. The testing machine shall be of class 1 (EN ISO 7500-1). The total elongation of the device shall correspond th its maximum elongation (if lower than 1m) or to an elongation of 1m.



(a) 하중 작용 전 감쇄장치(Brake Ring) (b) 하중 작용 후 감쇄장치(Brake Ring)

그림 3.3.2-26 하중 작용에 따른 GEOBRUGG 사 감쇄장치(Brake Ring type)의 변형



(a) 하중 작용 전 감쇄장치(U-Brake TYPE) (a) 하중 작용 후 감쇄장치(U-Brake TYPE)

그림 3.3.2-27 하중 작용에 따른 GEOBRUGG 사 감쇄장치(U-Brake type)의 변형



(a) Tensile Test (b) Simulation

그림 3.3.2-28 Developement Example of Energy Dissipating Device

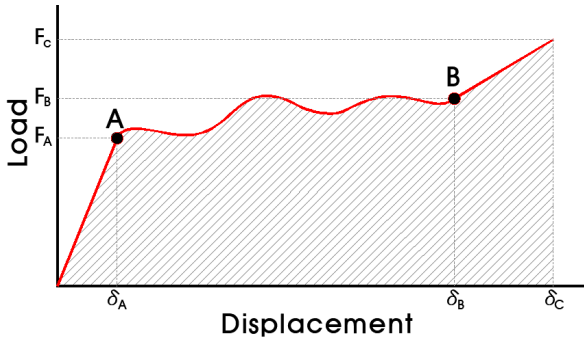


그림 3.3.2-29 Typical Load-Displacement Curve from a Quasi-Static Test

위와 같은 에너지 감쇄장치에 대한 시험방법은 준정적시험(Quasi-Static Test)으로 불리며, 일반적인 시험 결과는 그림 3.3.2-29와 같은 양상을 띤다. 감쇄장치에 하중이 작용하면, 그림 3.3.2-29의 A지점인 F_A하중까지 하중-변위간 선형거동을 보이는 초기 탄성 구간(Initial Elastic Section)을 갖으며, 이후 감쇄장치의 특성에 따라 다양한 거동양상을 보이는데 이때 A지점은 감쇄장치 활성점(Activation Point)으로 정의된다.

이후 F_A-F_B구간은 감쇄장치가 기능을 발휘하는 구간으로 주요감쇄구간(Main Dissipation Mechanism Section)으로 정의되며, 감쇄장치의 특성에 따라 선형, 지그재그, 물결형, 복합형 등의 다양한 거동양상을 보인다. 감쇄구간이 끝나는 B지점인 F_B하중은 감쇄장치 경화점(Stiffening Point)으로 정의되며, 이후의 구간은 케이블 거동 구간(Single Cable Behavior)으로 정의된다. 일반적으로 F_B하중 이후에는 보조케이블이나 추가거동 방지장치 등 감쇄장치의 특성에 따라 하중이 증가한 후 파괴되는 양상을 보인다(Castanon-Jano et. al. (2017)).

한편, 감쇄장치에 대한 준정적시험 후 도식화된 그래프에서 하중-변위 그래프의 면적(그림 3.3.2-29의 빗금영역)은 다음식 Eq.(1).에 의하여 감쇄장치가 발휘한 감쇄에너지로 정의할 수 있다.

$$W = F \cdot S \qquad \text{Eq.(1).}$$

여기서, W = 감쇄에너지(J)

F = 힘(N)

S = 이동거리 또는 변위(m)

b. 감쇄장치 시뮬레이션 분석

현재 에너지 감쇄장치에 대한 실물성능 시험에 관한 연구 사례 및 재품개발 사례가 매우 부족하기 때문에 재품개발에 있어 많은 시행착오 및 반복 시험이 필요할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 설계된 감쇄장치에 대한 성능 확인을 위해 우선적으로 상용 유한요소해석 프로그램인 Explict Dynamics을 활용하여 동적구조해석을 수행하였으며, 이를 실물성능시험과 비교하였다.

에너지 감쇄장치에 대한 시뮬레이션은 실제 낙석 발생시 에너지 감쇄장치의 거동 특성을 고려하여 전체 거동시간을 약 0.1s 조건으로 수행하였으며, 적용한 입력물성치 및 모델링 결과는 다음과 같다.

특히, 감쇄장치의 성능을 결정하는 감쇄부재인 파이프는 재료의 비선형적인 특성을 고려하기 위해 bilinear curve를 사용하였으며, 그 외 다른 부재들은 선형재료를 적용하여 수치해석을 수행하였다.

표 3.3.2-15 Characteristic of Energy Dissipating Device for Simulation

Yield Strength	Modulus of Elasticity	Poisson's Ratio
355 MPa	2E+05 MPa	0.3

a. D60.5-1.8t 재원의 파이프를 활용한 감쇄장치

F_A하중 4.4 kN까지 초기 탄성구간을 갖으며, 감쇄장치 경화점인 F_B하중 15.9 kN까지 감쇄장치가 기능을 발휘하는 주요감쇄구간을 갖는다. 예상되는 감쇄장치의 성능은 12.5 kJ/m으로 분석되었다.

b. D60.5-3.2t 재원의 파이프를 활용한 감쇄장치

F_A하중 13.3 kN까지 초기 탄성구간을 갖으며, 감쇄장치 경화점인 F_B하중 59.5 kN까지 감쇄장치가 기능을 발휘하는 주요감쇄구간을 갖는다. 예상되는 감쇄장치의 성능은 50.1 kJ/m으로 분석되었다.

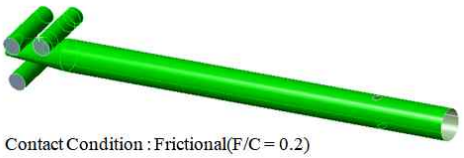
c. D60.5-5.5t 재원의 파이프를 활용한 감쇄장치

F_A하중 40.7 kN까지 초기 탄성구간을 갖으며, 감쇄장치 경화점인 F_B하중 173.9 kN까지 감쇄장치가 기능을 발휘하는 주요감쇄구간을 갖는다. 예상되는 감쇄장치의 성능은 143.5 kJ/m으로 분석되었다. 한편, F_B하중은 감쇄부재인 파이프 롤링시험시 확인된 하중 36.5 kN 보다 높은 것으로 분석되었는데 이는 파이프 롤링시험시 파이프에 가해지는 하중 방향이 파이프의 축방향과 동일하였지만 감쇄장치에 가해지는 하중 방향은 감쇄장치 몸체와 파이프의 간섭으로 인하여 파이프의 축방향에서 15° 기울어져 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

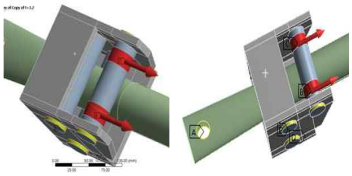
감쇄부재인 파이프 두께에 따른 3가지 형식의 감쇄장치에 대한 시뮬레이션 결과 D60.5-3.2t 제원의 파이프를 감쇄부재로 선정하여 제작한 감쇄장치가 가장 적합할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 D60.5-1.8t 파이프를 활용한 감쇄장치 실물시험 1회, D60.5-3.2t 파이프를 활용한 감쇄장치 실물시험 3회, D60.5-5.5t 파이프를 활용한 감쇄장치 실물시험 1회를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



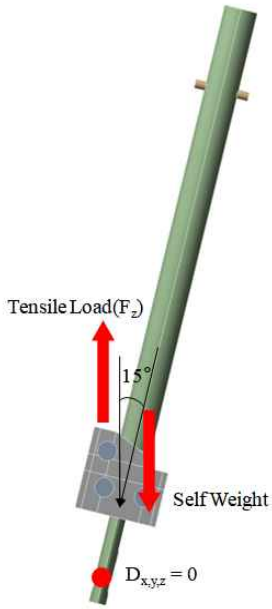
(a) Modeling Element



(b) Contact Condition

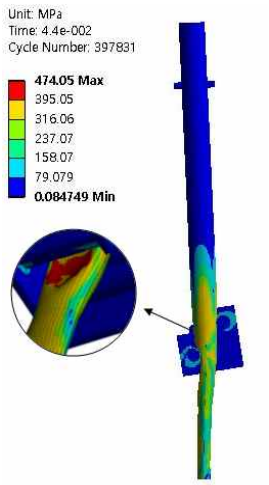


(c) Constrain Condition

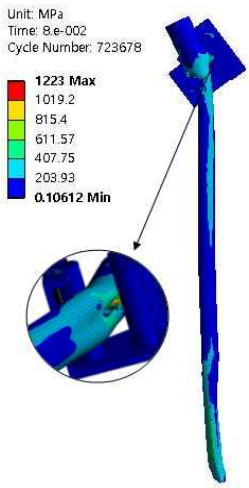


(d) Load & Boundary Condition

그림 3.3.2-30 Modeling of Energy Dissipating Device for Simulation



(a) 0.044 sec



(b) 0.080 sec

그림 3.3.2-31 Result of Energy Dissipating Device Simulation

표 3.3.2-16 Result of Energy Dissipating Device Simulation in Real Test Condition

Division	D60.5-1.8t	D60.5-3.2t	D60.5-5.5t
F_A Load (kN)	4.4	13.3	40.7
F_B Load (kN)	15.9	59.5	173.9
F_C Load (kN)	-	70.0	-
δ_A Dis. (mm)	18.0	24.3	23.6

δ_B Dis. (mm)	755.4	785.5	820.6
δ_C Dis. (mm)	-	816.4	-
E_{abc}/δ (kJ/m)	12.5	50.1	143.5

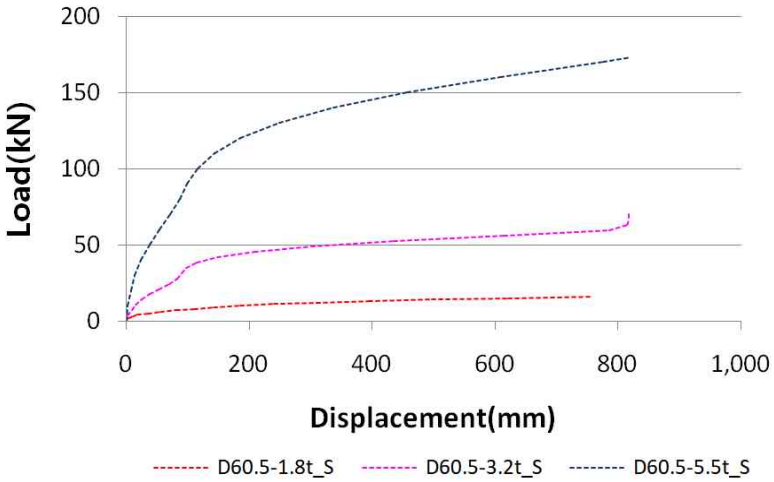
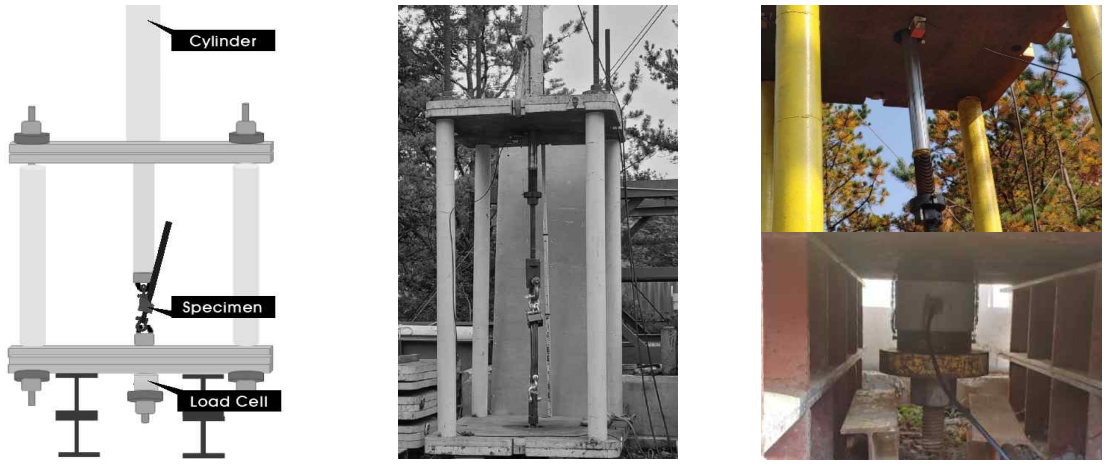


그림 3.3.2-32 Load-Displacement Graph of Energy Dissipating Device Test Result

c. 감쇄 장치 실물성능 실험

개발된 에너지 감쇄장치에 대한 실물성능시험은 국내에 에너지 감쇄장치에 관한 시험관련 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 공인인증시험기관인 ㈜한국건설시험원 부설 유니콘기술연구소와 그 방법을 조율하여 수행하였다. 실물성능시험은 유럽 관련 기준인 ETAG 027에 준하여 수행하되 시험 기관의 시험장비 성능을 고려하여 변위속도를 1 mm/s로 결정하였으며, 시험시 계측데이터는 LVDT에 의한 변위와 Load Sell에 의한 하중을 측정하였다.



(a) 감쇄장치 시험 모식도 (b) 감쇄장치 시험 세팅 (c) 계측기기의 설치

그림 3.3.2-33 감쇄장치 시험 준비 및 세팅

감쇄장치에 대한 실물성능시험은 그림 3.3.2-35와 같이 D60.5-1.8t 1회, D60.5-3.2t 3회, D60.5-5.5t 1회, 총 5회를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

○ D60.5-1.8t 제원의 파이프를 활용한 감쇄장치

F_A하중 4.2kN까지 초기 탄성구간을 갖으며, 감쇄장치 경화점인 F_B하중 12.1kN까지 감쇄장치가 기능을 발휘하는 주요감쇄구간을 갖는다. 예상되는 감쇄장치의 성능은 12.2kJ/m으로 분석되었다.

○ D60.5-3.2t 제원의 파이프를 활용한 감쇄장치

F_A하중 10.0~12.5kN까지 초기 탄성구간을 갖으며, 감쇄장치 경화점인 F_B하중 39.9~42.6kN까지 감쇄장치가 기능을 발휘하는 주요감쇄구간을 갖는다. 예상되는 감쇄장치의 성능은 52.8~60.2kJ/m으로 분석되었다.

○ D60.5-5.5t 제원의 파이프를 활용한 감쇄장치

F_A하중 67.2kN까지 초기 탄성구간을 갖으며, 감쇄장치 경화점인 F_B하중 166.2kN까지 감쇄장치가 기능을 발휘하는 주요감쇄구간을 갖는다. 예상되는 감쇄장치의 성능은 171.9kJ/m으로 분석되었다.

감쇄장치에 대한 실물시험 결과 감쇄장치 활성점인 F_A하중은 시뮬레이션 결과 대비 유사하거나 높게 측정되었으며, D60.5-5.5t 제원의 파이프를 활용한 감쇄장치의 경우 시뮬레이션 보다 약 1.65배 높은 값으로 측정되었다. 이와 같은 이유는 감쇄장치 몸체를 와이어로프에 체결할 때 감쇄장치 몸체에 3/4” 샤클을 2개 체결한 후 1” 샤클로 고정부(또는 와이어로프)에 연결하였는데 연결된 샤클이 감쇄 부재인 파이프에 밀착되면서 마찰을 발생시켜 감쇄 부재인 파이프의 롤링시 하중을 상승하게 한 것으로 판단된다(그림 3.3.2-38).

감쇄장치 경화점인 F_B하중까지인 F_A-F_B구간의 경우 시뮬레이션에서 지속적으로 하중이 증가하는 것으로 분석되었으나 실제 실물성능시험 결과 하중이 증가 된 후 유지되거나 증가한 후 소폭 감소하는 특성을 보이며, 경화점인 F_B하중 직전에 5~10kN이 감소하는 경향이 확인되었다. 이는 감쇄부재인 파이프의 변형이 한계 이상으로 발생하는 것을 억제하기 위하여 스토퍼 역할을 하는 볼트를 체결하기 위하여 파이프를 천공하였기 때문인 것으로 판단된다(그림 3.3.2-39)

한편, 감쇄장치의 최대 하중인 F_C하중의 경우 Stopper가 모델링이 되지 않은 시뮬레이션에서는 확인이 되지 않으나 Stopper를 설치한 실물시험에서는 확인된다. D60.5-1.8t 제원의 파이프를 활용한 감쇄장치의 경우 F_C하중은 F_B하중 대비 약 20kN 증가되며, D60.5-3.2t 제원의 파이프를 활용한 감쇄장치의 경우 F_C하중은 F_B하중 대비 약 40kN 증가되는 것을 확인하였다. 이는 Stopper로 활용되는 볼트의 강도뿐만 아니라 Stopper가 설치되는 파이프의 강도에 의해서도 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.



(a) D60.5-1.8t (b) D60.5-3.2t, Test 1 (c) D60.5-3.2t, Test 2 (d) D60.5-3.2t, Test 3 (e) D60.5-5.5t

Fig. 3.3.2-34 Energy Dissipating Device Test Setting



(a) D60.5-1.8t (b) D60.5-3.2t, Test 1 (c) D60.5-3.2t, Test 2 (d) D60.5-3.2t, Test 3 (e) D60.5-5.5t

그림. 3.3.2-35 Result of Energy Dissipating Device Test

표 3.3.2-17 감쇄장치 시험 결과

구분	D60.5-1.8t	D60.5-3.2t test 1	D60.5-3.2t test 2	D60.5-3.2t test 3	D60.5-5.5t
F_A Load (kN)	4.2	11.8	10.0	12.5	67.2
F_B Load (kN)	28.4	42.0	39.9	42.6	166.2
F_C Load (kN)	30.2	82.7	83.4	85.8	-
δ_A Dis. (mm)	10.6	9.4	6.65	9.92	28.8
δ_B Dis. (mm)	811.4	765.0	753.6	759.1	905.4
δ_C Dis. (mm)	816.2	814.9	815.8	806.14	-
E_{abs}/δ (kJ/m)	12.2	60.2	54.3	52.8	171.9

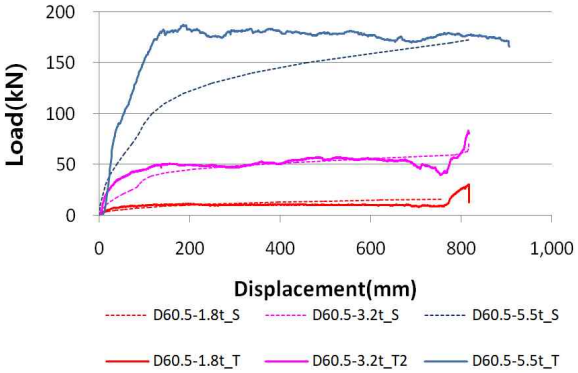
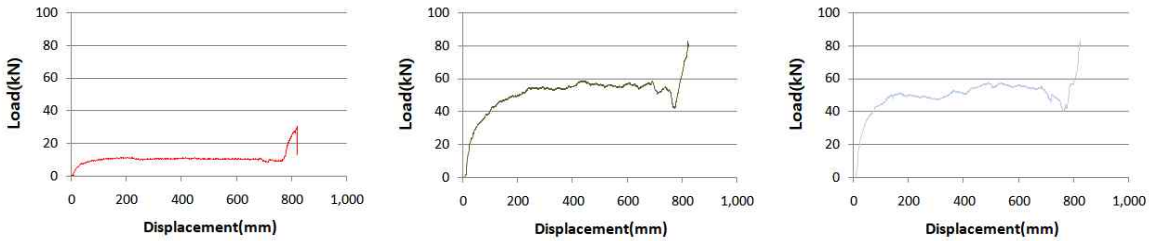
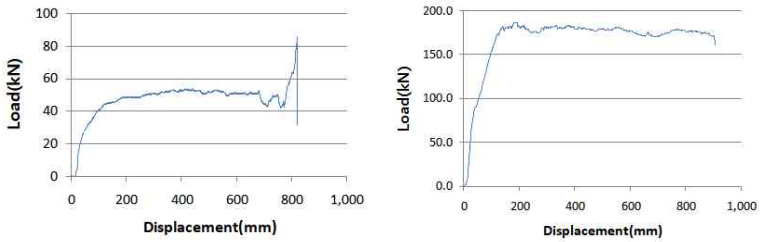


그림 3.3.2-36 Load-Displacement Graph of Energy Dissipating Device Test Result



(a) D60.5-1.8t (b) D60.5-3.2t, Test 1 (c) D60.5-3.2t, Test 2



(d) D60.5-3.2t, Test 3 (e) D60.5-5.5t

Fig. 3.3.2-37 Load-Displacement Curve of Energy Dissipating Device Test Result



(a) 감쇄부재 파이프와 샤클의 마찰 (b) 감쇄장치 변형 축

그림 3.3.2-38 개발 감쇄장치의 거동 특성



(a) Installation of Stopper



(b) Effect of Stopper

그림 3.3.2-39 Installation and Effect of Stopper

d. 기존 기술과의 비교 분석

기존 개발된 감쇄장치에 대한 실험결과(Castanon- Jano et. al. (2017))와 본 연구를 통해 개발된 감쇄장치의 실험결과 비교 결과는 표3.3.2-18과 같다. 표와 같이 개발된 감쇄장치 중 기존 개발된 감쇄장치와 유사한 거동을 특성을 보이는 것은 D60.5-3.2t와 D60.5-5.5t 파이프를 감쇄부재로 사용하는 감쇄장치인 것으로 확인된다.

특히 D60.5-3.2t 파이프를 감쇄부재로 활용한 감쇄장치의 경우 기존 개발된 감쇄장치의 거동특성과 가장 유사하며, 평균적인 감쇄효과를 발휘하는 것으로 확인되었다.

D60.5-5.5t 파이프를 감쇄부재로 활용한 감쇄장치의 경우 초기 거동(F_C , δ_A)은 기존 개발된 감쇄장치와 유사한 거동을 보이지만, 감쇄장치 경화점 하중 F_B가 상대적으로 매우 크기 때문에 전체적인 감쇄효과는 매우 클 것으로 판단된다. 그러나 D60.5-1.8t, D60.5-3.2t 파이프를 활용한 감쇄장치의 거동양상과 다소 상이하므로 추가적인 시험과 검토가 필요할 것으로 판단된다.

한편, D60.5-1.8t 파이프를 감쇄부재로 활용한 감쇄장치의 경우 거동특성이 기존 개발된 감쇄장치에 비해 매우 낮은 것으로 확인되며, 이에 따라 고성능 낙석방지울타리에 대한 감쇄장치로의 사용은 어려울 것으로 판단된다.

표 3.3.2-18 해외 고성능 낙석방지울타리를 구성하는 감쇄장치 성능과의 비교

구분	MACCA -FERRI	GEO -BRUGG	VARI	GITECO	개발 감쇄장치		
					1.8t	3.2t	5.5t
F_A Load (kN)	38.0	75.7	27.0 ~182.0	7.0 ~60.0	4.2	10.0 -12.5	67.2
F_B Load (kN)	62.0	-	27.0 ~182.0	20.0 ~78.0	12.1	29.9 -42.6	166.2
F_C Load (kN)	95.0	260.0	-	140.0 ~160.0	30.2	82.7 -85.8	-
δ_A Dis. (mm)	150.0	26.5	12.7 ~38.0	53.0 ~100.0	10.6	6.7 -9.9	28.8
δ_B Dis. (mm)	1010.0	-	381.0	180.0 ~720.0	811.4	759.1 -765.0	905.4
δ_C Dis. (mm)	1035.0	920.0	-	790.0 ~870.0	816.2	806.1 -815.8	-
E_{abs}/δ (kJ/m)	24.6	59.4	26.1 ~75.8 ~103.0	13.0 ~53.5 ~68.2	12.2	52.8 -60.2	171.9

(3) 지지부 개발

① 기존 지지부 비교 분석

고성능 낙석방지울타리의 경우 방호효과 극대화를 위해 안정성 검토를 통해 설치 위치가 결정되므로 경우에 따라 시공 중장비의 진입이 어려운 곳에 설치 될 수 있으며, 지반 및 토층 조건이 불리하여 지지력 확보에 어려움이 발생 할 수 있다. 따라서 시공 중장비의 진입 없이 인력으로 시공이 가능하며, 지지력을 최대한 확보 할 수 있도록 개발 하는 것이 매우 중요한 과제이다.

국외 고성능 낙석방지울타리의 지지부는 락볼트, 네일, 와이어로프 등을 활용하여 제작되고 있으며 그 예는 다음과 같다.

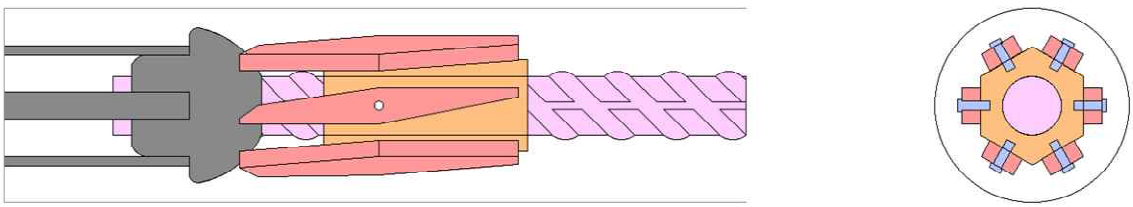


(a) 와이어로프 활용 지지부 (b) 락볼트/네일 활용 지지부 1 (c) 락볼트/네일 활용 지지부 2

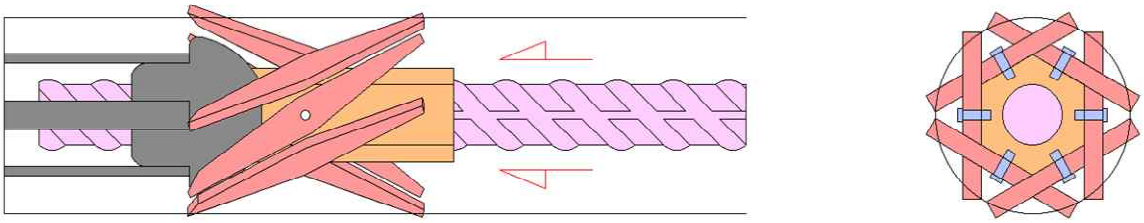
그림 3.3.2-40 국외 고성능 낙석방지 울타리 지지부 개발 사례

② 지지부 개발

본 연구에서는 지지부의 지지력을 더욱 확보하기 위하여 연구기관에서 보유한 기술을 응용하여 선단 확장형 지지부와 표층 지반조건이 불리할 경우를 고려하여 지지부 해드부를 다음과 같이 구상하였다.



(a) 지지부 선단 확장 전



(b) 지지부 선단 확장 후

그림 3.3.2-41 선단확장형 지지부 개념도

선단 확장부는 천공후 지지부를 삽입 설치시 지지부를 밀어 선단 확장 너트를 지반에 고정시킨 다음, 지지부를 시계방향으로 회전시켜 선단 확장 너트로 더 밀어 넣어 선단 확장 너트를 확장시키는 구조이다. 이때 선단 확장 날개는 X 자형으로 펼쳐지며 이중 지압효과를 발생시키며, 지지부에 인장력이 작용하면 더욱 쐐기 효과가 발현되는 구조이다.

한편, 지지부 해드부는 표층 지반조건이 불리할 경우를 고려하여 천공홀 보호 및 유지를 위한 강관(파이프)를 일체화시키고 우기시 지표수로 인한 표층유실, 쇄굴로 인한 지지력 저감현상을 방지하기 위하여 시멘트/콘크리트 블록을 형성시키기 위한 배근된 철근을 일체화시킨 구조로 구상하였다.



(a) 지압날개 확장전 (b) 지압날개 확장후

그림 3.3.2-42 지지부의 선단 확장 시스템

③ 지지부 실물성능 실험

■ 개발된 지지부에 대한 실물 성능 시험 계획

지지부에 대한 실물 성능 시험은 개발기관인 ㈜대한지오이엔씨가 시공하고 있는 암반비탈면 보강공사 현장을 바탕으로 수행하였으며, 시험 수량은 다음과 같다.



그림 3.3.2-43 지지부 현장 시험지 위치 (대구광역시 달성군 화원읍 설화리 840-6 일원)

표 3.3.2-19 지지부 시험 수량

구분	제원	수량
Test 1	디비닥 D26.5, SD950 + 선단 지압시스템	3
Test 2	이형철근 D29, SD400	3
Test 3	와이어로프앵커 D22 x 2	1

a. Test 1의 시험 하중 산정

- 지지부의 파단하중 및 허용하중

표 3.3.2-20 지지부의 파단하중 및 허용하중

구분	제원	파단하중	허용하중
Test 1	디비닥 D26.5, SD950 + 선단 지압시스템	524 kN	262 kN

- 그라우트-지반 허용주면마찰력

$$T_d = \pi \times d \times \tau \times L / F.S$$

여기서,

T_d	: 주면마찰력	(kN)	=	131.9	
d	: 천공경	(mm)	=	105	
τ	: 주면 마찰저항력	(kN/m^2)	=	1200	(연암 가정)
L	: 지지부 연장	(cm)	=	100	
$F.S$	: 안전율		=	3	

표 3.3.2-21 지반에 따른 주면마찰저항력(kN/m^2)

지 반 종 류			주면마찰저항력(kN/m^2)
암 반		경 암	1500 ~ 2500
		연 암	1000 ~ 1500
		풍화암	600 ~ 1000
사 력	N치	30	250 ~ 350
		40	350 ~ 450
		50	450 ~ 700
모 래	N치	30	230 ~ 270
		40	290 ~ 350
		50	300 ~ 400

- 보강재-그라우트 허용부착력

$$T_b = \pi \times d \times c_b \times L$$

여기서,

T_b	: 허용부착력	(kN)	=	133.2	
d	: 보강재 직경	(mm)	=	26.5	
c_b	: 허용부착응력	(kN/m^2)	=	1600	(그라우트 Fck=24000kN/m^2 기준) (이형PC강봉 기준)
L	: 보강재 연장	(cm)	=	100	

표 3.3.2-22 지지부-그라우트 허용부착력(kN/m²)

주입재의 인장재의 종류	설계기준강도(MPa)	15000	18000	24000	30000	40000이상
가설앵커	PC강봉, PC강선, PC강연선 다중PC강연선	800	1000	1200	1350	1500
	이형 PC 강봉	1200	1400	1600	1800	2000
영구앵커	PC강봉, PC강선, PC강연선 다중PC강연선	-	-	800	900	1000
	이형 PC 강봉	-	-	1600	1800	2000

b. Test 2의 시험 하중 산정

- 지지부의 파단하중 및 허용하중

표 3.3.2-23 지지부의 파단하중 및 허용하중

구분	제원	파단하중	허용하중
Test 2	이형철근 D29, SD400	264 kN	132 kN

- 그라우트-지반 허용주면마찰력 [표 3.3.2-21 참조]

$$T_d = \pi \times d \times \tau \times L / F.S$$

여기서,

T_d	: 주면마찰력	(kN)	=	131.9	
d	: 천공경	(mm)	=	105	
τ	: 주면 마찰저항력	(kN/m²)	=	1200	(연암 가정)
L	: 지지부 연장	(cm)	=	100	
$F.S$	: 안전율		=	3	

- 지지부-그라우트 허용부착력 [표 3.3.2-22 참조]

$$T_b = \pi \times d \times c_b \times L$$

여기서,

T_b	: 허용부착력	(kN)	=	145.8	
d	: 보강재 직경	(mm)	=	26.5	
c_b	: 허용부착응력	(kN/m²)	=	1600	(그라우트 Fck=24000kN/m² 기준) (이형PC강봉 기준)
L	: 보강재 연장	(cm)	=	100	

c. Test 3의 시험 하중 산정

- 지지부의 파단 하중

표 3.3.2-24 지지부의 파단하중 및 허용하중

구분	제원	파단하중	허용하중
Test 3	와이어로프 D22 x 2선	657 kN (328 kN)	328 kN (164 kN)

- 그라우트-지반 허용주면마찰력 [표 3.3.2-21 참조]

$$T_d = \pi \times d \times \tau \times L / F.S$$

여기서,	T_d	:	주면마찰력	(kN)	=	131.9
	d	:	천공경	(mm)	=	105
	τ	:	주면 마찰저항력	(kN/m^2)	=	1200 (연암 가정)
	L	:	지지부 연장	(cm)	=	100
	$F.S$	:	안전율		=	3

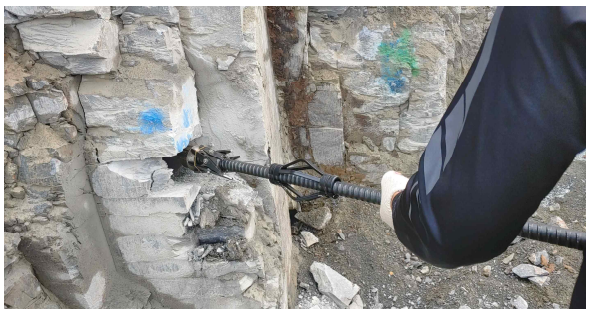
- 지지부-그라우트 허용부착력 [표 3.3.2-22 참조]

$$T_b = \pi \times d \times c_b \times L$$

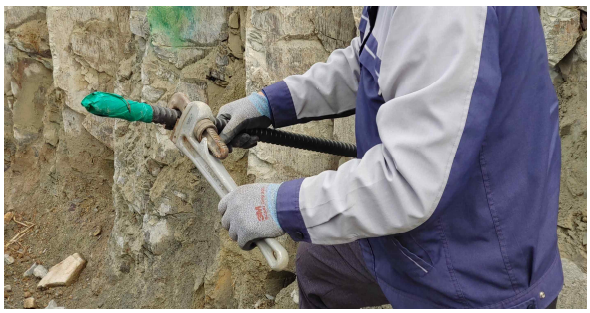
여기서,	T_b	:	허용부착력	(kN)	=	110.6
	d	:	보강재 직경	(mm)	=	22.2x2
	c_b	:	허용부착응력	(kN/m^2)	=	800 (그라우트 Fck=24000kN/m^2 기준) (PC강선 기준)
	L	:	보강재 연장	(cm)	=	100

■ **개발된 지지부 시험시공**

a. Test 1 시험시공 [디비닥 D26.5, SD950 + 선단 지압시스템]



(a) 지압날개 확장전



(b) 지압날개 확장후



(c) 그라우팅 후

그림 3.3.2-44 Test 1 시험시공 [디비닥 D26.5, SD950 + 선단 지압시스템]

b. Test 2 시험시공 [이형철근 D29, SD400] - 개발기술 비교용



(a) 보강재 삽입 (b) 그라우팅 후

그림 3.3.2-45 Test 2 시험시공 [이형철근 D29, SD400]

c. Test 3 시험시공 [와이어로프앵커 D22 x 2]



(a) 보강재 삽입 (b) 그라우팅 후

그림 3.3.2-46 Test 3 시험시공 [와이어로프앵커 D22 x 2]



그림 3.3.2-47 지지부 시험시공

■ **인발 시험**

a. 인발시험

개발된 지지부에 대한 성능시험은 공인인증시험기관인 ㈜한국건설시험원 부설 유니콘기술연구소와 그 방법을 조율하여 락볼트 인발시험에 준하여 수행하였다.



그림 3.3.2-48 ㈜한국건설시험원 부설 유니콘기술연구소 인발시험 수행 (2020.10.29.)

b. 인발시험 결과

개발된 지지부에 대한 인발시험 결과 다음 표와 같이 확장형 지지부와 와이어로프 앵커 모두 지반 상태에 따른 허용인발저항력과 허용부착력을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

표 3.3.2-25 개발 지지부 인발시험 결과 비교표

구분	시험계획				시험결과		비고
	시험체 허용하중	그라우트-지반 허용인발저항력	보강재-그라우트 허용부착력	시험계획하중	인발하중	허용하중역산	
Test 1 확장형 지지부	262 kN	88.0 kN (풍화암) 131.9 kN (연암)	130.5 +@지압효과	88.0 kN	264.6 kN	88.2 kN	풍화암
				131.9 kN	419.4 kN	139.8 kN	연암
					471.4 kN	157.1 kN	연암
Test 2 (일반)	132 kN	131.9 kN	142.9 kN	131.9 kN	263.6 kN	87.9 kN	연암
Test 3 와이어로프 앵커	328 kN (164 kN)	131.9 kN	221.2 kN	131.9 kN	492.0 kN	164.0 kN	연암

그러나 개발된 지지부에 현장시험은 연구과제 비용 및 수행 기간 한계로 인하여 많은 시험을 수행하지 못하여 확장형 지지부 및 와이어로프 앵커의 일반 지지부 대비 성능이 향상되는 정도에 대한 객관적인 비교를 수행하지 못하였기 때문에 일반 지지부 대비 성능향상 정도에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(4) 지주 개발

① 기존 지주 비교 분석

고성능 낙석방지울타리의 지주의 경우 개발업체에 따라 그 형상 및 제원이 다르지만, 낙석 작용시 변형을 허용하며 충격력을 감쇄시키기 위해 힌지 거동식 지주 방식을 채용하고 있다.

지주의 형상은 지주 제작시 H-beam을 활용하기 때문에 크게 차이가 나지 않으나 지주 상부 지주-와이어로프 체결부의 형상과 지주받침 형상에 차이를 보이고 있다. 특히 지주 상부의 지주-와이어로프 체결부의 형상은 매우 큰 차이를 보이고 있는데 상부 지지로프(Upstream Cable)의 체결방식에 의한 차이가 매우 큰 것으로 확인되며, 형상차이에 따라 체결에 필요한 샤클의 사용 수량이 매우 다른 것을 확인할 수 있었다.



(a) G사의 지주-와이어로프연결 방식



(b) M사의 지주-와이어로프연결 방식



(c) P사의 지주-와이어로프연결 방식



(d) T사의 지주-와이어로프연결 방식

그림 3.3.2-49 해외 고성능 낙석방지울타리의 지주-와이어로프 연결 방식의 예

한편 지주 받침의 경우 그 형태는 크게 차이 나지 않으며, 지주받침을 지반에 고정시키기 위한 지주받침 지지부의 제원과 지지부의 개수가 차이를 보이고 있는 것으로 확인된다.



(a) G사의 힌지 거동식 지주



(b) M사의 힌지 거동식 지주



(c) P사의 힌지 거동식 지주



(d) T사의 지주-와이어로프연결 방식

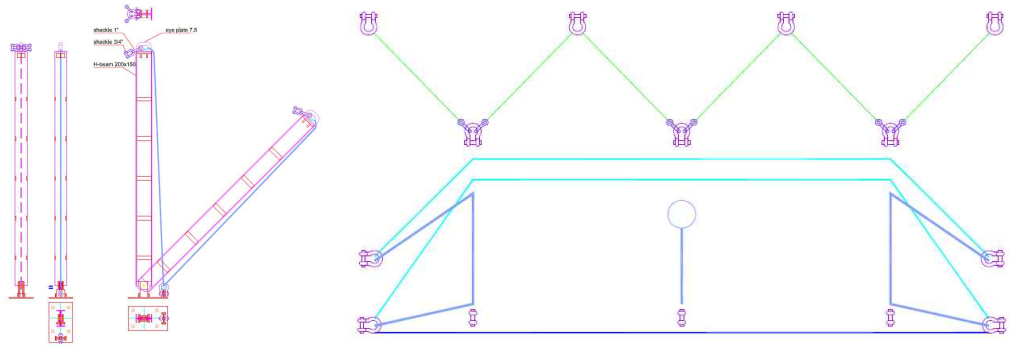
그림 3.3.2-50 해외 고성능 낙석방지울타리의 힌지 거동식 지주의 예

② 지주 개발

위와 같은 해외 고성능 낙석방지울타리에 대한 지주 비교 분석을 토대로 지주의 경우 가격경쟁력 확보를 위해 상용화된 H-BEAM을 바탕으로 힌지 거동부 및 지주 받침, 와이어로프 연결부를 고려하여 지주에 대한 구상을 수행하였다.

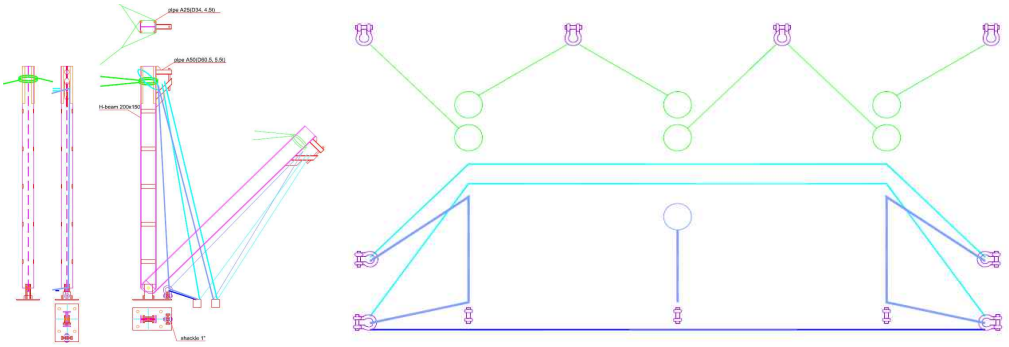
지주의 형상에 따라 지주-와이어로프 연결 방식에 따른 SHACKLE의 수량이 결정되는데 SHACKLE의 사용을 억제하기 위해 지주의 형상을 복잡하게 하면, 지주의 제작비가 상승하며, 지주를 단순화 시킬수록 SHACKLE 사용량 증가에 따른 자재비용이 증가하기 때문에 이를 고려하여 지주의 형상을 결정하였다.

위와 같이 기 개발된 고성능낙석방지울타리에 대한 비교분석을 통해 연결부재의 사용을 최소화 할 수 있는 형상의 지주를 검토하였으며, 최종적으로 다음 그림의 1, 2, 3안을 선정하였다. 구상된 지주를 바탕으로 실제 가공 및 제작에 소요되는 제작공정을 최소화하여 가장 경제적으로 제작할 수 있는 지주시스템은 2안인 것으로 확인되었으며, 이를 바탕으로 상세 설계를 수행하였다.



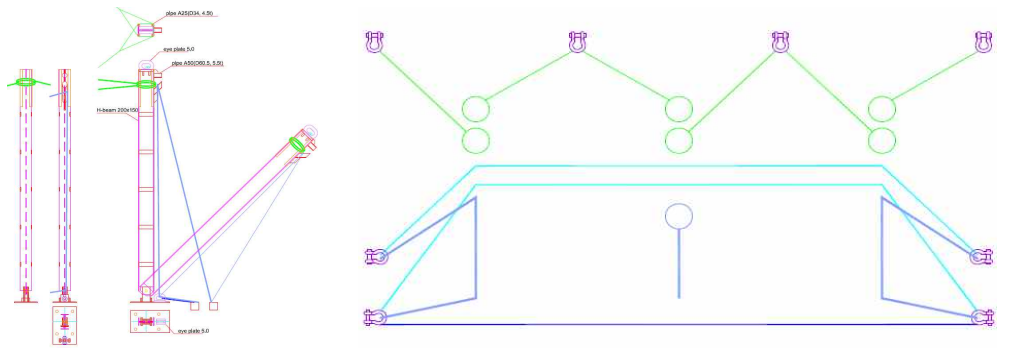
연결부재
수량
- 1“ 11EA
- 3/4" 9EA

(a) 1안



연결부재
수량
- 1“ 8EA
- 3/4" 3EA

(b) 2안

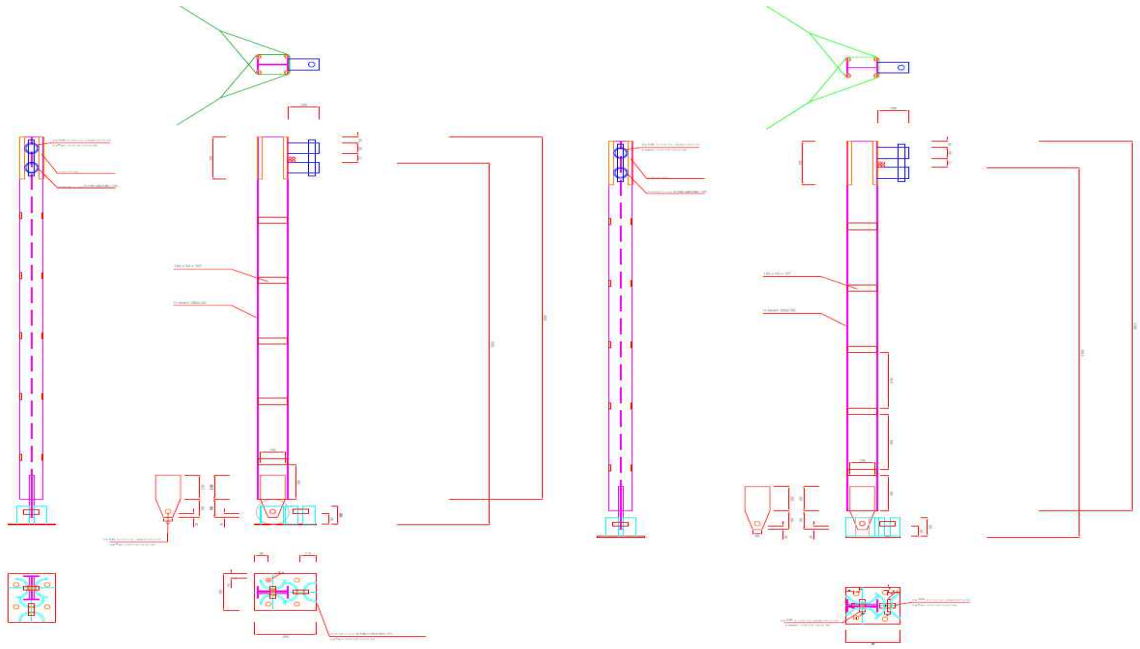


연결부재
수량
- 1“ 8EA

(c) 3안

그림 3.3.2-51 지주의 구상과 지주의 형상에 따른 연결부재 사용 비교

지주 구상안 2안을 바탕으로 상세설계를 통해 2-1, 2-2안 2가지를 결정하였으며, 실제 제작에 필요한 자재요소, 제작 경비 등을 고려하여 최종 지주 제작은 2-2안으로 결정하였다. 이에 따른 지주 제작 현황은 다음과 같다.



(a) 2-1안 (b) 2-2안

그림 3.3.2-52 지지부 시제품 도면



(a) 지주 상부 지주-와이어로프연결부



(b) 지주 하부 지주-지주받침 체결부



(c) 지주 전체



(d) 지주 받침

그림 3.3.2-53 지지부 시제품(도금전)

2) 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 제품 및 시스템 개발

(1) 기존 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 비교 분석

이미 해외에서 상용화된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 조사 및 분석을 통해 효과적이고 효율적으로 고성능 낙석방지울타리를 개발하고자 하였다. 기존 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 비교 분석 결과 상부메인로프와 하부메인로프는 감쇄장치를 연결하여 지지부에 고정되며, 상부지지로프의 경우 대부분 감쇄장치를 설치하지 않는 것으로 확인된다. 특히 메인로프로 사용되는 와이어로프는 대부분 메인로프로 D18mm 6X37 IWRC(파단하중 217.6kN)를 사용하고 있으며, 상부지지로프로 D16 6X37 IWRC(파단하중 171.5kN)를 사용하고 있다.

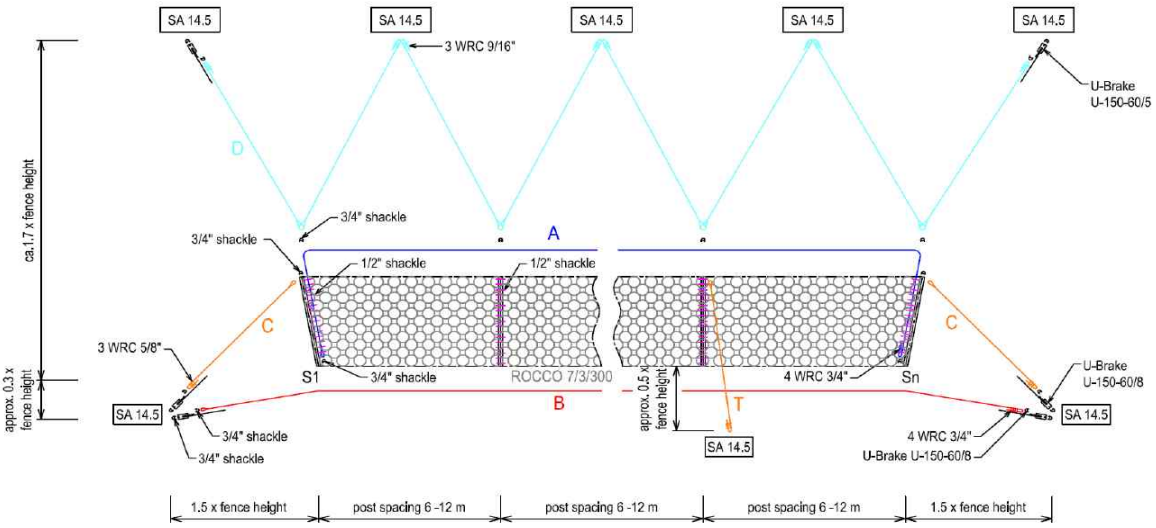


그림 3.3.2-54 GEOBRUGG 사의 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 type 1

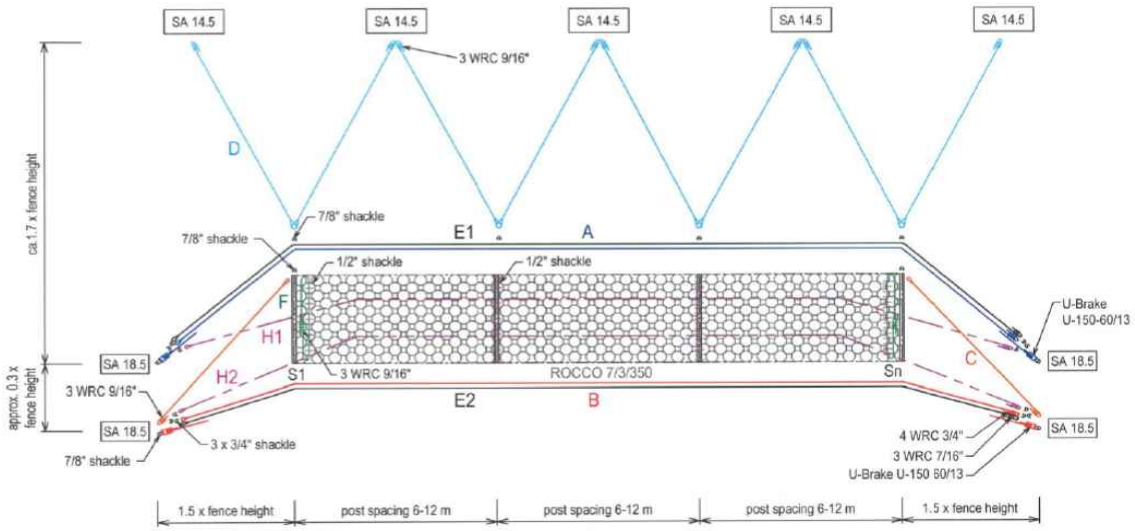


그림 3.3.2-55 GEOBRUGG 사의 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 type 2

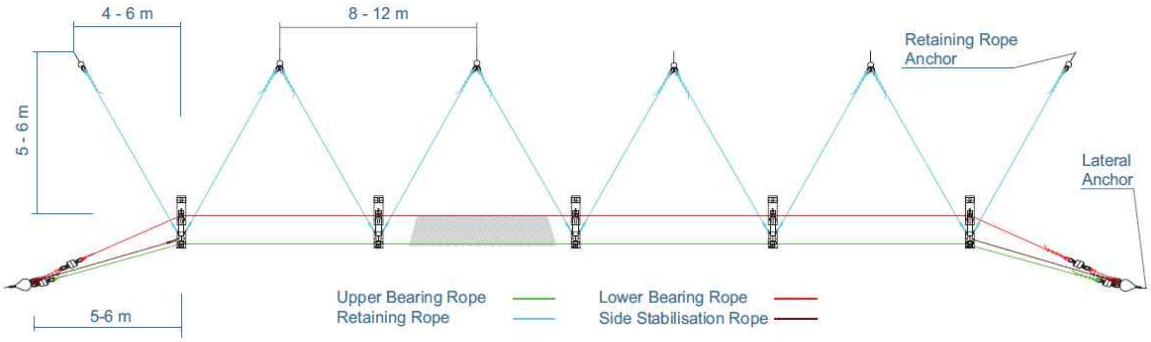


그림 3.3.2-56 TRUMER 사의 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리

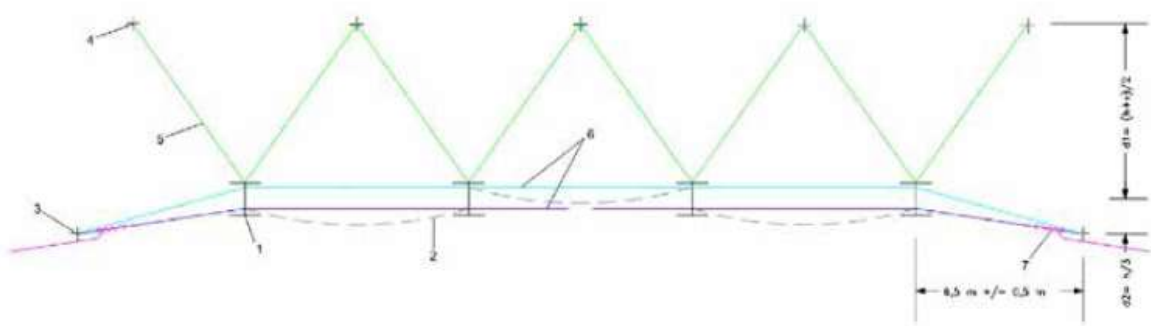
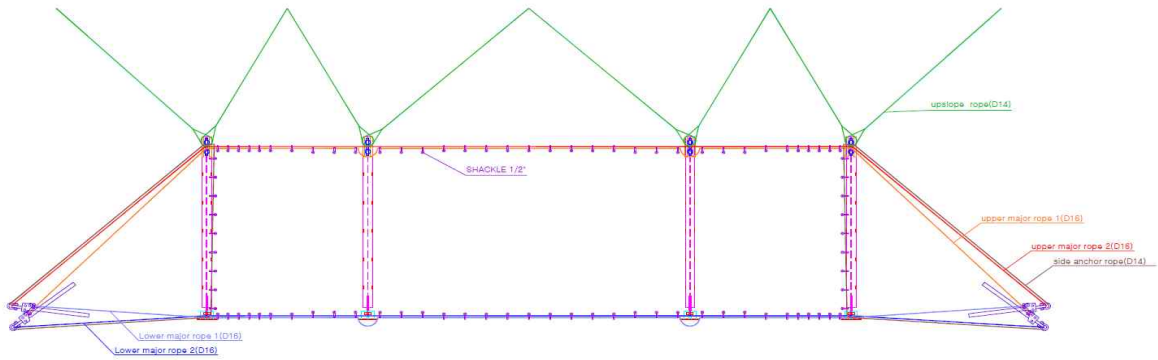


그림 3.3.2-57 INCOFILL 사의 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리

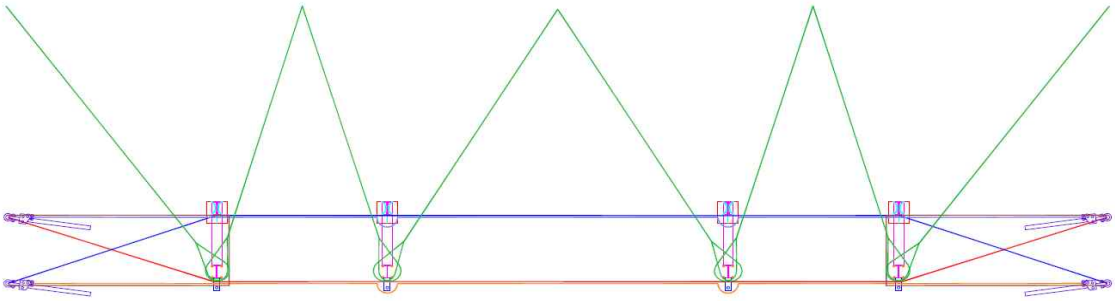
(2) 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발

① 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발

본 연구를 통해 연구된 요소자재를 바탕으로 구상한 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템은 다음 그림과 같다. 아래 그림과 같이 상하부 메인로프는 2선으로 구성되며, 상부메인로프1과 하부메인로프2, 상부메인로프2와 하부메인로프1은 각각 같은 지지부에 지지되는 것으로 구상하였다. 이때 상부메인로프1과 하부메인로프1은 감쇄장치를 통해 지지부에 결속된다.



(a) 정면도



(b) 평면도

그림 3.3.2-58 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 구상

② 실물성능 시험 결과를 반영한 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개선

a. 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 1차 예비시험(300kJ 시험)

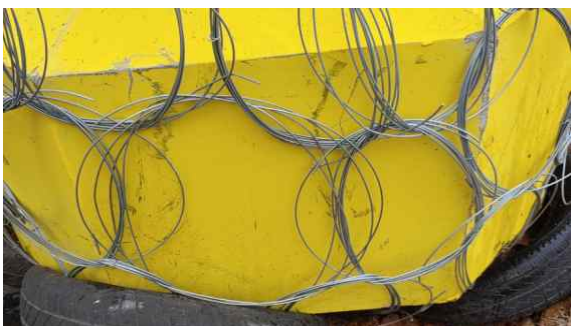
구상된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 1차 예비시험은 연구 1차년도인 2019년 12월 18일에 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 다음 그림과 같이 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 예비시험결과 낙석을 방호하지 못하고 파손되었다. 특히 그림과 같이 링형 포획망이 파손·분해되어 성능을 발휘하지 못하였으며, 감쇄장치가 작동하지 못하는 등 전체적인 시스템 구성에 문제가 확인되었다.



(a) 설치후



(b) 시험후 (실패)



(c) 링형 포획망의 파손



(d) 감쇄장치 미작동

그림 3.3.2-59 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 1차('19.12.18)

1차 예비시험 결과를 바탕으로 시험장의 추가 확장 및 개선공사가 수행되었으며, 링형 포획망의 제작 방식을 변경하고 와이어로프 및 감쇄장치의 배치 등을 재검토하였다.

우선적으로 파손이 발생하지 않아야 할 링형포획망을 개선하기 위하여 링형포획망의 선재를 체결하는 클립을 변경하는 것을 검토하였으며, 메인로프와 감쇄장치의 체결방법을 재검토하였다.

b. 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 2차 예비시험(300kJ 시험)

개선된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 2차 예비시험은 연구 2차년도인 2020년 10월 14일에 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 다음 그림과 같이 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 예비시험결과 낙석을 방호하지 못하고 파손되었다. 특히 1차 예비시험 결과와 유사하게 감쇄장치가 효과적으로 작동하지 못하였다.

그러나 1차 예비시험과 같이 링형 포획망의 파손 및 분해는 발생하지 않았기 때문에 와이어로프 및 감쇄장치의 배치 등을 재검토하였다.

감쇄장치 1본당 상부 메인로프 2본 중 1본, 하부 메인로프 2본 중 1본을 연결하는 방식에서 감쇄장치 1본에 상부 메인로프 2본, 다른 감쇄장치 1본에 하부 메인로프 2본이 연결되는 방식으로 변경하는 것을 검토하였으며, 가장 변위가 크게 발생한 최외측 상부 지주 지지로프에 감쇄장치를 추가하는 것을 검토하였다.



(a) 설치후



(b) 시험후 (실패)



(c) 링형 포획망 미파손



(d) 감쇄장치 작동 미흡

그림 3.3.2-60 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 2차('20.10.14)

c. 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 3차 예비시험(250kJ 시험)

개선된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 3차 예비시험은 연구 2차년도인 2020년 10월 15일에 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 다음 그림과 같이 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 예비시험결과 낙석을 파손 없이 방호하였다.

특히, 감쇄장치가 1차 및 2차 예비시험 결과와 달리 충분히 작동한 것으로 확인되었으며, 링형 포획망의 파손 및 분해도 발생하지 않다.



(a) 설치후



(b) 시험후 (성공)



(c) 링형 포획망 미파손



(d) 감쇄장치 작동

그림 3.3.2-61 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 3차('20.10.15)

d. 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가(500kJ 시험) 1차

개선된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리를 바탕으로 실물성능평가(500kJ 시험) 1차 를 2차년도인 2020년 11월 11일에 수행하였으며, 그 결과 다음 그림과 같이 낙석을 충분히 방호하지 못하고 파손되었다.

시험 결과 감쇄장치가 3차 예비시험 결과와 같이 충분히 작동한 것으로 확인되었으며, 링형 포획망의 파손 및 분해도 발생하지 않다. 그러나 3차 예비시험 결과와 달리 지주 상부 지지로프 체결부에서 일부 이완이 발생하였으며, 지주의 보강이 판단됨에 따라 이에 대한 보완 계획을 수립하였다.

당초 와이어로프의 체결시 사용한 와이어로프 클립의 개수는 한국산업안전보건공단 줄걸이용 와이어로프의 사용에 관한 기술지침을 참고하여 상부 지주 지지로프에 5개, 메인로프에 5개를 사용하였

다. 그러나 시험 결과 와이어로프의 슬립으로 인한 이완이 발생하였기 때문에 해외 고성능 낙석방지 울타리 시스템 설치 사례를 참고하여 체결부 와이어클립을 10개로 증가시키는 것을 고려하였다.



(a) 설치후



(b) 시험후 (실패)



(c) 링형 포획망 미파손



(d) 감쇄장치 작동

그림 3.3.2-62 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 1차('20.11.11)

e. 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가(500kJ 시험) 2차

개선된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리를 바탕으로 실물성능평가(500kJ 시험) 2차 를 2차년도인 2020년 11월 12일에 수행하였으며, 그 결과 다음 그림과 같이 낙석을 충분히 방호하지 못하고 파손되었다.



(a) 설치후



(b) 시험후 (실패)



(c) 링형 포획망 미파손



(d) 감쇄장치 작동

그림 3.3.2-63 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 2차('20.11.12)

시험 결과 감쇄장치가 3차 예비시험 결과와 같이 충분히 작동한 것으로 확인되었으며, 링형 포획망의 파손 및 분해도 발생하지 않다. 그러나 3차 예비시험 결과와 달리 지주 상부 지지로프 체결부에서 일부 이완이 발생하였으며, 지주의 보강이 판단됨에 따라 이에 대한 보완 계획을 수립하였다.

당초 상부 지주의 힌지 체결부는 H빔에 10t의 철판 두장을 용접하여 체결부를 제작하였으나 상부 지주의 힌지 체결부에서 지속적인 비틀림으로 인한 변형이 발생함에 따라 상부 지주 힌지 체결부의 10t의 철판부분을 보강하는 방안을 고려하였다.

f. 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가(500kJ 시험) 3차

개선된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 3차 예비시험은 연구 2차년도인 2020년 12월 03일에 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 다음 그림과 같이 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가결과 낙석을 파손 없이 방호하였다.



(a) 설치후



(b) 시험후 (성공)



(c) 링형 포획망 미파손



(d) 감쇄장치 작동

그림 3.3.2-64 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 3차('20.12.03)

③ 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 확정 도면

최종 실물성능평가 결과를 반영하여 수정된 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템에 대한 확정된 도면은 다음과 같다.

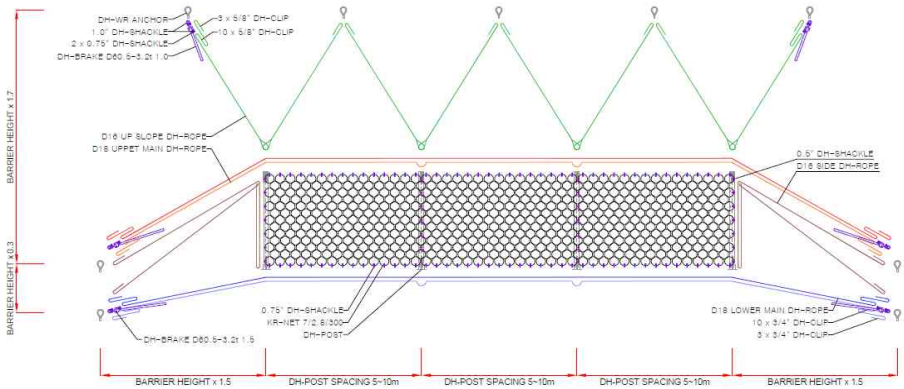


그림 3.3.2-65 최종 실물성능평가 결과가 반영된 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템

3) 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발

(1) 기존 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 비교 분석

기존 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 비교 분석 결과 각 지주마다 감쇄장치가 연결된 상부지주로프의 2~4개로 구성되고 있으며, 감쇄장치가 연결된 횡로프를 설치하거나 감쇄장치가 다중으로 설치된 상하부 메인로프를 다중으로 구성하고 있는 것이 특징이다. 특히 메인로프로 사용되는 와이어로프는 메인로프, 상부지지로프 구분 없이 모두 D22~24mm 6X37 IWRC(파단하중 328.3~390.0kN)를 사용하고 있다.

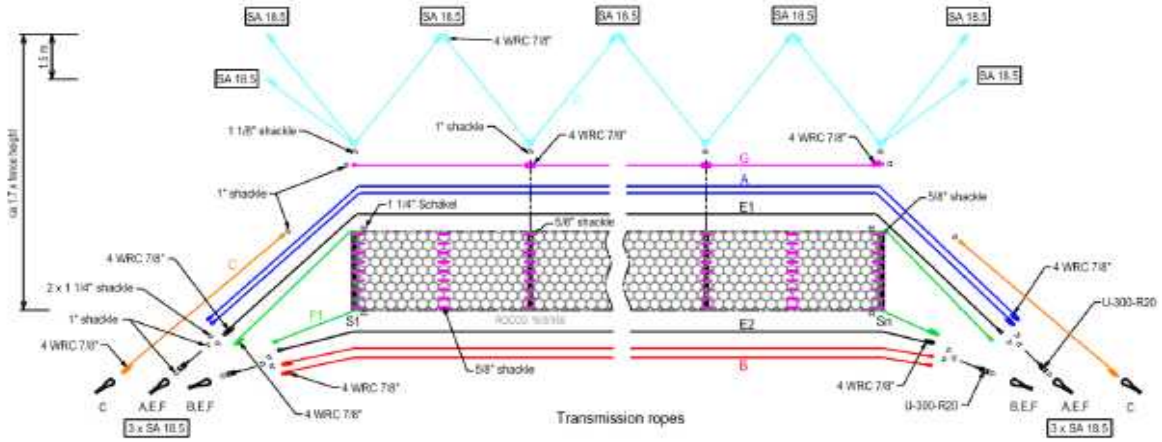


그림 3.3.2-66 GEOBRUGG 사의 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리

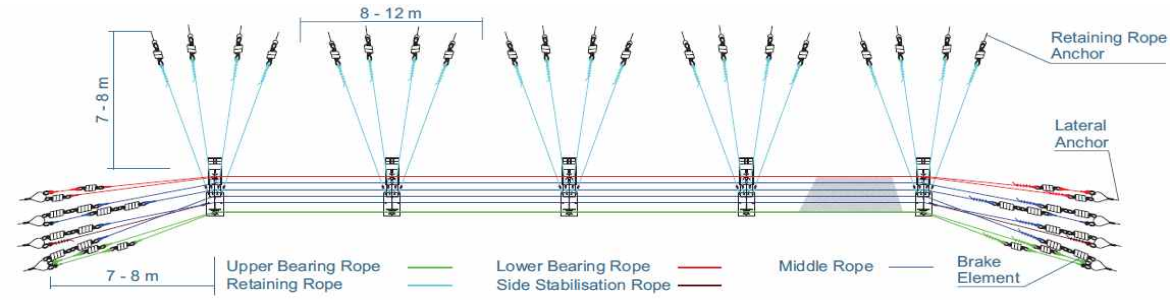


그림 3.3.2-67 TRUMER 사의 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리

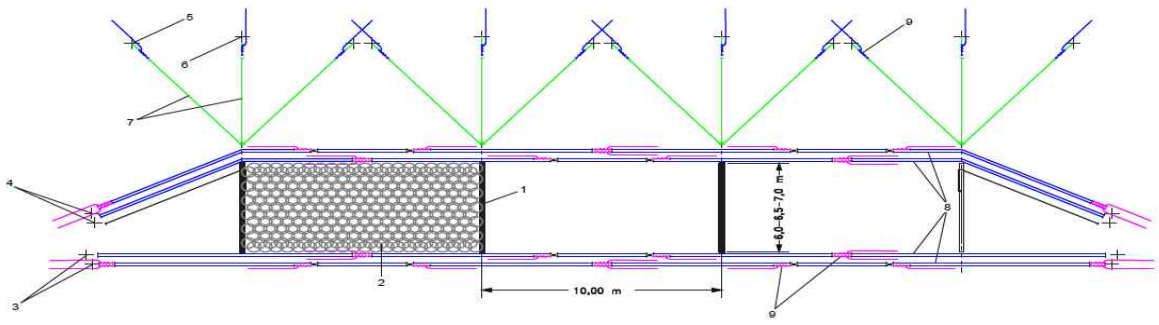


그림 3.3.2-68 INCOFILL 사의 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리

(2) 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발

① 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발

이미 해외에서 상용화된 5,000kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 조사 및 분석을 통해 효과적이고 효율적으로 고성능 낙석방지울타리를 개발하였다. 특히, 링형포획망 외에 지주, 감쇄장치 형상의 경우 고사양용 제품 개발 필요성이 있으므로 이에 대한 연구를 수행하였다.

5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리용 요소 자재인 링형 포획망 19/2.8/300, 감쇄장치 D60.5-5.5t를 주요요소로 와이어로프 및 지지부의 제원을 결정하였다.

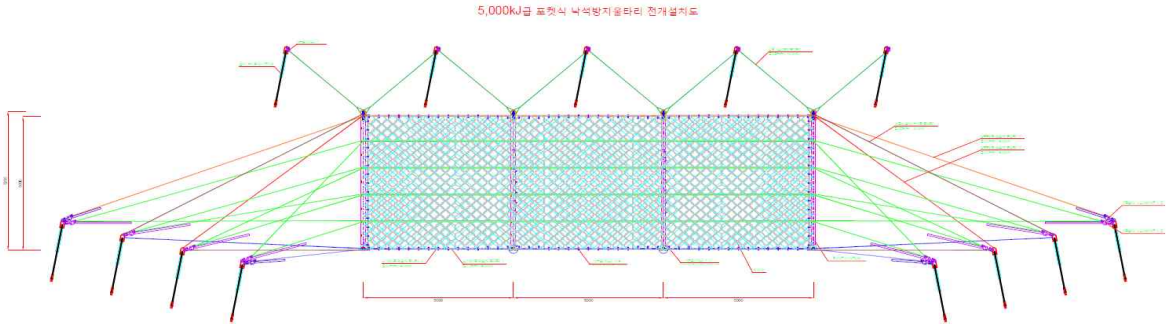


그림 3.3.2-69 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 구상



그림 3.3.2-70 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템용 링형 포획망 19/2.8/300 개발

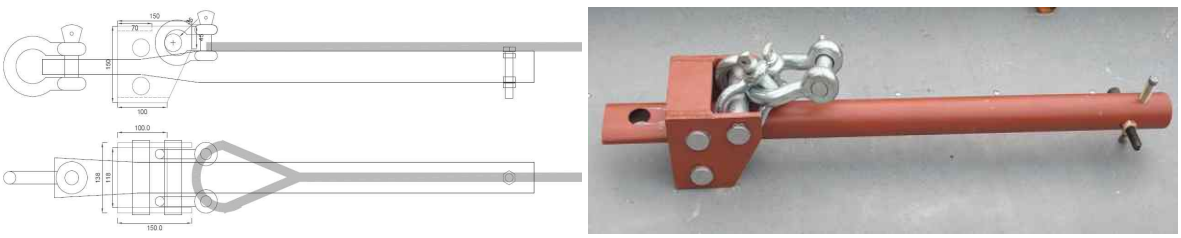


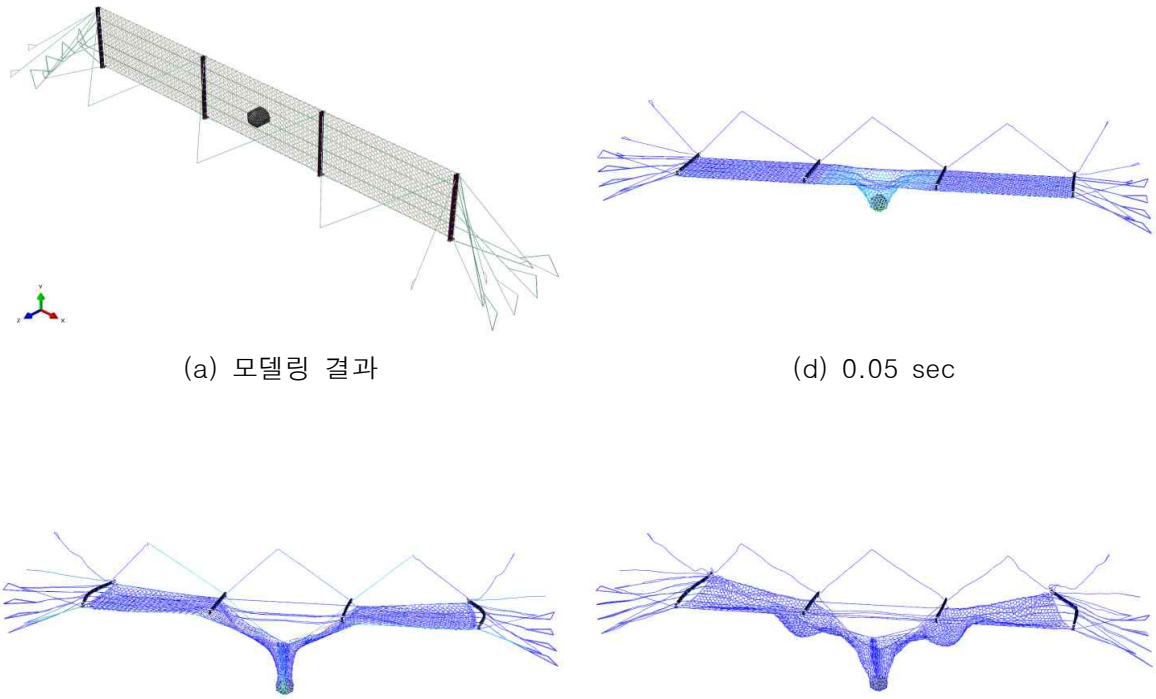
그림 3.3.2-71 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템용 감쇄장치

② 시뮬레이션 검증 결과를 반영한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개선

구상된 5,000kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션은 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 실물성능평가 결과와 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 결과를 비교 분석하며, 시뮬레이션 입력 변수를 조정하여 신뢰성을 확보하였으며, 이를 바탕으로 한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

a. 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션

다음 그림과 같이 5,000kJ급 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 결과 링형 포획망의 파손 없이 낙석을 방호 할 수 있는 것으로 분석되었으나 양단 지주의 변형이 심하게 발생하였으며, 낙석 포획시 중간 횡로프의 작용이 작게 발생하여, 시스템 구성의 수정이 필요한 것으로 판단됨에 따라 이에 대한 검토를 수행하였다.



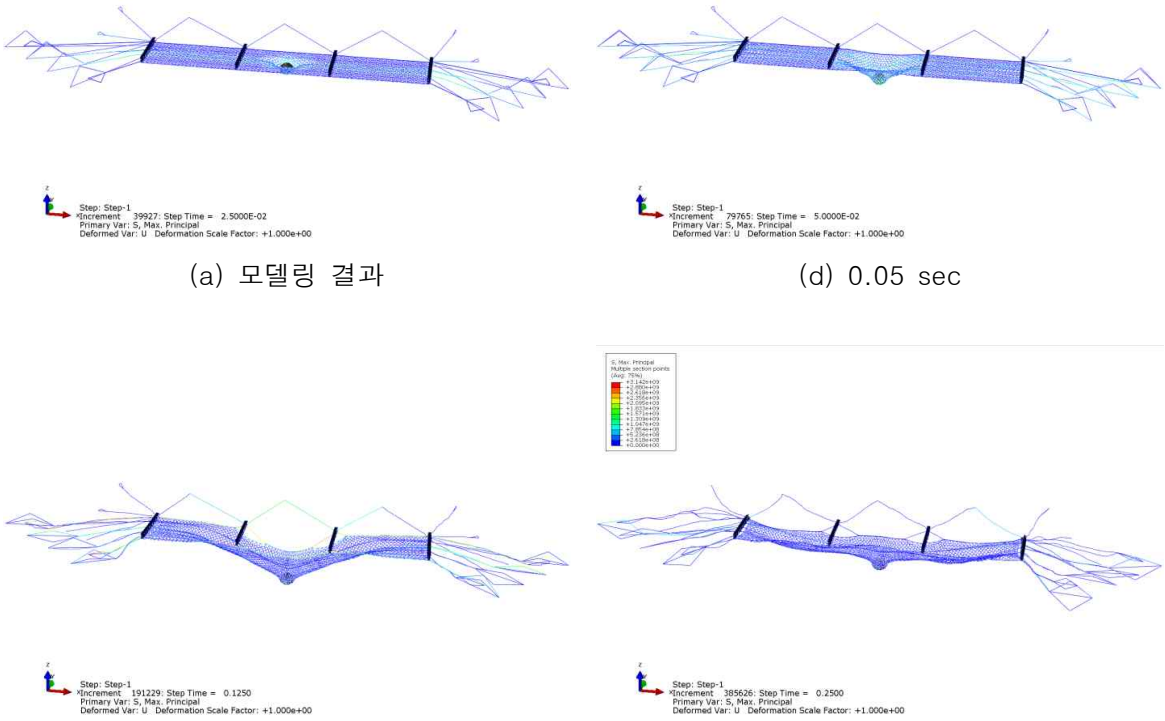
(a) 모델링 결과 (d) 0.05 sec

(c) 0.15 sec (d) 0.25 sec

그림 3.3.2-72 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 검증 1

b. 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션

수차례의 시뮬레이션 결과를 반영하여 최종 수정된 5,000kJ급 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 결과 다음 그림과 같이 낙석을 방호하였다.



(a) 모델링 결과 (d) 0.05 sec

(c) 0.15 sec (d) 0.25 sec

그림 3.3.2-73 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 검증 2

② 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증 결과를 활용한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 제품화

최종 시뮬레이션 결과를 반영하여 수정된 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템에 대한 확정된 도면은 다음과 같다.

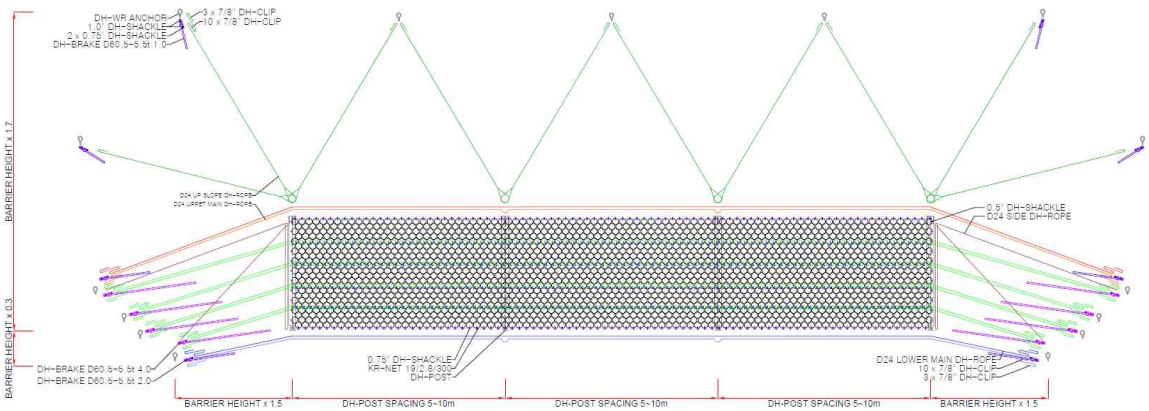


그림 3.3.2-74 최종 실물성능평가 결과가 반영된 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템

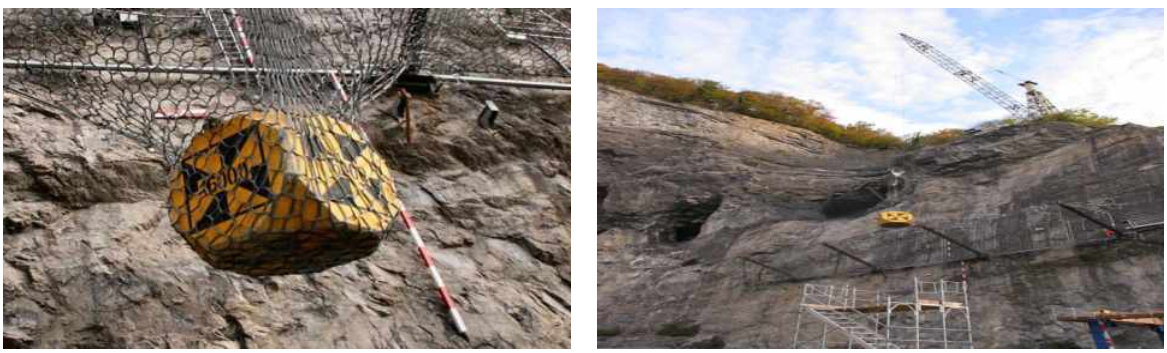
3.3 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 및 결과를 반영한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증

1) 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 연구

(1) 해외 선진국 사례 연구를 통한 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 연구

① 국외 낙석방지울타리 성능평가 시험 (스위스, 미국, 유럽)

- 스위스의 성능평가 및 실험을 주관하는 SAEFL 은 정부기관에 의해 시험 절차 및 승인 지침되었고, 2001년에 완료되었다. 2006년 연방환경청(FOEN)에서 이 지침에 대하여 개정안을 발간하였고, 객관적인 근거를 제공하고, 특정 에너지 부류의 다양한 울타리를 비교, 울타리 효과를 개선, 건설 및 유지보수 정보를 제공한다.
- 스위스의 낙석방지울타리 시험은 설치된 울타리에 크레인으로 콘크리트 낙석볼을 수직 낙하시키는 방법을 사용하고 있다. 울타리는 모든 운동에너지를 흡수할 수 있어야만 하고, 낙석방지울타리는 충돌 후 최대 변형(70%)을 초과해서는 안된다. 낙석방지울타리는 지면에서 15m 높이에 설치되어 지주가 20° 기울어지도록 설치하며, 울타리는 일반적으로 10m 간격의 3경간으로 구성된다. 시험은 100~5000kJ 범위의 총 9가지 에너지 등급으로 나누어지며, A,B,C,D 단계로 구분되며, TEST A는 충격에너지가 작은 예비 시험이다. 다양한 에너지의 낙석을 낙하시키며, 속도는 25m/s 이며, 시험 후 와이어로프의 변형 및 손상을 측정한다. TEST B는 낙석방지울타리 등급에 지정된 에너지의 50%를 사용하는 예비 시험으로 울타리의 중간부분으로 낙하시키며 두 방향에서 동시촬영하고, 와이어로프에 작용하는 인장력은 시험 도중 10개의 앵커지점에서 측정되고 기록된다. 판정여부는 망에 구멍이 뚫리지 않고 낙석을 정지시켜야 한다. 이 시험을 통하여 와이어로프, 지주, 망의 변형, 제동 시간, 순간최대변위, 구조물의 완전한 복원에 필요한 최소한의 수리 및 시간, 비용 등의 데이터를 수집한다. TEST C는 100% 의 에너지를 사용하는 주 시험으로 시험방법은 TEST B와 동일하다. TEST D는 성능평가에 대한 전반적 평가가 이루어지는 시험이다.



(a) 지주 제작중 (c) 지주 받침

그림 3.3.3-1 낙석방지울타리 시험방법 (SAEFL)

표 3.3.3-1 낙석방지울타리 성능등급 (SAEFL)

Class	Net Height (m)	TEST B(50%)			TEST C(100%)				
		Energy (kJ)	Test Body		Energy (kJ)	Test Body		Breaking distance (m)	Residual useful height(m)
			Mass (kg)	Side Lengths (m)		Mass (kg)	Side Lengths (m)		
1	1.5	50	160	0.41	100	320	0.52	4.0	0.75
2	2.0	125	400	0.56	250	800	0.70	5.0	1.0
3	3.0	250	800	0.70	500	1600	0.88	6.0	1.5
4	3.0	375	1200	0.80	750	2400	1.01	7.0	1.5
5	4.0	500	1600	0.88	1000	3200	1.11	8.0	2.0
6	4.0	750	2400	1.01	1500	4800	1.27	9.0	2.0
7	5.0	1000	3200	1.11	2000	6400	1.40	10.0	2.5
8	5.0	1500	4800	1.27	3000	9600	1.60	12.0	2.5
9	6.0	2500	8000	1.51	5000	16000	1.90	15.0	3.0

- 미국의 낙석방지울타리의 표준지침은 공식적으로 인정되었던 스위스의 SAEFL을 모델로 삼고 있다. 미국은 낙석방지울타리의 기준시험을 산정하기 위해 AASHTO의 요청으로 NCHRP가 연구를 수행하여 낙석방지울타리 성능검증 절차를 제안하였으며, 이 연구는 기존의 자료에 대한 분석과 미국의 연구진, 지질학자, 토목기술자 등이 참여하여 기존의 낙석방지울타리 성능검증 시험의 검토와 기준, 평가지침 등의 관련정보를 기초하여 수행되었다. 공식적으로 인정되고 있는 낙석방지울타리 성능검증 시험은 스위스에서 개발되었으며 여러 종류의 낙석방지시스템에 접합하고 충돌위치를 쉽게 변경할 수 있다.
- 미국의 낙석방지울타리 성능등급 기준은 100kJ에서 5,000kJ까지 총 9가지의 에너지 등급으로 분류된다. 낙석방지울타리의 성능검증을 위한 시험은 TEST A, B 그리고 C로 총 3종류로 분류된다. TEST A는 예비시험으로 낙석방지울타리에 적용되는 철망, 와이어로프, 및 연결고리 등의 긴장력을 확인하기 위하여 수행되며, 먼저 10x10x10cm 의 정육면제 낙석 5개를 이용하여 3.8kJ의 에너지가 발생하도록 충돌 시험을 실시한 후에 낙석을 제거하고 20x20x20cm 정육면체 낙석 3개를 이용하여 18kJ 에너지가 발생하도록 시험을 실시한다. 그리고 낙석을 제거한 후에 50x50x50cm 정육면체 낙석 1개를 이용하여 94kJ의 에너지가 발생하도록 충돌시험을 실시한다. 3차례의 예비시험은 시험도중 울타리를 보수, 교체하지 않고 연속적으로 이루어진다. TEST B는 사용성 평가를 위해 최대성능등급 에너지의 1/2 에너지를 이용하여 1회 낙하하여 수행되는 시험이다. 시험을 실시하기 전에 하중에 직접적인 저항을 하는 구성 재료의 제원을 기록하고, 시험 중에는 로프에 작용하는 인장력을 측정한다. 측정항목은 시험 후에 와이어로프, 제동장치, 지주 및 철망의 변형을 기록하고, 최대변형량, 구성재료의 손상정도 그리고 약 10개 지점에서 와이어로프 인장력을 기록한다. 시험대상의 낙석방지울타리는 낙석을 정지시켜야 하며, 울타리에 구멍이 나지 않아야 한다. TEST C는 최대성능을 평가하기 위해서 최대성능등급 에너지를 이용하여 1회 수행되며, TEST C의 측정항목은 TEST B와 동일하다.

표 3.3.3-2 낙석방지울타리 성능등급 (NCHRP 20-7)

구분		TEST B(50%)		TEST C(100%)			
class	post length (m)	energy (KJ)	Mass (kg)	Energy (KJ)	Mass (kg)	Breaking distance (m)	Residual useful height (m)
1	1.5	50	160	100	320	4.0	0.9
2	2.0	125	400	250	800	5.0	1.2
3	3.0	250	800	500	1600	6.0	1.8
4	3.0	375	1200	750	2400	7.0	1.8
5	4.0	500	1600	1000	3200	8.0	2.4
6	4.0	750	2400	1500	4800	9.0	2.4
7	5.0	1000	3200	2000	6400	10.0	3.0
8	6.0	1500	4800	3000	9600	12.0	3.6
9	7.0	2500	8000	5000	16000	15.0	4.2

- 유럽의 낙석방지울타리 성능평가를 위한 시험 종류는 SEL과 MEL으로 구분된다. SEL 시험은 성능등급별 최대낙석에너지의 1/3 에너지로 1차 충돌시험을 실시하고, 낙석을 제거한 후 낙석방지울타리의 유지보수 없이 잔여높이 1/2 지점에 2차 충돌시험을 실시한다. MEL 시험은 SEL 시험을 실시한 낙석방지울타리를 보수하거나, 새로 설치하여 성능등급별 최대 낙석에너지를 사용하여 실시하는 시험이다. 낙석의 충돌 각도는 90도의 범위로 허용하고 있고, 낙석의 충돌속도는 충돌 1m 전 평균속도가 25m/s 이상이 되도록 규정되어 있다. SEL 시험의 측정항목은 낙석의 관통여부, 충돌 후 철망의 망 눈 크기, 충돌 후 시설물의 잔여높이 70% 이상으로 규정하고 있다. MEL 시험의 측정항목은 SEL 시험과 동일하며 추가적으로 충돌 후 지주의 잔여 높이를 Class A, B, C로 판정하여 시험 성적서에 기록하도록 되어 있다. 합격기준은 낙석의 관통방지에 있음. 낙석방지시설에 대한 유럽통합지침 ETAG 27의 성능등급기준은 이탈리아, 프랑스, 오스트리아의 현정실물충돌시험을 통한 성능평가 방법과 스위스의 설계지침을 고려하여 2008년에 재정되었으며, 표와 같이 100kJ에서 4500kJ이상까지 총 9등급으로 분류되어 있다.
- Service Energy Level (SEL)
  - ·· 최대 성능을 발휘할 수 있는 충격에너지보다 작은 에너지의 낙석이 여러번 발생 시 낙석방지울타리의 손상 여부를 확인하는 시험
  - ·· 최대충격에너지의 1/3E를 1회 후 보수 없이 울타리 잔여높이 1/2에서 1회로 총 2회 실시, 이때, 1회시 공칭높이보다 70%이상 확보, 2회시 낙석이 네트를 통과해서는 안됨
- Maximum Energy Level (MEL)
  - ·· 최대성능을 확인하는 방법으로 최대충격에너지를 적용하여 1회 수행되는 시험으로 낙석이 네트를 통과해서는 안되며, 네트의 잔류변형 길이에 따라 3가지 등급으로 구분. 이때, 낙석 충돌 전 1m에서 속도가 25m/s

표 3.3.3-3 낙석방지울타리 성능등급 (유럽, ETAG 27)

Energy Level classification	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL(kJ)	-	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
MEL ≥ (kJ)	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500



그림 3.3.3-2 낙석방지울타리 시험방법 (ETAG 027)

표 3.3.3-4 SAEFL, NCHRP 20-7 그리고 ETA G 27 비교

구분	가이드라인		
	SAEFL	NCHRP 20-7	ETAG 27
개발 장소	스위스	미국	유럽
시험 책임 기관	관리부	제조사	관리부
Rock/Block 시험 방법	수직낙하	수직낙하, 경사케이블, 또는 암석 굴림	수직낙하 또는 경사 케이블
Rock/Block 타입	제작	제작 또는 자연산	제작
울타리 높이	제한됨	제한됨	제한 없음
포스트 공간/ 펜스 간격	제한됨	제한 없음	제한 없음
작은직경암석/블록 테스트	가능	가능	가능하지 않음
MEL/SEL	2	2	3
저에너지에서의 테스트 (SEL)	1	1	2
높은에너지에서의 테스트 (MEL)	1	1	1
잔차 높이			
SEL	제한 없음	제한 없음	Test > 70% Test : 제한 없음
MEL	> 50 %	> 60 %	분류 A, B, C
수명			
SEL	제한 없음	제한 없음	제한 없음
MEL	제한됨	제한됨	제한 없음
점검 보수	평가함	평가함	평가 안함

표 3.3.3-5 SAEFL, NCHRP 20-7 그리고 ETAG 27 의 장·단점

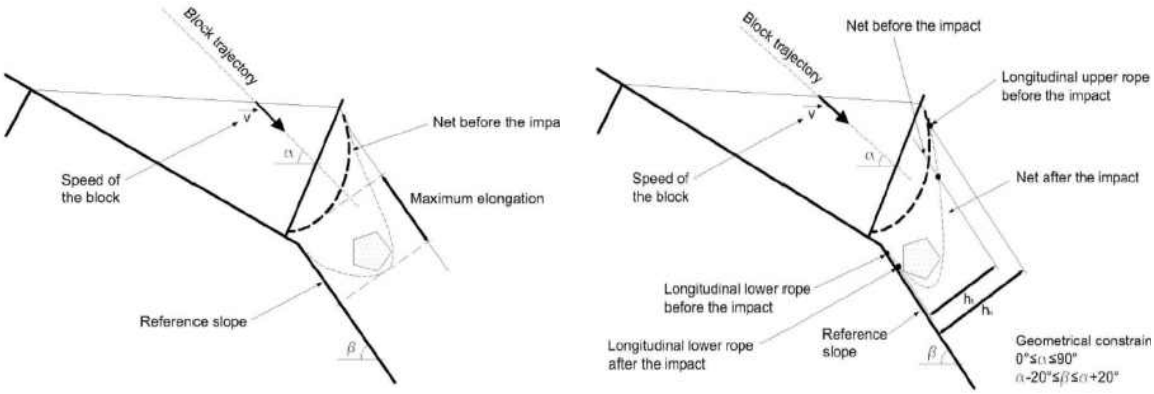
구분	장점	단점
SAEFL (스위스)	-시험을 쉽게 할수 있음 -작은직경의 암석/블록 시험 가능 -유지관리 평가 -처짐이 제한됨 -로프 및 엥커리지에 대한 힘 측정 가능	-단부 간격 및 패널 폭 제한 -잔여 높이 50% 제한 -10개 지점에서 힘 측정 필요 -기초에 대한 힘 측정 불가 -수직 낙하 시험이 실제 조건을 나타내지 않음
NCHRP 20-07 (미국)	-휴대용 장비로 제조사에서 쉽게 제작 할 수 있음 -여러가지 Rock/Block의 옵션 제공 -제조사별 단부 간격, 패널 폭 결정 (테스트 후 수정시 제한 사항 있음) -기초 및 앵커리지 디자인 기록 -제조사별 간격,패널 폭 결정 -post foundation, 측면앵커, 상향 앵커에 대한 힘 측정 가능	-결과에 대한 편향 가능성 -잔여 높이 60% 제한 -재현하기 어려운 Rock rolling test 시험 가능 -수직 낙하 시험이 실제 조건을 나타내지 않음
ETAG 27 (유럽)	-유럽에서 가장 많이 사용됨 -여러가지 Rock/Block의 옵션 제공 -제조사별 단부 간격, 패널 폭 결정 -post foundation, 측면앵커, 상향 앵커에 대한 힘 측정 가능	-SAEFL 및 NCHRP 20-7지침과 다름 -연장에 제한 없음 -단부 간격, 패널 폭의 허용 가능한 변경에 대한 제한 없음 -잔여 높이 50% 제한 -유지관리 평가 없음

② 수직 낙하형 500kJ급 낙석방지울타리 성능평가 방법 개발

표 3.3.3-6 성능평가 방법

<table>
<tr><th>구분</th><th>ETAG 27 (유럽)</th><th>개발 방법</th></tr>
<tr><td>실험방법</td><td>-SEL (Service Energy Level)
최대충격 에너지의 1/3E를 1회 후 보수 없이 잔여높이 1/2에서 1회로 총 2회 실시
-MEL (Maximum Energy Level)
최대성능을 확인하는 방법으로 최대충격에너지를 적용하여 1회 실시</td><td>-최대성능을 확인하는 방법으로 최대 충격에너지를 적용하여 1회 실시</td></tr>
<tr><td>낙석에너지 레벨</td><td colspan="2">
<table>
<tr><td>Energy Level(kJ)</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr>
<tr><td>SEL</td><td>-</td><td>85</td><td>170</td><td>330</td><td>500</td><td>660</td><td>1000</td><td>1500</td><td>>1500</td></tr>
<tr><td>MEL</td><td>100</td><td>250</td><td>500</td><td>1000</td><td>1500</td><td>2000</td><td>3000</td><td>4500</td><td>>4500</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>충격 시 속도</td><td>MEL : 낙석 충돌 전 1m에서 속도가 25m/s</td><td>-</td></tr>
<tr><td>충돌위치</td><td>1/2 (중앙)</td><td>1/2 (중앙)</td></tr>
<tr><td>지주의 허용범위</td><td>-SEL : 1회시 70%, 2회시 네트통과해서는 안된다
<table>
<tr><td colspan="2">MEL</td></tr>
<tr><td>Category</td><td>Residual height</td></tr>
<tr><td>A</td><td>nominal height ≥ 50%</td></tr>
<tr><td>B</td><td>nominal height = 30~49%</td></tr>
<tr><td>C</td><td>nominal height ≤ 30%</td></tr>
</table>
</td><td>-1회 실시하며, 지주의 70% 이내에 대한 판정 여부 실시</td></tr>
</table>

NCHRP에서 TEST A, B의 경우 낙석의 통과여부만 판정하기 때문에 지주에 대한 객관적인 판정이 불가능하며, TEST C의 경우 낙석 흡수 에너지를 100~5000kJ로 시험을 하여야 한다. ETAG 27에서 MEL의 경우 최대 성능을 확인하는 방법으로 최대 충격에너지로 타격시 지주의 변위가 50% 이내에 대한 판정여부를 실시하는데, 본 시험 결과 지주가 완전 처짐인 경우 50% 판정 시 안전상의 문제가 없음으로 나타나기 때문에 판정이 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 ETAG 27의 SEL의 규정인 지주의 변위가 70%이내에 대한 판정여부를 실시하여 수행할 계획이다.



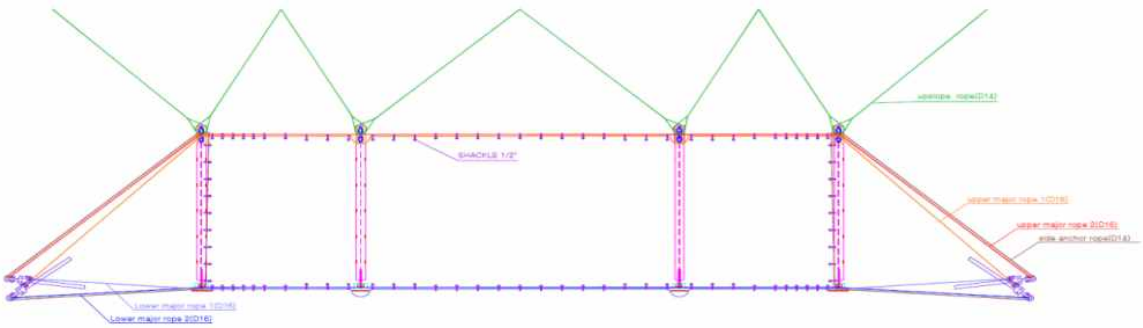
(a) MEL TEST (b) SEL TEST

그림 3.3.3-3 ETAG027에서 정의하는 시험 방법

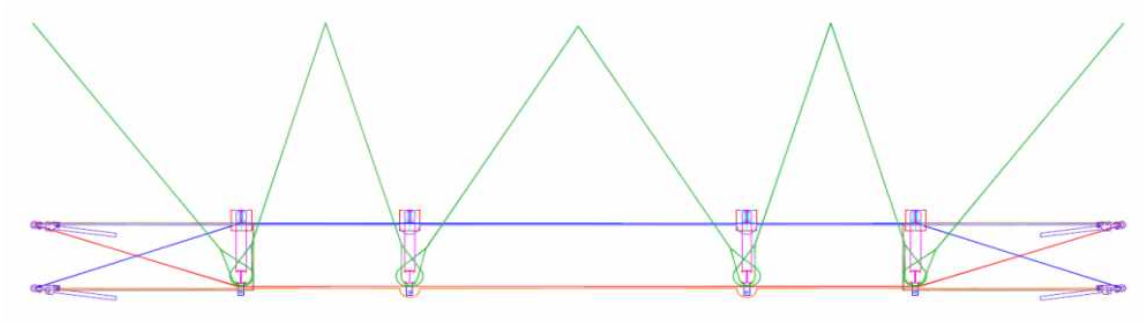
(2) 500kJ급 낙석방지울타리 성능평가 시험장 설계 및 건설

① 낙석방지울타리 성능평가 시험장 설계 및 건설

- 고성능 낙석방지울타리 개발 기관인 ㈜대한지오이엔씨에서 개발한 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템을 바탕으로 기존의 낙석 시험장을 현재 낙석 시험장으로 건설하였다. 개발된 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템은 그림과 같이 상하부 메인로프는 2선으로 구성되며, 상부메인로프1과 하부메인로프2, 상부메인로프2와 하부메인로프1은 각각 같은 지지부에 지지되는 것으로 구상되었다. 이를 위하여 아래의 사진과 같이 상하부 메인로프를 채결할수 있는 고리를 낙석방지 시험장에 설치하였다.



(a) 정면도



(b) 평면도

그림 3.3.3-4 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 구상



그림 3.3.3-5 낙석방지울타리 성능평가 시험장 개선 전



그림 3.3.3-6 낙석방지울타리 성능평가 시험장 개선 후

2) 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 실물실험에 의한 성능평가

(1) 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 1차 예비시험(300kJ)

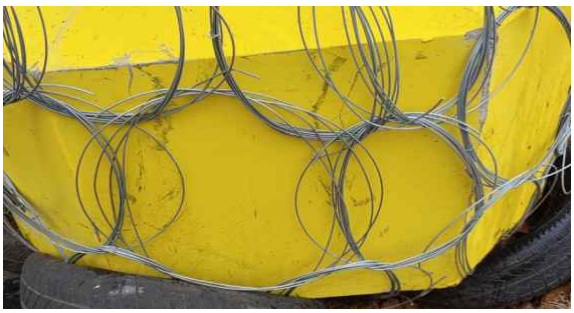
500kJ급 포켓식 낙석울타리에 대한 1차 예비시험(300kJ)을 시행한 결과, 오른쪽 지주 2개의 파손과 링형 포획망의 파손으로 실험 및 성능평가를 할 수 없었다.



(a) 설치후



(b) 시험후 (실패)



(c) 링형 포획망의 파손



(d) 감쇄장치 미작동

그림 3.3.3-7 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 1차('19.12.18)

(2) 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 2차 예비시험(300kJ)

500kJ급 포켓식 낙석울타리에 대한 2차 예비시험(300kJ)을 시행한 결과, 중간 지주 오른쪽에 위치한 와이어로프의 끊어짐에 의해 실험 및 성능평가를 할 수 없었다.







그림 3.3.3-8 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 2차('20.10.14) - 정면



그림 3.3.3-9 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 2차('20.10.14) - 측면

③ 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 3차 예비시험(250kJ)

개선된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 3차 예비시험(250kJ)은 연구 2차년도인 2020년 10월 15일에 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 다음 그림과 같이 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 예비시험결과 낙석을 파손 없이 방호하였다.

특히, 감쇄장치가 1차 및 2차 예비시험 결과와 달리 충분히 작동한 것으로 확인되었으며, 링형 포획망의 파손 및 분해도 발생하지 않다.



그림 3.3.3-10 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 3차('20.10.15) - 정면



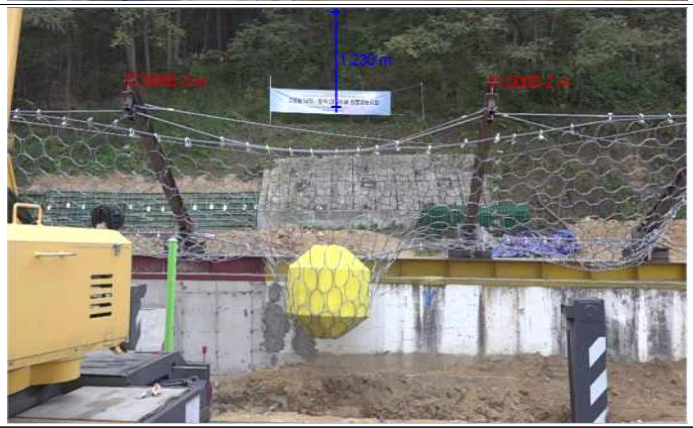
그림 3.3.3-11 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 3차('20.10.15) - 측면

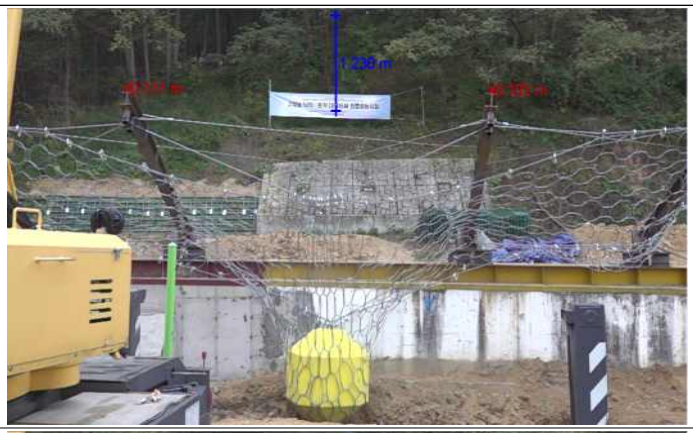
표 3.3.3-7 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 3차('20.10.15)시 링형 포획망의 변위

시간 (초)	변위 (m)	낙석 실험 사진 (망의 변위)	
0	0		
0.075	1.014		
0.15	2.018		
0.225	2.596		
0.3	2.951		

0.3375	3.142		
낙석의 정지			

표 3.3.3-8 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 3차('20.10.15)시 지주의 변위

시간 (초)	지주 변위		낙석 실험 사진 (지주의 변위)
	좌(m)	우(m)	
0	0	0	
0.075	0.007	0.01	

0.15	0.111	0.102	
0.225	0.181	0.159	
0.3	0.29	0.234	
0.375	0.283	0.254	

낙석의 정지	0.174	0.163	



(a) 시험 전 (2.696m)



(c) 시험 후 (2.512m)

그림 3.3.3-12 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 예비시험 3차('20.10.15)시 단부지주의 변위

④ 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가(500kJ 시험) 1차

3차 예비시험을 통한 개선된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가(500kJ 시험)는 2020년 11월 11일에 수행하였다. 그 결과 우측 상단의 감쇄장치 고정부분을 확인하였으며, 장치가 파손이 되어 작동이 되지 않아, 오른쪽 지주가 파괴 되었다.

그러나 링형 포획망의 파손 및 분해는 발생하지 않았기 때문에 와이어로프 및 감쇄장치의 배치 등을 재검토하였다.



그림 3.3.3-13 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 1차('20.11.11) - 정면



그림 3.3.3-14 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 1차('20.11.11) - 측면

표 3.3.3-9 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 1차('20.11.11)시 링형 포획망의 변위

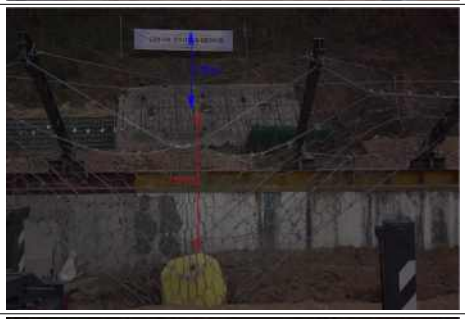
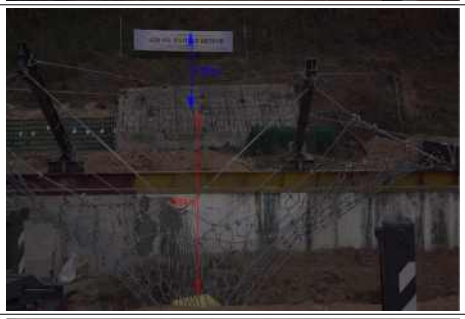
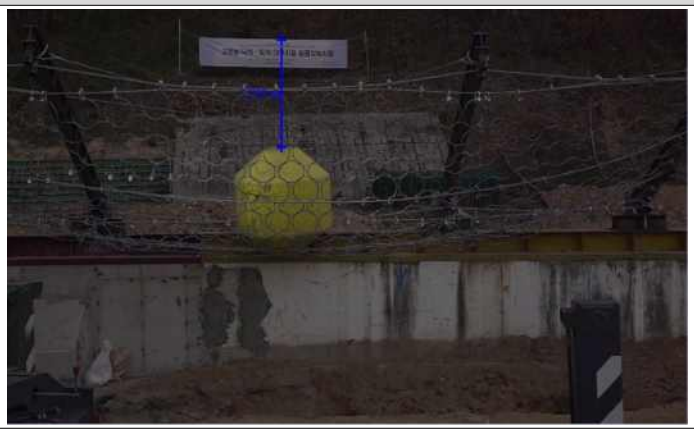
시간 (초)	변위 (m)	낙석 실험 사진 (망의 변위)	
0	0		
0.075	1.324		
0.15	2.274		
0.225	2.894		
낙석의 정지			

표 3.3.3-10 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 1차('20.11.11) 지주의 변위

시간 (초)	지주 변위		낙석 실험 사진 (지주의 변위)
	좌(m)	우(m)	
0	0	파괴	
0.075	0.009		
0.15	0.111		
0.225	0.181		

낙석의 정지	0.251		




그림 3.3.3-15 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 1차('20.11.11) 감쇄장치 파괴

⑤ 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가(500kJ 시험) 2차

실물성능평가 1차를 통한 개선된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가(500kJ 시험)는 2020년 11월 12일에 수행하였다. 그 결과 우측 상단의 감쇄장치 고정부분을 확인하였으며, 장치가 파손이 되어 작동이 되지 않아, 오른쪽 지주가 파괴 되었다.

그러나 링형 포획망의 파손 및 분해는 발생하지 않았기 때문에 와이어로프 및 감쇄장치의 배치 등을 재검토하였다.






그림 3.3.3-16 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 2차('20.11.12) - 정면



그림 3.3.3-17 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 2차('20.11.12) - 측면

표 3.3.3-11 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 2차('20.11.12)시 링형 포획망의 변위

시간 (초)	변위 (m)	낙석 실험 사진 (망의 변위)	
0	0		

0.075	1.233		
0.15	2.507		
0.225	3.726		
낙석의 정지			



그림 3.3.3-18 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 2차('20.11.12) 감쇄장치 파괴

⑥ 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가(500kJ 시험) 3차

개선된 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가(500kJ 시험) 3차는 연구 2차년도인 2020년 12월 03일에 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 다음 그림과 같이 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가결과 낙석을 파손 없이 방호하였다.



그림 3.3.3-19 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가('20.12.03) - 정면



그림 3.3.3-20 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가('20.12.03) - 측면

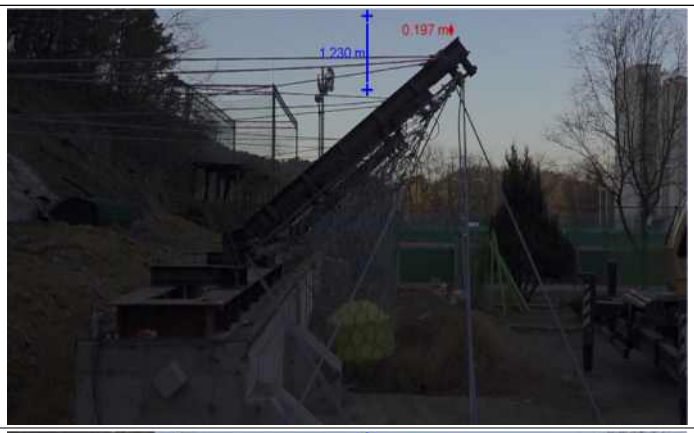
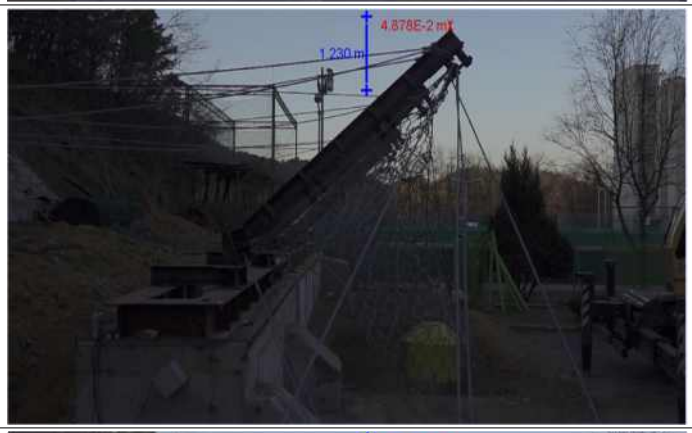
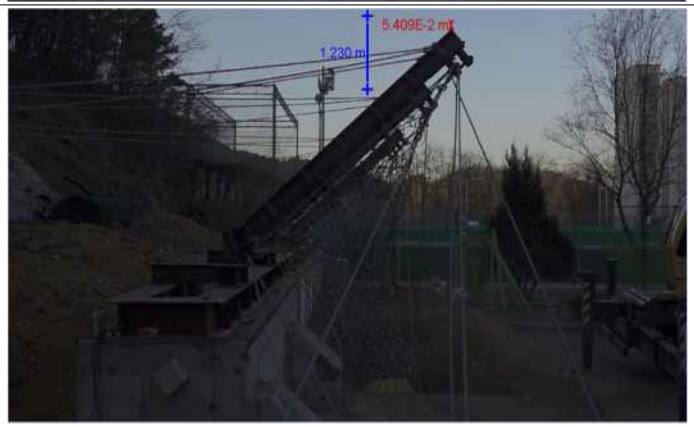
표 3.3.3-12 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가('20.12.03)시 중앙지주의 변위

시간 (초)	지주 변위		낙석 실험 사진 (지주의 변위)
	좌(m)	우(m)	
0	0	0	
0.075	0	0	
0.15	0	0	
0.225	0	0	

0.3	0	0	
낙석의 정지	0	0	

표 3.3.3-13 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가('20.12.03)시 단부지주의 변위

시간(초)	변위(좌) m	사진
0	0	
0.075	0.028	

0.15	0.197	
0.225	0.238	
0.3	0.049	
낙석의 정지	0.054	

3) 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 결과를 반영한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션(수치해석) 검증

(1) 성능평가 결과를 반영한 시뮬레이션(수치해석) 검증

① 방법

- 100~500kJ급 낙석방지울타리 실물 성능평가시 주요부재에 작용하는 응력, 변형 측정
- 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션(수치해석) 결과에 대한 실물 성능평가 측정자료 비교 분석으로 시뮬레이션(수치해석)에 대한 신뢰도 향상
- 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 설계(초안)에 대한 시뮬레이션(수치해석)을 통해 제품 개발
- 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 설계(안)에 대한 500kJ급 낙하시험 수행하여, 주요부재에 작용하는 응력, 변형 측정 후 500kJ급 충돌에너지 시뮬레이션(수치해석) 결과와 비교 분석하여 검증 수행

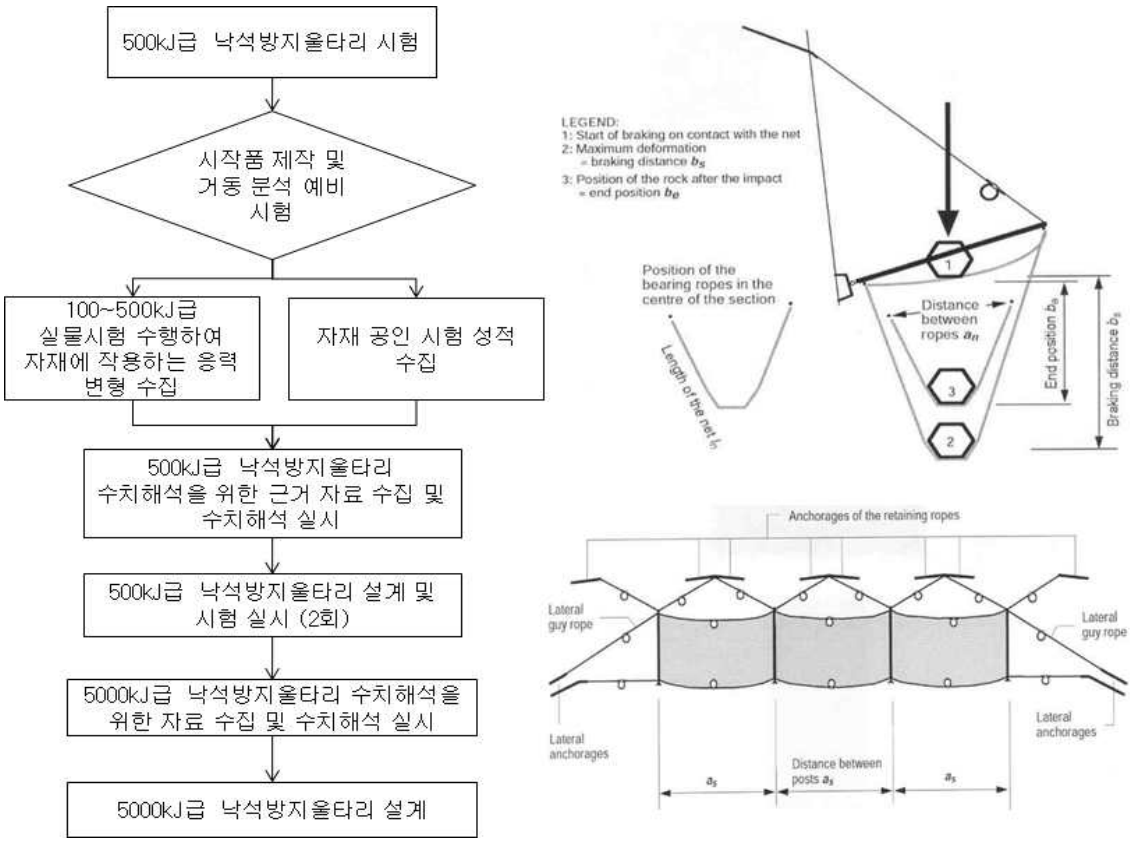


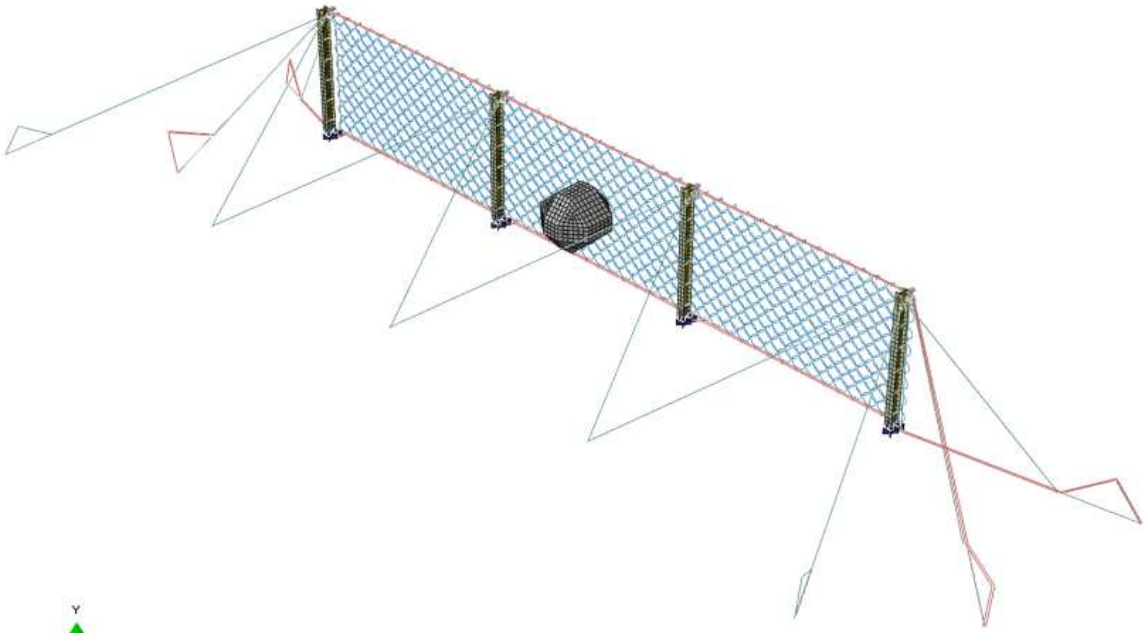
그림 3.3.3-21 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 실물 성능평가 결과를 반영한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션(수치해석) 검증 방법

(2) 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션(수치해석) 검증

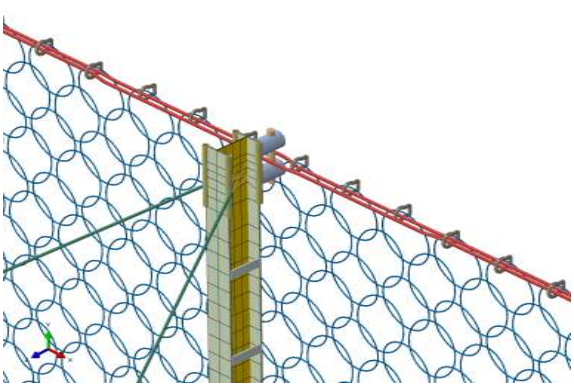
5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증의 신뢰성을 확보하기 위하여 실제 실물성능평가를 수행한 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 모델링 결과는 다음과 같다.

모델링에는 포켓식 낙석방지울타리 요소자재에 대한 공인시험 결과자료를 반영하였다.

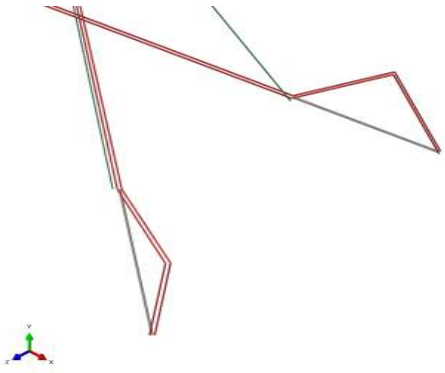
실물실험 결과 0.225초에 가장 큰 변위가 나타났으며, 수치해석 결과 역시 근가한 0.265초에 최대변위값을 나타내었다. 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.



(a) 500kJ 급 전체



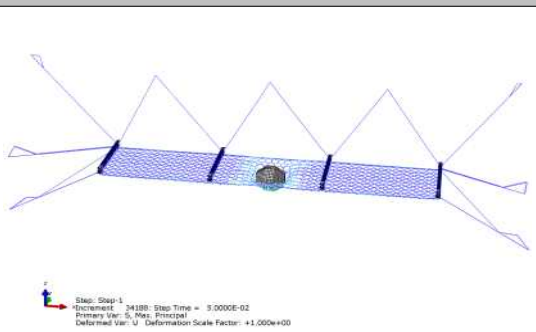
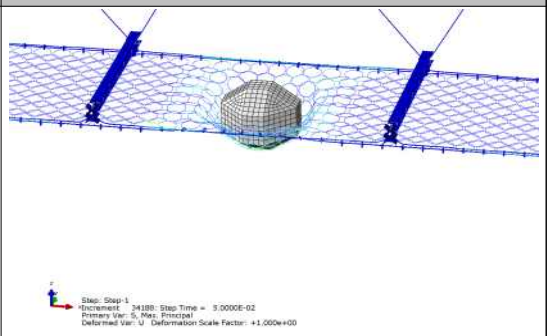
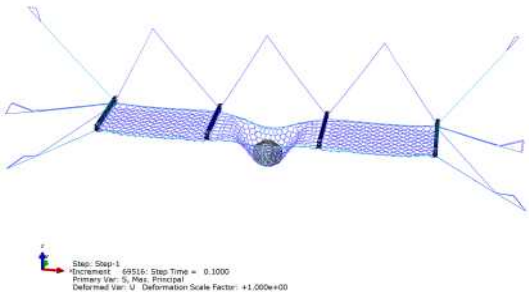
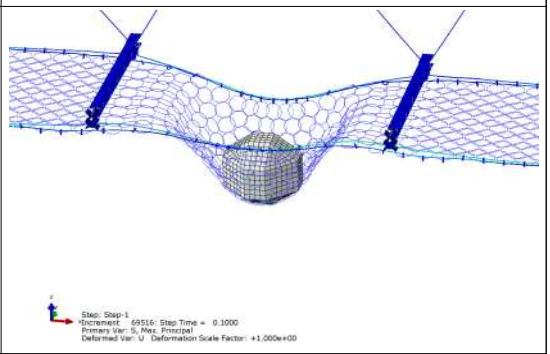
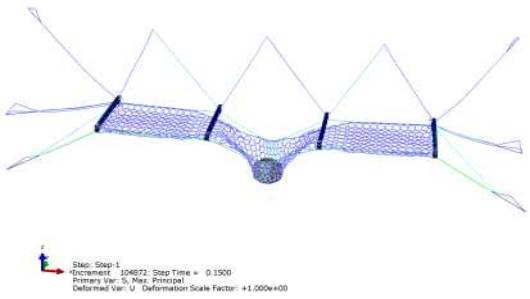
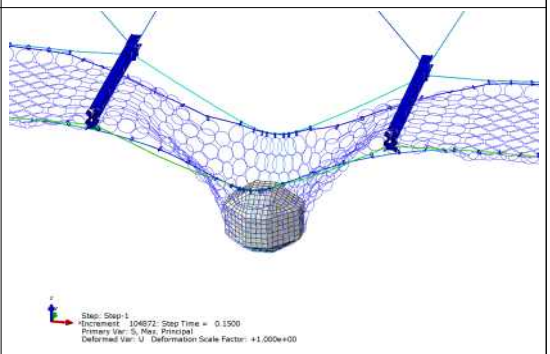
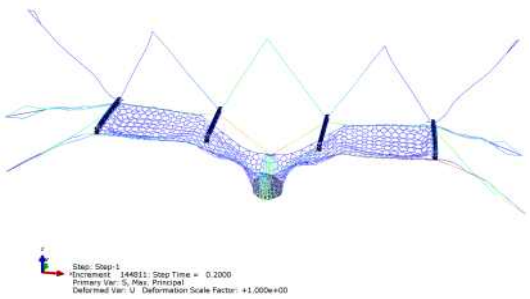
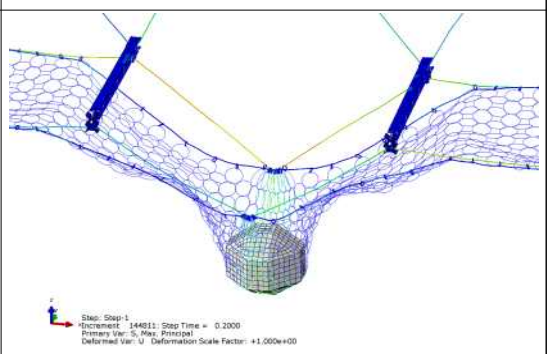
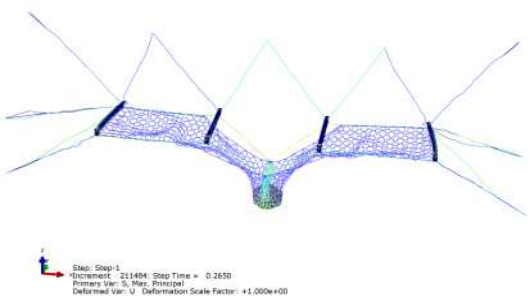
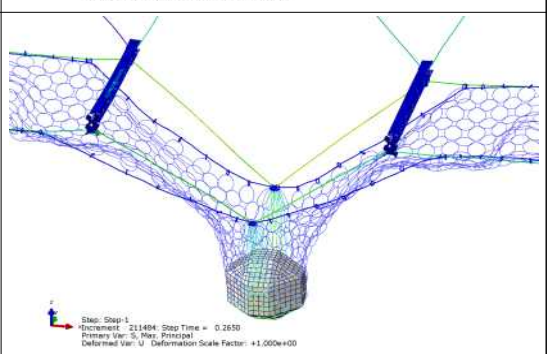
(B) Shackle 체결



(C) 감쇄장치

그림 3.3.3-22 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 모델링

표 3.3.3-14 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 결과

시간 (초)	전체	확대
0.050		
0.100		
0.150		
0.200		
0.265 (변위최대)		

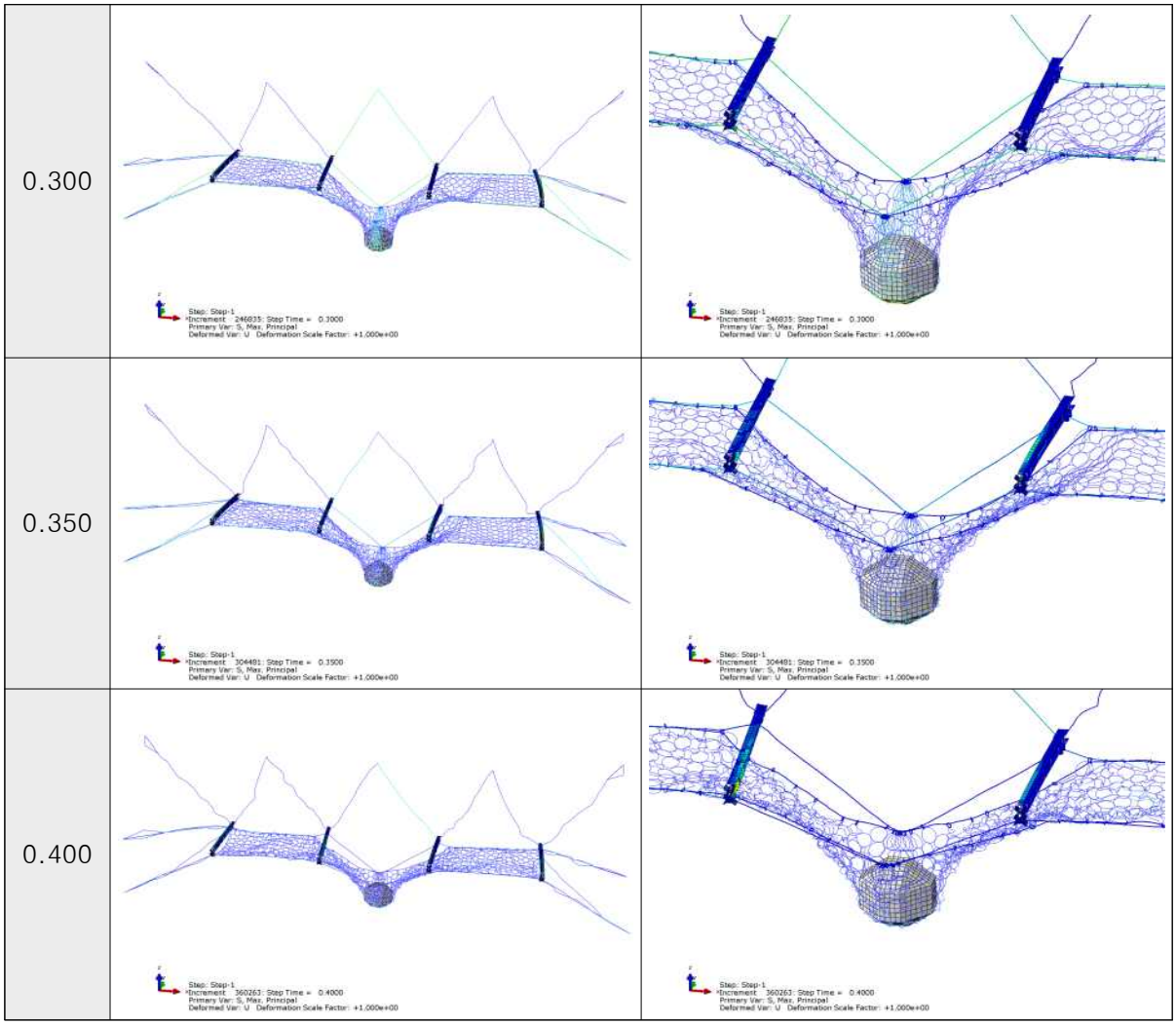


표 3.3.3-15 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 및 실물성능평가 결과 비교

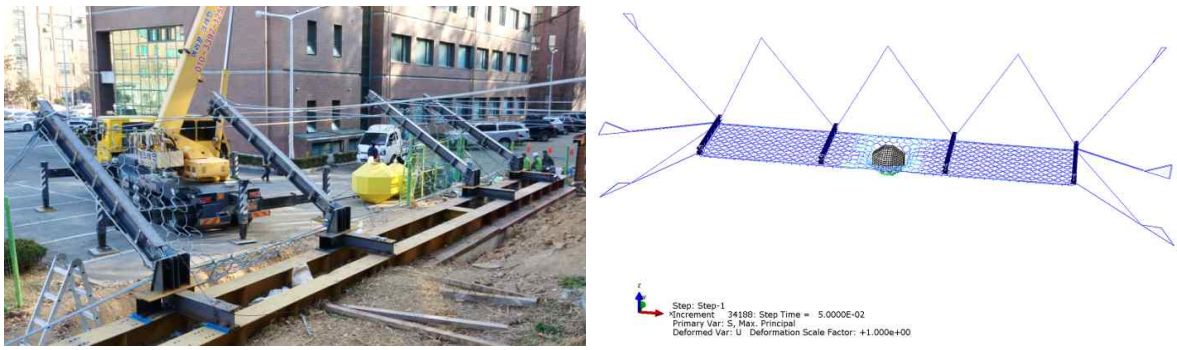
구분		시뮬레이션 결과	실물성능평가 결과	설계제원	비고
링형 포획망	처짐량	4.41 m	4.59 m	-	
	작용응력	1,999 MPa	-	2,040 MPa	설계제원 이내
와이어 로프 작용하중	하부 메인로프 최대	50.8 kN	-	242.1 kN	설계제원 이내
지주	처짐량	0.4995 m	0.238 m	0.9 m 이내 (지주 3.0m 기준)	평가기준 단부 잔여 변위 70% 이상 확보
	작용응력	172.9 MPa	-	400.0 MPa	설계제원 이내
감쇄장치 변위량		0.8866 m	0.7865 m	1.5 m	설계제원 이내

500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 모델링 결과 전체적인 거동양상은 실제 실물성능평가와 유사한 것을 확인 할 수 있었다. 시뮬레이션 결과 링형포획망의 처짐량은 실물성능평가시

4.59m 대비 96.1% 수준인 4.41m으로 분석되었으나 감쇄장치의 변위량은 실물성능평가시 평균 0.7865m 대비 112.7% 수준인 0.8866m로 분석되었다. 또한 지주의 처림량은 실물성능평가시 0.238m 대비 209.9% 수준인 0.4995m의 처짐이 발생하여 큰 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

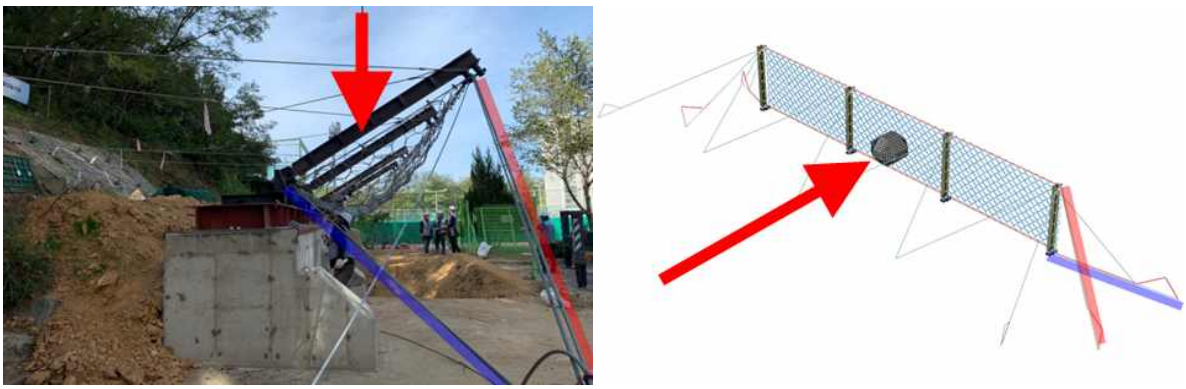
이와 같은 이유는 첫째, 그림 3.3.3-23과 같이 시험장 여건상 지주 간격을 3m, 5m, 3m로 수행한 실물성능시험(설치면적 33m^2)과 실제 설치 제원을 반영하여 지주 간격을 5m, 5m, 5m로 수행한 시뮬레이션 조건(설치면적 45m^2)에 의한 차이로 판단되며, 둘째, 그림 3.3.3-24와 같이 시뮬레이션의 경우 낙석충돌 방향이 포획망과 수직이지만 실물성능평가의 경우 시험장 여건상 경사져 있어 포획망에서 와이어로프, 감쇄장치, 지지부로 전이되는 하중이 분력으로 작용하여 시뮬레이션 보다 작게 작용하는 것으로 판단된다. 이에 따라 실물성능평가 결과 지주의 처짐량과 감쇄장치 변위량이 더 작게 발생하였으나 링형포획망의 처짐량이 크게 발생한 것으로 판단된다.

한편, 와이어로프에 작용하는 하중은 시뮬레이션 결과 최대 50.8kN으로 설계제원 242.1kN 대비 안전성을 확보하고 있으며, 링형포획망의 경우 최대작용응력은 1,999MPa로 설계제원 2,040MPa 이내인 것으로 분석되었다.



(a) 실물성능평가시 지주간격-3m, 5m, 3m (b) 시뮬레이션시 지주간격-5m, 5m, 5m

그림 3.3.3-23 500kJ급 실물성능평가 및 시뮬레이션 지주 간격 비교

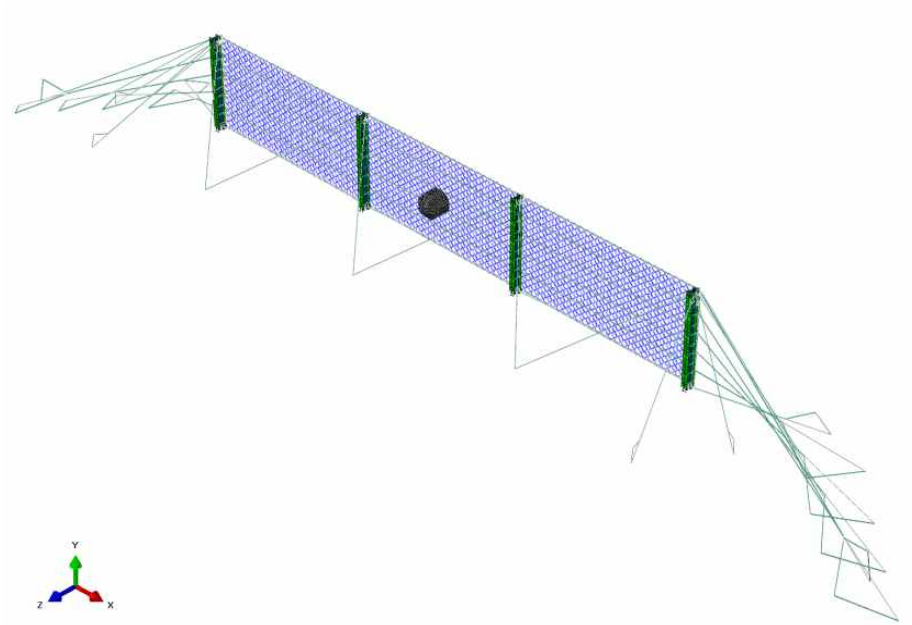


(a) 실물성능평가 (b) 시뮬레이션

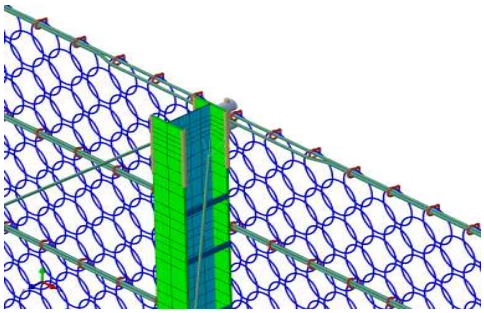
그림 3.3.3-24 500kJ급 실물성능평가 및 시뮬레이션의 낙석 충돌 방향

(3) 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션(수치해석) 검증

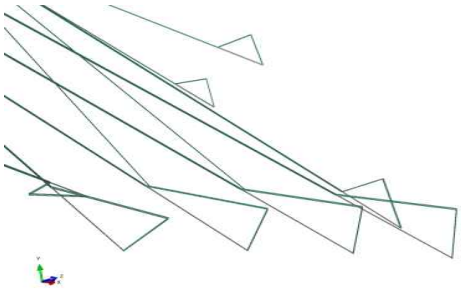
5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증의 신뢰성을 확보하기 위하여 선행 검증으로 실물성능평가(3차)를 수행한 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 5,000kJ급 수치해석을 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.



(a) 5000kJ 급 전체



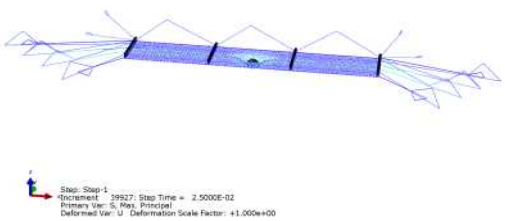
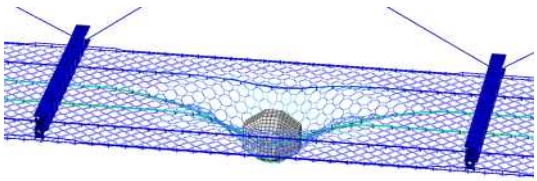
(B) Shackle 체결

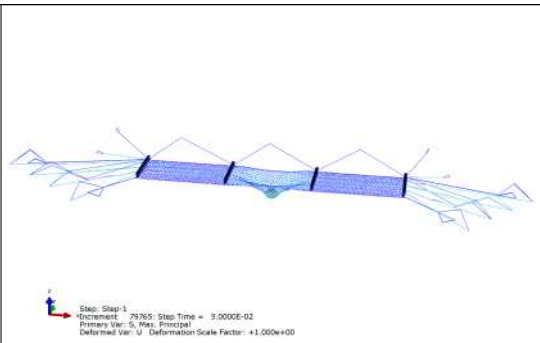
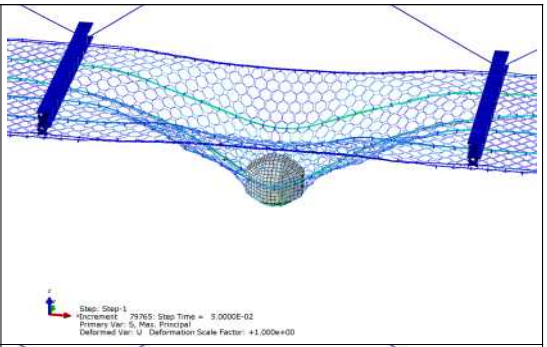
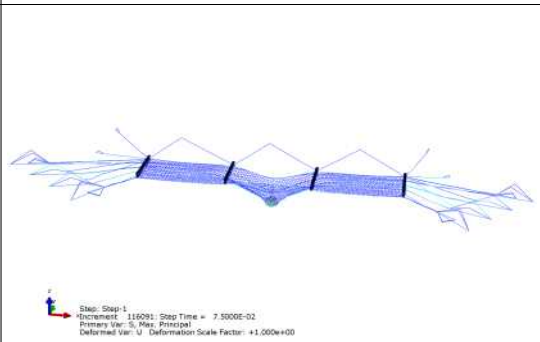
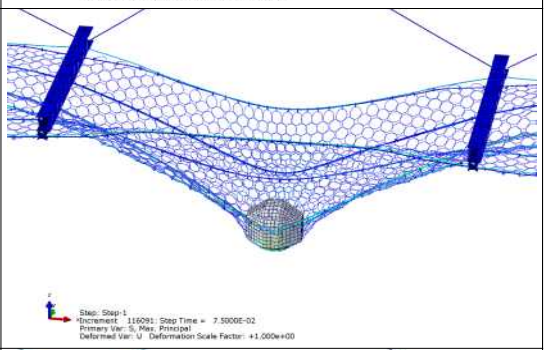
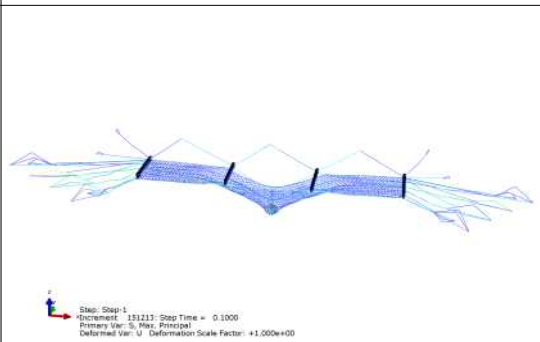
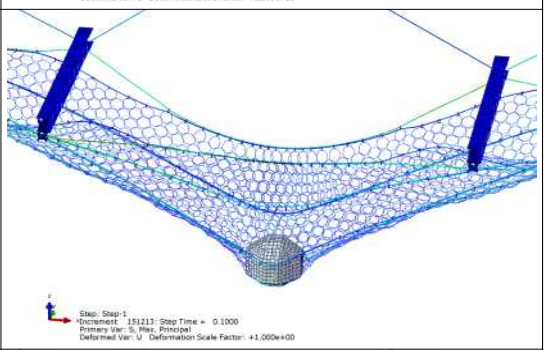
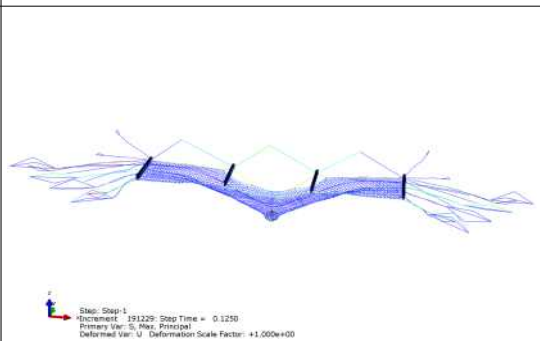
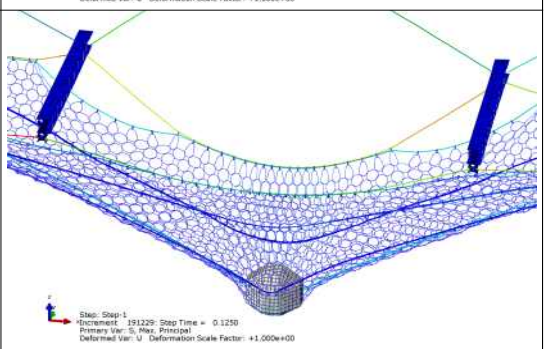
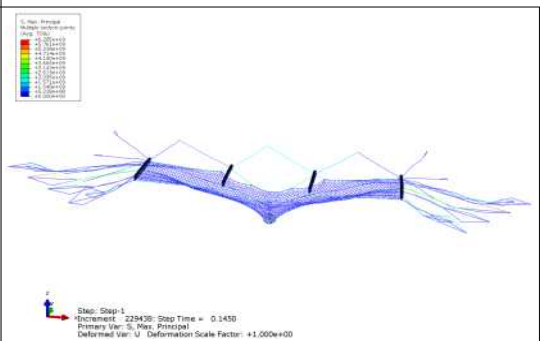
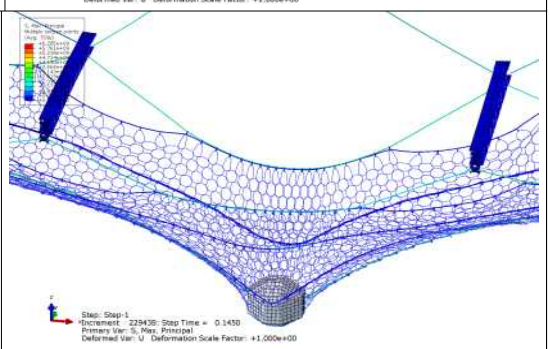


(C) 감쇄장치

그림 3.3.3-25 5000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 모델링

표 3.3.3-16 5000kJ급 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 결과

시간 (초)	전체	확대
0.025		

0.050		
0.075		
0.100		
0.125		
0.145 (변위최대)		

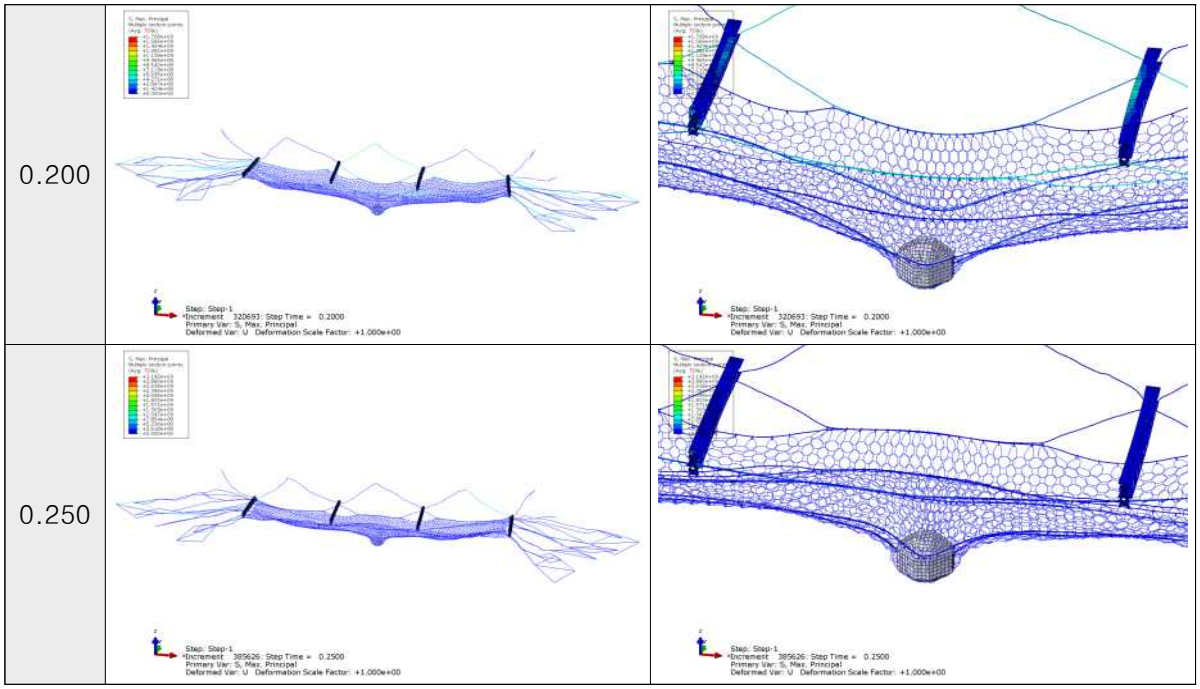


표 3.3.3-17 5,000kJ급 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 및 실물성능평가 결과 비교

구분		시뮬레이션 결과	설계 재원	비고
링형 포획망	처짐량	6.302 m	-	
	작용응력	1,717 MPa	2,040 MPa	설계제원 이내
와이어로프 작용하중	하부 메인로프 최대	162.3 kN	360.6 kN	설계제원 이내
지주	처짐량	0.8588 m	1.5 m 이내 (지주 5.0m 기준)	평가기준 단부 잔여 변위 70% 이상 확보
	작용 응력	123.3 MPa	400.0 MPa	설계제원 이내
감쇄장치 변위량		2.524 m	4.0 m	설계제원 이내

5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리에 대한 시뮬레이션 결과 단부 변위량은 0.8588m로서 평가 기준인 단부 잔여 변위량 70%인 1.5m(지주 높이 5.0m 기준))를 만족하고 있으며, 링형포획망의 처짐량은 6.30m, 감쇄장치의 변위량은 2.524m로 분석되었다.

와이어로프에 작용하는 하중은 162.3kN으로 설계제원 360.6kN 대비 안전성 확보하고 있으며, 링형포획망의 경우 최대작용응력은 1,717MPa로 설계제원 2,040MPa 이내인 것으로 분석되었다.

3.4 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발

1) 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 키트 개발

(1) 센서 부분 개발

① 제품 개발 방향

- 기존의 제품들은 로거박스와 진동 감지 센서로 이원화 되어 있어, 한 개의 제품군으로 일체화 시켜 설치 및 운용을 더 폭넓게 적용이 가능한 형태가 되도록 하는데 주안점을 주었음.
- 기존의 제품군이 아닌 새로운 무선 진동 센서를 제작하여야 하는 부분에서 적용 가능한 부품 선정 및 프로세스를 검토하고, 통신 부분 모듈을 장착하여 센서 내에서 연동 가능하게 계획함.

② 계측센서의 선정

a. 고성능 낙석·토석 대책시설 유지관리용 계측항목 선정

- 기존 낙석방지울타리에 대한 계측 사례 조사 결과 기존 낙석방지울타리 계측시스템은 상부 비탈면에서 낙하한 낙석이 낙석방지울타리에 설치된 와이어게이지에 충돌하면, 와이어게이지에 작용하는 인장력의 변화를 측정하는 방식이 대부분임.
- 기존 낙석방지울타리 모니터링 시스템은 낙석방지울타리에 대한 계측관리가 아니라 낙석이 발생하는 것을 감지하는 낙석감지를 목적으로 수행되어 와이어게이지의 인장력 변화를 측정하는 시스템으로 구축됨.



(a) 철도사면 낙석 모니터링 시스템 사례 (b) 국립공원공단 낙석 모니터링 시스템 사례

그림 3.3.4-1 국내 낙석 모니터링 시스템 사례

- 그러나 고성능 낙석방지울타리의 경우 기존 일반 낙석방지울타리와 달리 변위와 변형을 허용하여 보다 큰 낙석을 방호할 수 있는 시스템이며, 본 연구에서는 낙석의 감지뿐만 아니라 고성능 낙석방지울타리에 대한 유지관리에 활용할 수 있는 유지관리시스템을 개발하고자 함.

- 따라서 본 연구에서는 고성능 낙석방지울타리의 거동 특성을 고려하여 계측항목과 계측기기의 설치 위치에 대한 검토를 통해 개발될 센서를 선정하였으며, 그 결과는 다음과 같음.

- 고성능 낙석·토석 대책시설의 거동 특성
  - 포획망으로 링형포획망을 활용하기 때문에 낙석 포획시 비탈면 상하부 방향으로 변형량이 크게 발생함
  - 링형포획망이 체결된 상하부 메인 케이블의 양단에는 충격에너지 감쇄장치가 연결되어 낙석 포획시 고성능 낙석방지울타리 설치방향과 비탈면 상하부 방향의 변형량이 크게 발생함
  - 링형포획망과 상부 메인케이블은 지주에 거치되어 있으며, 이 지주는 힌지식으로 설치되어 낙석 포획시 비탈면 상합 방향의 변형량이 크게 발생함.

- 고성능 낙석·토석 대책시설 유지관리를 위한 계측기기 설치 위치 고려사항
  - 낙석 및 토석 발생시 충격을 감지할 수 있는 지점일 것
  - 포획망의 처짐변화를 감지할 수 있는 지점일 것
  - 충격에너지 감쇄장치의 변화를 감지 할 수 있는 지점일 것
  - 유지관리와 점검이 용이한 지점일 것

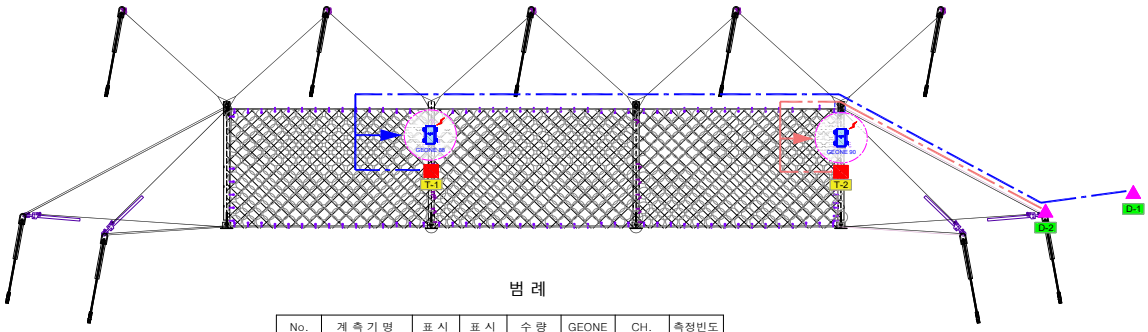
표 3.3.4-1 고성능 낙석·토석 대책시설 유지관리를 위한 계측항목 선정시 고려사항

항목	고려기준	항목	고려기준
적용성	• 측정간격을 임의로 설정할 수 있는 것 • 측정치의 시계열 표시가 가능한 것 • 계측기의 정밀도 현장요구와 일치하는 것	내후성	• 호설지역 등의 특수성에 대처 가능 • 열악한 기온조건에서 정상적인 작동가능
신뢰성	• 측정 데이터의 백업 기능	보수성	• 점검빈도가 작은 것 • 단시간에 점검할 수 있는 것
편리성	• 상황에 따라 센서의 추가 가능 • 계측결과를 신속하게 전달할 수 있는 것	경제성	• 기능성을 유지하면서 저렴한 계측기

- 고성능 낙석·토석 대책시설 유지관리를 위한 계측 항목 및 계측기기 설치 위치 선정

표 3.3.4-2 고성능 낙석·토석 대책시설 유지관리를 위한 계측항목 및 계측기기 설치 목적

계측항목	설치목적 및 기대효과
구조물 경사계	• 지주(DH-POST)의 경사를 측정하여 낙석발생시 충격하중에 따른 기울기 변화를 감지
신축 이음계	• 낙석방지울타리 내 링형포획망의 길이변화를 측정하여 상태정보 확인 • 감쇄장치의 길이변화를 측정하여 상태정보를 확인



범 례

No.	계 측 기 명	표 시	표 시	수 량	GEONE	CH.	측정빈도
1	구조물 경사계	T-1	■	1 개소	No. 88	1 CH	1회/4hr
2	신축이음계	D-1	▲	1 개소		4 CH	
3	구조물 경사계	T-2	■	1 개소	No. 90	1 CH	1회/4hr
4	신축이음계	D-2	▲	1 개소		4 CH	

그림 3.3.4-2 테스트베드 계측기기 설치 배치도

b. 고성능 낙석・토석 대책시설 유지관리키트용 센서 선정시 고려사항 및 비교

- 진동제거
  - ·· 이상적으로 자이로는 회전 속도 만 측정하고 다른 것은 측정하지 않음. 실제로, 모든 자이로는 기계적 설계 및 / 또는 미세 가공 부정확성의 비대칭 성으로 인해 가속도에 어느 정도 민감함. 실제로, 가속 감도의 표현은 여러 가지가 있으며, 심각도는 설계마다 다름. 가장 중요한 것은 일반적으로 선형 가속도 (또는 g 감도) 및 진동 정류 (또는 g 2 감도)에 대한 감도이며, 대부분의 자이로 응용 분야는 지구의 1g 중력장을 중심으로 움직이거나 회전하는 장치에 있기 때문에 가속 감도는 종종 가장 큰 오류 원인을 나타냄.
  - ·· 초저가 자이로는 일반적으로 진동 제거에 최적화되지 않고 (저비용에 최적화되어 있음) 진동으로 인해 크게 문제가 될수 있는 매우 간단하고 컴팩트 한 기계 시스템을 사용하여 설계되며, 1000 ° / h / g (또는 0.3 ° / s / g) 이상의 g 감도 이상은 감지하지 않음. 따라서 고성능 자이로보다 10 배 이상 성능이 떨어짐. 지구 자계를 통한 자이로의 작은 회전이 g 및 g 2 감도 로 인해 큰 오류를 초래할 수 있으므로, 저가 자이로에서 양호한 바이어스 안정성을 찾기는 어려우며, 일반적으로 이러한 유형의 자이로에는 진동 감도가 지정되어 있지 않으며 매우 큰 것으로 가정함.
  - ·· 이에 반해, 고성능 MEMS 자이로의 성능이 훨씬 뛰어남. 아래표는 여러 고성능 MEMS 자이로에 대한 데이터 시트 사양을 보여주며, 이 등급의 대부분의 자이로는 360 ° / h / g (또는 0.1 ° / s / g) 의 감도 와 60 ° / h / g 이하의 g 감도를 나타냄. 초저가 자이로보다 훨씬 낫지 만, 150mg (8.8도 기울임)의 가속도 변화에 노출 될 때 이들 중에서도 가장 좋은 것만이 지정된 바이어스 안정성을 통과하고 있음.

표 3.3.4-3 제조사별 자이로 센서의 특징

제조사	부품 번호	감도 (°/s/g)	g^2 감도 (°/s/g^2)	바이어스 안정성 (°/h)
Analog Devices	ADXRS646	0.015	0.0001	8
Melexis	MLX90609	0.1	명시되지 않음	17
Silicon Sensing	CRG20-01	0.1	0.005	5
VTI	SCR1100-D04	0.1	명시되지 않음	2.1

·· 일부 설계자는 외부 가속도계를 사용하여 g 감도를 보정하려고 시도하며(필수 가속도계가 이미 존재하므로 IMU 응용 프로그램에서 가장 자주 수행됨) 이는 경우에 따라 성능을 향상시킬 수 있음. 그러나 g 감도 보정은 여러 가지 이유로 완전히 성공할 수 없으며, 대부분의 자이로는 진동 주파수에 따라 변하는 g 감도를 갖는 경향이 있음. 아래 그림은 진동으로 인한 실리콘 센싱 CRG20-01 자이로의 응답을 보여주며, 자이로의 g 감도가 정격 사양 내에 있지만 (특정 주파수에서 약간의 스퍼를 제외하고는 중요하지는 않지만) dc에서 100Hz까지 12 대 1의 비율에 따라 달라 지므로 캘리브레이션 DC에서 단순히 g 감도를 측정하여 수행할 수 없음을 볼 수 있음.

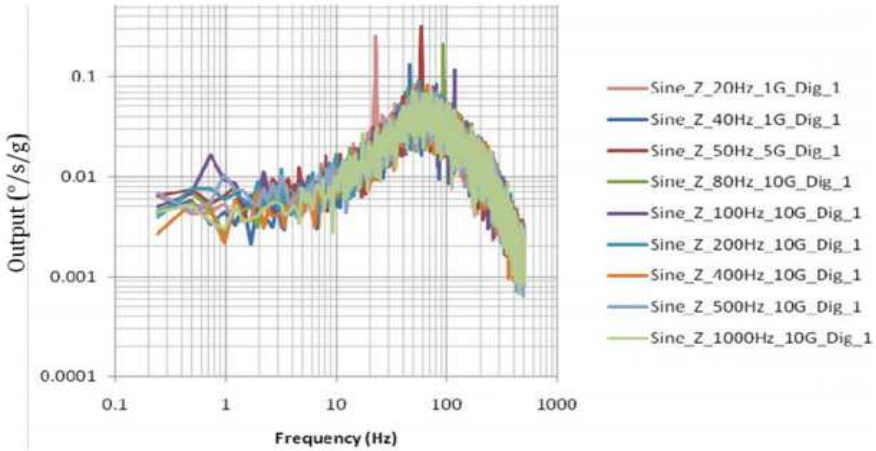


그림 3.3.4-3 CRG20-01 자이로의 응답 특성

·· 이와 대조적으로, 아래 그래프에서는 유사한 조건 상황의 ADXRS646 자이로의 반응을 보여줌. 단점은 일부 자이로가 다른 자이로보다 감도를 쉽게 보상 할 수 있음

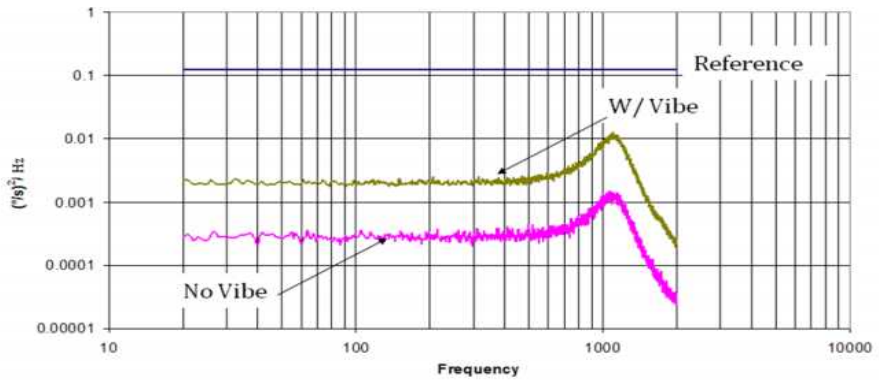


그림 3.3.4-4 ADXRS646 자이로의 반응

·· 또 다른 어려움은 보상 가속도계의 위상 응답을 자이로와 일치시키는 데 있으며, 자이로와 보상 가속도계의 위상 응답이 잘 맞지 않으면 고주파 진동 오류가 실제로는 확대 될 수 있음. 또 다른 결론으로 이끌어도 g 감도 보정은 대부분의 자이로에서 낮은 주파수에서만 작동함.

·· 진동 정류는 종종 지정되지 않은 채로 남아 있으며, 때때로 열악한 환경이나 장치마다 크게 다르기 때문임. 때로는 자이로 제조업체가 테스트하거나 지정하지 않으려하기 때문에 공평하게 테스트하기가 어려운 경우가 있음. 그러나 어느 쪽이든, 가속도계로 보상 할 수 없으므로 진동 정류가 중요함.

·· g2 를 향상시키는 가장 일반적인 방법은 아래과 같이 기계적 방진 마운트를 추가하는 것임. 그림은 금속 캔 패키지에서 부분적으로 제거 된 Panasonic 자동차 자이로로서, 자이로 어셈블리는 고무 방진 마운트가 있는 금속 캔과 분리되어 있음. 진동 방지 마운트는 넓은 주파수 범위 (특히 낮은 주파수에서 제대로 작동하지 않음)에 걸쳐 평탄한 응답이 없고 진동 감소 특성이 온도와 수명에 따라 변하기 때문에 엔지니어링하기가 매우 어렵움. 실제로 g 감도와 마찬가지로 자이로의 진동 정류 응답은 주파수에 따라 달라질 수 있음. 진동 방지 마운트는 알려진 스펙트럼에서 협 대역 진동을 감쇠시키기 위해 성공적으로 설계 될 수 있지만, 이러한 마운트는 광대역 진동이 존재할 수있는 모든 범용 애플리케이션에 문제가 있음.

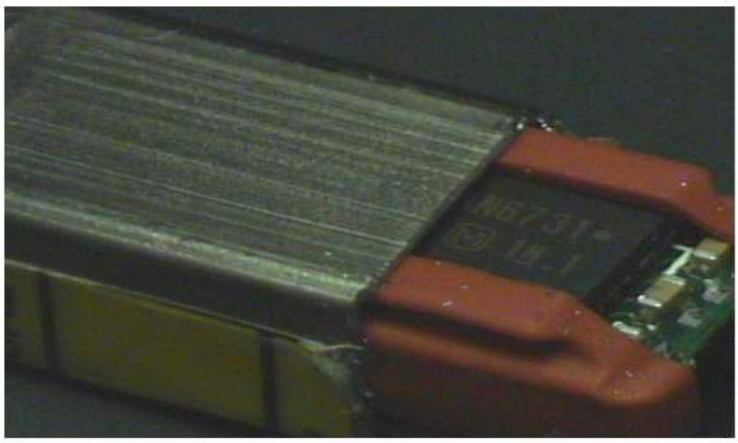


그림 3.3.4-5 기계적 방진 마운트를 추가한 자이로센서 사례

- 기계적 남용으로 인한 주요 오작동
  - ·· 많은 응용 프로그램에는 일상적으로 자이로를 손상시키지 않으면 서 큰 오류가 발생하는 단기 남용 이벤트가 발생 할 수 있음.
  - ·· 일부 자이로는 오작동없이 속도 과부하를 견딜 수 없음. 아래 그림은 실리콘 센싱 CRG20 자이로의 반응이 지정된 범위에서 약 70 %의 입력을 평가하는 것을 보여줌. 왼쪽의 곡선은 자이로가 0 ° / s에서 500 ° / s로 회전하고 지속될 때 CRS20의 응답을 보여주며, 오른쪽 곡선은 입력 속도가 500 ° / s에서 0 ° / s로 감소했을 때의 응답을 보여줌. 속도 입력이 정격 측정 범위를 벗어나면 출력이 레일에서 와일드로 크게 스윙함.

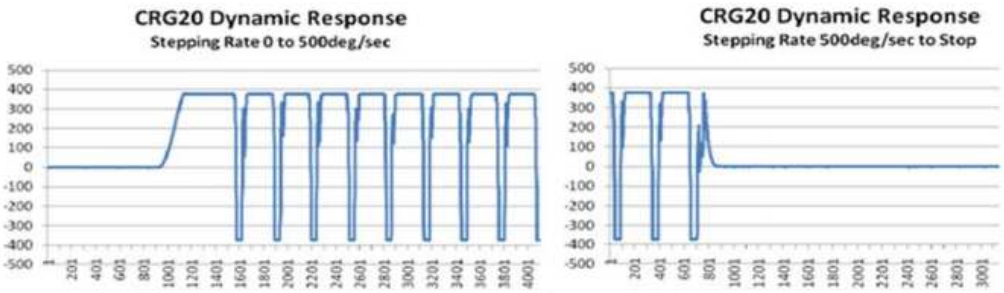


그림 3.3.4-6 실리콘 센싱 CRG20 자이로의 입력 평가 사례

  - ·· 다른 자이로는 수백 g 정도의 작은 충격에 노출 될 때 "잠그는" 경향이 있음. 예를 들어, 아래그림은 250g 0.5ms 충격 (40cm 거리에서 자이로 옆 PCB에 5mm 스틸 볼을 떨어뜨림으로 발생)시 VTI SCR1100-D04의 응답을 보여줌. 자이로는 충격에 의해 손상되지 않지만 더 이상 속도에 반응하지 않으며 다시 시작하려면 전원을 껐다 켜야하지만 이것은 매우 드문 일이 아님.

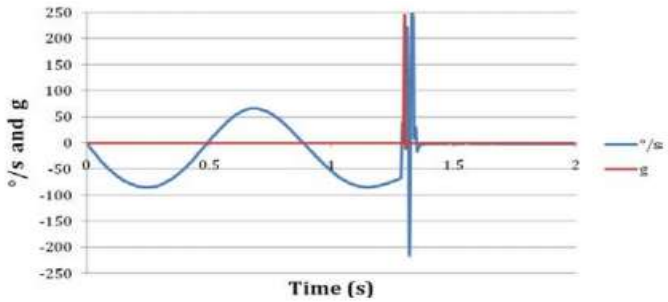


그림 3.3.4-7 충격에 의한 VTI SCR1100-D04의 응답 사례

  - ·· 분명히 이런 유형의 오류는 문제가 크게 작용하기 때문에 주어진 조건들 중 어떤 상황이 발생할 것인지에 대한 상황 판단이 중요하며, 각 조건에서 어떤 센서가 적합한지 고려하여야함.

- 환경 오류(온도 보상)
  - ·· 많은 MEMS 자이로는 온도에 따른 약간의 변화뿐만 아니라 시간 제로 null 바이어스 및 스

케일 팩터 오류를 나타내기 때문에 사용자가 온도를 보상하는 것이 일반적임. 자이로에는 온도 보상 목적으로 만 온도 센서가 통합되어 있으며, 온도 센서의 절대 정확도는 이 작업에서 중요하지 않음. 온도 센서와 실제 자이로 온도 카운트의 반복성 및 밀접한 결합만 가능함. 현재 자이로의 온도 센서는 이러한 요구 사항을 충족시키는 데 거의 아무런 문제가 없음.

·· 온도 보상 (다항식 곡선 맞춤, 구간 별 선형 근사 등)에 사용할 수 있는 많은 기술이 있으며, 사용되는 특정 기술은 적절한 수의 온도 포인트가 기록되고 교정 중에 충분한 주의를 기울이는 한 중요하지 않음. 예를 들어, 각 온도에서 불충분 한 시간이 일반적인 오류 원인일때, 어떤 기술을 사용하고 얼마나 많은 주의를 기울이든 제한 요인은 온도 히스테리시스, 즉 해당 온도가 냉각 대 가열을 통해 접근 할 때 발생하는 특정 온도에서의 출력 차이임.

·· 아래 그림은 ADXRS453 자이로의 온도 히스테리시스 루프를 보여줌. 보정되지 않은 자이로의 널 바이어스 측정은 온도가 + 25 ° C, + 130 ° C, -45 ° C, + 25 ° C로 변하는 동안 기록되었음. 가열 사이클과 냉각 사이클 (이 경우 약 0.2 ° / s) 사이에 + 25 ° C에서 널 바이어스 출력에 약간의 차이가 있으며, 이것이 온도 히스테리시스임. 이 오류는 자이로 전원 공급 여부와 관계없이 발생하므로 보상 할 수 없으며, 히스테리시스의 크기는 적용되는 온도 "여기"의 양에 비례하여 변하기 때문에 더 넓은 온도 범위가 장치에 적용될 때 더 많은 히스테리시스가 발생함.

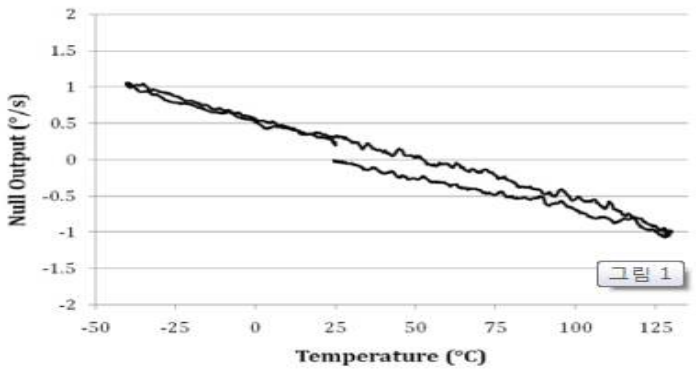


그림 3.3.4-8 ADXRS453 자이로 의 온도 히스테리시스 루프

·· 이 히스테리시스를 제어하기 위해서는 애플리케이션의 turn-ON 또는 널바이어스의 필드 내 영점 조정을 허용하는 경우 이 오류를 무시할 수 있음.

- 오류 예상 계산 비교

·· 대부분의 자이로 애플리케이션은 움직임이나 진동이 있는 상황에서 작동하며, 다양한 응용분야에서 사용에서의 실험 결과는 표1과 같으며, 표 2에서 볼 수 있듯이, 진동 성능을 절반 크기로 개선하는 Ag 감도 보상체계를 추가하여도 여전히 진동 감도가 바이어스 안전성보다 훨씬 더 큰 오류를 발생하는 것을 볼 수 있음.

·· 실험 결과를 고려했을 때 Analog Devices의 제품이 우수한 것을 확인 할 수 있음.

③ 유지관리 키트용 센서 개발

a. 경사계 센서 개발

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

구분	규격
분해능	0.1%FS
정확도	±1.0%FS
측정범위	±10.0°

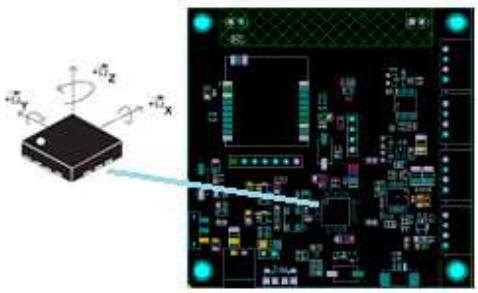
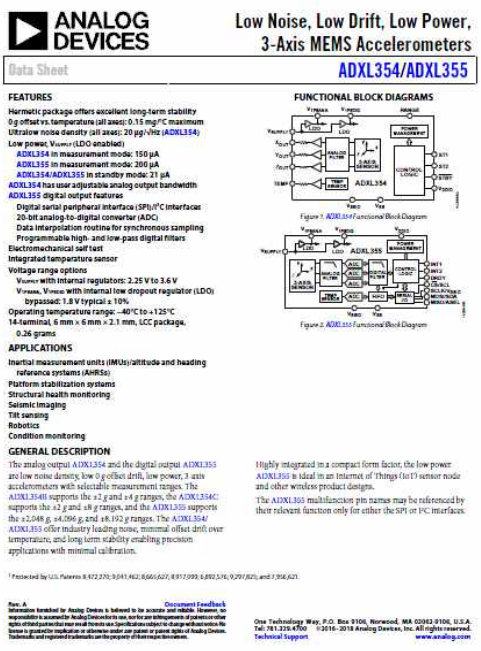


그림 3.3.4-9 경사계 센서



ANALOG DEVICES

Low Noise, Low Drift, Low Power, 3-Axis MEMS Accelerometers

Data Sheet ADXL354/ADXL355

FEATURES

Hermetic package offers excellent long-term stability
0 g offset vs. temperature (all axes): 0.15 mg/°C maximum
Ultralow noise density (all axes): 20 µg/√Hz (ADXL354)
Low power, V_{SUPPLY} (LDO enabled)
ADXL354 in measurement mode: 150 µA
ADXL355 in measurement mode: 200 µA
ADXL354/ADXL355 in standby mode: 21 µA
ADXL354 has user adjustable analog output bandwidth
ADXL355 digital output features
Digital serial peripheral interface (SPI)/I²C interfaces
20-bit analog-to-digital converter (ADC)
Data interpolation routine for synchronous sampling
Programmable high- and low-pass digital filters
Electromechanical self test
Integrated temperature sensor
Voltage range options
V_{SUPPLY} with internal regulators: 2.25 V to 3.6 V
V_{PERIPH}, V_{DIGIO} with internal low dropout regulator (LDO) bypassed: 1.8 V typical ± 10%
Operating temperature range: −40°C to +125°C
14-terminal, 6 mm × 6 mm × 2.1 mm, LCC package, 0.26 grams

APPLICATIONS

Inertial measurement units (IMUs)/altitude and heading reference systems (AHRSs)
Platform stabilization systems
Structural health monitoring
Seismic imaging
Tilt sensing
Robotics
Condition monitoring

GENERAL DESCRIPTION

The analog output ADXL354 and the digital output ADXL355 are low noise density, low 0 g offset drift, low power, 3 axis accelerometers with selectable measurement ranges. The ADXL354B supports the ±2 g and ±4 g ranges, the ADXL354C supports the ±2 g and ±8 g ranges, and the ADXL355 supports the ±2.048 g, ±4.096 g, and ±8.192 g ranges. The ADXL354/ADXL355 offer industry leading noise, minimal offset drift over temperature, and long term stability enabling precision applications with minimal calibration.

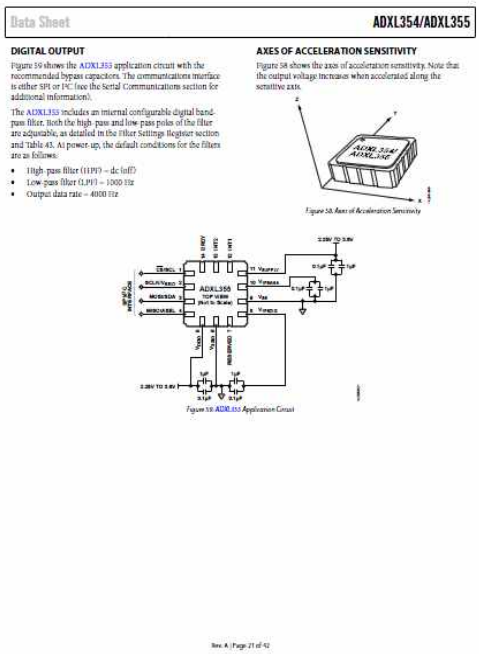
Highly integrated in a compact form factor, the low power ADXL355 is ideal for an Internet of Things (IoT) sensor node and other wireless product designs.

The ADXL355 multifunction pin names may be referenced by their relevant function only for either the SPI or I²C interfaces.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS

Figure 1. ADXL354 Functional Block Diagram

Figure 2. ADXL355 Functional Block Diagram



Data Sheet ADXL354/ADXL355

DIGITAL OUTPUT

Figure 59 shows the ADXL355 application circuit with the recommended bypass capacitors. The communications interface is either SPI or I²C (see the Serial Communications section for additional information).

The ADXL355 includes an internal configurable digital band-pass filter. Both the high-pass and low-pass poles of the filter are adjustable, as detailed in the Filter Settings Register section and Table 43. At power-up, the default conditions for the filters are as follows:

- High-pass filter (HPF) − dc (off)
- Low-pass filter (LPF) − 1000 Hz
- Output data rate − 4000 Hz

AXES OF ACCELERATION SENSITIVITY

Figure 58 shows the axes of acceleration sensitivity. Note that the output voltage increases when accelerated along the sensitive axis.

Figure 58. Axes of Acceleration Sensitivity

Figure 59. ADXL355 Application Circuit

그림 3.3.4-10 유지관리 키트에 적용된 경사계 센서 사양

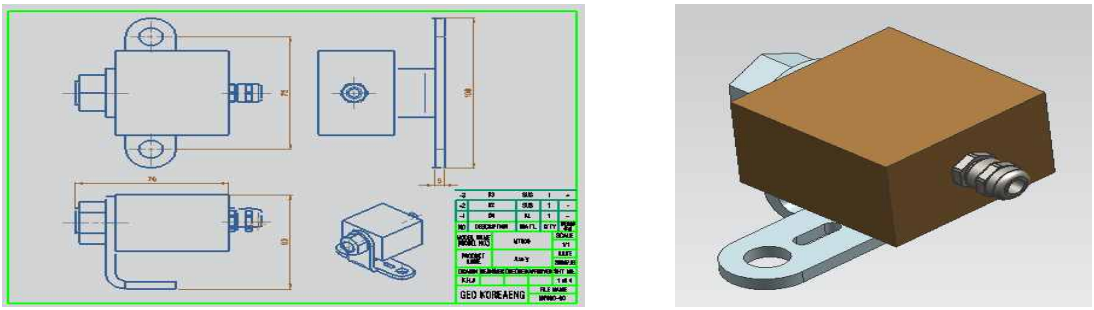


그림 3.3.4-11 유지관리 키트에 적용된 경사계 도면 및 모델

b. 변위계 센서 개발

와이어식 변위계는 회전식 고정밀 포텐티오 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 포텐티오메터를 회전시켜 발생하는 전압(mV) 측정하게 된다.

구분	규격
적용센서	포텐티오메터
측정범위	500mm
정확도	±0.3% FSR
정밀도	±0.2mm
입력전압	5 VDC
와이어 장력	스테인레스 스틸 와이어 Φ1 mm



그림 3.3.4-12 변위계(와이어) 센서

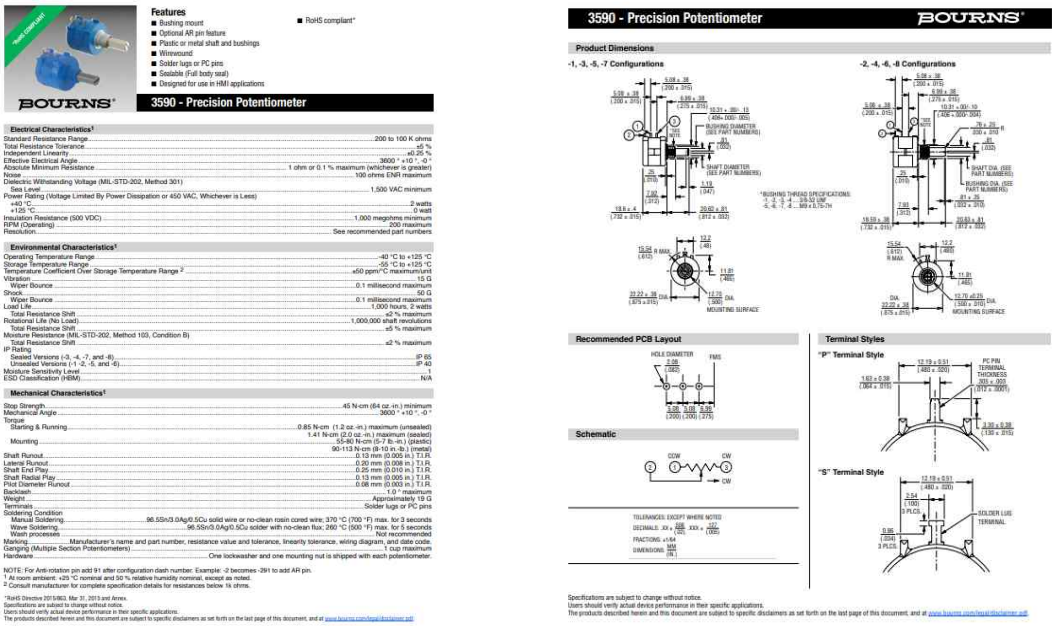


그림 3.3.4-13 유지관리 키트에 적용된 변위계 센서 사양

c. 센서 교정

와이어식 변위계와 경사계는 제조사에서 개별로 교정하여 제품 출하시 교정검사 성적서를 함께 제공하며, 제품에 대한 품질은 KCL에 검교정을 요청하여 공식적인 인증을 진행하였다.



(a) 변위계/ 경사계의 통신키트 연동



(b) IoT 플랫폼에서 센서값 연동 확인

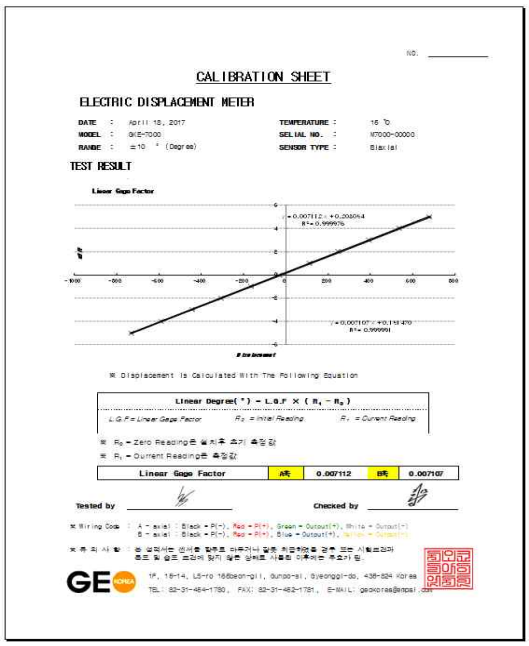


(c) 로드셀 센서 자체 하중 시험



(d) 로드셀 센서와 통신부 연결

그림 3.3.4-14 유지관리 키트 센서 값 교정 시험 및 결과



CALIBRATION SHEET

ELECTRIC DISPLACEMENT METER

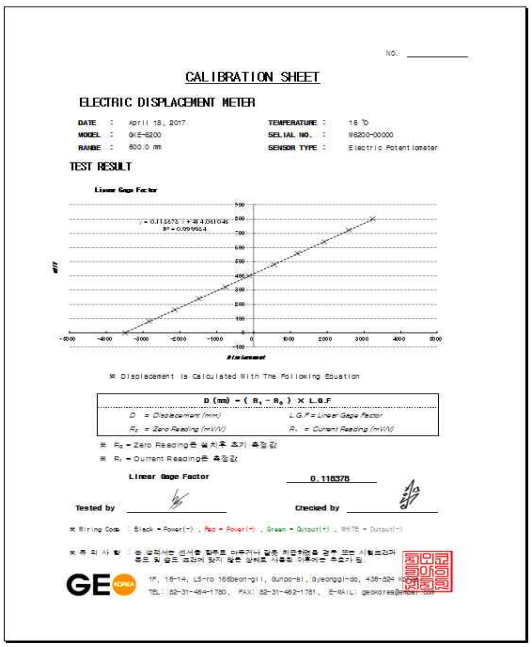
TEST RESULT

Linear Gage Factor

Linear Gage Factor | A常 | 0.007112 | B常 | 0.007107

Tested by

Checked by



CALIBRATION SHEET

ELECTRIC DISPLACEMENT METER

TEST RESULT

Linear Gage Factor

Linear Gage Factor 0.116376

Tested by

Checked by

그림 3.3.4-15 센서 교정 결과

표 3.3.4-4 경사계 기능 교정 테스트 결과

기준각		측정 계산값					
각도	각도변화	센서 측정값 (mV)	각도변화 환산값	기준 각도변화 대비 차이각	센서 초기각 대비 변화각	max	min
-5	0	-686.0	-	-	0.00		
-4	1	-541.8	1.03	0.03	1.03		
-3	1	-400.3	1.01	0.01	2.04		
-2	1	-261.8	0.98	-0.02	3.02		
-1	1	-121.4	1	0	4.02		
0	1	19.4	1	0	5.02	1.04	0.98
1	1	158.1	0.99	-0.01	6.01		
2	1	300.5	1.01	0.01	7.02		
3	1	437.8	0.98	-0.02	8.00		
4	1	583.8	1.04	0.04	9.04		
5	1	724.7	1	0	10.00		

표 3.3.4-5 변위계 기능 교정 테스트 결과

기준 변위량		측정 계산값					
길이 (mm)	길이변화	센서측정값 (mV)	길이 변위 환산값	기준 변위 대비 차이값	실제 변위값	max	min
0	0	2458.0	0	0	0		
50	50	2212.3	50.08	0.08	50.08		
100	50	1967.4	49.92	-0.08	100.00		
150	50	1721.7	50.08	0.08	150.08		
200	50	1477.2	49.84	-0.16	199.92		
250	50	1231.7	50.04	0.04	249.96	50.08	49.92
300	50	986.6	49.96	-0.04	299.92		
350	50	741.3	50.00	0	349.92		
400	50	496.0	50.00	0	399.92		
450	50	250.5	50.04	0.04	449.96		
500	50	5.0	50.04	0.04	500.00		

d. 센서의 추가 적용성

연구개발시 적용된 유지관리 키트의 센서는 하중계, 경사계, 지표변위계 3종류이지만, 무선 계측센서 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.

(2) 통신 부분 개발

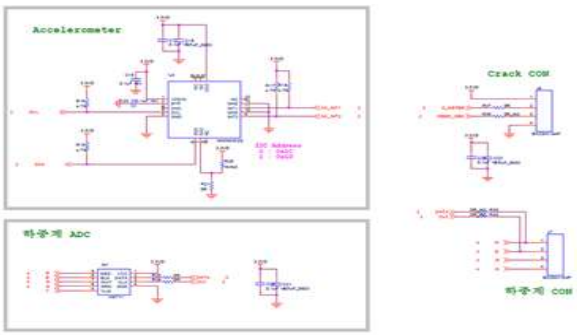
① 통신부 설계

■ (주)지오코리아이엔지 특허기술(특허 제10-1837741호)활용

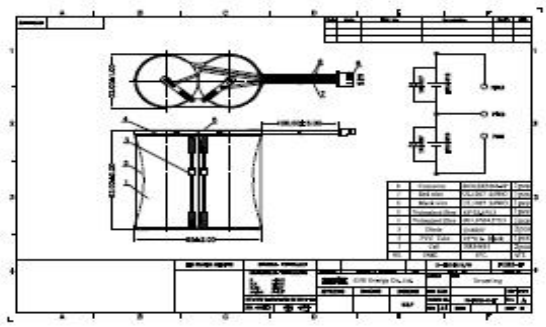
유지관리 키트 LoRa 통신에 제공되는 LoRa Module은 LoRaWAN 표준 1.0.2을 준수하고, KC인증(등록번호 : R-R-GoK-M9000-1) 및 공용망으로는 SK망 사용에 대한 적합성(형식기호 : 2019-D-12 LoRa LoRa)을 인증받아 공용망 사용가능하며, 그 상세 제원은 다음과 같다.



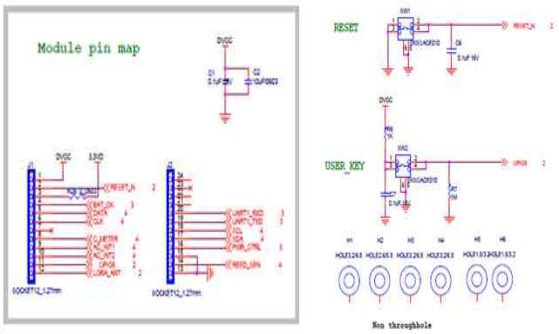
(a) LoRa 통신키트 블록 설계도



(b) 통신키트 센서 인터페이스 회로도



(c) 통신키트 배터리 회로도



(d) 통신키트 LoRa Module 인터페이스

그림 3.3.4-16 낙석・토석 대책시설 유지관리 키트 LoRa 통신부 설계

성지산업 LoRa(LOM202A)전용모듈

- LoRa Transceiver :
  - · LoRa Technology RF modulation
  - · Frequency: 902.3 ~ 927.5 MHz
  - · Down/Up Link: MAX DL 5.4Kbps
    UL 5.4Kbps
- Product Features
  - · LoRa WAN Compliant
  - · 192K Internal Flash Memory
  - · External ANT support
  - · Supply Voltage Typ 3.3V
  - · Standard and extended AT cm set
  - · Demensions 15x18x22mm

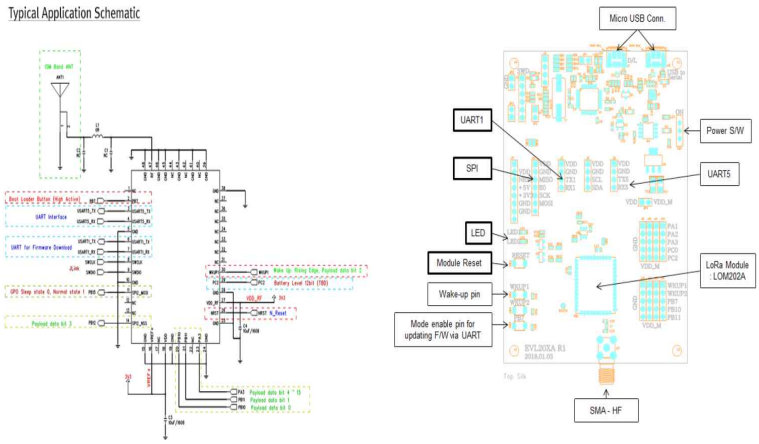


그림 3.3.4-17 유지관리 키트 LoRa 통신 LoRa Module

② 통신 부분 개발

각각의 계측 및 통신 장비를 하나의 시스템으로 결합하여, 낙석방지 울타리의 주기적인 측정으로 이벤트 발생 상황에 대한 감지/경보가 가능한 시스템으로 활용이 가능하도록 개발되었으며, 이는 현장에서 발생한 상황을 작업자가 네트웍을 통해 원거리에서 현장 상황을 파악이 가능하도록 하였다. 이는 관리자가 한계값을 미리 설정하여, 한계값 발생시 관리자는 SNS를 통해 현장 상황을 보고 받을 수도 있다.



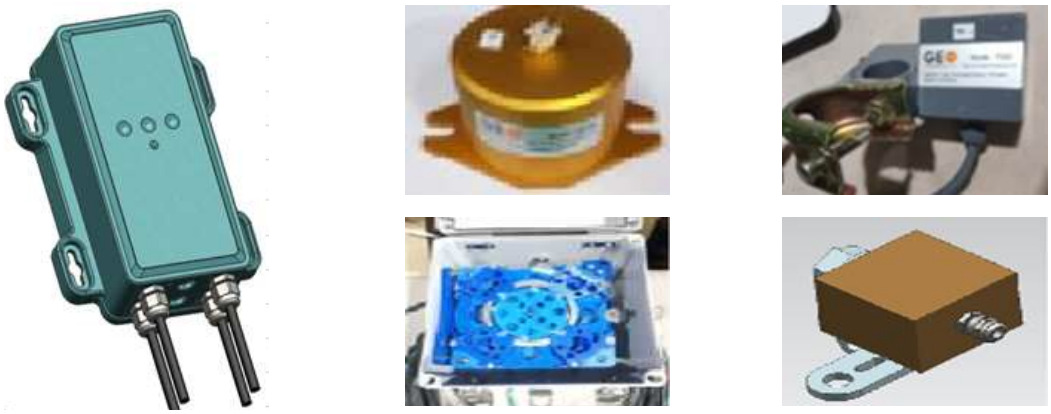
그림 3.3.4-18 유지관리 키트 통신부 개발

(3) 유지관리 키트 개발

① 유지관리 키트 시제품 제작

기존 개념의 진동 측정이 가능한 제품은 전력 공급 문제의 해결이 원만하지 않아. 보다 효과적인 측정을 위한 방법으로 통신 부분의 모듈을 더 다양한 센서에 접목이 가능하게 하여. 개발을 진행하고, 낙석 변위의 측정 방법으로 울타리 방책 등의 기구물에 대한 각도 변화와 변위량을 주기적으로

측정하여 변형량에 대한 직접적인 확인이 가능한 방향으로 제작되었다. 그 구성은 통신 모듈, 경사계, 변위계 외 이상 징후 감지에 필요한 센서 추가 탑재 기능이 포함된다.



(a) 통신 모듈 제품 (b) 측정 센서 제품

그림 3.3.4-19 측정 키트(통신모듈, 측정센서) 개발

② 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.

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



그림 3.3.4-20 시험 기준


포항 진해 기지 테스트

충주 계명산 테스트


새만금 테스트


평창군 둔내터널 입구 테스트

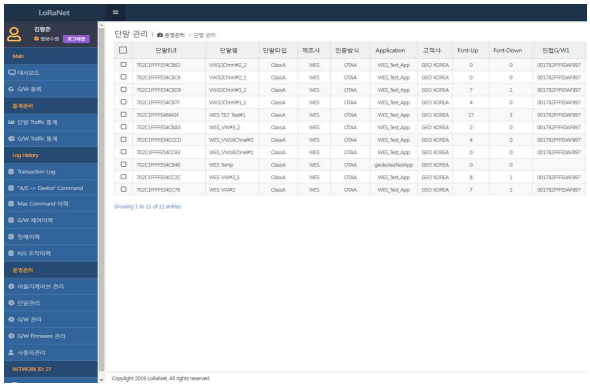


그림 3.3.4-21 전국 통신 개통 측정 시험


a. 방사성 방해(1GHz 이하) 시험


b. 방사성 방해(1GHz 이상) 시험

그림 3.3.4-22 전국 통신 개통 측정 시험


KCTL

발급번호 : KR18-BEK0062

7.2 방사성 방해 시험 (1 GHz 이하)

7.2.1 측정설비

사용장비	모델명	제조자	제조번호	차기교정일	교정 주기	사용 여부
EMI TEST RECEIVER	ESR7	R&S	101078	2018.08.24	1년	☒
Bilog Antenna	VULB9168	SCHWARZBECK	583	2020.04.13	2년	☒
AMPLIFIER	310N	SONOMA	293004	2018.08.24	1년	☒
COAXIAL FIXED ATTENUATOR	8491B-003	AGILENT	2708A18758	-	-	☒
Antenna Mast	MA4640-XP-ET	Innco Systems	-	-	-	☒
Turn Table	TT 3.0-3t	MATURO	-	-	-	☒

7.2.2 시험장소 : 10 m 전파시험실

7.2.3 환경조건 : 온도 (27.0 ± 2) °C, 습도 (49.8 ± 2) % R.H.

7.2.4 시험방법

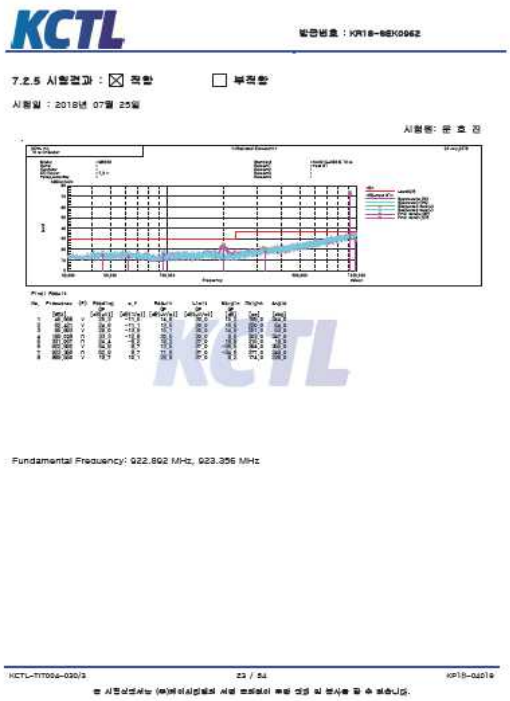
※ 전자파적합성 시험방법 : 국립전파연구원공고 제2017-71호

1) ~ 6) 7.1.4 시험방법과 동일
7) 시험기자재를 360도 회전시키고, 안테나 높이를 1 m ~ 4 m 높이로 가변하여, 수평 및 수직편파 각각의 최대 방사레벨을 찾음.
9) 측정거리는 10 m로 함.
10) 전계강도는 다음식으로 산출하되, 보정요인이 자동 보정되는 경우에는 그대로 측정치를 그대로 적용.

Result QP[dB(㎶/m)] = Reading QP[dB(㎶)] + c.f[A.F [dB/m] + C.L [dB] + 6 dB Att [dB] - A.G [dB])
Result QP : 최종측정치, Reading QP : 계기지시치, c.f : Correction Factor,
A.F: 안테나 보정계수(Antenna Factor), C.L: 케이블손실(Cable Loss),
6 dB Att: 감쇠기(6 dB Attenuator), A.G: Amplifier Gain
Margin (QP) = Limit (QP) - Results (QP)
Note1) QP : Abbreviation of Quasi-Peak
Bilog Antenna와 ATTENUATOR(6dB) 함께 교정함.

KCTL-TITO06-030/3 22 / 54 KP18-04019

※ 시험성적서는 (주)에이시앤씨의 서면 동의없이 복제 영업 및 광고에 사용할 수 없습니다.


KCTL

발급번호 : KR18-BEK0062

7.2.5 시험결과 : ☒ 적합 ☐ 부적합

시험일 : 2018년 07월 25일

시험자: 문 호 진

Fundamental Frequency: 922.892 MHz, 923.356 MHz

KCTL-TITO06-030/3 23 / 54 KP18-04019

※ 시험성적서는 (주)에이시앤씨의 서면 동의없이 복제 영업 및 광고에 사용할 수 없습니다.

그림 3.3.4-23 방사성 방해(1GHz 이하) 시험 결과



KCTL 발급번호 : KR18-08K0062

7.3 방사성 방해 시험 (1 GHz 이상)

7.3.1 측정설비

사용장비	모델명	제조자	제조번호	차기교정일	교정주기	사용여부
EMI TEST RECEIVER	ESR7	R&S	101078	2018.08.24	1년	☒
Antenna Mast	MA4640-XP-ET	Innco Systems	-	-	-	☒
Turn Table	TT 3.0-3t	MATURO	-	-	-	☒
PREAMPLIFIER	8449B	AGILENT	3008A01802	2019.04.05	1년	☒
DOUBLE RIDGED HORN ANTENNA	3115	ETS-LINDGREN	00086706	2018.08.31	1년	☒

7.3.2 시험장소 : 10 m 전파시험실

7.3.3 측정조건 : 온도 (27.0 ± 2) °C, 습도 (49.8 ± 2) % R.H.

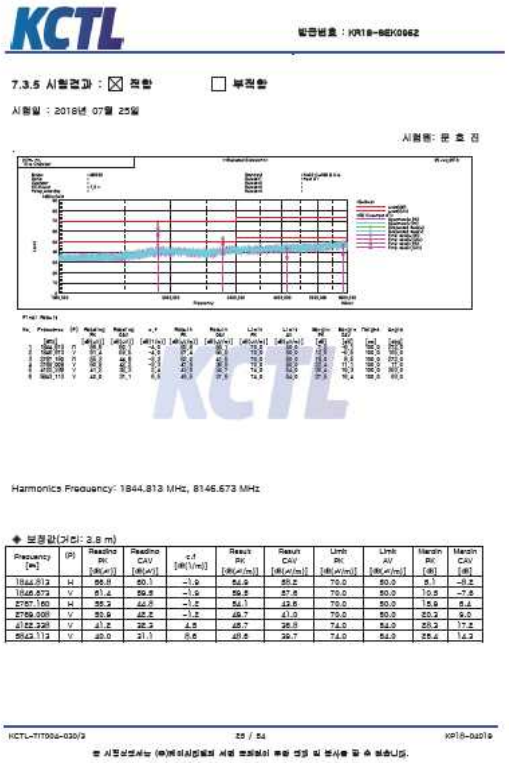
7.3.4 시험방법

* 전자파적합성 시험방법 : 국립전파연구원공고 제2017-71호

1) ~ 6) 7.1.4 시험방법과 동일
7) 시험기자재는 통상 사용 상태에서 각 주변기기 및 케이블 등을 최대 방사가 일어나도록 배치함.
8) 시험기자재를 방위각(0° ~ 360°) 회전시키고, 안테나 높이를 1 m ~ 4 m 높이로 가변하여, 수평 및 수직편파 각각의 최대 방사점을 찾음.
9) 측정거리는 3 m로 함.
10) 제거감도는 다중신호로 산출하되, 보정요인이 자동 보정되는 경우에는 그대로 측정치를 그대로 적용.
Result PK/AV [dB(μV/m)] = Reading PK/AV [dB(μV)] + c.f. (A.F [dB/m] + C.L [dB] - A.G [dB])
Result PK/AV : 최종측정치, Reading PK/AV : 계기지시치, c.f : Correction Factor,
A.F: 안테나 보정계수(Antenna Factor), C.L: 케이블손실(Cable Loss), A.G: Amplifier Gain
Margin (PK/AV) = Limit (PK/AV) - Results (PK/AV)
Note1) AV = CAV : Abbreviation of CISPR Average
Note2) PK : Abbreviation of Peak
11) 3 m 이외의 거리에서 측정된 경우 아래 공식을 적용하여 측정값 보상함.
Em = Edm + 20log(d/3) (d: 측정거리)
Em: 최종 결과값, Edm: 측정된 거리에서의 측정값

KCTL-TIT004-030/3 24 / 54 KP18-0401B

본 시험보고서는 (주)대한지오엔씨의 서면 동의없이 무단 복제 및 복사를 할 수 없습니다.



KCTL 발급번호 : KR18-08K0062

7.3.5 시험결과 : ☒ 적합 ☐ 부적합

시험일 : 2018년 07월 25일

시험자: 문 호 진

Harmonics Frequency: 1844.813 MHz, 8146.573 MHz

◆ 보정값(거리: 3.5 m)

Frequency [㎒]	(P)	Reading PK [dB(μV)]	Reading CAV [dB(μV)]	c.f [dB/m]	Result PK [dB(μV/m)]	Result CAV [dB(μV/m)]	Limit PK [dB(μV/m)]	Limit AV [dB(μV/m)]	Margin PK [dB]	Margin CAV [dB]
1844.813	H	66.8	60.1	-1.9	64.9	58.2	70.0	50.0	5.1	-8.2
1846.573	V	61.4	59.8	-1.9	59.5	57.8	70.0	50.0	10.5	-7.8
2767.160	H	55.2	44.6	-1.2	54.1	43.5	70.0	50.0	15.9	6.4
2769.009	V	50.9	42.2	-1.2	49.7	41.0	70.0	50.0	20.3	9.0
4152.220	V	41.2	26.3	4.5	45.7	30.8	74.0	54.0	28.3	17.2
8643.113	V	40.0	21.1	5.6	45.6	26.7	74.0	54.0	28.4	14.3

KCTL-TIT004-030/3 25 / 54 KP18-0401B

본 시험보고서는 (주)대한지오엔씨의 서면 동의없이 무단 복제 및 복사를 할 수 없습니다.

그림 3.3.4-24 방사성 방해(1GHz 이상) 시험 결과



KCTL 발급번호 : KR18-08K0062

7.4 정전기 방전 내성시험

7.4.1 측정설비

사용장비	모델명	제조자	제조번호	차기교정일	교정주기	사용여부
ESD TESTER	NSG 437	TESEQ	182	2019.04.10	1년	☒
ESD SIMULATOR	ONYX30	HAEFELY	183121	2018.09.04	1년	☐
ESD TESTER	PESD1600	HAEFELY	H011309	2019.04.05	1년	☐
수평결합면	-	-	-	-	-	☒
수직결합면	-	-	-	-	-	☒

7.4.2 시험장소 : 차폐실

7.4.3 측정조건

항 목	측정치
온도 (15 °C ~ 35 °C)	(26.4 ± 2) °C
습도 (30 % R.H. ~ 60 % R.H.)	(41.4 ± 2) % R.H.
기압 (86 kPa ~ 106 kPa)	(99.9 ± 1) kPa

7.4.4 시험조건

방전간격: 1 회 / 1 초
방전임피던스: 330 Ω / 150 pF
방전종류: 직접방전-기중방전, 접촉방전
간접방전-수평결합면, 수직결합면
극성: + / -
방전회수: 기중방전-인가부위당 10회 이상
접촉방전-인가부위당 10회 이상
간접방전-인가부위당 10회 이상
(최소 4개의 시험지점)
성능평가기준: B
방전전압:

구분	직접방전		간접방전	
	접촉방전	기중방전	수평결합면	수직결합면
인가전압	-	± 2 kV	-	-
	± 4 kV	± 4 kV	± 4 kV	± 4 kV
	-	± 8 kV	-	-

KCTL-TIT004-030/3 26 / 54 KP18-0401B

본 시험보고서는 (주)대한지오엔씨의 서면 동의없이 무단 복제 및 복사를 할 수 없습니다.



KCTL 발급번호 : KR18-08K0062

7.4.6 정전기방전 인가부위

[기중] ○
[접촉] ⇨

[피시험기기전면]

[피시험기기후면]

KCTL-TIT004-030/3 28 / 54 KP18-0401B

본 시험보고서는 (주)대한지오엔씨의 서면 동의없이 무단 복제 및 복사를 할 수 없습니다.

그림 3.3.4-25 정전기 방전 내성시험 및 결과 1





KCTL

발급번호 : KR18-68K0962

7.4.7 시험결과 : ☒ 적합 ☐ 부적합

시험일 : 2018년 07월 25일

시험원: 문 호 건

인가방식	인가부위	방전방법	기준	결과	비고
간접인가	수평결합면	접촉방전	B	A	-
	수직결합면		B	A	-
직접인가	전면	기중방전	B	A	-
	후면	기중방전	B	A	-
	좌측면	기중방전	B	A	-
	우측면	기중방전	B	A	-

7.4.8 시험자 의견

시험 중/후에 피시험기기에 이상이 없음.

KCTL-TI7004-030/2 20 / 54 KR18-04019

본 시험보고서는 (주)케이씨티엘의 서면 프로토콜 후면 인쇄 및 복사를 할 수 없습니다.

그림 3.3.4-26 정전기 방전 내성시험 및 결과 2



KCTL

발급번호 : KR18-68K0962

7.5 방사성 RF 전자기장 내성시험

7.5.1 측정설비

사용장비	모델명	제조사	제조번호	최근교정일	교정주기	사용여부
POWER METER	PM2002	AR	302652	2018.08.25	1년	☒
POWER HEAD	PH2000	AR	26572	2019.04.05	1년	☒
POWER HEAD	PH2000	AR	24889	2019.04.05	1년	☒
DUAL DIRECTIONAL COUPLER	DC6180	AR	302676	2018.08.25	1년	☒
Dual Directional Coupler	DC7200A	AR	0349424	2019.04.05	1년	☒
Signal Generator	SMB100A	R&S	181737	2019.04.05	1년	☒
RF Power Amplifier	CBA 1G-200B	TESEQ	V2220-0817	-	-	☒
RF Power Amplifier	100W1000B	AR	0349688	-	-	☒
Broadband Ant.	LPDA-0803	ETS-LINDGREN	130269	-	-	☒
Antenna master	-	ETS-LINDGREN	-	-	-	☒
Antenna master	-	-	-	-	-	☒
Stacked Log.-Per. Antenna 0.1 GHz ~ 9 GHz	6TLP9140	SCHWARZBECK	9140-511	-	-	☒

7.5.2 시험장소 : 3 m 대역시험실

7.5.3 환경조건

2018년 07월 27일

항 목	측정치
온도	(28.3 ± 2) °C
습도	(38.4 ± 2) % R.H.
기압	(100.0 ± 1) kPa

2018년 07월 31일

항 목	측정치
온도	(28.6 ± 2) °C
습도	(39.0 ± 2) % R.H.
기압	(100.0 ± 1) kPa

KCTL-TI7004-030/3 21 / 54 KR18-04019

본 시험보고서는 (주)케이씨티엘의 서면 프로토콜 후면 인쇄 및 복사를 할 수 없습니다.



KCTL

발급번호 : KR18-68K0962

7.5.4 시험조건

안테나 위치:	수평 및 수직
안테나 거리:	3 m
전계강도:	3 V/m
주파수범위:	80 MHz ~ 6 GHz
변조:	AM, 80 %, 1 ㎑ sine wave
안테나시간:	1 s
주파수 스텝:	1 % step
안테나 부위:	4면
성능평가기준:	A

7.5.5 시험방법

※ 전자파적합성 시험방법 : 국립전파연구원공고 제2017-71호

1) 시험에 사용된 전기전 무반사실은 기준 접지면으로부터 0.8 m 이상 높이에서 경계전 1.5 m x 1.5 m 의 가상 수직면에 대한 전자장의 강도가 규정치의 0 dB ~ + 6 dB 이내의 균일 전자장이 형성되었음.

2) 탁상용 시험기기인 경우 0.8 m 높이의 비전도성 받침대 위에 위치하고, 바닥설치형 시험기기인 경우 0.1 m 높이의 비전도성 받침대위에 설치한다.

3) 각각의 주파수에서의 피시험기기가 동작하고 응답할 수 있는데 필요한 시간 이하가 되어서는 아니되며 불확주파수의 같은 간격의 주파수는 별도로 분석 되어야 한다.

7.5.6 시험배치의 결정도

KCTL-TI7004-030/3 22 / 54 KR18-04019

본 시험보고서는 (주)케이씨티엘의 서면 프로토콜 후면 인쇄 및 복사를 할 수 없습니다.



KCTL

발급번호 : KR18-68K0962

7.5.7 시험결과 : ☒ 적합 ☐ 부적합

시험일 : 2018년 07월 27일 / 2018년 07월 31일

시험원: 문 호 건

시험항목	기 준	성능평가결과	
		수평	수직
전면	A	A	A
후면	A	A	A
우측면	A	A	A
좌측면	A	A	A

7.5.8 시험자 의견

시험 중/후에 피시험기기에 이상이 없음.

KCTL-TI7004-030/3 23 / 54 KR18-04019

본 시험보고서는 (주)케이씨티엘의 서면 프로토콜 후면 인쇄 및 복사를 할 수 없습니다.





그림 3.3.4-27 방사성 RF 전자기장 내성시험 및 결과



그림 3.3.4-28 정전기 방전 내성시험 및 결과

표 3.3.4-6 유지관리 키트의 통신 기능 및 성능 확인 시험 결과

시험항목	시험결과	
통신가능지역	수도권 대부분 지역의 지상부 및 전국 대부분	통신가능(지하부 제외)
수신 감도	-136dBm 이하의 패킷 수신	수신가능
전력소모(mA)	평균 소모전력	송수신 : 0.432W, 대기 : 2.16mW

유지관리 키트의 통신기능에 대한 성능 확인 시험결과 공용 통신망(SK망)을 사용하는 경우 이미 구축되어진, 공용기지국을 이용하므로, 다음 표와 같이 수도권 대부분 지역의 지상부 및 전국 대부분의 지상부에서 통신이 가능하여, 전송커버리지의 음역대가 지상부에서는 거의 없는 것으로 확인되었다.

그리고, 공용망이 아닌 자가망을 구축하는 경우에도 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 계측 구축 및 관리에 보다 유리한 기술이라고 할 수 있다.

표 3.3.4-7 무선통신 기술 비교

항목	WPAN		LPWAN	WPAN/WLAN
	ZigBee	Bluetooth	LoRa(자가망)	Wi-Fi
주파수대역	868/915 MHz 2.4 GHz	2.4~2.480 GHz	920 ~ 923.5 MHz	2.4 GHz 5.0 GHz
전송속도	~ 250 K	~ 1 M	~ 5.4K	~ 11 M
통신거리	~ 75 m	~ 100 m	~ 2km	100 M
배터리 수명	2~3 년	4~8 시간	2 ~ 3년	1~3 시간
응용분야	단순 원격제어 센서분야(250K이하)	기기간 데이터 통신분야(1M 내외)	단순원격제어/데이터 센서분야(64K이하)	대용량 데이터 통신분야(인터넷등)

※ 출처 : 누리텔레콤, ZigBee 적용 분야 및 사례(2006) 및 SK LoRa 모듈 사양

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



방송통신기자재등의 적합등록 필증

Registration of Broadcasting and Communication Equipments

상호 또는 성명 Trade Name or Registrant	(주)지오코리아이엔지
기자재명칭(제품명칭) Equipment Name	계측용 송신 장치
기본모델명 Basic Model Number	M9000
파생모델명 Series Model Number	
등록번호 Registration No.	R-R-GoK-M9000
제조자/제조(조립)국가 Manufacturer/Country of Origin	(주)지오코리아이엔지 / 한국
등록연월일 Date of Registration	2018-08-01
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.

2018년(Year) 08월(Month) 01일(Day)

국립전파연구원장

Director General of National Radio Research Agency

※ 적합등록 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표시"를 부착하여 유통하여야 합니다.
위반시 과태료 처분 및 등록이 취소될 수 있습니다.

(a) 전파 적합성등록 필증

방송통신기자재등(전자파적합성) 시험성적서

1. 발 급 번 호	:	KR18-SEK0962
2. 접 수 일	:	2018년 07월 16일
3. 시 험 기 간	:	2018년 07월 25일 ~ 2018년 07월 31일
4. 신청인(상호명)	:	주식회사 지오코리아이엔지
사업자등록번호	:	110-81-81895
대표자 성명	:	이강중
주 소	:	경기도 군포시 엘에스로166번길 15-14 (금정동,1층)
5. 기자재 명칭 / 모 델 명	:	계측용 송신 장치 / M9000
6. 제 조 자 / 제조국가	:	주식회사 지오코리아이엔지 / 한국
7. 시 험 결 과	:	적합

방송통신기자재등 시험기관의 지정 및 관리에 관한 고시 제13조의 규정에 의하여 시험성적서를 발급합니다.

2018년 08월 01일

(주)케이씨티엘 대표이사 (인)

주소 : 경기도 수원시 영통구 신원로 65
전화번호 : 031-285-0894
팩스번호 : 0505-299-8311

※ 인증 받은 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표시"를 부착하여 유통하여야 합니다.
위반 시 과태료 처분 및 인증이 취소될 수 있습니다.

본 시험성적서의 시험결과는 신청인이 제출한 시료에 한합니다.

(b) 전파 적합성 시험 성적서

그림 3.3.4-29 LoRa 유지관리 키트 KC 인증 결과

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



verify No.927577820843

시 험 성 적 서

(주)케이씨티엘 경기 용인시 기흥구 신정로41번길 52-20 우)17093 Tel : 031-326-6700 Fax : 0505-299-8311 www.kctl.co.kr	성적서 번호: KR20-YYP0763 페이지 (1) / (총 14)

1. 신청자
   - 기 관 명 : 주식회사 지오코리아이엔지
   - 주 소 : 경기도 군포시 엘에스로166번길 15-14 (금정동,1층)
   - 의뢰일자 : 2020년 10월 19일
2. 시험성적서의 용도 : 낙석 방지 대책시설 유지 관리 키트의 품질 평가용
3. 제품명 / 모델명 : GEONE / M9000
4. 제조사 / 제조국 : 주식회사 지오코리아이엔지 / 한국
5. 시험기간 : 2020년 10월 23일 ~ 2020년 10월 25일
6. 시험장소 : ■고정시험실 □ 현장시험(주소: -)
7. 시험방법 : KS C IEC 60529: 2013 (IP55)
8. 시험결과 : 붙임 시험성적서 참조

확 인	시 험 원	기 술 책 임 자
	성 명 : 변 재 희 (서명)	성 명 : 안 경 훈 (서명)

2020년 10월 29일

(주)케이씨티엘 대표이사 (인)

본 성적서의 시험결과는 상기 신청자로 부터 제공된 시험품에만 적용되며, (주)케이씨티엘의 서면승인 없이는 본 성적서의 전부 또는 일부를 복사하여 사용할 수 없음.

KCTL-QP78-05/1(2004)24) KP20-05583

그림 3.3.4-30 유지관리 키트 방수·방진 인증

③ 통신 개통 확인 테스트

전국 산하 현장에 방문하여 현장에서 LoRa 상용망 통신이 가능여부를 테스트 단말을 설치하여 시스템에 안정적인 데이터 수집이 가능한지 확인 하였음. 현장에 설치하여 확인한 결과 오픈 개방된 대부분의 지역에서 안정적으로 데이터가 수집되는 것을 확인하였다. 다만, 폐쇠되어 있는 구조의 구조물내에서는 역시나 통신이 간헐적으로 또는 되지 않는 부분도 확인 하였음. 그러나, 우리가 추구하는 낙석 방지 울타리 유지 관리 시스템이 적용되는 지형들은 폐쇠된 구조물이 아닌 개방된 지형들로 이루어지기에 통신이 어려운 곳이 없으리라 판단되어짐. 단, 상용망 통신이 어려운 경우, 국가 기간 통신망으로 지정된 LTE와 병행된 Private system과 병행할 경우 음영지역은 없다고 볼 수 있음.

2) 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발

(1) 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발

① 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발 목표

a. 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발 목표

- 낙석·토석 대책시설은 비탈면의 낙석 등에 의한 사고를 예방·방지하기 위한 시설물로 지형적 특성상 산지, 계곡부, 대규모 비탈면 등에 설치되고 있으며, 유지관리 운영시 정기적인 점검과 관리로 인한 비용도 증가하고 있음. 특히, 유지관리 시스템 운영시 통신상태 불량, 전원공급 장치의 기능저하(충전 부족) 등의 요인으로 상시 계측관리에도 많은 어려움을 격고 있어 이를 개선하고자 함.
- 기존기술은 지반, 보강재, 구조물(옹벽, 사면보강 등) 등에 계측기를 설치하고 측정된 데이터를 처리·분석하여 사면의 붕괴를 예방·예측하는데 목적이 있었으나 사면재해의 거동 특성상 측정된 데이터를 바탕으로 사면의 붕괴를 예방·예측하는데 한계가 있었음. 특히, 낙석구간은 시스템을 구성하여 운영하더라도 낙석은 매우 빠른 속도로 발생하기 때문에 계측기기가 설치된 구간이라 할지라도 잡아내지 못하는 모순이 발생할 수 있음. 특히 이러한 경우 직접 현장을 방문하지 않은 이상 낙석 발생여부를 확인할 수 없으며, 많은 수의 센서를 다량 설치·운영 하더라도 유지관리 비용 대비 효율성이 매우 낮은 문제점이 있음.
- 특히 개발된 고성능 낙석·토석 대책시설은 일반 낙석·토석 대책시설과 달리 현장 조건 및 낙석규모를 고려하여 설계되기 때문에 낙석이 발생하더라도 낙석이 포획되는 것을 가정하여 낙석 발생시 낙석·토석 대책시설의 거동을 감지하여 추가적인 낙석에 의한 사고와 낙석·토석의 적치량이 설계량 이상으로 발생할 경우 즉각적인 현장 조치를 가능하게 할 수 있는 시스템을 개발하고자 함.

b. 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템의 요구사항

- 감지키트 및 유지관리 키트는 다음과 같은 사항이 고려되어 개발됨.

·· 장소나 기후의 영향에 구애받지 않을 것 – 기존 시스템 전원공급, 통신 장애현상 발생

·· 설치·시스템 구축 간편해야 할 것 – 설치시 위험도 및 비용 증가

·· 유지관리 비용을 절감 할 것 – 비용 증가

·· 점검·관리가 용이할 것 – 접근하기 어려운 곳일수록

·· 관리기준치 초과 시 알람 기능

- 감지키트, 유지관리 키트 개발사항

·· 저전력 장거리 통신 시스템 적용(IoT 개발)

·· 감지 키트 개발

·· 유지관리 키트

·· 데이터 활용방안관리기준치 설정

- 지역적 • 지형적 특성 고려, 통신장애 극복

·· 개발기술 제품은 지역적, 지형적 특성을 고려하고, 효율적인 유지관리를 통한 생산성 향상을 목표로 함. 이를 수행하기 위해서 통신 장애 극복, 전원공급 장치 개선, 유선이 아닌 무선연결 시스템 운영을 고려

·· LoRA(Long Range) 망을 활용한 저전력(2년 이상) 센서 활용·개발

·· 기존 감지 키트의 문제점인 측정범위 한계, 데이터 처리·전송 방식 변경 등을 개선하여 개발

·· 설치 구성품 간소화

·· 기존 낙석 방지책 시설물에 대한 관리 기준치 미비로 시험테스트 결과를 종합하여 산정

- 낙석·토석 대책시설 유지관리 시스템의 경우 개발기술 제품이 설치되는 특성상 산지 도로나 철도 시설의 비탈면, 산지 계곡부에 위치함. 따라서 별도의 전원공급 장치나 통신 중계기기 설치가 어려울 수 있기 때문에 효과적인 유지관리 시스템 구축 및 예경보 시스템을 구축하기 위해서는 자체 전원공급 시스템을 포함하여야 하며, 자체 전원으로도 1년 이상 구동하여야 함. 또한 통신 조건을 고려하여 장거리 통신이 가능하여야 함.
- 특히 계측 데이터의 겨우 계측빈도에 따라 크기가 좌우지만 시설물 유지관리의 경우 평상시 분, 월 단위의 계측정보로 충분하며, 계측 정보의 변화가 감지될 때 계측빈도를 조절함으로서 탄력적인 운용을 할 수 있으므로 데이터 전송량이 크지 않은 특징이 있음.
- 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 ICT 및 IOT 기술의 발달을 토대로 다양한 분야에서 유지관리 기술에 대한 연구 및 기술개발이 이루어지고 있음.
- 특히 LoRa(Long Range)와 같은 저전력 장거리 통신(LPWA, Low Power Wide Area) 기술의 발달로 인해 별도의 기지국이나 중계장비를 최소화함으로서 유지관리비용을 획기적으로 저감할 수 있게 되었음. 이에 따라 수도계량, 가스검침과 같은 계측 및 유지관리 분야에서 이미 시범 사업을 진행 중에 있으며, 통신사 업체에서도 관련 서비스를 시작하고 있음.
- 이와 같은 저전력 장거리 통신기술을 바탕으로 낙석방지울타리의 유지관리를 위한 모니터링 시스템을 구축하고자 함.

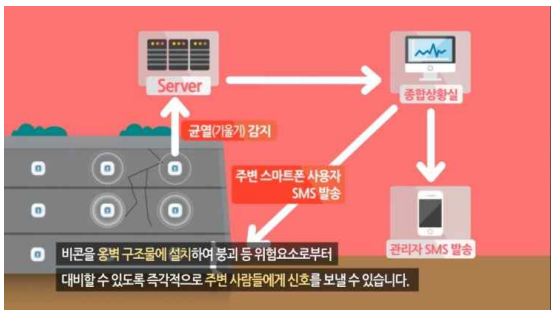


그림 3.3.4-31 구조물 위험관리 시스템 사례

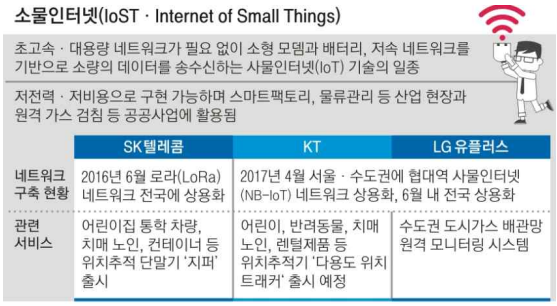


그림 3.3.4-32 국내 소물 인터넷 관련 서비스 현황

② 계측빈도 선정

- 낙석방지울타리는 급경사지, 비탈면, 옹벽구조물 등과 유사하게 분류될 수 있으며, 이에 대한 계측 관련 기준은 건설공사비탈면 설계기준 및 해설서, 건설공사비탈면 표준시방서, 급경사지 계측 표준시방서 등에 명기되고 있음.

표 3.3.4-8 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 계측빈도를 적의 밀실하지 않도록 한다.		공사에 선행 혹은 병행하여 현장계측을 하며, 대책공 시공이나 공사의 안전을 확보한다.	보전대상물이 나 인명의 안전확보를 위해 긴급대피 등의 조치를 목적으로 한다.	비탈면붕괴 대책공 시공후의 대책 효과 확인을 목적으로 한다.	시공도중이나 유지관리단계에 있어서 붕괴나 땅사태의 변동이 현재화된 경우

표 3.3.4-9 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 3.3.4-10 수동계측시 계측빈도의 목표 (급경사지 계측 표준시방서, 2016)

계측 대상	계측기	계측빈도의 목표(수동계측대상)				
		조사계획 단계	시공단계	유지관단계	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 3.3.4-11 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 3.3.4-12 비탈면 유지관리 단계별 관리기준치(비탈면안정소위원회, 1996 (일본))

계기구분과 계측치	대응구분	점검유주의 또는 관측강화	대책검토	경계 응급대책	엄중경계 일시피
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 3.3.4-13 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 3.3.4-14 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)		

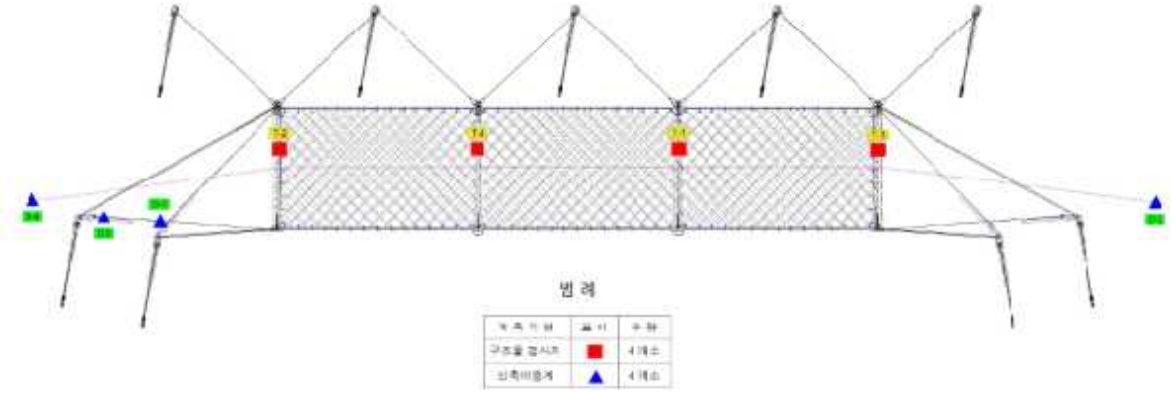
- 위와 같은 관련기준에서 정의하는 계측기기 및 계측빈도는 절대적인 것은 아니며, 계측기기의 경우 급경사지의 종류·지형·지질조건·재해형태·규모 등을 감안하여 적합한 계측기기를 사용하도록 하고 있음.
- 계측빈도의 경우에도 급경사지의 변위 및 변형 상황, 위험도, 계측기기의 특성이나 내구성, 현지조건 등을 고려하여 설정하며, 급경사지의 붕괴나 활동 등은 호우, 해빙, 지진 등의 외적 요인으로 인해 발생하는 경우가 많으므로 이와 같은 요인이 발생된 경우에는 당초 계측계획으로 설정된 계측 빈도에 구애받지 않고 계측 빈도를 조정할 수 있도록 하고 있음.
- 본 연구에서는 위와 같은 관련기준을 참조하여 낙석방지울타리의 유지관리를 위한 계측기기로서 경사계, 신축계를 선정하였으며, 계측빈도의 경우 상시계측 개념으로 접근하였으나 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 구상하였음.
- 특히 계측기기 및 계측 빈도의 경우 인사사고 영향을 줄 수 있는 매우 민감한 사항이기 때문에 일반 기업에서 결정하기에 부담이 있으며, 국내 관련 기준에서도 명확히 규정되어 있지 않아 국가 연구기관을 통해 연구되고 정립되어야 할 것으로 판단됨.

③ 고성능 낙석방지울타리 실물성능평가를 통한 관리기준치 설정

- 건설공사 및 유지관리 계측표준시방서(건설교통부, 2008), 계측기기별 성능검사 및 대상·기준 및 절차(소방방재청, 2012) 등 관련기준과 계측정보를 활용한 유지관리시스템 관련 연구 자료 등 관련 자료에서 낙석방지울타리에 대한 계측관리, 계측관리 기준 등은 확인되지 않음. 현재 낙석과 관련된 계측 및 모니터링 시스템은 주로 낙석으로 작용할 가능성이 높은 암괴를 대상으로 변위를 측정하는 시스템으로 운영하고 있으며, 가장 최근에 구축된 낙석통합관리시스템(국립공원공단, 2019)도 이와 같음.
- 특히 연구개발 기술은 국내에 설치되는 일반 낙석방지울타리와 달리 낙석방지울타리의 변형을 통해 낙석 충격에너지를 흡수·유도하는 시스템으로 구조적 특성상 지주부(Post Pile)와 낙석방지망의 처짐 변위가 상대적으로 큰 특징이 있음. 하지만 현재 기존 국내사례·연구 자료에서 이러한 고성능 낙석방지울타리에 대한 계측관련 연구는 진행된 바 없음.
- 따라서 본 연구에서는 주관기관에서 개발한 고성능 낙석방지울타리에 대해 공동연구기관의 실물성능 시험 자료 및 결과를 활용하여 고성능 낙석방지울타리의 변형 및 거동 특성을 파악하고, 이를 측정·분석하여 고성능 낙석방지울타리에 대한 관리 기준치를 설정하였음.

a. 고성능 낙석방지울타리 실물성능평가를 활용한 유지관리키트 실물테스트-250kJ급 실물성능평가

- 총 6차례의 예비시험과 실물성능평가시 유지관리키트를 활용하여 낙석포획시 고성능 낙석방지울타리의 거동양상을 파악하였으며, 실제 낙석을 안정적으로 포획한 2회의 시험 사례를 바탕으로 관리기준치를 마련하고자 함.
- 낙석 방지 키트의 설치 개소와 위치는 다음과 같음. 유도된 충격에너지를 지지하는 지주부에 경사계 4개소, 변위계 4개소(포획망 2개소, 감쇄장치 2개소)에 대하여 감지키트를 설치하였으며, 실험은 순간적으로 매우 짧은 시간에 발생하므로 통신 장비가 아닌 동적 데이터 로거를 연결하여 200Hz/sec 빈도로 변화를 관측하고 기록하였음.



■ : 유지관리키트 (경사계 4개소) ▲ : 유지관리키트 (변위계 4개소)

그림 3.3.4-33 유지관리 키트 설치 위치도



그림 3.3.4-34 유지관리 키트 설치 및 테스트

- 낙석 낙하 실험은 낙석 방지 울타리 충돌과 변화가 1~2초 내외로 이뤄지기에 그 변화의 감지를 위해 초당 200번 측정하였으며, 이렇게 측정된 결과를 바탕으로 현장에서 실제 발생할 수 있는 변화값에 기초로 활용하여, 실제 낙석 발생시 발생하는 변화량 산정함.



(a) 동적 데이터 관측



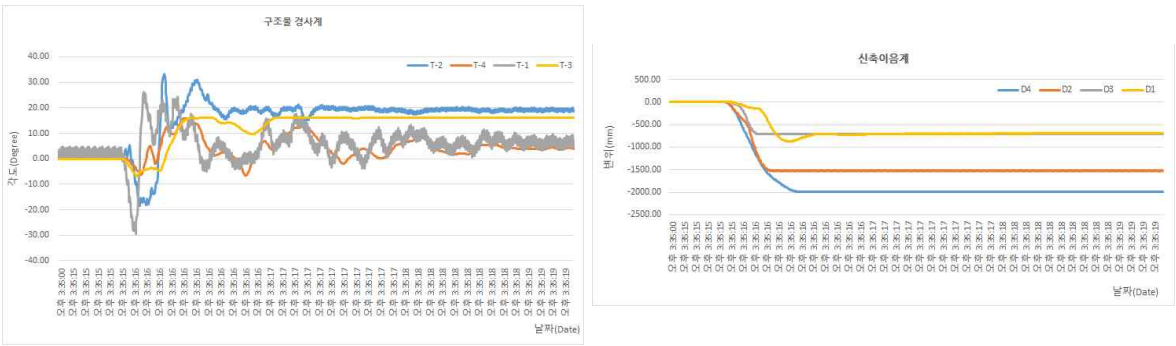
(b) 경사계(지주) 설치



(c) 신축계(포획망) 설치 (d) 신축계(감쇄장치) 설치

그림 3.3.4-35 유지관리 키트 설치 및 테스트

• 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가시 측정된 계측기기별 측정값은 다음과 같음.



(a) 구조물 경사계 (b) 신축이음계

그림 3.3.4-36 유지관리 키트 설치 및 테스트 결과

표 3.3.4-15 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가시(250kJ test) 유지관리키트 계측 결과

구분	구조물 경사계(°)				신축이음계(mm)				비고
	POST No.1	POST No.2	POST No.3	POST No.4	포획망		감쇄장치		
	①T-2	②T-4	③T-1	④T-3	⑤D-4	⑥D-2	⑦D-3	⑧D-1	
최대값	33.13	15.95	26.14	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
최소값	-18.32	-6.63	-29.61	-6.72	1992.69	1535.94	716.62	875.34	
변동폭	51.45	22.57	55.75	22.72	1992.69	1535.94	716.62	875.34	
평균값	(①+④)/2		(②+③)/2		⑤+⑥		(⑦+⑧)/2		
	37.09		39.16		3528.63		795.98		

※ 주1) 구조물 경사계 데이터값은 각 지주별 최대값/최소값, 총 이동한 변동값을 표현함.
주2) 구조물 경사계는 위치별 그룹으로 분류 및 평균값 표현

b. 고성능 낙석방지울타리 실물성능평가를 활용한 유지관리키트 실물테스트-500kJ급 실물성능평가

• 총 6차례의 예비시험과 실물성능평가시 유지관리키트를 활용하여 낙석포획시 고성능 낙석방지울타

리의 거동양상을 파악하였으며, 실제 낙석을 안정적으로 포획한 2회의 시험 사례를 바탕으로 관리기준치를 마련하고자 함.

- 낙석 방지 키트의 설치 개소와 위치는 다음과 같음. 경사계 유지관리키트 4개소, 변위계 3개소(포획망 1개소, 감쇄장치 2개소)에 대하여 유지관리키트를 설치하였으며, 실험에서는 측정 관찰 시간이 순간적으로 발생하므로 통신 장비가 아닌 동적 데이터 로거를 연결하여 현장실험에서 발생하는 변화를 관측하고 기록하였음.
- 낙석 낙하 실험은 낙석 방지 울타리 충돌과 변화가 1~2초 내외로 이뤄지기에 그변화의 감지를 위해 초당 200번 측정하였으며, 이렇게 측정된 결과를 바탕으로 현장에서 실제 발생할 수 있는 변화값에 기초로 활용하여, 실제 낙석 발생시 발생하는 변화량 산정함.



(a) 동적 데이터 관측



(b) 경사계(지주) 설치



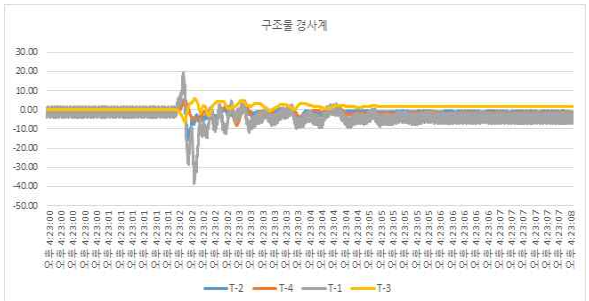
(c) 신축계(포획망) 설치



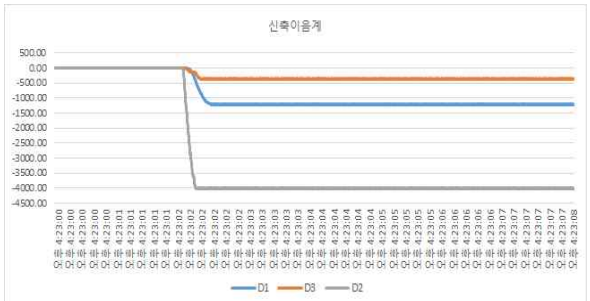
(d) 신축계(감쇄장치) 설치

그림 3.3.4-37 유지관리 키트 설치 및 테스트

- 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가시 측정된 계측기기별 측정값은 다음과 같음.



(a) 구조물 경사계



(b) 신축이음계

그림 3.3.4-38 유지관리 키트 설치 및 테스트 결과

표 3.3.4-16 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가시(500kJ test) 유지관리키트 계측 결과

구분	구조물 경사계(°)				신축이음계(mm)			비고
	POST No.1	POST No.2	POST No.3	POST No.4	포획망	감쇄장치		
	①T-2	②T-4	③T-1	④T-3	⑥D-2	⑦D-3	⑧D-1	
최대값	5.04	5.75	19.69	6.05	0.00	0.00	0.00	
최소값	-15.27	-8.10	-38.43	-6.12	-4013.10	-1212.42	-360.58	
변동폭	20.31	13.85	58.11	12.18	4013.10	1212.42	360.58	
평균값	(①+④)/2		(②+③)/2		⑤	(⑥+⑦)/2		
	35.98		16.24		4013.10	786.50		

c. 실물성능평가시 모니터링을 통한 관리기준치 기준 설정 및 적용

○ 관리기준치 기준 설정

- 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 250, 500kJ급 실물성능평가 결과를 바탕으로 500kJ급 고성능 낙석방지울타리의 유지관리를 위한 기준 변위 값 설정 결과는 다음과 같음.

표 3.3.4-17 500kJ급 고성능 낙석방지울타리의 유지관리를 위한 거동 기준 값 설정

구분		구조물 경사계(°)				신축이음계(mm)			비고
		POST No.1	POST No.2	POST No.3	POST No.4	포획망	감쇄장치		
		①T-2	②T-4	③T-1	④T-3	⑥D-2	⑦D-3	⑧D-1	
250kJ TEST	최대값	33.13	15.95	26.14	16.00	1,992.69	1,535.94	716.62	875.34
	평균값	(①+④)/2		(②+③)/2		⑤+⑥		(⑦+⑧)/2	
		24.57		21.05		3,528.63		795.98	
500kJ TEST	최대값	5.04	5.75	19.69	6.05	4,013.10	1,212.42	360.58	
	평균값	(①+④)/2		(②+③)/2		⑤	(⑥+⑦)/2		
		5.55		12.72		4,013.10	786.50		
기준 변위		5.04				4,013.10	1500.00		

○ 계측관리 기준 적용

- 500kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 기준 변위 값을 바탕으로 한 계측관리기준은 다음과 같이 설정하였음.

  ·· 낙석방지울타리에 대한 계측관리기준은 아직 마련되어 있지 않으므로 500kJ급 실물성능평가와 감쇄장치의 변형가능량으로 설정한 기준변위를 기준으로 하여 계측관리기준을 설정하기 위한 판정지표를 설정하였음.

·· 판정지표는 기준변위를 기준으로 시스템 설정 및 계측효율성을 위하여 단위를 절삭하여 단순화 하였음. 단, 감쇄장치의 경우 변형가능량 1.5m를 기준 변위로 하되, 안전측을 고려하여 안전율 1.2를 적용(흙막이 공사의 관리기준치 참조(굴착공사 계측관리 기술지침, 한국산업안전보건공단))하여 1.25m를 판정지표로 설정하였음.

·· 계측관리기준은 위와 같이 설정된 판정지표(100%)를 바탕으로 '국가위기관리기본지침(대통령훈령 제388호)'을 참조하여 위기경보 4단계(관심, 주위, 경계, 심각)에 따른 계측관리 수준 4단계(통상, 주의, 경계, 대피)를 설정하고 이에 대한 계측관리 기준을 각각 **60% 이하,** 60%이상, 80%이상, 100%이상 으로 설정하였음.

표 3.3.4-18 500kJ급 고성능 낙석방지울타리의 유지관리를 위한 거동 기준 값 설정

구분		기준 변위	계측관리기준					비고
			판정 지표	< 60%	> 60%	> 80%	>100%	
				관심 (통상)	주의 (주의)	경계 (경계)	심각 (대피)	
구조물 경사계 (°)	지주	5.04	5.0	3.0	3.0	4.0	5.0	
신축 이음계 (mm)	포획망	4,013.10	4,000	2400	2,400	3,200	4,000	
	감쇄 장치	1,500	1,250	750	750	1,000	1,250	계측관리판정지표 =계측변위지표/1.2

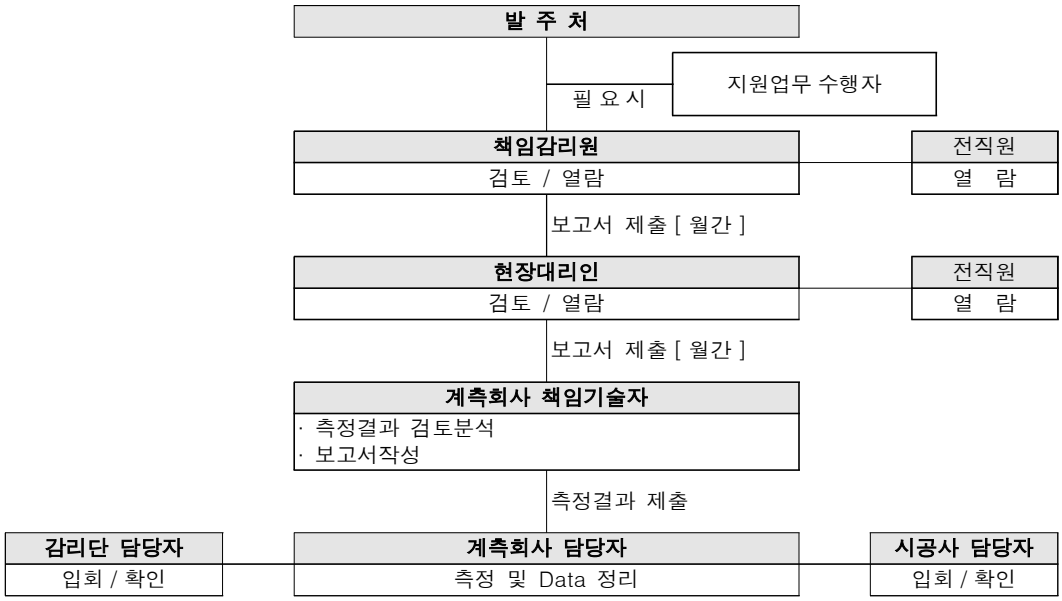
d. 계측관리 대응체계 설정

- 단계별 계측관리 대응체계

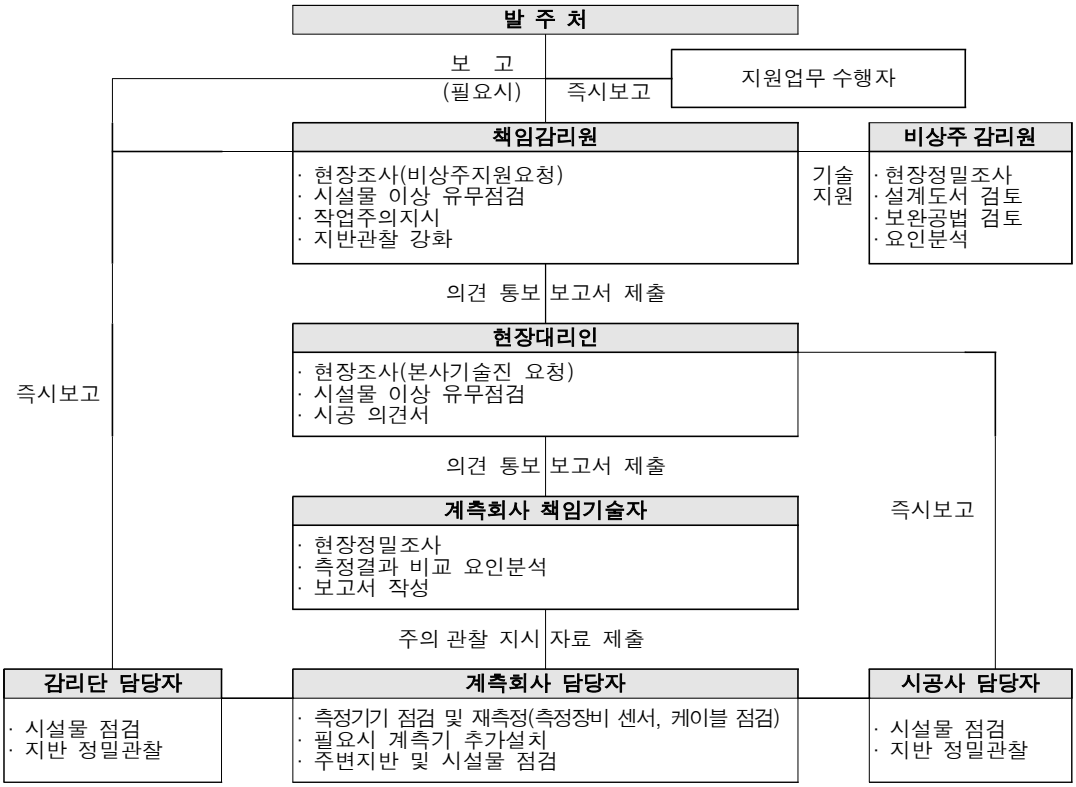
표 3.3.4-19 계측관리 수준 4단계별 대응체계

단계	관리기준 범위	계측사	시공사
관심	계측치 ≤ 제1관리치	• 정상계측 및 보고	• 주변점검, 낙석방지책 상태점검 • 징후 감시활동
주의	제1관리치 < 계측치 ≤ 제2관리치	• 통보 • 계측기 점검, 재측정 • 원인분석, 보고서 작성	• 주변점검, 낙석방지책 정밀관찰 • 응급보강(필요시) • 구조검토, 대책공의 검토 • 협조체제 가동
경계	제2관리치 < 계측치 ≤ 제3관리치	• 즉시통보 • 계측체계 강화(측정빈도) • 원인 확인, 보고서 작성 • 계측 모니터링 강화 • 계측기 추가(필요시)	• 현장상황 점검 및 강화 • 보강방안 검토 및 실시(필요시) • 대책공의 실시(필요시) • 신속 대응체계 점검
심각	계측치 > 제3관리치	• 즉시통보 • 계측체계의 강화 • 요인분석 • 재설계, 대책공 실시	• 응급보강 실시(필요시) • 주변 지반 및 시설물 일체점검 • 안전점검 실시 • 대책 공법 및 보강 이행(필요시) • 즉각 대응태세 돌입

- **관심단계** : 평상시 계측관리 절차



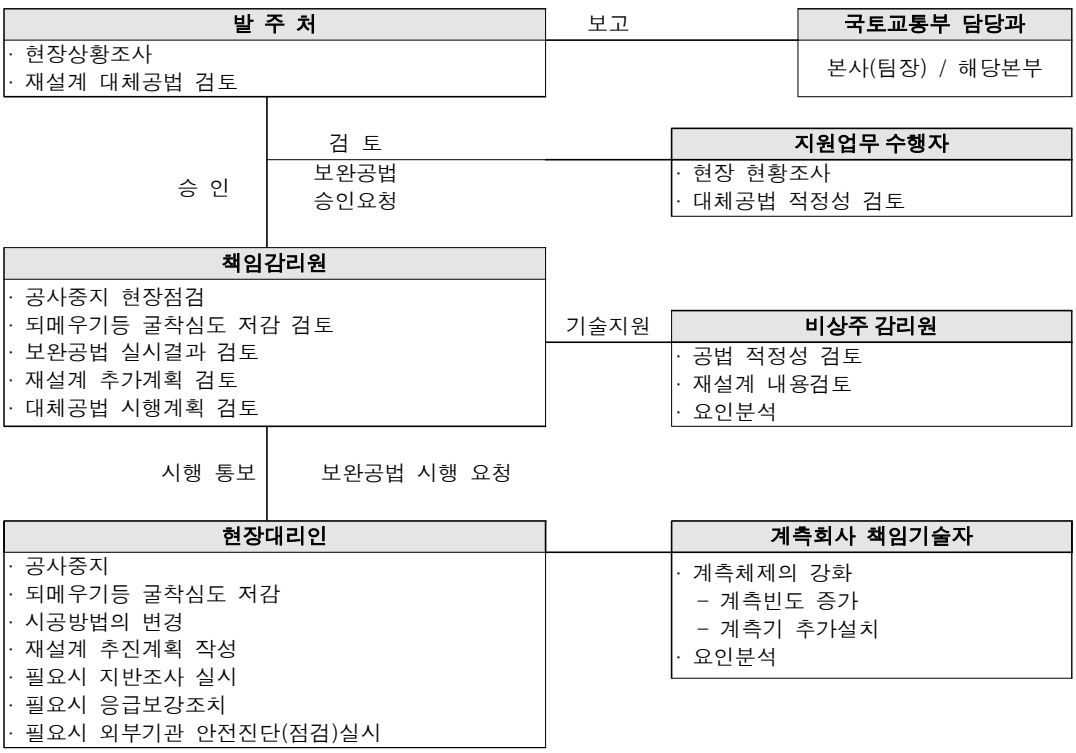
- **주의단계** : 1차 관리기준치 초과시 계측관리 절차



• **경계단계** : 2차 관리기준치 초과시 계측관리 절차



• **심각단계** : 3차 관리기준치 초과시 계측관리 절차



(2) 낙석·토석 대책시설 유지관리 시스템 WEB 개발

① 낙석·토석 대책시설 유지관리 시스템 WEB 개발

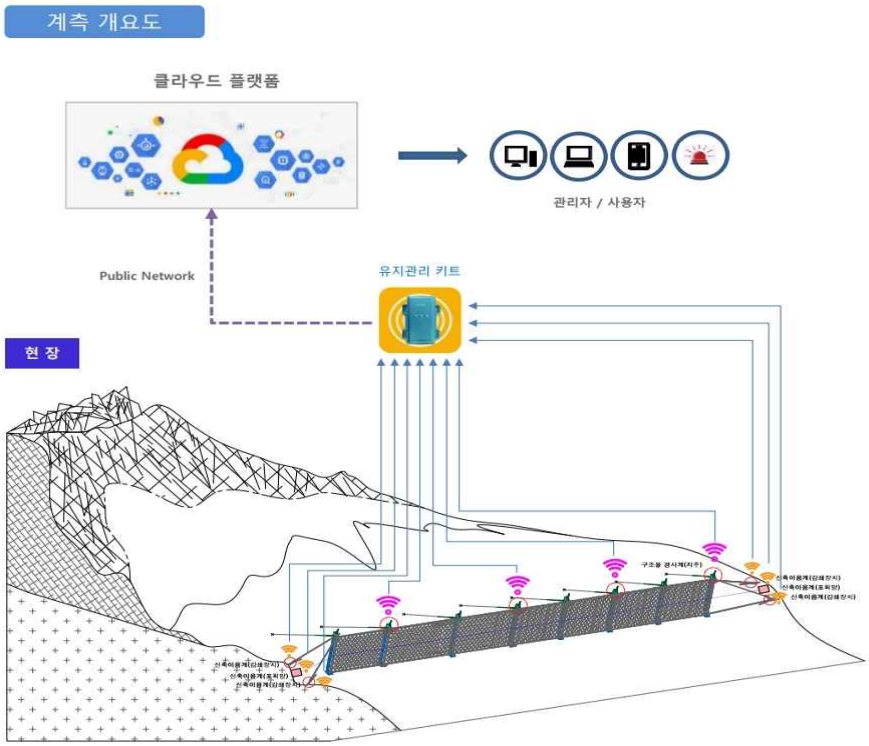
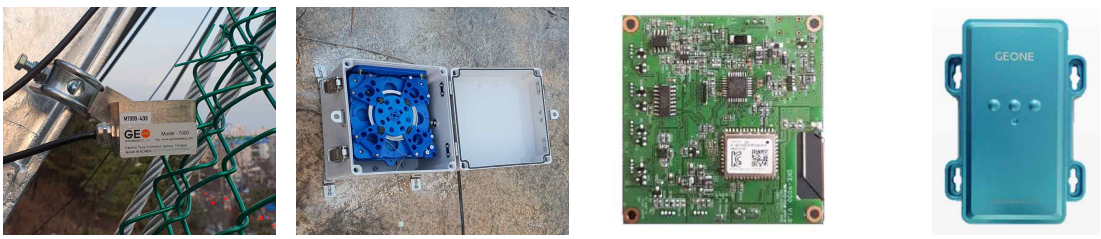


그림 3.3.4-39 낙성방지 울타리 유지관리 시스템 개념도



(a) 낙석·토석 유지관리 시스템용 센서 (b) 낙석·토석 유지관리 시스템용 통신키트

그림 3.3.4-40 PC환경 기반의 낙석방지 울타리 모니터링 시스템

- 낙석·토석 유지관리 시스템용 센서는 구조물 경사계와 신축이음계로, 낙석 충격량을 감지할 수 있도록 측정범위를 확장시키면서 분해능을 높이는 것을 고안하여 개발함.
- 통신키트는 센서를 연결하여 구동되며, 별도의 전원공급장치가 필요없이 장기간 운영이 가능하도록 연구 개발함.
- 확장 가능한 고성능 VM, 관리형(저장 및 데이터베이스) 및 데이터 웨어하우스 등의 장점이 우수한 클라우드 플랫폼을 기반으로 유지관리 시스템을 구축하였으며, 기존 PC 기반 프로그램의 고질적인 문제점(서버다운시 데이터 손실, 확장·융합 구성 제한 등)을 극복함.
- 다양한 사용자의 편의를 고려하여 UI를 개발, 정보조회·기간검색, 데이터 저장 등 직관적으로 쉽게 표현하였으며, 스마트폰 등을 통한 접속/확인도 가능하도록 구성함.

• 유지관리 시스템 소프트웨어는 실시간 모니터링 감시가 가능할 뿐만 아니라 데이터 경향 분석과 시설물의 이상 거동, 계측장비 이상 시 SMS를 통해 관리자 및 정보요구자에 직접 메시지를 전송할 수 있도록 개발됨.

■ 클라우드 플랫폼 기반 모니터링 시스템

• 구글 계정 로그인 화면 : 상단 주소창에 geone. kr 입력

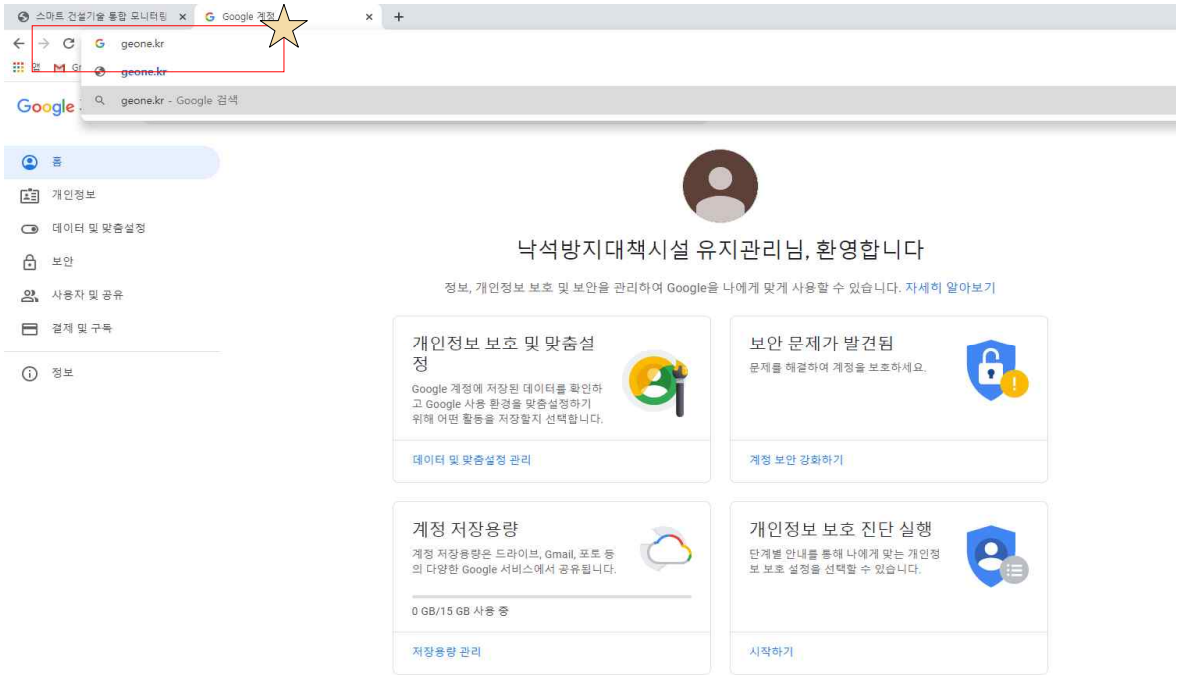


그림 3.3.4-41 유지관리시스템 구글 계정 로그인 화면



그림 3.3.4-42 유지관리시스템 로그인 페이지

■ 운영 프로그램 실행화면

- 계측센서 배치도 화면이 열리고, 센서 옆에 동그란 녹색 마크가 점멸됨
- 단계별 관리기준치가 설정되어 측정 정보자료와 검토하여
- 점멸등 색상

표 3.3.4-20 유지관리시스템 계측관리 수준 점멸 신호

단계	관리기준 범위
정상	계측치 ≤ 제1관리치
1단계	제1관리치 < 계측치 ≤ 제2관리치
2단계	제2관리치 < 계측치 ≤ 제3관리치
3단계	계측치 > 제3관리치

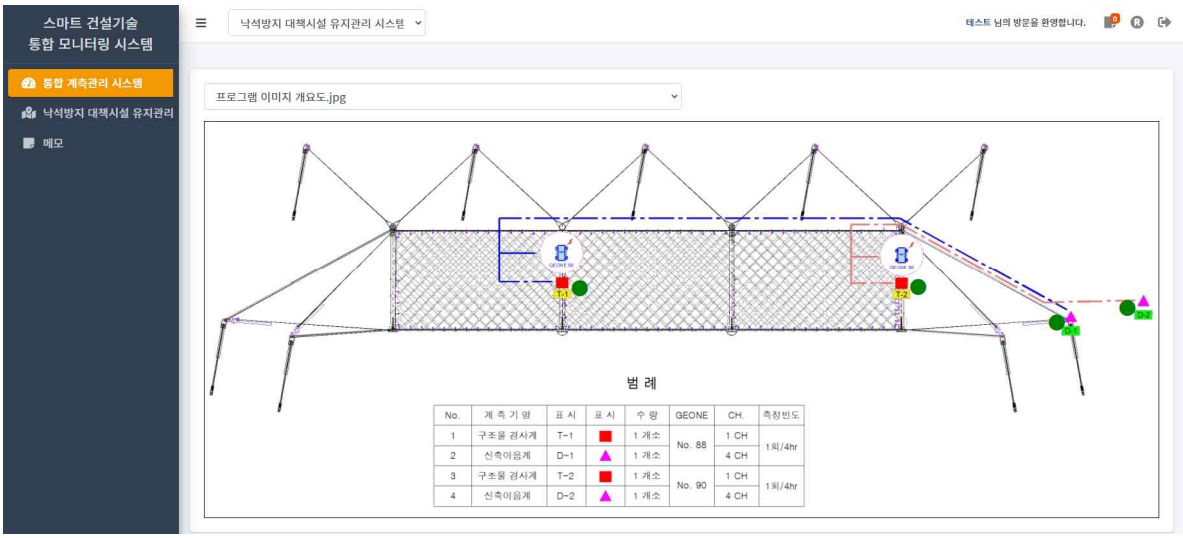


그림 3.3.4-43 유지관리시스템 로그인 페이지

■ 데이터 조회 및 확인

- 기간 설정 → 센서 설정 → 구조물 경사계 선택 → Geone-88(T-1), Geone-90(T-2) 선택 → 검색(그래프 및 최대/최소값 표현) → 데이터 탭 선택 → 엑셀 저장
- 기간 설정 → 센서 설정 → 신축이음계 선택 → Geone-88(D-1), Geone-90(D-2) 선택 → 검색(그래프 및 최대/최소값 표현) → 데이터 탭 선택 → 엑셀 저장

■ 화면구성

- 점멸기능 : 상시 점멸등이 활성화되어 있고, 설정된 관리기준치를 상회시 단계별 색상으로 변환.
- 관리기준치 설정 및 알람기능 : 설정 관리기준치 설정 및 상회시 담당자에게 정보를 SMS로 전달.
- 기간 및 특정시간 조회가능 : 1일. 1주일, 1개월, 직접선택 가능, 특정시간 때만 설정도 가능
- 데이터 및 그래프 저장 가능

• 스마트 폰으로도 조회 가능

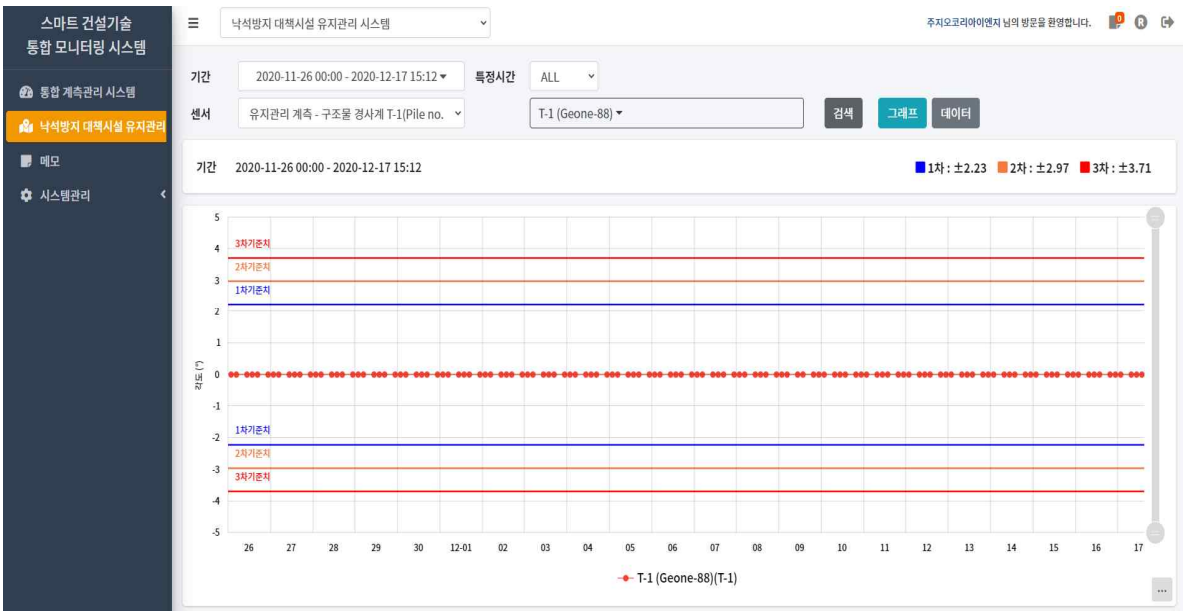


그림 3.3.4-44 유지관리시스템 구조물경사계 데이터 화면

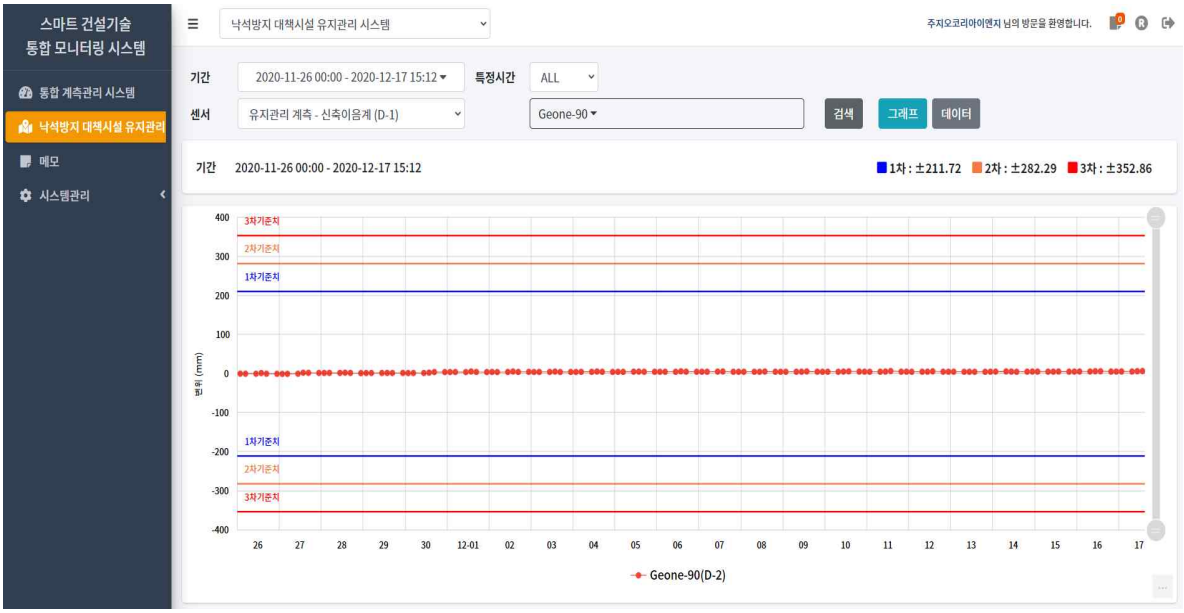


그림 3.3.4-45 유지관리시스템 신축이음계 데이터 화면

■ 관련 시스템 인증 현황

• 유지관리시스템 WEB에 대한 저작권 등록을 완료하였음.



제 C-2020-037147 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	낙석방지 대책시설 유지관리 시스템
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 지오코리아엔지 경기도 군포시 엘에스로166번길
4. 생년월일(법인등록번호)	110111-3877359
5. 창작연월일	2020년10월07일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2020년10월22일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 지오코리아엔지, 창작 : 2020.10.07

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2020년 10월 26일

한국저작권위원회

그림 3.3.4-46 유지관리시스템 S/W 등록

② 시스템 활용 및 운용

• 기존에 국내에 구축된 낙석관련 계측 모니터링 시스템은 낙석의 발생 유뮤를 모니터링하는 시스템이었으나 개발 시스템은 낙석 발생시 낙석방지울타리의 변형과 거동에 대한 모니터링뿐만 아니라 적치된 토석량의 따른 변형과 거동의 모니터링을 통해 토석제거, 교체 등의 낙석방지울타리 유지관리를 수행할 수 있는 시스템임.

• 그러나 국내에 이와 같은 낙석방지울타리의 계측관리기준이나 유지관리방법 등이 마련되어있지 않으며, 고에너지 흡수형 낙석방지울타리의 경우 일반 낙석방지울타리와 거동양상이 매우 다르므로 고에너지 흡수형 낙석방지울타리의 계측사례를 취합하고 분석하여 그 특성을 파악하는 것이 매우 중요함.

• 본 연구에서는 낙석방지울타리 유지관리 시스템의 활용 및 운용 방안 적용성 연구를 위하여 시흥시 테스트 베드에 대한 시험시공 및 시스템 구축을 완료하였으며, 1년 이상의 기간동안 고에너지 흡수형 낙석방지울타리의 거동특성을 측정, 분석하고 이를 통해 고에너지 흡수형 낙석방지울타리에 대한 모니터링 관리 기준을 마련할 예정임.

• 이를 통해 유지관리 시스템을 시범 운영함으로서 문제점을 도출하여 개선하고 개발기술의 완성도 및 현장적용성을 향상시킬 계획임.



그림 3.3.4-47 구조물 경사계 및 유지관리키트 설치



4점 연결 링형포획망 6점 연결 링형포획망

그림 3.3.4-48 신축계 및 유지관리키트 설치

3.5 500kJ급 포켓식 고성능 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 시험시공

1) 테스트 베드 선정 및 업무협약

본 연구개발 기술의 시험시공 및 현장적용성 검토를 위하여 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 '테스트베드 제공 및 시범적용 대상기술 수요조사 신청'을 수행하였으며, 그 결과 시흥시 스마트시티 사업단을 대상으로 테스트베드 적용 신청에 관한 기술 설명회를 개최하였다(2019.12.05.).

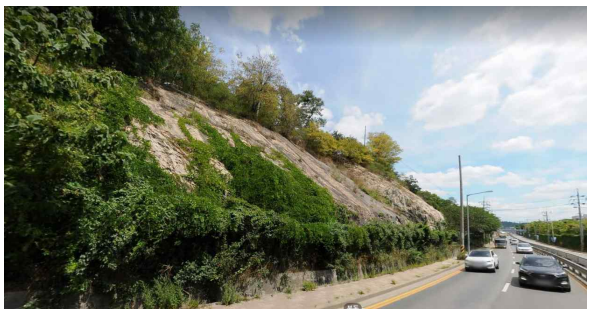
당초 시흥시에서는 방산동 도로확장공사 현장 내 테스트베드 구축을 제안하였으나 2019년 현재 확장공사를 수행중이었으며, 연구비를 활용하여 설치할 수 있는 고성능 낙석방지울타리는 연장 약 15~20m 규모였기 때문에 낙석방지울타리 설치 예정 구간 중 일부구간에 대한 소규모의 테스트베드 마련에 어려움이 발생하였다.

따라서 ㈜대한지오이엔씨에서는 시흥시에서 관리하고 있는 급경사지 관리대상지 중 낙석의 위험성이 높거나 낙석이 발생할 우려가 있는 위험등급 C등급 이상의 암반비탈면을 3개소 선별하고 이 중 1개소를 선정할 수 있도록 시흥시에 요청하였다.

그 결과 지속적인 낙석이 발생하고 있으며, 기존 설치된 낙석방지울타리의 상태가 불량하여 개선사업을 계획하고 있는 시흥시 신천지구 급경사지 관리대상지를 테스트베드로 선정하는 것에 시흥시와 협의하였다.



a. 방산동 도로확장공사 현장



b. 시흥시 신천지구 급경사지 관리대상지(C등급)



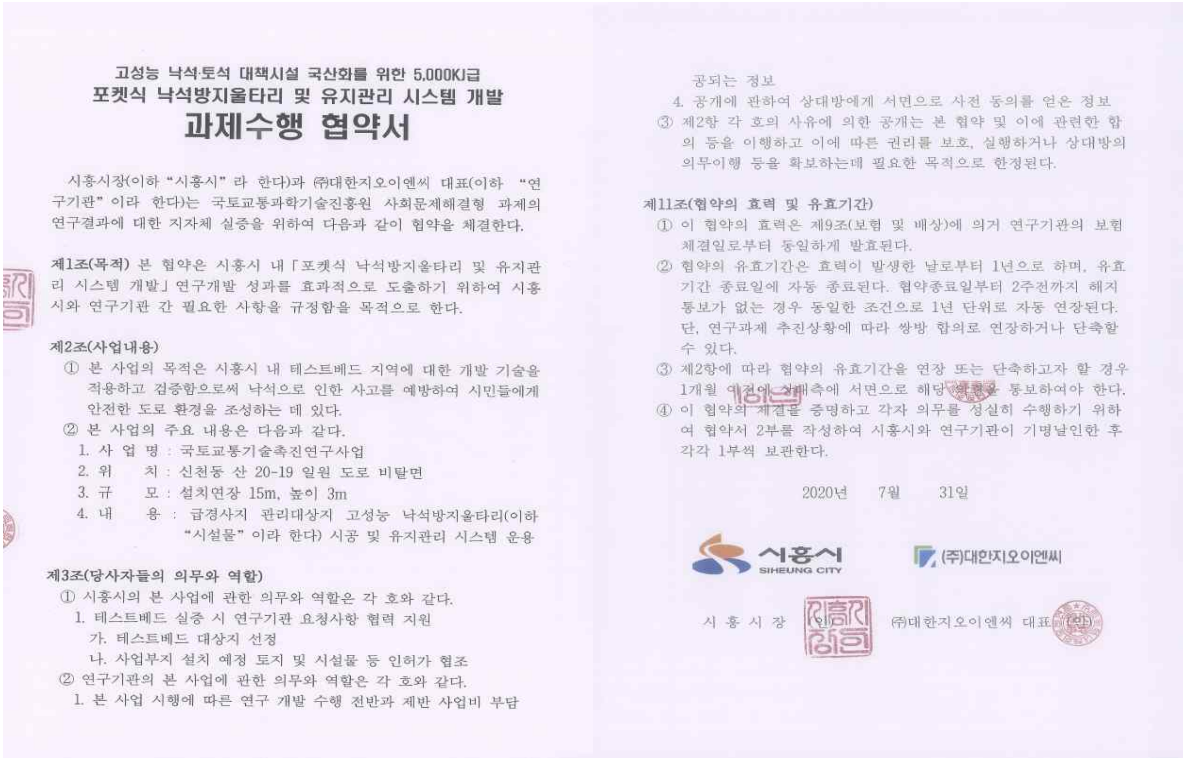
c. 시흥시 광석지구 급경사지 관리대상지(C등급)



d. 시흥시 장곡지구 급경사지 관리대상지(C등급)

그림 3.3.5-1 고성능 낙석방지울타리의 시흥시 신천지구 시범적용 검토지구

선정된 시흥시 신천지구 테스트베드를 대상으로 고성능 낙석방지울타리 및 유지관리시스템 현장 적용을 위하여 주관기관인 ㈜대한지오이엔씨와 시흥시는 과제수행 협약서 및 업무수행 협약서를 체결하였다.



고성능 낙석·토석 대책시설 국산화를 위한 5,000KJ급
포켓식 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 개발

과제수행 협약서

시흥시장(이하 "시흥시"라 한다)과 ㈜대한지오이엔씨 대표(이하 "연구기관"이라 한다)는 국토교통과학기술진흥원 사회문제해결형 과제의 연구결과에 대한 지자체 실증을 위하여 다음과 같이 협약을 체결한다.

제1조(목적) 본 협약은 시흥시 내 「포켓식 낙석방지울타리 및 유지관리 시스템 개발」 연구개발 성과를 효과적으로 도출하기 위하여 시흥시와 연구기관 간 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(사업내용)
① 본 사업의 목적은 시흥시 내 테스트베드 지역에 대한 개발 기술을 적용하고 검증함으로써 낙석으로 인한 사고를 예방하여 시민들에게 안전한 도로 환경을 조성하는 데 있다.
② 본 사업의 주요 내용은 다음과 같다.
1. 사 업 명 : 국토교통기술촉진연구사업
2. 위 치 : 신천동 산 20-19 일원 도로 비탈면
3. 규 모 : 설치연장 15m, 높이 3m
4. 내 용 : 급경사지 관리대상지 고성능 낙석방지울타리(이하 "시설물"이라 한다) 시공 및 유지관리 시스템 운용

제3조(당사자들의 의무와 역할)
① 시흥시의 본 사업에 관한 의무와 역할은 각 호와 같다.
1. 테스트베드 실증 시 연구기관 요청사항 협력 지원
가. 테스트베드 대상지 선정
나. 사업부지 설치 예정 토지 및 시설물 등 인허가 협조
② 연구기관의 본 사업에 관한 의무와 역할은 각 호와 같다.
1. 본 사업 시행에 따른 연구 개발 수행 전반과 제반 사업비 부담

공되는 정보
4. 공개에 관하여 상대방에게 서면으로 사전 동의를 얻은 정보
③ 제2항 각 호의 사유에 의한 공개는 본 협약 및 이에 관련한 합의 등을 이행하고 이에 따른 권리를 보호, 실행하거나 상대방의 의무이행 등을 확보하는데 필요한 목적으로 한정된다.

제11조(협약의 효력 및 유효기간)
① 이 협약의 효력은 제9조(보험 및 배상)에 의거 연구기관의 보험 체결일로부터 동일하게 발효된다.
② 협약의 유효기간은 효력이 발생한 날로부터 1년으로 하며, 유효기간 종료일에 자동 종료된다. 협약종료일부터 2주전까지 해지 통보가 없는 경우 동일한 조건으로 1년 단위로 자동 연장된다. 단, 연구과제 추진상황에 따라 쌍방 합의로 연장하거나 단축할 수 있다.
③ 제2항에 따라 협약의 유효기간을 연장 또는 단축하고자 할 경우 1개월 이전에 상대측에 서면으로 해당 [illegible] 통보하여야 한다.
④ 이 협약의 체결을 증명하고 각자 의무를 성실히 수행하기 위하여 협약서 2부를 작성하여 시흥시와 연구기관이 기명날인한 후 각각 1부씩 보관한다.

2020년 7월 31일

시흥시 SIHEUNG CITY

시 흥 시 장 (인)

㈜대한지오이엔씨

㈜대한지오이엔씨 대표 (인)

그림 3.3.5-2 고성능 낙석방지울타리의 시흥시 신천지구 시범적용에 관한 과제수행 협약서

2) 테스트 베드에 대한 고성능 낙석방지울타리 적용 검토

(1) 테스트 베드에 대한 현장 조사

테스트 베드로 선정된 신천지구 급경사지 관리대상지는 붕괴위험등급 C등급의 암반비탈면으로서 노출된 암반비탈면의 풍화로 인해 지속적인 낙석이 발생하고 있는 상황이다. 특히 비탈면과 비탈면 하부에 위치한 인도 및 도로가 가까우며, 암반비탈면에 대한 낙석방지망 등의 보호공법이 시공되어 있지 않으며, 비탈면 하부에 설치된 낙석방지울타리가 시공되고 오랜 시간이 경과함에 따라 보수 보강이 필요한 상태로서 낙석에 매우 취약한 상태이다. 특히 해당 비탈면은 산림청에서 제공하는 산사태 위험지도에서 다음 그림 0.00(b)와 같이 위험등급 1~2등급으로 분류 되고 있다.



(a) 위치도 (b) 산사태 위험지도

그림 3.3.5-3 시흥시 신천지구 테스트베드 위치도 및 산사태 위험지도

테스트 베드인 시흥시 신천지구에 대한 현장조사 결과 비탈면 상부의 표층이 지속적으로 유실되어 0.5x0.2x0.2m 규모의 지반내 핵석과 풍화된 암반의 낙석이 우려되는 지역인 것으로 확인되었다. 특히 비탈면 하부 설치된 낙석방지울타리의 노후화 및 설치 높이 부족으로 인해 리바운딩된 낙석이 낙석방지울타리에 포획되지 않고 도로에 낙하될 수 있으며, 하부에 설치된 낙석방지울타리에 포획되더라도 낙석방지울타리 노후화로 인하여 피해가 발생할 수 있을 것으로 판단된다.



그림 3.3.5-4 시흥시 신천지구 테스트베드 현황

(2) 테스트 베드에 대한 낙석 안정성 검토

현장조사 결과를 바탕으로 시흥시 신천지구에 대한 낙석 안정성 검토를 위하여 Rocscience사에서 개발한 RocFall 프로그램을 활용하였다. RocFall 프로그램은 비탈면의 형상과 비탈면 구성물질에 대한 물성, 이동할 암석의 물성 그리고 이동암석의 최초위치에 관한 입력치 등을 이용하여 낙석을 분석하는 프로그램으로서 입력 데이터를 다양하게 변화시킬 수 있으며 결과의 처리가 용이하고 낙석의 scale효과 고려가 가능하며 초기 낙석운동 형태의 지정이 가능한 것이 특징이다.

a. 입력변수

RocFall 프로그램에 적용되는 입력자료는 다음 표과 같이 프로그램 변수, 사면특성, 낙석 특성에 따라서 다양한 매개변수들이 사용되며, 사면특성에 따라 다양하게 변화시킬 수 있는 변수는 암괴 형상, 암괴의 운동형태, 암괴크기, 사면 특성 등이 있다. 본 연구에서는 관련 연구 및 문헌 사례를 참고하여 다음과 같은 입력변수를 적용하여 테스트 베드에 대한 낙석 안정성 검토를 수행하였다.

표 3.3.5-1 RocFall 프로그램의 초기 입력치(이준대, 2014)

Initial conditions	Friction angle	1. Use friction angle specified in material editor 2. Calculate friction angle from Rt 3. Set friction angle to zero(rolling)		
	Rock setup	Number of rocks to throw		50
		Min. velocity cut-off		0.1 m/s
	Horizontal velocity	3±0.04		
	Vertocal velocity	1±0.04		
	Mass	400~1000kg		
Materials	Existing materials	Rn	Rt	Friction angle
	Asphalt	0.4±0.04	0.9±0.04	30±2
	Bedrock outcrop	0.35±0.04	0.85±0.04	30±2
	Clean hard bedrock	0.53±0.04	0.99±0.04	30±2
	Soil with vegetation	0.3±0.04	0.8±0.04	30±2

표 3.3.5-2 Reported Values for coefficient of restitution (modified from Richards, 1988)

Reference & methods	R	Rn	Rt	Slope properties
Habit(1977), based on experience	0.75-0.80 0.50-0.60			Based on experience in Italy Based on experience in Norway
Desceoeudres et Zimmermann(1987)	0.40 0.85			Vineyard slopes Rock slopes
Brioli (from Pasquero, 1987)	0.75-0.80 0.20-0.35			Rock on rock Rock on soil/scree
Piteau and Clayton (1987)		0.9-0.8 0.8-0.5 0.5-0.4 0.4-0.2	0.75-0.95 0.65-0.45 0.45-0.35 0.3-0.2	Solid rock Detrital material with large rock boulders Compact detrital material with small boulders Grass covered slopes
Hoek (1987)		0.53 0.40 0.35 0.32 0.30	0.99 0.90 0.85 0.82 0.80	Clean hard bedrock Asphalt roadway Bedrock outcrops with hard surface, large boulders Talus cover Soft soil, some vegetation
Azzoni et al (1991) Field tests on different slopes		0.45-0.85 0.30 0.62 1.22	0.45-0.75 0.66 0.66 0.80	Rock/thin debris, 30-80° Fine debris, 40° Debrisand earth, 25° Coarse debris, 40°
Azzoni and Freitas (1995), field tests	0.51-0.92 0.32-0.65			Rock slope Debris slope
Robothan et al (1995), in situ tests		0.315 0.303 .0315 0.251 0.276 0.271	0.712 0.613 0.712 0.489 0.835 0.596	Limestone face Partially vegetated limestone scree Uncovered limestone blast pile Vegetated covered limestone pile Chalk face Vegetated chalk scree
Rayudu (1997) Laboratary tests		0.33-0.77		Steel ball on different rock slabs
Chau, et al (1998) Laboratary tests	0.487 0.393 0.453	0.197 0.290 0.263	0.910 0.567 0.737	Rock slope Soil slope Shotcreted slpe

표 3.3.5-3 Summary of normal and tangential coefficients of restitution (en and et, respectively), related to slope material type (adapted from Heidenreich, 2004).

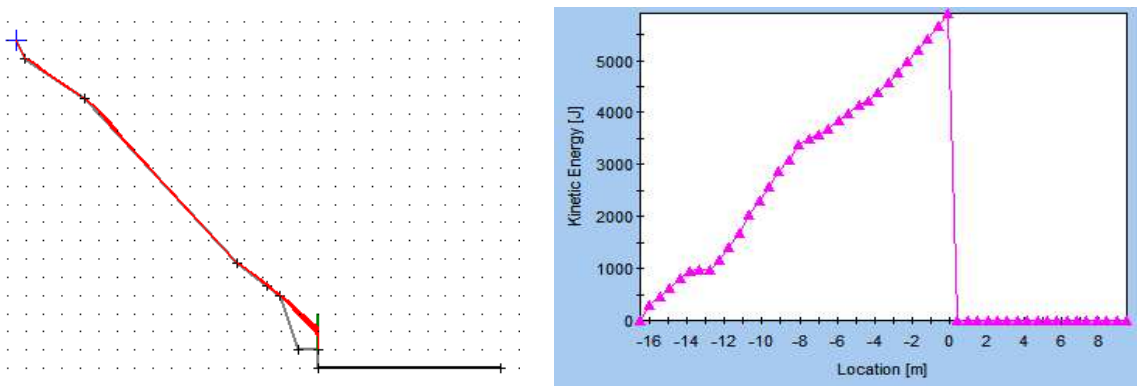
Material	en	et	Reference
Smooth hard rock /pavement	0.8-0.9	0.65-0.75	Piteau & Clayton, 1977
	0.95	0.9	Heierli, 1985
	0.4-0.53	0.9-0.99	Hoek, 1987
	0.05-0.35	0.5-1	Urciuoli, 1988
	0.37-0.42	0.87-0.92	Pfeiffer & Bowen, 1989
	0.5	0.95	Giani, 1992, Barbierei et all, 1988
	0.9	0.9	Evans & Hungr, 1993
	0.17-0.43	0.45-0.88	Gerber, 1995
	0.1-0.35		Kamijo, 2000
	0.6-1.0	0.9-1.0	Joens et all., 2000
	0.2	0.53	Budetta &Santo, 1994
Boulders /Boulders covering bedrock	0.5-0.8	0.45-0.65	Piteau & Bowen, 1989
	0.35	0.85	Hoek, 1987
	0.33-0.37	0.83-0.87	Pfeiffer & Bowen, 1989
	0.35	0.85	Giani, 1992, Barbierei et all, 1988
	0.15-0.30	0.75-0.95	Joens et all., 2000
Talus	0.4-0.5	0.35-0.45	Piteau & Clayton, 1977
	0.45	0.2	Heierli, 1985
	0.32	0.8-0.82	Hoek, 1987
	~0	0.24	Urciuoli, 1988
	0.30-0.33	0.80-0.87	Pfeiffer & Bowen, 1989
	0.3	0.7	Giani, 1992, Barbierei et all, 1988
	0.7		Evans & Hungr, 1993
	0.12-0.2	0.65-0.95	Joens et all., 2000
Vegetated /Soft Soil	0.2-0.4	0.2-0.3	Piteau & Clayton, 1977
	0.3	0.8	Hoek, 1987
	0.28-0.32	0.78-0.83	Pfeiffer & Bowen, 1989
	0.25	0.55	Giani, 1992, Barbierei et all, 1988
	0.1-0.2	0.5-0.8	Joens et all., 2000

표 3.3.5-4 RocFall 프로그램 적용 물성치

Initial conditions	Friction angle	1. Use friction angle specified in material editor		
	Rock setup	Number of rocks to throw		50
		Min. velocity cut-off		0.1 m/s
	Horizontal velocity	3±0.04		
	Vertocal velocity	1±0.04		
	Mass	400~1000kg		
Materials	Existing materials	Rn	Rt	Friction angle
	Asphalt	0.4±0.04	0.9±0.04	30±2
	Bedrock outcrop	0.35±0.04	0.85±0.04	30±2
	Clean hard bedrock	0.53±0.04	0.99±0.04	30±2
	Soil with vegetation	0.3±0.04	0.8±0.04	30±2
Define Initial Conditions		Horizontal velocity [m/s]	Vertical velocity [m/s]	Mass [kg]
	Mean	1.5	-	A : 10, B : 50
	Std Dev.	0.15	-	-

b. 안정성 검토 결과

현재 상태에 대한 테스트 베드에 대한 안정성 검토 결과 그림 3.3.5-4와 같이 낙석방지울타리에 작용하는 충격에너지는 최대 60.5kJ에 달하는 것으로 분석되었다.



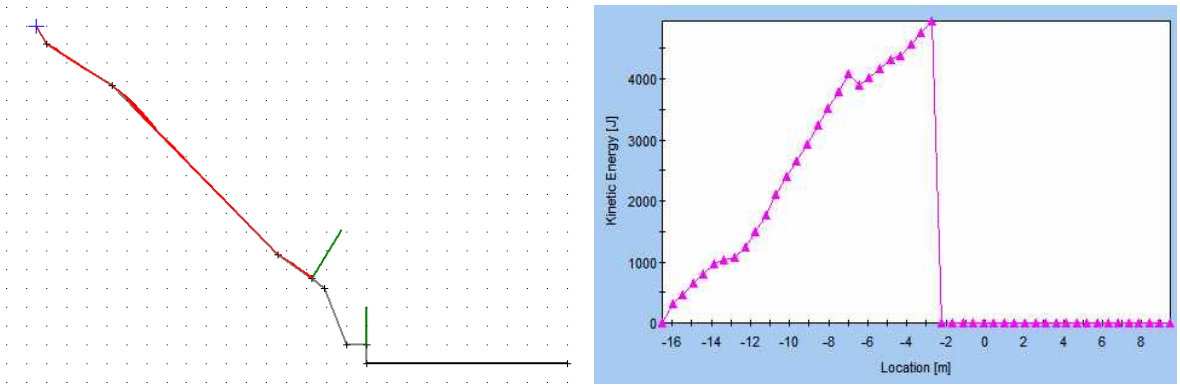
(a) 낙석 분석 궤적 (b) 낙석방지울타리에 작용하는 충격에너지

그림 3.3.5-5 현재 상태에 대한 시흥시 신천지구 Rocfall 안정성 검토 결과

그러나 현재 테스트 베드에 설치된 낙석방지울타리의 경우 노후화로 인하여 상태가 불량한 상태이며, 낙석방지울타리 표준도에 따른 사양이 아니기 때문에 현재 낙석방지울타리가 방호할 수 있는 충격에너지가 어느 정도인지 정확히 파악이 불가능한 상황이다. 또한 포획되는 낙석은 낙석방지울타리 설치 높이의 2/3 이내에서 효과적 방호할 수 있기 때문에 비탈면 하부에서 상부로 일부 이격시켜 설치하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

따라서 본 검토에서는 테스트 베드의 지형을 고려하여 고성능 낙석방지울타리를 비탈면 하부로부터 3m의 높이에 이격시켜 설치하는 것으로 검토하였으며, 이에 대한 안정성 검토를 수행하였다. 그 결

과 다음 그림0.00과 같이 낙석방지울타리에 작용하는 충격에너지는 약 50kJ인 것으로 분석되었으며, 낙석의 포획위치도 낙석방지울타리 설치 높이의 2/3 이내인 것으로 분석되었다.



(a) 낙석 분석 궤적 (b) 낙석방지울타리에 작용하는 충격에너지

그림 3.3.5-6 고성능 낙석방지울타리 설치시 시흥시 신천지구 Rocfall 안정성 검토 결과

3) 테스트 베드에 대한 고성능 낙석방지울타리 시공

테스트 베드에 대한 고성능 낙석방지울타리 시공은 시흥시의 협조를 통해 2020.11.17. 투입되었으며, 2020.11.17.~18 이틀간 지지부 시공을 위한 천공 및 지지부 삽입, 그라우팅을 완료하였다. 지지부의 그라우팅 후 강도발현을 위해 1주일간 양생을 수행하고 2020.11.24.~25 고성능 낙석방지울타리 시공을 완료하였다.

공정별 시공 과정은 다음 그림과 같다.



(a) 천공장비의 투입 및 지지부천공



(b) 지지부(HD-WR ANCHOR) 삽입 및 그라우팅



(c) 지주 앙카 삽입 및 그라우팅

그림 3.3.5-7 테스트베드에 대한 개발 시스템 시험시공



(d) 감쇄장치(DH-BRAKE) 설치



(e) 지지부(DH-POST) 설치



(f) 지주상부지지로프(UP SLOPE DH-ROPE) 설치



(g) 메인로프(MAIN DH-ROPE) 설치

그림 3.3.5-8 테스트베드에 대한 개발 시스템 시험시공 (계속)



(h) 링형포획망(KR-NET) 설치



(i) 테스트베드 안내 표지판 설치



(j) 시험시공 완료 전경

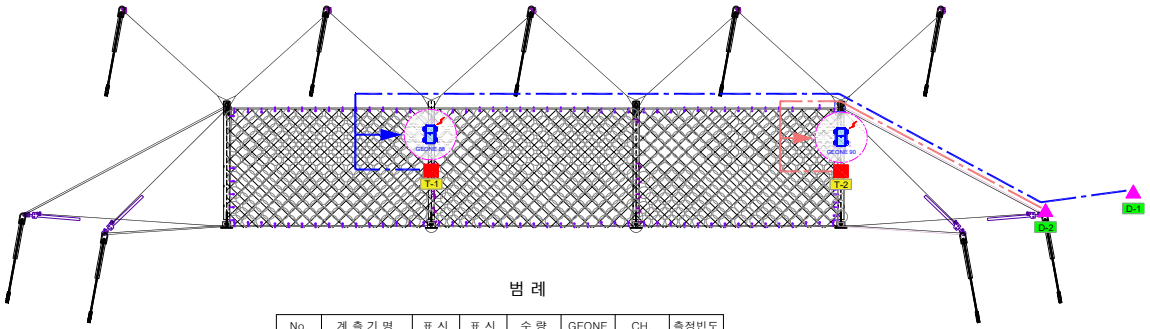
그림 3.3.5-9 테스트베드에 대한 개발 시스템 시험시공 (계속)

4) 테스트 베드에 대한 낙석방지울타리 유지관리 시스템 구축

(1) 계측기기의 설치

① 계측기 설치 위치 선정

테스트베드의 고성능 낙석방지울타리에 대한 계측기 설치위치는 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능시험 결과 및 거동양상에 따라 낙석 및 토석 발생시 충격을 감지할 수 있는 지점 일것, 낙서방지망의 처짐변하를 감지할 수 있는 지점일 것, 낙석 방지책 와이어 감쇄장치의 변화를 감지 할 수 있는 지점일 것, 유지관리와 점검이 용이한 지점일 것 등을 고려하여 다음 그림과 같이 선정하였으며, 고성능 낙석방지울타리의 규모를 고려하여 구조물 경사계 2개소, 신축계 2개소 등 총 4개소의 계측기기를 설치하였다.



범 례

No.	계 측 기 명	표 시	표 시	수 량	GEONE	CH.	측정빈도
1	구조물 경사계	T-1	■	1 개소	No. 88	1 CH	1회/4hr
2	신축이음계	D-1	▲	1 개소		4 CH	
3	구조물 경사계	T-2	■	1 개소	No. 90	1 CH	1회/4hr
4	신축이음계	D-2	▲	1 개소		4 CH	

그림 3.3.5-10 테스트베드 계측기기 설치 배치도

표 3.3.5-5 테스트베드 계측기 설치 제원

구분	계측항목	설치위치	계획수량	설치수량	잔여수량	비고
자동계측	구조물 경사계	지주	2	2	-	-
	신축계	감쇄장치	2	2	-	-

표 3.3.5-6 계측항목 및 기대효과

계측항목	설치목적 및 기대효과
구조물 경사계	• 지주(DH-POST)의 경사를 측정하여 낙석발생시 충격하중에 따른 기울기 변화를 감지
신축 이음계	• 낙석방지울타리 내 링형포획망의 길이변화를 측정하여 상태정보 확인 • 감쇄장치의 길이변화를 측정하여 상태정보를 확인



그림 3.3.2-1 구조물 경사계 및 유지관리키트 설치



4점 연결 링형포획망 6점 연결 링형포획망

그림 3.3.5-11 신축계 및 유지관리키트 설치

② 계측기간 및 계측빈도의 설정

계측빈도는 관련 기준에 따라 선정하도록 되어 있으나 대상 시설물의 중요도 및 안전성, 계측의 목적, 예상되는 변위량 및 변위속도 등 현장상황을 고려하여 관리 주체와의 협의를 통해 조정할 수 있도록 되어있다.

본 테스트베드의 계측빈도는 설치된 고성능 낙석방지울타리의 방호성능 대비 예상되는 낙석의 충격에너지가 낮은 것을 고려하여 다음과 같은 계측빈도로 계측을 수행할 계획이다.

표 3.3.5-7 계측항목 및 기대효과

구분	계측항목	계측빈도
자동계측	구조물 경사계	1회/4hr
	신축이음계	1회/4hr

③ 관리기준치 설정

계측값에 대한 관리기준치는 고성능 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가시 발생한 고성능 낙석방지울타리의 변위값을 기준으로 설정되었으며, 테스트베드에 대한 계측관리기준치는 다음과 같다.

표 3.3.5-8 테스트베드에 대한 계측관리기준치

구분		기준 변위	계측관리기준					비고
			판정 지표	< 60% 관심 (통상)	> 60% 주의 (주의)	> 80% 경계 (경계)	>100% 심각 (대피)	
구조물 경사계 (°)	지주	5.04	5.0	< 3.0	3.0	4.0	5.0	
신축 이음계 (mm)	포획망	4,013.10	4,000	< 2400	2,400	3,200	4,000	
	감쇄 장치	1,500	1,250	< 750	750	1,000	1,250	계측관리판정지표 =계측변위지표/1.2

(2) 유지관리시스템 구축 및 운영

① 유지관리시스템 구축

테스트베드에 구축된 유지관리키트의 계측정보를 활용한 유지관리시스템 구축 결과는 다음과 같다.



그림 3.3.5-12 유지관리시스템 클라우드 접속

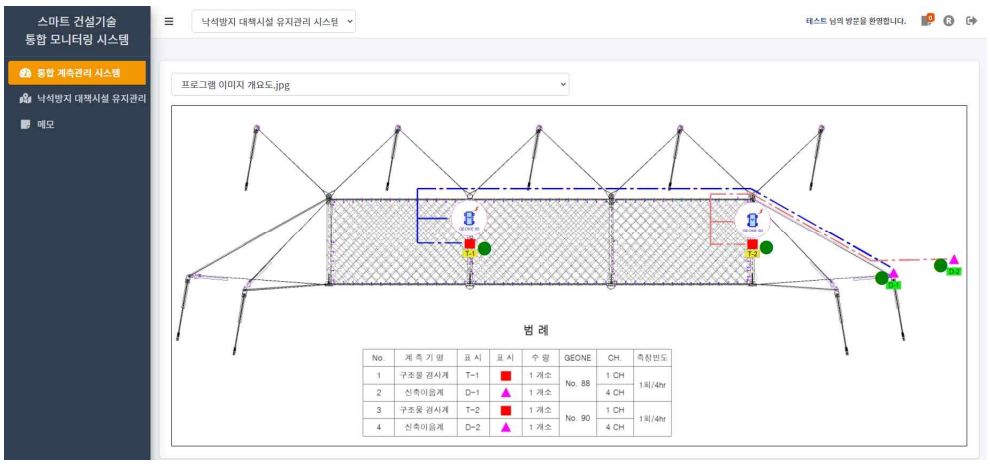


그림 3.3.5-13 유지관리시스템 구축 결과

② 유지관리시스템의 운영

테스트베드에 대한 유지관리시스템 구축은 2020.11월 말 완료되었으며, 2020.12월 말 현재 유지관리시스템을 활용한 유지관리시스템을 운영 중에 있다.

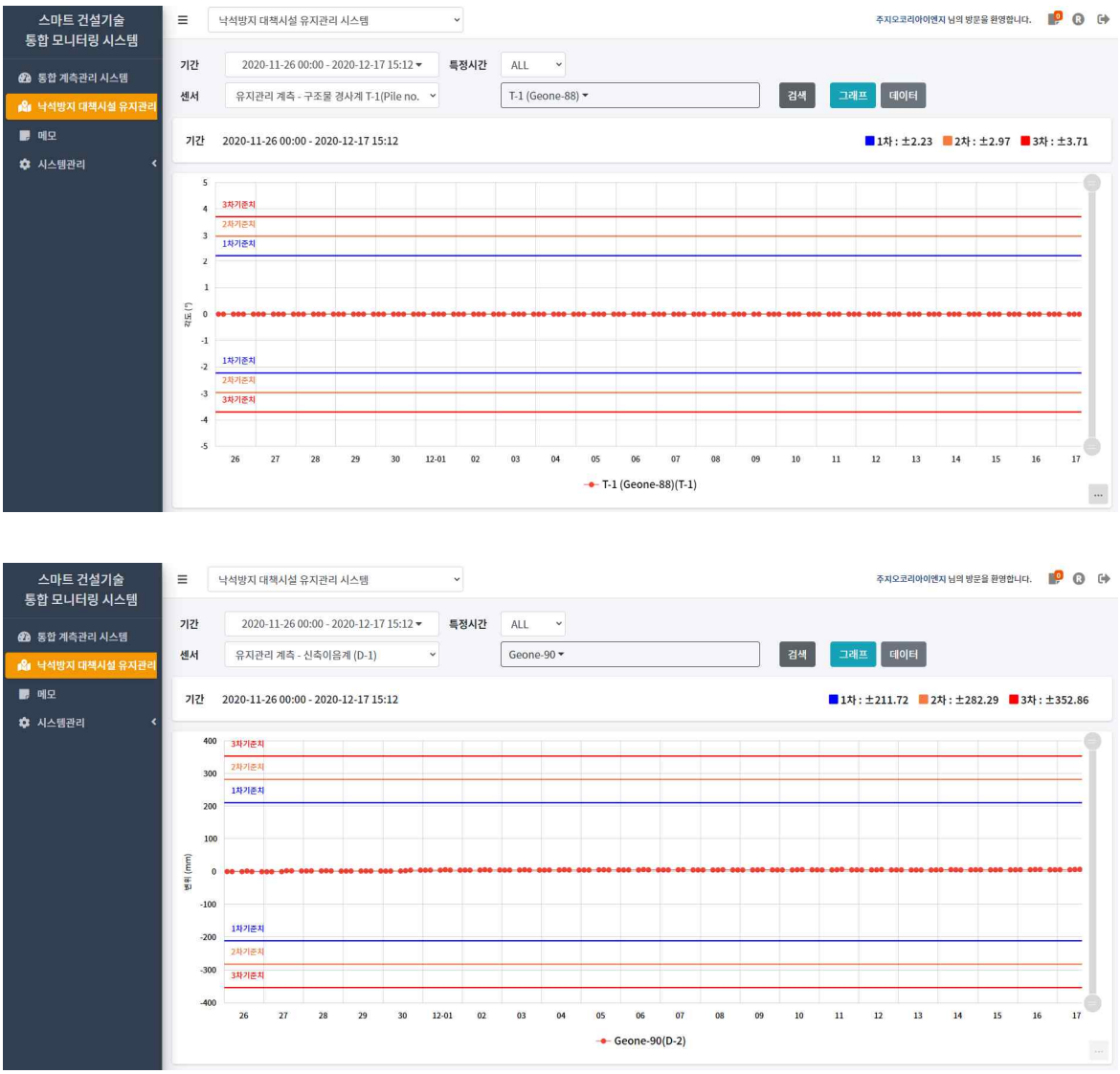


그림 3.3.5-14 유지관리시스템 구축 결과

특히, 낙석이 발생하여 낙석방지울타리를 가격하는 것을 모니터링 하는 시스템은 국내에 구축되어 운영중에 있으나 본 연구 개발 기술과 같이 낙석방지울타리의 기울기와 포획망의 변형, 에너지 감쇄장치 등을 모니터링하고 이에 따른 계측관리 대응체계를 전달하는 시스템의 구축은 보고된바 없다.

또한 개발된 고성능 낙석방지울타리가 현장에 설치되었을 때, 낙석에 의한 거동뿐만 아니라 야생동물에 의한 거동, 태풍 및 집중호우 등으로 인한 거동, 인위적 거동 등 다양한 형태의 거동이 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 테스트베드에 대한 유지관리시스템의 운영은 낙석발생시 고성능 낙석방지울타리의 거동을

모니터링하고 거동양상에 따른 단계별 대응체계 단계를 알려주는 기능외에 고성능 낙석방지울타리의 장기적인 모니터링을 통한 고성능 낙석방지울타리의 거동 양상에 대한 데이터베이스를 확보하는 측면이 더 중요할 것으로 판단된다.

5) 적용성 검토

(1) 개발된 고성능 낙석·토석 대책시설에 대한 적용성 검토

① 개발 기술의 특징

a. 공장 제작 요소자재의 현장 조립 시공

- 신청기술의 요소자재는 모두 공장에서 가공·제작되어 현장에 반입되어 요소 자재에 대한 현장 가공이 필요 없음.
- 현장 가공 시공을 차단하여 시공중 발생할 수 있는 품질 저하를 방지할 수 있음.
- 요소 자재에 대한 현장 가공을 차단함으로서 설계안을 반영한 안정적 시공이 가능
- 단기간 현장 조립 시공으로 공사기간과 현장 작업 위험성을 낮출 수 있음.
- 2,040MPa급 2.8mm 강선을 활용한 포획망(해외 유사 성능 기술대비 12.9% 경량화)과 감쇄장치를 활용하여 낙석과 토석류의 충격에너지를 흡수하는 대책시설

b. 환경 유해요소 최소화

- 신청기술의 요소자재는 모두 공장에서 가공·제작되어 현장에 반입되어 현장 가공 시공시 발생하는 환경 유해요소를 최소할 수 있음.
- 현장여건에 따라 기계식 천공 및 시공이 가능할 경우 선단 확장·지압형 지지부를 적용할 수 있으며, 이를 통해 지지부 시공 연장을 축소시켜 천공과 지지부 그라우팅에 따른 환경 유해요소를 절감 가능

b. 중장비 사용 최소화

- 신청기술 시공시 인력시공이 가능하기 때문에 중장비의 사용을 최소하여 교통통제, 중장비 진출입 억제에 따른 안정성 확보 가능.

② 기술 활용을 통한 현장적용시 특장점

a. KR-NET SYSTEM 성능 검증 및 신뢰성

- 링형 포획망 시스템은 유럽, 미국, 일본 등 해외 방재 선진국에서 ETAG027, NCHRP 20-7, 落石対策便覧 등의 관련 기준에 따라 중대형의 낙석과 토석류 대책 시설물로 활용되는 고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설로 폭넓게 활용하고 있는 시스템임. 해외의 경우 고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설의 포획망을 와이어로프, 강선 등을 활용하고 제조 하고 있으나 일반적으로 1,770MPa급 3.0mm의 강선으로 링형네트를 제작하여 적용하고 있음. 국내에서는 고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설 중 G사의 링네트 공법이 가장 일반화되어 있으나 전 자재가 외산자재로 구성되어 고가로 형성되어 있음.
- 신청기술은 국내 철강 인프라를 활용하여 2,040MPa급 2.8mm 강선을 활용하여 링형네트를 개발하였으며, 이를 통해 1,770MPa급 3.0mm 강선을 활용하는 기존 기술 대비 12.9% 경량화된 링형네트를 활용하여 시공성 및 유지관리성을 향상시킬 수 있음. 특히 개발된 KR-NET(링형포획망)과 DH-BRAKE(에너지 감쇄장치)를 대상으로 ETAG027에 준하는 3-RING TEST 및 NERGY DISSIPATING DEVICE TEST를 수행하여 시험성적서를 발급받아 그 성능과 신뢰성을 확보하였음.
- 한편, 고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설에 대한 국내 실물성능검증은 200~300kJ급으로서 실제 설치되는 최소 사양의 링형네트 시스템의 성능검증에도 미흡한 실정이었으나 신청기술은 국내 최대 500kJ급 실물성능시험을 수행하여 그 성능을 검증하였음.

b. 신청기술의 적용 방안

- 중대형의 낙석 발생이 우려되어 일반 낙석방지울타리로 방호가 불가능한 경우
- 테일러스 등 암반비탈면의 광범위한 풍화로 낙석 암편의 대량 유실이 우려되어 일반 낙석방지울타리로 방호가 불가능한 경우
- 현장 여건의 의하여 비탈면 하부에 낙석방지울타리의 적용이 불가능한 경우
- 산지 계류에서 토석류의 발생이 우려되는 지역
- 산지 계류로부터 유송잡물의 유입이 많아 피해가 우려되는 지역
- 현장 여건의 의하여 사방댐의 설치가 어렵고 저사 효과가 미비한 지역

c. 긴급시공 및 시공 간편성

- 도로 개통후 재해예방시설을 시공하는 경우 도로통제 및 교통량 조절 등의 간접적 피해가 발생할 수 있기 때문에 시공편이성, 긴급시공성 등이 매우 중요함.
- 적용기술은 현장여건에 따른 인력시공이 가능할 뿐만 아니라 실 시공기간이 매우 짧아 고속도로 교통량에 큰 영향을 주지 않으며, 긴급시공성이 매우 높음.
- 특히 모든 자재가 공장에서 제작되어 지지부 시공 2일(7일 양생), 포획망 시스템 설치 2일(연장 15~20m, 높이 3m 기준) 등, 소요되는 시공기간이 매우 짧아 시공성이 용이함.

③ 유지관리성

a. 전용 유지관리시스템 적용 가능

- 개발된 유지관리키트는 저전력 장거리 통신기술인 LoRa 통신기술 중 상용 LoRa망을 활용함으로서 전력공급장치, 통신설비 등의 고가 시스템을 구축하지 않고 6회/일의 계측빈도로 1년이상 시설물의 변위량, 기울기 등을 모니터링 할 수 있음(계측빈도 설정 가능).
- 개발된 유지관리시스템에서 임의의 계측관리 기준을 설정하여 이를 바탕으로 시설물의 거동양상에 따른 알람 기능을 제공하여 이상 징후의 확인과 대책방안 마련이 가능

b. 공장 제작 주요요소의 유지관리·보수 가능

- 신청기술의 요소자재는 모두 공장 제작된 주요 요소를 현장에서 조립하여 설치하기 때문에 낙석 및 토석류 포획시 교체가 필요한 요소자재에 대해 설치 역순으로 교체를 수행하여 보수가 가능함.
- 낙석 및 토석류 포획시 주요 요소의 변형이 심하게 발생하여 재사용이 불가능할 경우 충전용 글라인더, 절단기 등을 활용하여 보다 손쉽게 해체가 가능함.
- 낙석 및 토석류 포획시 주요 요소의 변형이 심하게 발생하여 재사용이 불가능할 경우 충전용 글라인더, 절단기 등을 활용하여 보다 손쉽게 해체가 가능함.

c. 저사 낙석·토석류 준설 용이성

- 저사량이 적어 시설물의 변형이 적고 재사용이 가능한 경우 포획망과 포획망 사이의 체결부(샤클)만을 해체하고 포획망을 커튼식으로 걷어 저사된 낙석과 토석류의 준설이 용이함.
- 저사량이 많고 시설물의 변형이 많아 재사용이 불가능한 경우 지지부에 연결된 메인로프를 절단한 후 저사된 낙석과 토석류와 같이 준설하고 기존 지지부를 활용하여 신규 포획망의 설치가 가능함.

④ 개발된 고성능 낙석·토석 대책시설과 기존기술과의 비교

개발된 고성능 낙석·토석 대책시설에 대한 기존기술과의 비교 분석 결과는 다음과 같다. 비교기술에 대한 자료는 공개된 건설신기술 및 연구개발보고서를 참조하였다.

표 3.3.5-9 기존 기술과의 비교 분석-낙석대책시설용

구분	개발기술	링네트	개폐형 낙석방지울타리	일반 낙석방지울타리
형상				
공법 개요	- 2,040MPa급 2.8mm 강선을 활용한 포획망(해외 유사 성능 기술대비 12.9% 경량화)과 감쇄장치를 활용하여 낙석과 토석류의 충격에너지를 흡수하는 대책시설	- 해외 유사 성능의 1,770MPa급 3.0mm 강선을 활용한 링형포획망과 감쇄장치를 활용하여 낙석과 토석류의 충격에너지를 흡수하는 대책시설	- 메탈라스로 제작된 펜스 모듈의 적용으로 유지관리성을 향상시킨 낙석대책시설	- 와이어로프와 PVC 코팅망을 주요 요소로 하는 방호성능 48, 61kJ급의 표준형 낙석 대책시설
주요 구성 요소	- KR-NET(링형 포획망), DH- BRAKE(감쇄장치), DH-ROPE(고장력 와이어로프), DH- POST(지주) 등	- 링형 포획망, 감쇄장치, 지주, 고장력 와이어로프 등	- PVC코팅망, 와이어로프, 지주, 스플라이스, 메탈라스 펜스	- PVC코팅망, 와이어로프, 지주, 스플라이스 등
안전성	- 국내 최대 500kJ급 실물성능시험(국토부 연구과제·상지대학교 성능시험) 수행 - 유럽 기준(ETAG027)에 준하는 링형포획망시험(3-RING TET), 감쇄장치시험(ENERGY DISSIPATING DEVICE TEST)을 통해 국내 유일 링형포획망&감쇄장치 공인시험성적서 발급 - 500kJ급 이상 사양 시뮬레이션 증빙	- 국내에서 자체 시험을 수행한바 있으나 관련 자료의 확인이 어려움.	- 77.91kJ급 실물성능시험 - 고속도로 평균 낙석 충격에너지 190kJ급 대비 성능 부족	- 시공실적, 토석류 방호사례로 검증됨 - 시공상태에 따른 안정성 저하 발생 우려
시공성	- 경량화에 따른 시공성, 경제성 향상 - 감쇄부재의 제원에 따른 DH-BRAKE(에너지 감쇄장치)성능조절 용이 - 2,040MPa급 2.8mm 강선을 활용한 포획망을 활요하여 해외 유사 기술대비 12.9% 경량화를 달성하여 시공성 및 유지관리성 향상 - 일반낙석방지울타리 대비 시공성 낮음	- 경량화에 따른 시공성, 경제성 향상 - 해외 유사 성능의 1,770 MPa급 3.0mm 강선을 활용한 링형포획망을 적용하여 해외 기술과의 차별성이 없으며, 중량이 다소 무거움. - 일반낙석방지울타리 대비 시공성 낮음	- 메탈라스 펜스 모듈 적용으로 시공성 향상	
유지 관리성	- 부분적 교체 가능 - 전력공급장치 및 통신설비가 필요 없는 유지관리키트 적용시 경제적인 유지관리 및 경보 시스템 구축 가능	- 부분적 교체 가능 - 별도의 유지관리시스템 구축 필요	- 부분적 교체 가능 - 별도의 유지관리시스템 구축 필요	- 부분적 교체 가능 - 별도의 유지관리시스템 구축 필요

표 3.3.5-10 기존 기술과의 비교 분석-토석류대책시설용

구분	대상기술	링네트	CK 토석류 방호시설	사방댐
형상				
공법 개요	- 2,040MPa급 2.8mm 강선을 활용한 포획망(해외 유사 성능 기술대비 12.9% 경량화)과 감쇄장치를 활용하여 낙석과 토석류의 충격에너지를 흡수하는 대책시설	- 해외 유사 성능의 1,770MPa급 3.0mm 강선을 활용한 링형포획망과 감쇄장치를 활용하여 낙석과 토석류의 충격에너지를 흡수하는 대책시설	- 와이어로프 중간에 코일스프링을 설치하여 낙석과 토석류 의 충격에너지를 흡수하는 대책시설	- 철근콘크리트로 제작되는 중력식 토석류 대책시설
주요 구성 요소	- KR-NET(링형 포획망), DH- BRAKE(감쇄장치), DH-ROPE(고장력 와이어로프), DH- POST(지주) 등	- 링형 포획망, 감쇄장치, 지주, 고장력 와이어로프 등	- 와이어로프 네트(포획망), 코일스프링(감쇄장치)	- 철근콘크리트
안전성	- 국내 최대 500kJ급 실물성능시험(국토부 연구과제 · 상지대학교 성능시험) 수행 - 유럽 기준(ETAG027)에 준하는 링형포획망시험(3-RING TET), 감쇄장치시험(ENERGY DISSIPATING DEVICE TEST)을 통해 국내 유일 링형포획망&감쇄장치 공인시험성적서 발급 - 500kJ급 이상 사양 시뮬레이션 증빙	- 국내에서 자체 시험을 수행한바 있으나 관련 자료의 확인이 어려움.	- 200kJ급 실물성능시험(국토부 연구과제 · 자체시험) 수행	- 시공실적, 토석류 방호사례로 검증됨 - 시공상태에 따른 안정성 저하 발생 우려
시공성	- 경량화에 따른 시공성, 경제성 향상 - 감쇄부재의 제원에 따른 DH-BRAKE(에너지 감쇄장치)성능조절 용이 - 2,040MPa급 2.8mm 강선을 활용한 포획망을 활요하여 해외 유사 기술대비 12.9% 경량화를 달성하여 시공성 및 유지관리성 향상	- 경량화에 따른 시공성, 경제성 향상 - 해외 유사 성능의 1,770 MPa급 3.0mm 강선을 활용한 링형포획망을 적용하여 해외 기술과의 차별성이 없으며, 중량이 다소 무거움.	- 와이어로프와 조립구를 활용하여 포획망을 현장 제작하여 중량이 다소 무거움. - 코일스프링 형태의 소용량 감쇄장치를 다수 설치하기 때문에 현장시공 및 유지관리에 다소 어려움	- 중장비의 사용, 중장비 진출입로 개설 필요 - 철근배근 및 콘크리트 양생에 긴 공사기간 필요
유지 관리성	- 전력공급장치 및 통신설비가 필요 없는 유지관리키트 적용시 경제적인 유지관리 및 경보 시스템 구축 가능	- 별도의 유지관리시스템 구축 필요	- 별도의 유지관리시스템 구축 필요	- 별도의 유지관리시스템 구축 필요 - 철근콘크리트의 유지보수는 비교기술보다 더 어려움
친 환경성	- 현장 조립식 시공으로 환경훼손 최소화	- 현장 조립식 시공으로 환경훼손 최소화	- 현장 조립식 시공으로 환경훼손 최소화	- 중장비의 사용, 중장비 진출입로 개설 필요

⑤ 고성능 낙석방지울타리 시스템 현장 적용 효과

고성능 낙석방지울타리 현장 적용에 의한 비용절감 효과를 분석하기 위하여 외부 전문 원가분석 기관에 의뢰하여 원가 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 비교기술은 건설신기술 자료를 참조하였다.

유지관리공을 제외한 순수 고성능 낙석방지울타리에 대한 원가 분석 결과 설치면적당(m^2) 설계가는 유사 성능의 해외 기술대비 48.6%, 국내 건설신기술 지정 기술 대비 102.8%인 것으로 분석되었다. 특히 국내 건설신기술 지정 기술과 설치면적당(m^2) 설계가는 유사한 수준으로 확인되며, 국내 건설신기술 지정 기술의 방호성능이 200kJ급 인 것을 감안하면, 가격대비 성능이 보다 우수한 것으로 확인된다.

표 3.3.5-11 고성능 낙석방지울타리 현장 적용에 의한 비용절감 효과[1)]

구분		재료비	노무비	경비	합계	비교
개발기술 45m²	지반보강	8,115,668	2,981,695	1,016,848	12,114,211	
	지주설치	6,000,000	849,526	25,486	6,875,012	
	로프 및 충격흡수장치 설치	11,940,000	10,403,262	363,312	22,706,574	
	포획망 설치	15,435,900	2,985,079	193,658	18,614,637	
	합계				**60,310,434**	**1,340,232원/m² 100%**
완충형 낙석방지책 26m²	지반보강	1,287,984	2,265,407	287,840	3,841,231	
	지주설치	971,664	3,091,616	2,501	4,065,781	
	로프 및 충격흡수장치 설치	3,656,000	8,720,871	-	12,376,871	
	포획망 설치	8,896,067	4,711,212	-	13,607,279	
	합계				**33,891,162**	**1,303,506원/m² 97.3%**
링네트 75m²	지반보강	8,115,668	2,981,695	1,016,848	12,114,211	
	지주설치	6,000,000	849,526	25,486	6,875,012	
	로프 및 충격흡수장치 설치	31,901,815	68,056,093		99,957,908	
	포획망 설치	56,069,755	30,507,450	1,128,039	87,705,244	
	합계				**254,079,518**	**2,755,365/m² 205.6%**

※ 주1) 외부 전문 원가분석 기관의 원가 분석 용역 수행(첨부자료 #07 참조)

(2) 유지관리시스템에 대한 적용성 검토

① 개발 기술의 특징

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 “도로절개면 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 계측기기와 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. 개발기술 모니터링 시스템

개발기술의 경우 낙석방지울타리의 유지관리에 적합한 경사계 및 신축계를 개발하고 검교정을 수행하였으며, 유지관리 통신 키트에 직접 연결되므로 별도의 추가 설비나 장치가 필요 없다. 특히, 개발기술의 통신시스템은 저전력 장거리 통신기술 중 LoRa 기술을 활용하며, 통신 및 전력 공급장치 관련 기기를 최소화 할 수 있다. 특히, 계측빈도 4회/일로 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 상용망을 활용하여 중계기로 클라우드로 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.

② 개발된 모니터링시스템 기존 기술과의 비교

표 3.3.5-12 기존 기술과의 비교 분석

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

③ 개발된 모니터링시스템 현장 적용 효과

낙석방지울타리 유지관리 시스템 현장 적용에 의한 비용절감 효과를 분석하기 위하여 외부 전문 원가분석 기관에 의뢰하여 원가 분석을 수행하였다.

경사계 2개소, 신축계 2개소, 총 4개소의 계측기기 설치 및 유지관리시스템 설치 설계가는 기존 GNSS 기반 계측관리시스템의 52.9%, RF+LTE 통신 기반 계측관리시스템의 60.9% 수준이며, 수동계측 대비 59.2% 수준으로 확인된다.

표 3.3.5-13 고성능 낙석방지울타리 유지관리시스템 현장 적용에 의한 비용절감 효과[1)]

구분		재료비	노무비	경비	합계	비교
개발 기술	계측기기 설치	4,400,000	1,625,188	1,787,708	7,812,896	
	시스템 구축	7,400,000			7,400,000	
	현장정기점검		1,625,188	1,787,708	3,412,896	
	유지관리시스템 운용[2)]		4,875,564	5,387,124	10,262,688	
	합계				**28,888,480**	**6,959,610원/m² 100%**
GNSS	계측기기 설치	35,802,816	5,611,264		41,414,080	
	시스템 구축	2,433,280	3,212,537		5,645,817	
	현장정기점검		1,820,532	800,000	2,620,532	
	유지관리시스템 운용[2)]		23,261,400		23,261,400	
	합계				**72,941,829**	**11,651,959원/m² 252.5%**
RF +LTE	계측기기 설치	4,400,000	2,502,992	2,753,292	9,656,284	
	시스템 구축	24,095,281			24,095,281	
	현장정기점검		1,625,188	1,787,708	3,412,896	
	유지관리시스템 운용[2)]		4,875,564	5,387,124	10,262,688	
	합계				**47,427,149**	**11,651,959원/m² 164.2%**
수동 계측	계측기기 설치	4,400,000	1,625,188	1,787,708	7,812,896	
	현장정기점검		14,626,692	16,089,372	30,716,064	
	유지관리시스템 운용[2)]		4,875,564	5,387,124	10,262,688	
	합계				**48,791,648**	**14,223,133원/m² 168.9%**

※ 주1) 외부 전문 원가분석 기관의 원가 분석 용역 수행(첨부자료 #07 참조)
※ 주2) 1년(12개월) 유지관리 기준

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

1.1 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시스템 개발

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

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

(가) 시제품 : 500kJ급 포켓식 고성능 낙석방지울타리 시스템
5,000kJ급 포켓식 고성능 낙석방지울타리 시스템

(나) 시제품 관련 공인인증 시험성적서 : 링형 포획망 4종 7건.
감쇄장치 3종 7건.
지지부 2종 4건.

1.2 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 및 결과를 반영한 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 시뮬레이션 검증

(1) 연구성과 목표 : 논문 1건(SCI), 논문 1건(비SCI)

(2) 연구성과 : 논문 1건(SCI), 논문 (1)건(비SCI), 전문인력 양성 1명(석사 – 2020.2 졸업)

1.3 낙석·토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발

(1) 연구성과 목표 : 특허출원 1건 중 등록 1건, S/W등록 1건, 시제품 1건

(2) 연구성과 : 특허출원 1건 중 등록 1건, S/W등록 1건, 시제품 1건

(가) 시제품 : 유지관리 키트

(나) 시제품 관련 공인인증 시험성적서 : 센서 검교정 2종 (2)건.
kC인증 1건.

1.4 성과점검기준표

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준									양적성과 현황		
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	해당 기관	예산 (백만원)	목표치	달성치	가중치
주관	A	5,000kJ급 포켓식 낙석방지 울타리 개발	A-1	500kJ급 포켓식 낙석방지 울타리 기술 국산화	①	방호성능 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 개발	500kJ	-	시제품제작	시제품 관련 증빙 (도면)	20	(주) 대한지오 이엔씨	310.201	특허 : 출원 2 건 등록 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 건 시제품 : 1 건 S/W : 건	특허 : 출원 2 건 등록 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 건 시제품 : 1 건 S/W : 건	20
			A-2	5,000kJ급 포켓식 낙석방지 울타리 개발	①	방호성능 5,000kJ급 포켓식 낙석방지울타리 개발	5,000kJ	-	시뮬레이션을 통한 성능검증 및 시험성적서	동영상증빙 보고서 시험성적서	20			특허 : 출원 건 등록 2 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 1 건 시제품 : 1 건 S/W : 건	특허 : 출원 건 등록 2 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 2 건 시제품 : 1 건 S/W : 건	20
공동	B	고성능 낙석방지 울타리 성능시험 방법 연구	B-1	500kJ급 낙석방지 울타리 성능평가 실험장 건설	①	500kJ급 성능시험장 건설	500kJ	-	성능평가장 건설	성능평가장 건설여부	15	상지대학교 산학협력단	200	특허 : 출원 건 등록 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 건 시제품 : 건 S/W : 건	특허 : 출원 건 등록 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 건 시제품 : 건 S/W : 건	15
			B-2	5,000kJ급 낙석방지 울타리 성능평가	①	500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가	500kJ	-	성능평가	보고서	5			특허 : 출원 건 등록 건 논문(SCI) : 1 건 논문(비SCI) : 1 건 시제품 : 건 S/W : 건	특허 : 출원 건 등록 건 논문(SCI) : 1 건 논문(비SCI) : 1 건 시제품 : 건 S/W : 건	15
					②	5,000kJ급 포켓식 낙석방지 울타리 시뮬레이션 검증	5,000kJ	-	수치해석검증	보고서	10					
공동	C	낙석방지 울타리 유지관리시스템 개발	C-1	낙석 · 토석 대책시설 유지관리 및 경보 키트 개발	①	낙석 · 토석 대책시설 유지관리 및 경보 키트 제품 개발 (HW)	시제품	-	시제품제작	시제품 관련 증빙 (도면)	15	(주)지오 코리아 이엔지	232.480	특허 : 출원 1 건 등록 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 건 시제품 : 1 건 S/W : 건	특허 : 출원 1 건 등록 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 건 시제품 : 1 건 S/W : 건	15
			C-2	낙석 · 토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발	①	낙석 · 토석 대책시설 유지관리 및 경보 시스템 개발 (SW)	QA검증		시스템 구축여부	시스템 구축여부	15			특허 : 출원 건 등록 1 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 건 시제품 : 건 S/W : 1 건	특허 : 출원 건 등록 1 건 논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 건 시제품 : 건 S/W : 1 건	15
계											100		742.681	특허 : 출원 3 건 등록 3 건 논문(SCI) : 1 건 논문(비SCI) : 2 건 시제품 : 3 건 S/W : 1 건	특허 : 출원 3 건 등록 3 건 논문(SCI) : 1 건 논문(비SCI) : 3 건 시제품 : 3 건 S/W : 1 건	100

1.5 개발 제품 성능 지표 및 평가 결과

(1) 고성능 낙석방지울타리 개발 제품 성능 지표 및 평가 결과

표 4.1 고성능 낙석방지울타리 개발 제품 성능 지표 및 평가 결과

구분		검증방법	성능지표	개발결과	
500kJ급 시스템		공동연구기관 상지대학교 산학협력단 실물성능평가 동영상증빙	500kJ급 실물성능평가 성공 • 단부 잔여 변위 70% 이상	단부 최대 변위 0.238 m (실물성능평가) 단부 최대 변위 0.4995 m (시뮬레이션)	단부 잔여 변위 70% 이상 확보
5,000kJ급 시스템		공동연구기관 상지대학교 산학협력단 시뮬레이션	5,000kJ급 시뮬레이션 결과 성공 • 단부 잔여 변위 70% 이상	단부 최대 변위 0.859 m (시뮬레이션)	단부 잔여 변위 70% 이상 확보
링형포획망	7/2.8/300	ETAG027에 준하는 공인인증시험	연구개발계획서 성능지표없음 (기존 해외유사기술의 동등이상 성능 확보)	파단하중 79.8~100.0kN 감쇄성능 2.9~3.1kJ	기존 해외기술 대비 98.5~120.8% 수준
	12/2.8/300	ETAG027에 준하는 공인인증시험		파단하중 150.7kN 감쇄성능 5.3kJ	
	16/2.8/300	ETAG027에 준하는 공인인증시험		파단하중 201.0kN 감쇄성능 7.3kJ	
	19/2.8/300	ETAG027에 준하는 공인인증시험		파단하중 238.7kN 감쇄성능 8.7kJ	
에너지 감쇄장치	D60.5-1.8t	ETAG027에 준하는 공인인증시험		감쇄성능 12.2kJ/m	기존 해외기술 13.0 ~103.0kJ/m
	D60.5-3.2t	ETAG027에 준하는 공인인증시험		감쇄성능 52.8~60.2kJ/m	
	D60.5-5.5t	ETAG027에 준하는 공인인증시험		감쇄성능 171.9kJ/m	
지지부	확장형 지지부	락볼트인발시험 공인인증시험	연구개발계획서 성능지표 없음	264.6 kN (풍화암) 419.4 kN (연 암)	관련 국내 시험기준 성능 확보
	와이어로프 앵커	락볼트인발시험 공인인증시험		인발하중 492.0 kN	

(2) 유지관리시스템 개발 제품 성능 지표 및 평가 결과

표 4.2 유지관리시스템 개발 제품 성능 지표 및 평가 결과

구분		검증방법	성능지표	개발결과
센서 검교정	구조물경사계	공인인증시험 CP801-10322-1		-
	신축이음계	공인인증시험 CP801-10210-1		-
KC 인증	전자파 적합성	공인인증시험 전자파 적합성 시험		적합
방수방진	방진	공인인증시험 KS C IEC 60529	IP5X	특이사항 없음
	방수		IPX5	특이사항 없음

2. 관련 분야 기여도

2.1 고성능 낙석방지울타리 관련 기술 확보

1) 고성능 낙석방지울타리 관련 기술 확보

연구개발 수행 전 국내 낙석방지울타리 기술은 관련 기준에 준하여 실물성능시험 100kJ, 시뮬레이션 100kJ급이었으며, 이는 해외 기술의 1%수준에 불과하였다. 그러나 본 연구를 통해 낙석방지울타리에 대한 실물성능시험 500kJ급, 시뮬레이션 5,000kJ급을 수행하여 그 기술을 확보하였다. 이는 해외기술 대비 실물성능시험 5%, 시뮬레이션 50% 에 해당되는 기술이며, 연구수행전 국내 기술수준 대비 실물성능시험 5배, 시뮬레이션 50배에 해당한다.

특히 낙석방지울타리 실물성능평가 시험장이 국내에 2개소만 마련되어 있는 상황에서 본 연구를 통해 상지대학교 낙석방지울타리 실물성능평가 시험장을 500kJ급 실물성능평가를 수행할 수 있도록 개보수하였으며, 이를 통해 연구개발 기술에 대한 실물성능평가를 수행하였다.

표 4.3 연구개발 수행 전・후 기술수준 비교

구분	관련기준	실물성능시험	시뮬레이션
해외 기술	100 ~ 5,000kJ	100 ~ 10,000kJ	100 ~ 10,000kJ
연구개발 수행 전	48, 61 kJ	100kJ (1%)	100kJ (1%)
연구개발 수행 후	-	500kJ (5%)	5,000kJ (50%)

한편, 해외서 고성능 낙석방지울타리 기술에 대한 보편화가 이루어지고 있는 상황에서 본 연구를 통해 고성능 낙석방지울타리에 대한 원천 기술 3가지를 확보할 수 있었다. 해외 고성능 낙석방지울타리를 구성하는 포획망의 경우 고강도 선재, 와이어로프 등을 활용하여 제작한 포획망을 활용하고 있으며, 고강도 선재를 활용하여 포획망을 제작하는 경우 일반적으로 1,770MPa급 강선을 활용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 보다 고강도 선재인 2,040MPa급 강선을 활용하여 포획망을 개발・제작하였으며, 이를 통해 1,770MPa급 강선으로 제작되는 포획망 대비 87.1%의 자중을 갖는 경량의 포획망 개발 기술을 확보하였다.

한편, 고성능 낙석방지울타리의 주요 요소중 하나인 감쇄장치의 경우 거동방식과 개발 업체에 따라 매우 다양한 형태를 보이고 있다. 본 연구는 고성능 낙석방지울타리용 감쇄장치 개발에 관한 첫 연구로서 파이프를 감쇄부재로 하여 감쇄부재의 연장과 두께에 따라 감쇄장치의 성능을 조절할 수 있는 감쇄장치를 개발(특허출원10-2019-0145943)하였다.

고성능 낙석방지울타리 지지부의 경우 그 자체로 비탈면 보강기술에 활용될 수 있는 기술로서 본 연구에서는 지압날개를 갖는 지지부를 개발(특허10-2139640)하였다. 개발된 지지부는 지지부 설치시 지압날개를 확장하여 지지부와 지반 사이의 부착력을 증대시킴으로서 지지부의 설치 연장을 감소시킬 수 있는 기술이다.

표 4.4 기존 기술과 개발기술의 링형 포획망 제작 강선 제원 비교

구분		RXI-025	RXI-050	RXI-100	RXI-150	RXI-200	RXI-300	RXI-500
기존 기술 1,770 MPa	방호성능(CLASS/kJ)	2/250	3/500	5/1,000	6/1,500	7/2,000	8/3,000	9/5,000
	RING NET TYPE	7/3/300	7/3/300	12/3/300	12/3/300	16/3/300	16/3/300	19/3/300
	1 RING 인장하중(kN)	87.6		150.1		200.2		237.7
	1 RING 자중(kg)	0.37		0.63		0.84		0.99
개발 기술 2,040 MPa	RING NET TYPE	7/2.8/300		12/2.8/300		16/2.8/300		19/2.8/300
	1 RING 인장하중(kN)	87.9		150.7		201.0		238.7
		100.4%		100.4%		100.4%		100.4%
	1 RING 자중(kg)	0.32		0.55		0.73		0.87
		87.1%		87.1%		87.1%		87.1%



(a) 낙석볼 포획전 (b) 낙석볼 포획후

그림 4.1 연구개발 성과 – 고성능 낙석방지울타리용 링형 포획망



(a) 감쇄장치 작동전 (b) 감쇄장치 작동후

그림 4.2 연구개발 성과 – 고성능 낙석방지울타리용 감쇄장치



(a) 지압날개 확장전 (b) 지압날개 확장후

그림 4.3 연구개발 성과 – 고성능 낙석방지울타리용 지지부

2.2 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법 개발

표 4.5 성능평가 방법

<table>
<tr><th>구분</th><th>ETAG 27 (유럽)</th><th>개발 방법</th></tr>
<tr><td>실험방법</td><td>-SEL (Service Energy Level)
최대충격 에너지의 1/3E를 1회 후 보수 없이 잔여높이 1/2에서 1회로 총 2회 실시
-MEL (Maximum Energy Level)
최대성능을 확인하는 방법으로 최대충격에너지를 적용하여 1회 실시</td><td>-최대성능을 확인하는 방법으로 최대 충격에너지를 적용하여 1회 실시</td></tr>
<tr><td>낙석에너지 레벨</td><td colspan="2"><table>
<tr><td>Energy Level(kJ)</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr>
<tr><td>SEL</td><td>-</td><td>85</td><td>170</td><td>330</td><td>500</td><td>660</td><td>1000</td><td>1500</td><td>>1500</td></tr>
<tr><td>MEL</td><td>100</td><td>250</td><td>500</td><td>1000</td><td>1500</td><td>2000</td><td>3000</td><td>4500</td><td>>4500</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>충격 시 속도</td><td>MEL : 낙석 충돌 전 1m에서 속도가 25m/s</td><td>-</td></tr>
<tr><td>충돌위치</td><td>1/2 (중앙)</td><td>1/2 (중앙)</td></tr>
<tr><td>지주의 허용범위</td><td>-SEL : 1회시 70%, 2회시 네트통과해서는 안된다
<table>
<tr><td colspan="2">MEL</td></tr>
<tr><td>Category</td><td>Residual height</td></tr>
<tr><td>A</td><td>nominal height ≥ 50%</td></tr>
<tr><td>B</td><td>nominal height = 30~49%</td></tr>
<tr><td>C</td><td>nominal height ≤ 30%</td></tr>
</table></td><td>-1회 실시하며, 지주의 70% 이상에 대한 판정 여부 실시</td></tr>
</table>

낙석방지울타리는 주 기둥을 H형강으로 와이어로프와 철망을 주 기둥에 장착하여 낙석에너지를 단부에 지지된 와이어로프와 주 기둥, 철망을 통하여 흡수하도록 한 울타리 구조물이다. 이러한 낙석방지울타리 설계 시 흡수에너지에 대한 설계가 우선되어야 하나 국내는 낙석방지울타리의 흡수에너지를 평가할 수 있는 설계법과 실험법이 개발되어 있지 않다.

국외 관련 기준 조사 결과 NCHRP에서 TEST A, B의 경우 낙석의 통과여부만 판정하기 때문에 낙석방지울타리에 대한 객관적인 판정이 불가능하며, TEST C의 경우 낙석 흡수 에너지를 100 ~ 5000kJ로 시험을 수행하도록 하고 있다.

ETAG 27에서는 MEL 기준의 경우 낙석방지울타리의 설치 높이 대비 충격에너지 작용시 낙석방지울타리의 변형 후 높이(잔여높이)가 50% 내외 인지를 기준으로 하여 판정하지만, 낙석방지울타리의

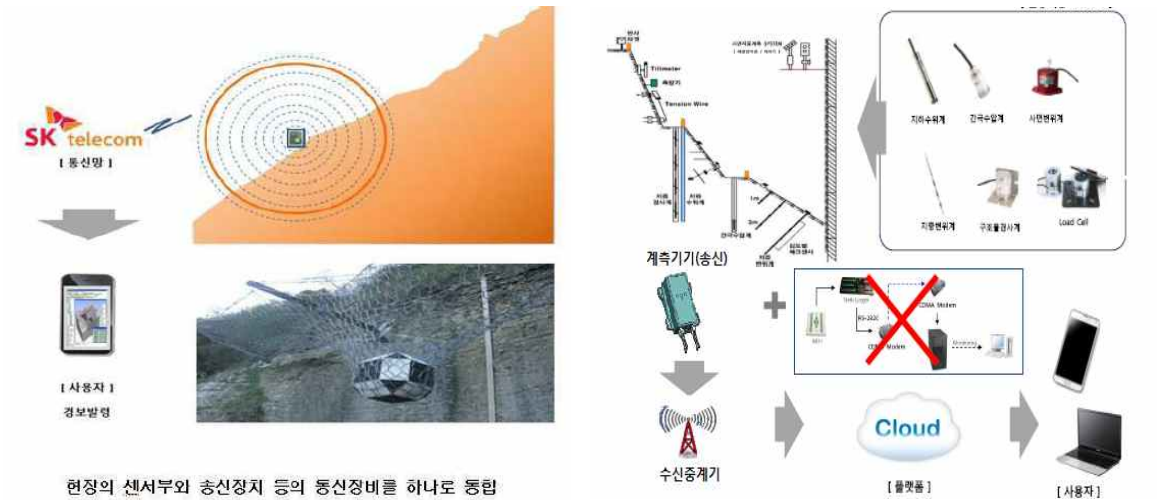
카테고리에 따라 잔여 높이가 30% 이하라도 합격 판정을 받을 수 있다. 그러나 SEL에서는 첫 번째 낙하시험에서 잔여 높이가 70% 이상이 되어야 한다고 명기하고 있으며, 두 번째 낙하시험에서 낙석을 포획하면 합격 판정을 받을 수 있다.

본 연구에서는 위와 같은 시험 방법의 장단점을 조합하여 다음과 같은 시험방법을 고안하였으며, 이에 따른 실물 성능평가 방법을 개발하였다.

2.3 LoRa 기반 계측관리 시스템 기술 확보

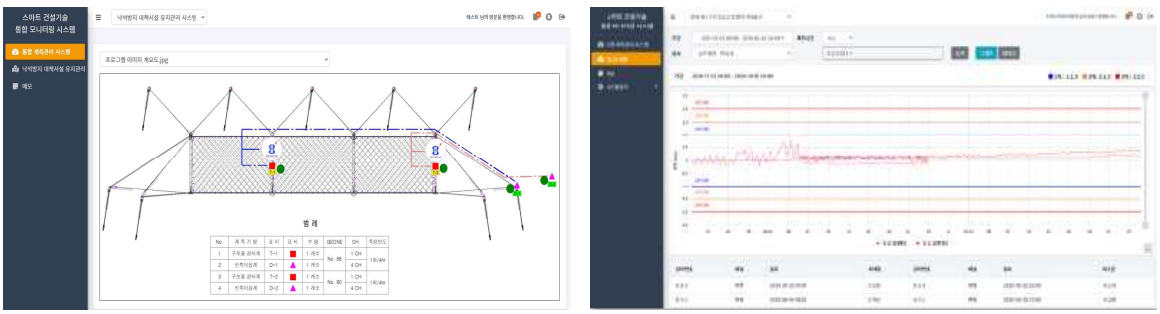
현재 구축되어 운영되고 있는 급경사지 모니터링 시스템은 기술적, 경제적으로 그 한계가 명확하여 관련 계측시장이 활성화 되고 있지 않다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 LoRa를 기반으로 한 계측관리 시스템은 저전력 장거리 통신이 가능한 오픈된 기술을 활용함으로서 그 활용도가 매우 높으며, 통신망 구축 및 계측관리 시스템 유지관리비용을 절감할 수 있는 기술로 계측관리 시장에 큰 파급효과를 불러 올 수 있는 기술로 기대되고 있는 기술이다. 따라서 본 연구를 통해 LoRa를 기반으로 한 계측관리 원천 기술을 확보함으로서 국내는 물론 국제적으로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



(a) 현장 적용 개념도 (b) 낙석방지울타리 유지관리 시스템

그림 4.4 낙성방지 울타리 유지관리 시스템 개념도



(a) 맵을 통한 위치기반 실시간 모니터링 (b) Data를 기반으로 현장 상황 확인

그림 4.5 PC환경 기반의 낙석방지 울타리 모니터링 시스템

3. 본 연구의 적용범위 및 한계 등 후속연구의 필요성

3.1 연구개발 기술의 적용범위

1) 고성능 낙석방지울타리의 적용범위

고성능 낙석방지울타리에 관한 국내 기술은 방호성능만으로 단순 비교시 선진국 대비 5%에 불과한 상황으로 본 연구과제를 통해 순수 국산 고성능 낙석방지울타리 기술을 개발함으로서 관련 기술을 선진국 수준으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

특히 해외에서는 개발된 링형 포획망 기술을 활용하여 낙석방지울타리 외에 토석류 대책시설, 눈사태 방호시설, 낙석방지망, 수중어뢰망 등에 활용하고 있기 때문에 국내에서도 해외기술을 바탕으로 토석류 대책시설, 수중어뢰망 등에 활용하고 있으며, 낙석방지망으로의 확대 적용도 가능할 것으로 기대된다.



(a) 토석류 대책시설로의 적용 사례



(b) 눈사태 방호시설의 적용 사례



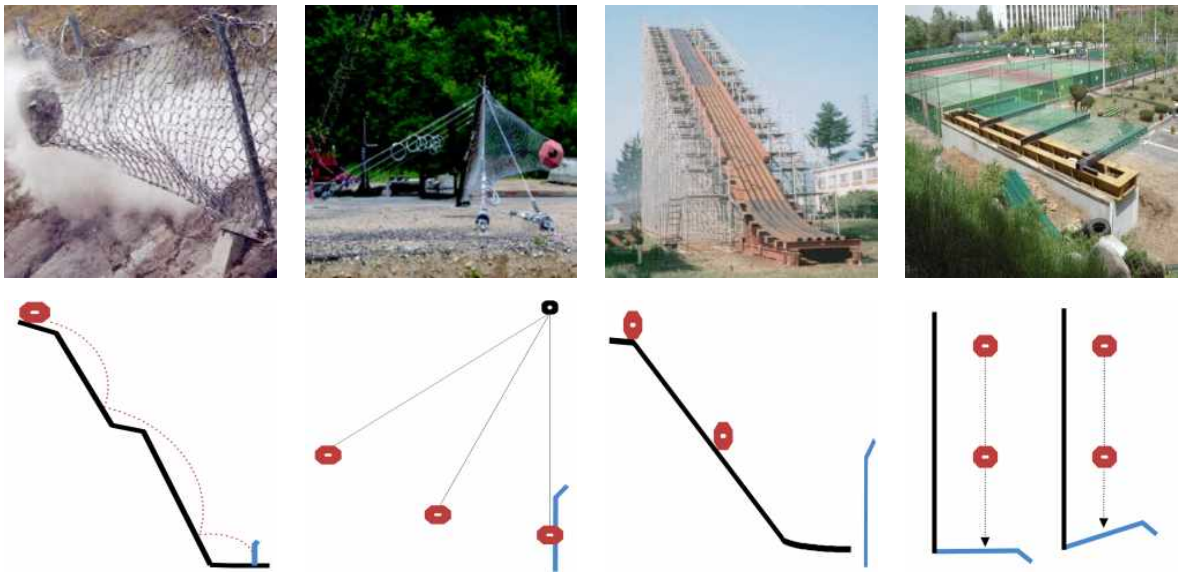
(c) 낙석방지망으로의 적용 사례

그림 4.6 고성능 낙석방지울타리 기술 적용 사례

2) 고성능 낙석방지울타리 성능평가 방법의 적용 범위

국내의 낙석 방지시설 관리지침에는 경간 수, 충돌위치, 충돌각도, 낙석의 형상, 충돌속도, 낙석의 무게 등 구체적인 실험방법과 성능평가기준이 없기 때문에 합리적으로 성능을 평가하기 어려운 상황

이다. 국내·외에서는 아래 그림 4.1과 같이 사면낙석실험과 펜듈럼실험, 수직낙석실험 등을 수행한 사례가 있다. 대부분의 실험은 실험조건이 이상화되어 현실성이 떨어지지만, 수직낙하 실험의 경우, 높이 조정으로 인한 타격에너지의 조정이 가능하고 일정한 타격위치를 이용한 실험의 일관성이 높아 많이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 수직낙하실험 및 ETAG 27 및 NCHRP 등을 고려하여 개발된 성능평가 방법은 국내 고성능 낙석방지울타리의 현장시험에 적용할 수 있다고 판단된다.



(a) 사면낙석실험 (b) 펜듈럼실험 (c) 런칭실험 (d) 수직낙하실험

그림 4.7 낙석실험의 종류

3) 낙석방지울타리 유지관리시스템 기술의 적용 범위

LoRa 기반 유지관리 키트를 활용한 유지관리기술의 경우 24회/일의 계측빈도로 모니터링을 수행할 경우 별도의 전원 공급 장치 없이 내장된 배터리만으로 1년이상 구동이 가능하다(계측빈도 조정에 따른 베터리 교체 주기 변경 가능). 24회/일의 계측빈도는 관련 수동계측 시 최고 사양의 계측빈도인 1~2회/일 대비 10배 이상의 고빈도의 계측이며, 유지관리 키트를 다수 설치하고 계측시점을 달리할 경우 보다 많은 계측빈도로 시설물의 유지관리를 수행할 수 있다. 그러나 상시계측 기술이 아니기 때문에 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

본 연구는 고성능 낙석방지울타리를 개발하고 실물성능평가를 수행하여 그 성능을 검증하였다. 국내 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가를 수행할 수 있는 전문 시험장을 보유한 곳은 전국에 상지대와 공주대 2공이 위치하며, 그동안 모두 방호성능 100kJ급의 낙석방지울타리 실물성능평가만을 수행하였다. 본 연구를 통해 상지대학교는 기존 시험장을 500kJ급 낙석방지울타리 실물성능평가 시험

장으로 개보수하였으나 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 수행에도 다소 무리가 발생하였다. 특히 해외 500kJ급 낙석방지울타리 실물성능평가가 연장 18~30m, 높이 3m 규모의 시스템을 대상으로 수행하는 사례와 비교하였을 때, 본 연구에서는 연장 11m, 높이 3m 규모의 시스템을 대상으로 수행하였으며, 시스템의 지지부 위치, 낙석 작용 위치 등 모든 조건이 불리하게 적용되었다.

또한, 5,000kJ급 고성능 낙석방지울타리에 대한 성능 검증은 실물성능평가를 수행하지 못하고 시뮬레이션 분석을 통해 수행하였다는 것에 큰 한계가 발생하였으며, 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

한편, 낙석방지울타리 유지관리 키트를 활용한 유지관리시스템의 경우 낙석방지울타리에 대한 모니터링 기술로서 공용후 안정성이 확보된 구조물을 대상으로 하기 때문에 상시전원이 공급되어 실시간 계측관리가 이루어지는 상시자동화계측의 필요성이 없으므로 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 경사계, 신축계를 선정하였으며, 계측빈도는 24회/일으로 수행하였다. 그러나 낙석방지울타리를 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) 고성능 낙석방지울타리 관련 기술 기준 부족에 따른 후속 연구의 필요성

국내 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가를 수행할 수 있는 전문 시험장을 보유한 곳은 전국에 상지대와 공주대 2공이 위치하며, 그동안 모두 방호성능 100kJ급의 낙석방지울타리 실물성능평가만을 수행하였다. 본 연구를 통해 상지대학교는 기존 시험장을 500kJ급 낙석방지울타리 실물성능평가 시험장으로 개보수하였으나 500kJ급 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 수행에도 다소 무리가 발생하였다. 본 연구를 통해 미루어 500kJ급 이상의 낙석방지울타리 실물성능평가 시험장을 구축하는 것은 그 규모상 개별 학교나 기업에서 구축하는 것은 매우 어려울 것으로 판단된다.

특히 국내에 낙석방지울타리에 대한 실물성능평가 기준이나 방법 등이 제시되어 있지 않기 때문에 해외 기준이나 방법을 준용할 수밖에 없었다. 그러나 시험장 여건이 한정되어 있는 상황에서 해외 실물성능평가 기준 및 방법을 적용하는데 있어 매우 많은 어려움이 발생하였다.

따라서 국내 고성능 낙석방지울타리 기술 확보와 관련 시장 활성화를 위해서는 관련 기준 및 시험방법에 대한 정비와 전문 시험장 확보가 매우 필요할 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 계측기기와 계측빈도가 상세히 명기되어 있지 않으나

건설공사 비탈면 표준시방서에서 다음 표4.1과 같은 계측항목 및 계측빈도를 규정하고 있다. 그러나 표와 같이 공사단계에 대한 기준으로서 공용중에 대한 내용은 별도로 언급되어 있지 않다.

표 4.6 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

건설공사 비탈면 설계기준 및 해설서(한국시설안전공단, 2016)에는 표4.2와 같은 계측기기별 계측빈도를 제시하고 있으나 수동계측대상을 대상으로한 기준으로서 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 경시 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 4.7 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 계측빈도를 적의 밀실하지 않도록 한다.		공사에 선행 혹은 병행하여 현장계측을 하며, 대책공 시공이나 공사의 안전을 확보한다.	보전대상물이 나 인명의 안전확보를 위해 긴급대피 등의 조치를 목적으로 한다.	비탈면붕괴 대책공 시공후의 대책 효과 확인을 목적으로 한다.	시공도중이나 유지관리단계에 있어서 붕괴나 땅사태의 변동이 현재화된 경우

특히 개발 기술은 낙석방지울타리의 유지관리를 위해 계측관리를 수행하는 것이기 때문에 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 중요 할 것으로 판단되며, 위 계측빈도에 대한 연구가 공공기관의 전문가를 통해 마련되어야 할 것으로 판단된다.

표 4.8 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

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 연구개발성과의 활용방안

재난안전 분야는 타 분야와 비교하여 사업화가 매우 더디며, 그나마 소방 등 일부분야에 한정되어 활성화되어 있는 상황으로서 요소기술과 플래폼의 모듈화 된 기술체계가 요구되고 있다. 특히 재난안전분야의 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 유지관리 시스템으로서 저전력으로 장거리 통신이 가능하므로 유지관리가 용이하고 효율적인 유지관리 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 2021년도 1/4분기에 추진하여 2021년도 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 있다.

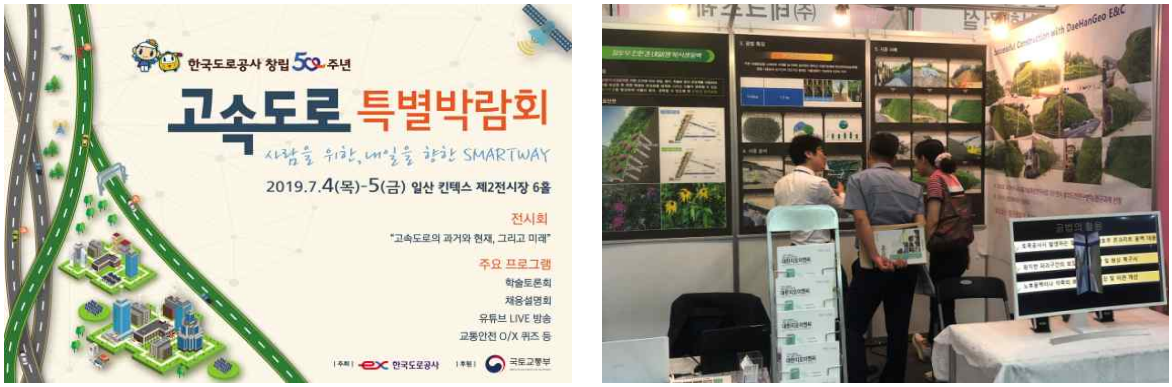


그림 5.1 2019 한국도로공사 특별박람회 참가 [(주)대한지오이엔씨]



(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

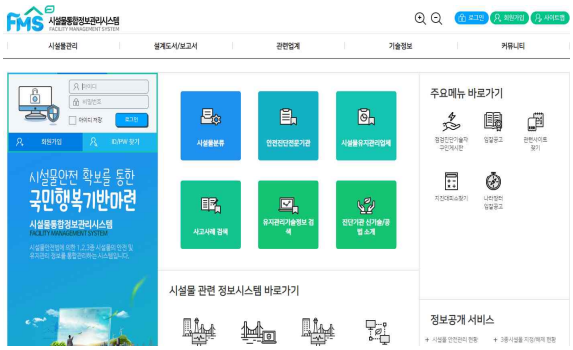
1.3 유관 기관 내 관련 유지관리 시스템과의 통합 가능성

(1) 유관 기관 내 관련 유지관리 시스템

낙석을 포함한 비탈면 유지관리 시스템과 비탈면까지 포함하는 시설물 유지관리시스템 및 재해재난 관리 시스템 등 국내에는 많은 시스템 들이 구축되어 운영중에 있다.

그 중 시설물에 관한 관리시스템은 국토교통부에서 구축한 시설물 통합 정보관리시스템, 취약시설 안전관리 시스템 등이 있으나 관련 시스템은 시설물의 상태를 진단하고 유지관리를 위한 정보관리 시스템으로서 실시간 시설물관리 시스템으로 구축되어 있지 않다. 행정안전부에서는 생활안전지도, 안전정보 통합 공개 시스템을 구축하여 운영중에 있으나 국토교통부 시스템과 유사하게 시설물의 상태를 진단하고 유지관리를 위한 정보관리시스템을 구축되어 있다.

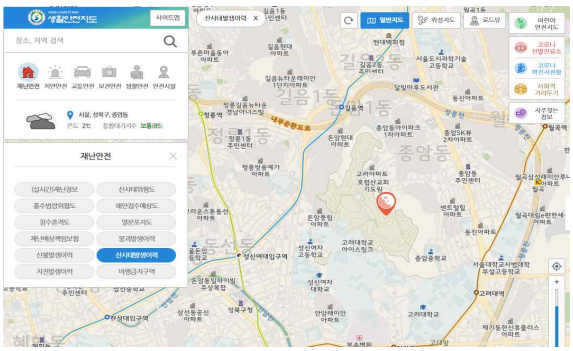
특히, 국토교통부와 행정안전부에서는 자체적으로 위험 비탈면에 대한 실시간 계측관리시스템을 구축하여 운영하고 있으나 위 관련 시스템에는 연동되어 있지 않으며, 이러한 이유는 각 현장에 구축된 계측기의 종류와 형태, 관리 기준 등 계측 현황이 현장 맞춤형으로 구축되어 실시간 계측관리시스템의 통합이 매우 어렵기 때문인 것으로 판단된다.



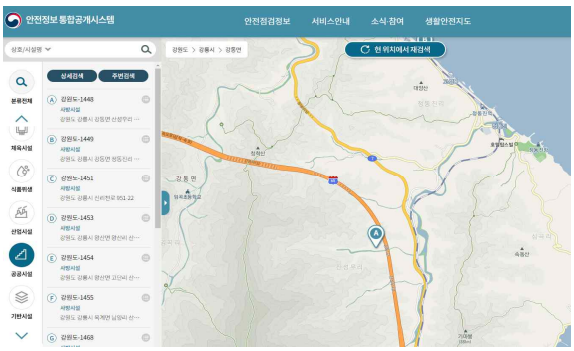
(a) 시설물 통합 정보관리 시스템



(b) 소규모 취약시설 안전관리시스템



(c) 생활안전지도



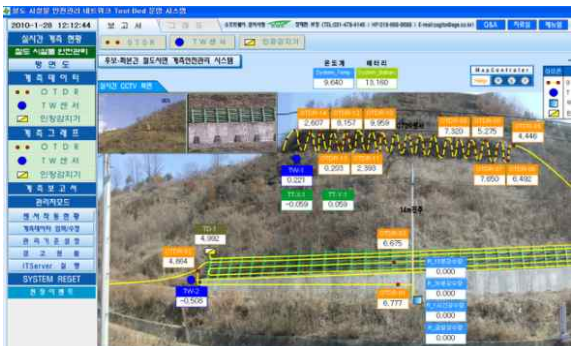
(d) 안전정보 통합공개시스템

그림 5.4 국토교통부 및 행정안전부연구개발 내 시설물 관리시스템

한편, 아래 시스템과 같은 도로공사 비탈면 모니터링 시스템, 철도 낙석검지 계측관리 시스템, 국립공원공단 낙석통합관리 시스템, 지방도 도로비탈면 관리 시스템 등 계측관리 기반 유지관리 시스템이 구축되어 있으나 해당 시스템은 전용망(내부망)에 구축된 시스템으로서 일반인들이 접속하기 불가능하다.



(a) 도로공사 비탈면 모니터링 시스템



(b) 철도 낙석 검지 계측관리시스템



(c) 국립공원공단 낙석통합관리시스템



(d) 지방도 도로비탈면관리시스템

그림 5.5 국토교통부 및 행정안전부연구개발 내 시설물 관리시스템

(2) 유관 기관 내 관련 유지관리 시스템과의 통합 가능성

위와 같이 국민들의 안전에 대한 인식변화 및 정보 요구, 정부 대정책 투명성 확보 등을 위해 시설물 유지관리 시스템이 구축되어 운영되고 있다. 그러나 공용망(상용망)에 계측정보를 기반으로 한 실시간 관리시스템 구축은 현재 미진한 상황이다. 이러한 이유는 현재 구축된 계측관리 기반 유지관리 시스템이 각 유관기관의 전용망(내부망)이나 정부 전용망에 구축되어 공용망(상용망)을 사용하는 일반인의 접근이 원천적으로 불가능하기 때문이다. 따라서 공용망에 구축된 낙석방지울타리 유지관리 스템을 전용망(내부망)으로 연계시키기 위해서는 많은 비용과 시간이 필요하므로 추가 연구 또는 용역이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 현재 공용망(상용망)에 구축된 시설물 관리 시스템에 개발된 낙석방지울타리 유지관리 시스템을 연동시키는 것에도 추가적인 연구 및 용역이 필요하다. 특히 계측기반 시설물 유지관리는 시설물의 종류와 위험도, 상태, 구축된 계측기기의 종류 등에 따라 계측관리 기준치를 재설정하여야 하기 때문에 표준화시키기가 매우 어려운 것이 현실이다. 특히 시설물 유지관리 및 계측정보공개는 정부의 대국민 서비스의 일환으로 그 정확성과 책임소재의 문제점이 발생할 수 있기 때문에 사전에 충분한 논의의 검토가 필요할 것으로 판단된다.

2. 사업화 계획

2.1 생산 계획

구분		(2021년) 개발 종료 후 1년	(2022년) 개발 종료 후 2년	(2023년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	0.9 %	2.7 %	5.5 %
	판매량(단위:개소)	3 개소[1)]	9 개소	18 개소
	판매단가(원)	180,000,000[2)]	190,000,000	200,000,000
	국내매출액(백만원)	540	1,710	3,600
해외[3)]	시장점유율(%)	-	0.0 %	0.0 %
	판매량(단위:set)	-	1	5
	판매단가($)	-	100,000	100,000
	해외매출액(백만$)	-	0.1	0.5

주 1) 해당 개소수는 현행 비탈면 설계기준으로 추정한 것으로 관련 설계기준 및 지침의 개정으로 낙석방지울타리가 등급화 될 경우 판매량은 더욱 늘어날 것으로 기대됨.

2) 방호성능 500kJ 사양 낙석방지울타리 기준(연장 100m, 높이 3m 기준)

3) 자재판매만을 취급하여 1set로 계상, 방호성능 500kJ 사양 낙석방지울타리 기준(연장 100m, 높이 3m 기준)

2.2 투자 계획

(단위: 백만원)

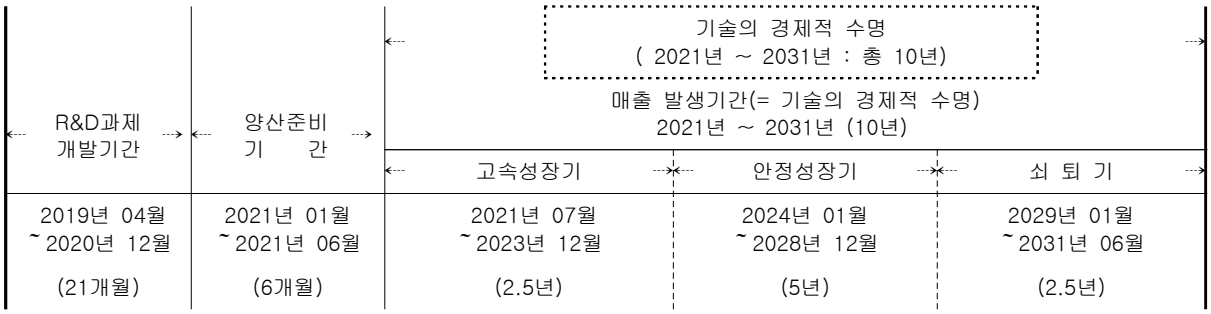
(단위 : 백만원)

항목		(2021년) 개발 종료 후 1년	(2022년) 개발 종료 후 2년	(2023년) 개발 종료 후 3년
매출원가[1)]		270	855	1.800
판매관리비[2)]		108	342	720
자본적 지출	토지	-	5	-
	건물/구축물	-	-	3
	기계장치등	-	-	3
자본적지출 합계		378	1,697	3,120

주 1) 매출원가 : 재료비, 노무비, 제조경비 등 매출원가 총액

2) 판매관리비인건비, 감가상각비, 기타경비 등 판매관리비 총액

2.3 사업화 전략



(1) (주)대한지오이엔씨

구분	구체적인 내용
형태/규모	○ 상용화 형태 - 고성능 낙석방지 울타리 - 낙석방지 울타리 유지관리 시스템 - 응용 상품으로 토석류 대책시설, 낙석방지망, 어뢰포획망에 활용 ○ 수요처 - 국토교통부, 행정안전부, 지방자치단체, 도로공사, 철도공사 등 ○ 예상 단가 - 해외 기술 대비 60~70% 수준. ○ 개발 투입 인력 및 기간 - 설계 및 시공 엔지니어 : 3명, 6 개월
상용화 능력 및 자원 보유	○ 현 유사 네일식생옹벽공법 보유.(시공 실적 다수) ○ 관련특허 다수 보유. - 사면 설치용 배수관 및 이를 이용한 사면 안정화공법(10-0655605) - 네일보강 합벽식 옹벽 및 그 구축방법(10-0698758) - 네일 장착용 스페이서 및 이를 이용한 네일 삽입 지반보강공법(10-0785258) - 식생매트를 이용한 녹화옹벽 및 그 시공방법(10-0838276) - 지반밀착형 압력식 쏘일 네일 구조 및 이에 의한 지반보강공법(10-0908085) - 보강 일체형 숏크리트 옹벽의 구축방법(10-0995815) - 저탄소 친환경 복합식 옹벽(10-1244804) - 핫크레이를 이용한 비탈면 녹화공법 및 녹화구조체(10-1267231) - 보강합벽을 이용한 에코네일 합벽옹벽(10-1244804) - 식생기반재를 사용한 친환경 옹벽(10-1244810)
상용화 계획 및 일정	○ 500kJ급 고강도 낙석방지울타리 국산화(~2019. 12.31) ○ 500kJ급 포켓식 낙석방지울타리 성능평가 및 실험 결과를 반영한 5000kJ급 낙석방지울타리 국산화(~2020.12.31)

(2) ㈜지오코리아이엔지

구분	구체적인 내용
형태/규모	○ 상용화 형태 - 낙석방지울타리 유지관리 시스템 - 낙석 모니터링 경보 시스템 ○ 수요처 - 국토 교통부, 행정안전부, 지방자치단체, 도로교통공사, 철도 공사 등.... ○ 개발 인력 및 개발 기간 - 개발 및 연구 인력 4인 / 8개월
상용화 능력 및 자원 보유	○ 현 각종 토목 계측 센서 제작 / 판매 및 시공 ○ 인증 관련 - Q 마크 획득 : 018(01)-2016-003, 018(02)-2016-003, 018(03)-2016-003, 018(04)-2016-003, 018(04)-2016-004, 018(05)-2016-004 - ISO 9001 (16-Q-1985-00) - KC 인증 : 계측용 송신 장치 (R-R-GoK-M9000) ○ 관련 특허 보유 - 구조물 변형 감지 시스템(10-1837741)
상용화 계획 및 일정	○ 낙석방지울타리 유지관리 및 경보 시스템 (~2020.12.31.)

3. 사업화 모형

3.1 사업화 모형 수립(BM) 배경

연구성과물의 상용화 및 적용 확대를 위하여 시장현황, 기술개발 현황을 조사 분석하고 연구개발기술에 대한 객관적인 분석을 통해 보다 효과적이고 효율적인 사업화를 추진하는데 있다.

3.2 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(1) 사업화 목표

걱정 없는 안심사회 구축을 위해 생활안전/재난재해에 관련한 고성능 낙석방지울타리 국산화 기술 및 유지관리 시스템 기술로서 사업화를 통해 국내 고성능 낙석방지울타리 시장을 잠식하고 있는 해외 기술 대비 가격경쟁력을 확보하여 국내 기술을 적용하고 국내 기술 진입을 유도함으로서 고성능 낙석방지울타리 관련 시장을 활성화하고 매출을 확대시키는데 목적이 있다.

단기목표	중기목표	장기목표
국내사업 안정화	사업확대 및 글로벌 진출기반 조성	글로벌 사업 선도 및 응용범위 확대
• 지자체 낙석위험지구를 대상으로 한 공법적용/매출확대 • 고성능 낙석방지울타리에 대한 차별적인 기술력으로 관련 시장 적극적 공략 • KOTRA 수출지원 사업 참가로 해외 판로 개척	• 고성능 낙석방지울타리 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	• 고성능 낙석방지울타리 및 유지관리 분야 글로벌 TOP 브랜드로 성장 • 유지관리 시스템을 활용 타 분야로 사업영역 확대(가설앵커, 사면앵커, 타이케이블 기타 등등)

3.3 목표 시장 구조

1) 시장 현황 및 성장성

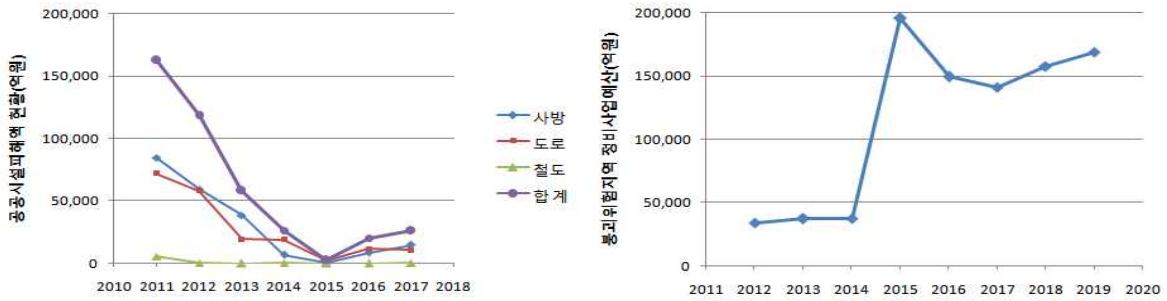
(1) 국내 관련 시장 현황 및 성장성

① 국내 시장 규모

국내 재난안전 시장은 형성 단계에 있으며, 정부부처의 예산이 지속적으로 증가하고 있는 분야이다. 특히 '15년 국가재난안전통신망 시범사업으로 329여억원이 사용되었으며, 경주지진 등을 계기로 재난안전 관련 수요가 폭증하고 있다. 특히 최근5년간(2013~2017년) 자연재난으로 인한 공공시설

피해액은 연평균 26,793억원에 달하고 있으며, 복구예산을 제외한 붕괴위험지역 정비사업 예산 162,654백만원이 투입되고 있다.

한편, 국내 연간 도로정비 기본계획에 따르면 2011~2020년까지 총 69조 9,462억원의 예산으로 연장 6,038km의 도로가 신설될 예정이며, 이에 따른 낙석방지울타리 신설도 늘어날 것으로 기대된다.



(a) 연도별 국내 자연재해 피해액 현황 (b) 연도별 붕괴위험지역 정비사업 예산 현황

그림 5.6 연도별 국내 자연재해 피해액 현황 및 붕괴위험지역 정비사업 예산 현황

표 5.1 공공시설 피해액 현황

구분	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
사방(억원)	14,912	8,688	248	6,912	38,794	59,661	84,933
도로(억원)	10,875	11,637	2,396	19,056	19,447	58,204	72,375
철도(억원)	471	-	-	494	33	493	5,584
합 계	26,258	20,325	2,644	26,462	58,274	118,358	162,892

* 출처 : 2011~17 재해연보, 행정안전부

표 5.2 행정안전부 최근 8년간 급경사지 붕괴위험지역 정비사업 예산 (단위:백만원)

총계	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
922,570	169,300	158,000	141,048	149,422	195,500	37,900	37,400	34,000

* 출처 : 2011~17 재해연보, 행정안전부
보도자료 '18년 재해예방사업 조기발주 및 전문성 강화' (행정안전부, 2018.01.25) 참조
보도자료 '위험천만한 급경사지, 소교량 등 사고예방을 위해 사전점검 실시' (행정안전부, 2019.02.11) 참조

표 5.3 2011-2020 도로정비기본계획 예산

구분		연장	예산
고속국도	신설	1,634 km	22조 1,477 억원
	확장	615 km	3조 7,823 억원
일반국도	확장	2,488 km	19조 9,818 억원
	국도대체우회도로	532 km	5조 5,482 억원
국가지원지방도		769	4조 2,461 억원
도로관리		1식	9조 4,076 억원
민자도로 건설 및 관리		1식	5조 3,807 억원
합계			69조 9,462 억원

* 출처 : 2011~2020 도로정비기본계획, 국토해양부

② 국내 시장 성장성

우리나라의 재난 및 안전관련 대응수준은 OECD 34개국 가운데 22위로 평가되고 있으며, 국민소득 3만불 시대에 접어들면서 본격적인 재난안전 투자 확대시기에 접어들고 있음. 특히 경주 및 포항지진, 태풍치바 등의 재난 및 안전사고의 증가로 다양한 대응기술 개발 수요가 지속적으로 증가하고 있어 정부에서는 재난안전 산업화를 적극 지원하고 있다(2018-2020 중소기업 기술로드맵 전략보고서, 중소벤처기업부, 2017). 특히 재난안전에 대한 국민 관심의 집중으로 투자가 강화되고 있으며, 범부처 재난안전 연구예산은 '15년 5,542억원, '16년 6,031억원, '17년 7,816억원으로 지속적으로 증가하고 있음. 행정안전부의 경우 '17년 302억원에서 '18년에는 437억원으로 45%의 연구예상 증가가 이루어졌다.

행정안전부 급경사지 붕괴위험지역 정비사업 예산 현황을 바탕으로 한 낙석방지울타리 관련 시장은 2019년 현재 붕괴위험지역 정비사업 예산의 약14%인(한기장, 2016) 237억원일 것으로 판단된다. 도로정비기본계획 예산 현황을 바탕으로 낙석방지울타리 및 그물망을 포함한 방재 공사비용은 약 1%로 예상되며, 연간 6,994억원 규모를 보이는데 이중 낙석방지책 관련 시장은 연간 1,500억 정도로 추산된다.

한편, 해외선진국과 같이 낙석방지울타리 성능등급 기준을 마련할 경우 고성능 낙석방지울타리는 현재 낙석방지울타리 관련 시장의 50% 이상 차지할 것으로 예상되며, 이를 토대로 한 고성능 낙석방지울타리 관련시장은 연간 약 20,690백만에 이를 것으로 전망된다. 특히 성능 등급에 따른 가격상승과 고성능 낙석방지울타리 설치예상지역에 대한 조사·분석·설계·시공 등 산업군시장은 약 5배인 103,451백만원에 이를 것으로 전망된다.

표 5.4 향후 10년간(2020~2029) 낙석방지울타리 관련 시장 예측

구 분	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
붕괴위험지역 정비	25,148	26,682	28,309	30,036	31,869	33,813	35,875	38,063	40,385	42,849
도로건설공사	150,000	151,500	153,015	154,545	156,091	157,652	159,228	160,820	162,429	164,053
합 계	175,148	178,182	181,324	184,581	187,959	191,464	195,103	198,884	202,814	206,902

* 참조 : 2011~2020 도로정비기본계획, 국토해양부
2011~17 재해연보, 행정안전부
보도자료 '18년 재해예방사업 조기발주 및 전문성 강화' (행정안전부, 2018.01.25) 참조
보도자료 '위험천만한 급경사지, 소교량 등 사고예방을 위해 사전점검 실시' (행정안전부, 2019.02.11) 참조
연평균 성장률 6.1%로 가정(2018-2020 중소기업 기술로드맵 전략보고서, 중소벤처기업부, 2017 참조)

(2) 국외 관련 시장 현황

① 세계 안전산업 시장 규모 및 전망

2011년 세계에서 발생한 자연재난으로 인해 발생한 피해액은 3,500억 달러(약 410조원)에 달하는 것으로 집계되었으며, 영국의 경제학자인 니콜라스 스텐은 기상이변에 의한 경제적인 피해가 2100년까지 세계총생산(GDP)의 5~20%에 달할 것으로 예상하고 있다. 또한 EM-DAT에 따르면

1970~2011년 사이에 아태지역에서 발생한 재해건수는 전세계의 45%이며, 전세계 재해사망자 수의 25.4%로 나타나 자연재해 대비 및 대응이 매우 취약하다고 분석하고 있다(차세대 토사재해 선제대응 및 안전기술 개발 기획 최종보고서, 국토교통부, 2014).

따라서 전세계적으로 안전산업의 규모는 안전 장비와 안전서비스의 규모를 합한 총액으로 2016년 3,598억달러에서 2021년 4,999억 달러로 예상되며 꾸준한 성장세를 보이고 있으며, 특히 세계 재난안전시장은 '11년현재 333조원(US 3,327억$), '22년 547조원(US 5,465억$) 규모로 성장할 것으로 전망(연평균 5.4%)되고 있다. 이중 자연재난시장은 7.6%의 성장률로 예상되고 있다(2018-2020 중소기업 기술로드맵 전략보고서, 중소벤처기업부, 2017).

표 5.5 세계 안전산업 시장 규모 및 전망

분류	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR
세계시장 (백만달러)	359,800	384,300	410,400	438,300	468,100	499,931	6.8%

* 출처 : 2018-2020 중소기업 기술로드맵 전략보고서, 중소벤처기업부, 2017
안전산업의 주요국 육성사례와 우리의 발전방안(산업연구원, 2014년)의 안전 장비/서비 규모로 추정.

표 5.6 세계 안전산업 시장규모 추이 (단위:억 달러,%)

구분	안전 장비				안전 서비스			
	2011	2016	2021	연평균증감율 (2011~2021)	2011	2016	2021	연평균증감율 (2011~2021)
세계	829	1,163	1,570	6.6	1,708	2,435	3,370	7.0
미국	132	181	237	6.0	497	656	810	5.0
서유럽	274	418	607	8.3	393	473	563	3.7
중국	139	228	351	9.7	49	99	180	13.9
일본	54	68	83	4.4	97	123	148	4.3
한국	15	21	27	6.1	35	54	79	8.5

* 출처 : 2018-2020 중소기업 기술로드맵 전략보고서, 중소벤처기업부, 2017
안전산업의 주요국 육성사례와 우리의 발전방안(산업연구원, 2014년)

2) 시장 진입 장벽

(1) 국내외 시장 진입가능성

① 국내 시장 진입가능성

국내에서는 관련 기준으로 건설공사 비탈면 설계기준 및 표준시방서(국토교통부, 2016), 도로안전시설 설치 및 관리지(국토교통부, 2009)에서 방호성능 48~61kJ에 상응하는 낙석방지울타리와 1,500형 및 1,000형 낙석방지망에 대한 설계 방법을 명기하고 있다. 그러나 위와 같은 기준은 미국 200kJ, 일본 100kJ 이상의 방호성능을 요구하는 낙석방지울타리에 비하여 기준치가 낮은 상황이다.

현재 국내 고성능 낙석방지울타리 관련 시장은 200kJ 이하의 저사양 국산시장과 200kJ 이상의 고성능의 외산시장으로 이원화 되어 있으며, 국내에 200kJ급 방호성능의 낙석방지울타리의 경우 실물

성능시험을 통해 인증된 공법은 1개 업체에 불과한 실정이다. 따라서 연구에서 선진국 수준의 사양으로 실물 성능시험을 통해 개발된 공법의 시장 진입가능성은 매우 높으며, 방재신기술/건설신기술/도로공사 기술마켓 등 신기술 인증을 통해 보다 적극적인 마케팅과 시장진입을 시도하고자 한다.

② 연구개발 기술의 가격경쟁력 비교

a. 고성능 낙서방지울타리 가격경쟁력

고성능 낙석방지울타리 현장 적용에 의한 비용절감 효과를 분석하기 위하여 외부 전문 원가분석 기관에 의뢰하여 원가 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 비교기술은 건설신기술 자료를 참조하였다.

유지관리공을 제외한 순수 고성능 낙석방지울타리에 대한 원가 분석 결과 설치면적당(m^2) 설계가는 유사 성능의 해외 기술대비 48.6%, 국내 건설신기술 지정 기술 대비 102.8%인 것으로 분석되었다. 특히 국내 건설신기술 지정 기술과 설치면적당(m^2) 설계가는 유사한 수준으로 확인되며, 국내 건설신기술 지정 기술의 방호성능이 200kJ급 인 것을 감안하면, 가격대비 성능이 보다 우수한 것으로 확인된다.

표 5.7 고성능 낙석방지울타리 가격경쟁력 비교[1)]

구분		재료비	노무비	경비	합계	비교
개발기술 45m²	지반보강	8,115,668	2,981,695	1,016,848	12,114,211	
	지주설치	6,000,000	849,526	25,486	6,875,012	
	로프 및 충격흡수장치 설치	11,940,000	10,403,262	363,312	22,706,574	
	포획망 설치	15,435,900	2,985,079	193,658	18,614,637	
	합계				**60,310,434**	**1,340,232원/m² 100%**
완충형 낙석방지책 26m²	지반보강	1,287,984	2,265,407	287,840	3,841,231	
	지주설치	971,664	3,091,616	2,501	4,065,781	
	로프 및 충격흡수장치 설치	3,656,000	8,720,871	-	12,376,871	
	포획망 설치	8,896,067	4,711,212	-	13,607,279	
	합계				**33,891,162**	**1,303,506원/m² 97.3%**
링네트 75m²	지반보강	8,115,668	2,981,695	1,016,848	12,114,211	
	지주설치	6,000,000	849,526	25,486	6,875,012	
	로프 및 충격흡수장치 설치	31,901,815	68,056,093		99,957,908	
	포획망 설치	56,069,755	30,507,450	1,128,039	87,705,244	
	합계				**254,079,518**	**2,755,365/m² 205.6%**

※ 주1) 외부 전문 원가분석 기관의 원가 분석 용역 수행(첨부자료 #07 참조)

b. 낙석방지울타리 모니터링 시스템 가격경쟁력

개발기술의 경우 낙석방지울타리의 유지관리에 적합한 경사계 및 신축계를 개발하고 검교정을 수행하였으며, 유지관리 통신 키트에 직접 연결되므로 별도의 추가 설비나 장치가 필요 없다. 특히, 개발기술의 통신시스템은 저전력 장거리 통신기술 중 LoRa 기술을 활용하며, 통신 및 전력 공급장치 관련 기기를 최소화 할 수 있다. 특히, 계측빈도 4회/일로 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 상용망을 활용하여 중계기로 클라우드로 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 GNSS 기반 계측관리시스템의 52.9%, RF+LTE 통신 기반 계측관리시스템의 60.9% 수준이며, 수동계측 대비 59.2% 수준으로 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 5.8 고성능 낙석방지울타리 유지관리시스템 가격경쟁력 비교[1)]

구분		재료비	노무비	경비	합계	비교
개발기술	계측기기 설치	4,400,000	1,625,188	1,787,708	7,812,896	
	시스템 구축	7,400,000			7,400,000	
	현장정기점검		1,625,188	1,787,708	3,412,896	
	유지관리시스템 운용		4,875,564	5,387,124	10,262,688	
	합계				**28,888,480**	**6,959,610원/m² 100%**
GNSS	계측기기 설치	35,802,816	5,611,264		41,414,080	
	시스템 구축	2,433,280	3,212,537		5,645,817	
	현장정기점검		1,820,532	800,000	2,620,532	
	유지관리시스템 운용		23,261,400		23,261,400	
	합계				**72,941,829**	**11,651,959원/m² 252.5%**
RF +LTE	계측기기 설치	4,400,000	2,502,992	2,753,292	9,656,284	
	시스템 구축	24,095,281			24,095,281	
	현장정기점검		1,625,188	1,787,708	3,412,896	
	유지관리시스템 운용		4,875,564	5,387,124	10,262,688	
	합계				**47,427,149**	**11,651,959원/m² 164.2%**
수동계측	계측기기 설치	4,400,000	1,625,188	1,787,708	7,812,896	
	현장정기점검		14,626,692	16,089,372	30,716,064	
	유지관리시스템 운용		4,875,564	5,387,124	10,262,688	
	합계				**48,791,648**	**14,223,133원/m² 168.9%**

※ 주1) 외부 전문 원가분석 기관의 원가 분석 용역 수행(첨부자료 #07 참조)
※ 주2) 1년(12개월) 유지관리 기준

③ 국외 시장 진입가능성

한편, 국내에는 고성능 낙석방지울타리의 자재를 제작할 수 있는 철강업체 및 가공업체 등 관련 인프라가 확보되어 있는 상황임. 따라서 실물 성능 검증을 통한 공법 개발이 완료되어 사업화가 진행되면, 설계-철강재 생산-가공-시공에 이르는 고성능 낙석방지울타리에 관한 새로운 산업군이 형성될 수 있기 때문에 신규 고용인력 확보, 생산유발 효과가 매우 클 것으로 예상된다. 특히 가격경쟁력이 우수한 국내 철강재를 활용하여 개발된 국산 고성능 낙석방지울타리는 해외기술 대비 가격경쟁력을 확보 할 수 있을 것으로 기대되며, 이를 통한 해외시장 진출이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 보다 효율적이고 효과적인 제품 홍보를 위해서 해외진출마케팅을 수행할 계획이며, 국제학술대회, SCI급 논문 발표 등의 학술적 홍보와 국제기술박람회 참여 등을 통해 적극적인 마케팅과 홍보를 수행할 계획임. 또한 KOICA와 중소기업 수출지원센터의 수출지원사업 등의 프로그램을 적극적으로 활용하여 해외시장에 진출 할 계획이다.

3.4 수익 확보 전략

1) 주요 고객군

낙석방지울타리가 설치되는 고속도로, 국도 및 지방도, 철도 공사와 관련된 한국도로공사, 한국철도공단, 한국철도관리공단, 국도관리청, 지자체 등이 주요 고객군이 될 것으로 판단된다.

(1) 판로개척

① 수요처 확장을 위한 시장진입 및 성장 전략

a. 시장도전자의 시장진입 및 경쟁 전략

신상품 전략

- 차별화된 신상품 개발
  - ➡ 기존의 고정관념을 탈피한 개념의 신상품
  - ➡ 선도기업제품의 약점을 해결해 주는 신상품
- 도전기업은 흔히 시장 1위 제품의 약점을 이슈화하며 신상품을 출시
  - ➡ 기존제품들의 소비자 불만점 해소를 컨셉트화한 신상품
- 2세대 제품을 선도기업보다 먼저 출시

마케팅 전략

- 가격할인 전략
- 저가제품 전략
- 긍지제품 전략
- 제품확대 전략
- 제품혁신 전략
- 서비스 향상 전략
- 유통경로 혁신 전략
- 제조원가 절감 전략
- 집중적인 광고 전략

b. 시장추종기업의 시장진입 및 경쟁 전략

신상품 전략

- 시장 선도 제품 모방 출시
  - ➡ 개발비용 절감 및 저가격 진입가능
- 디자인, 포장, 가격 등 부분적 차별화, 상품화

마케팅 전략

- 성숙기업계에서 점유율 변동 상대적으로 적음
- 자본집약적이고 제품 차별화 어려운 이들 업계에서는 업계 질서유지를 명분으로 선도자를 따라 가격이나 제품 규격 등을 결정하는 추종자전략 多
- 선도기업의 제품, 유통, 판촉 등 모방
  - ➡ 투자 위험부담 감소
- 안정적·부수적 시장지위 확보

c. 시장 니치기업의 시장진입 및 경쟁 전략

신상품 전략

- 틈새 시장 공략
- 특수 상품 개발

마케팅 전략

- 특수 니치 시장 확보
  - ➡ 대기업과의 경쟁 회피
- 소규모 니치 시장에 한정된 경영 자원을 집중 투입, 그곳에서 전문성, 브랜드파워 유지하여 선도기업화, 수익성 확보, 타사의 진입을 방어

② 시장 개척 및 경쟁력 확보 전략

a. 차별화 전략

○ 기존 및 경쟁 기술에 비해 개발 기술이 독특하게 인식되도록 독창적으로 우원한 편익을 제공하는 전략 마련

기존 설치된 낙석방지울타리에 대한 보강시스템을 적용하여 성능을 향상시킬 수 있는 기술로서의 시장진입 및 성장 전략 마련.

b. 원가 우위 전략

○ 기술의 적용 원가를 낮추어 기존 및 경쟁 기술과의 가격 경쟁력을 확보함으로서 시장 경쟁을 약화시키는 전략 마련

- *고성능 낙석방지울타리 신규 설치의 경우 기존 설치된 낙석방지울타리 철거, 건설폐기물 처리 등의 비용과 시공기간 확보를 위한 도로 통행제한 등 간접비용이 발생하며, 기발기술은 이를 절감할 수 있는 기술로서의 시장진입 및 성장 전략 마련.*

- *기존 설치된 낙석방지울타리를 최대한 활용하고 보강시스템을 적용하여 방호성능을 향상시킬 수 있기 때문에 고성능 낙석방지울타리 신규 설치 비용을 절감할 수 있는 기술로서의 시장진입 및 성장 전략 마련.*

c. 집중화 전략

○ 시장 세분화에 의한 특정시장을 집중적으로 공략하는 전략을 확보하고 원가 우위전략이나 차별화 전략을 병행

○ 니치시장을 집중적으로 공략하는 집중화 전략을 병행

- *기존 설치된 낙석방지울타리를 최대한 활용하고 보강시스템을 적용하여 방호성능을 향상시킬 수 있는 국내 유일의 기술로서의 시장진입 및 성장 전략 마련.*

- *고성능 낙석방지울타리 신규 설치비용을 절감할 수 있는 기술로서의 시장진입 및 성장 전략 마련.*

2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

(1) SWOT 분석

a. SWOT 분석

○ Strength (강점)

- 순수 국내 기술로 개발된 고성능 낙석방지울타리
  - ·· 관련 전문기관 및 전문인력의 연구개발을 통해 개발된 순수 국내 기술의 고성능 낙석방지울타리
  - ·· 정부지원 과제를 통해 개발된 고성능 낙석방지울타리 관련 신기술
- 국내 최대 실물 성능시험을 통한 국내 최고 사양의 고성능 낙석방지울타리 기술 개발
  - ·· 방호 성능 500kJ급 국내 최대 실물 성능시험을 통해 개발된 고성능 낙석방지울타리
  - ·· 시뮬레이션 분석을 통한 국내 최대 3,000kJ급 낙석방지울타리 개발

○ Weakness (약점)

- 고성능 낙석방지울타리 관련 사업 실적 부족
  - ·· 주관연구기관 및 공동연구기관은 고성능 낙석방지울타리에 대한 연구를 수행하기 위한 인력 및 경험을 확보하고 있으나 고성능 낙석방지울타리의 경우 신규 시장에 해당되므로 관련 사업 실적이 매우 미흡한 상황임.
  - ·· 특히 현장에서 발생하는 다양한 현장 조건, 실제 낙석 발생시 거동 분석 feed back 등을 통한 제품 개선 및 연구, 실험 등이 부족함.
- 고성능 낙석방지울타리 관련 사업 국내 초창기
  - ·· 국내에서는 48~61kJ급 이상의 낙석을 방호할 수 있는 낙석방지울타리에 대한 설계기준 및 기술에 대한 연구가 부족한 실정이며, 국내에서 개발된 최대 성능의 낙석방지울타리는 방호성능 200kJ급임.
  - ·· 또한 고성능 낙석방지울타리 관련 자재를 생산하고 시공할 수 있는 국내업체가 없기 때문에 고성능 낙석방지울타리의 설계, 자재생산, 시공에 이르는 산업시스템이 구축되어 있지 않음.

○ Opportunity (기회)

- 고성능 낙석방지울타리 관련 국내 기술 부족
  - ·· 국내에서는 48~61kJ급 이상의 낙석을 방호할 수 있는 낙석방지울타리에 대한 설계기준 및 기술에 대한 연구가 부족한 실정이며, 국내에서 개발된 최대성능의 낙석방지울타리의 방호성능은 200kJ급임. 이로 인하여 표준 사양이상의 낙석방지울타리는 고성능의 외산시장과 200kJ 미만의 저사양의 국산시장으로 이원화되어 있는 상황임. 따라서 선진국 대비 비교적 낮은 사양부터 국산화 기술을 확보하고 사업을 확장 할 수 있는 여건을 마련하기 용이함.
- 고성능 낙석방지울타리 관련 국내 인프라 확보
  - ·· 국내에는 고품질의 철강재를 생산할 수 있는 철강업체 및 가공업체 등 관련 인프라가 확보되어 있는 상황임. 따라서 고성능 낙석방지울타리의 설계-철강재 생산-가공-시공에 이르는 고성능 낙석방지울타리에 관한 새로운 산업군이 형성될 수 있기 때문에 신규 고용인력 확보, 생산유발 효과가 매우 클 것으로 예상됨. 특히 가격경쟁력이 우수한 국내 철강재를 활용하여 개발된 국산 고성능 낙석방지울타리는 해외기술 대비 가격경쟁력을 확보 할 수 있을 것으로 기대되며, 이를 통한 해외시장 진출이 가능할 것으로 판단됨.
- 국내 관련 품질기준 및 시험기준 마련 예정
  - ·· 국토교통부 2019년 건술기술연구사업 시행 공고(2019.01.31)에 따르면, 비탈면 대상 조사·점검 개선 및 보강 시설 노후화 대응 기술 개발 연구과제를 2019.04~2021.12 33개월간 수행될 예정이며, 이를 통해 비탈면 보호시설(낙석방지망, 낙석방지울타리, 측구 등) 설치 조건을 고려한 성능등급 및 성능평가 방법이 제시 될 예정임.

○ Threat (위협)

- 국내 잠입된 해외 기술의 저가 경쟁 시작
  - ·· 현재 낙석방지울타리 설치공사는 낙석방지울타리 설치예정지에 대한 조사나 설계 없이 표준도에 준하는 낙석방지울타리를 설치하고 있음. 따라서 국내에는 낙석방지울타리 설치를 위한

조사 • 설계 • 안정성 검토를 수행한 경험이 있는 전문인력과 업체가 부족함. 따라서 관련 기준이 계정되더라도 고성능 낙석방지책의 설계 및 시공을 수행한바 있는 외산업체가 관련 시장을 장악할 것으로 예측되며, 고성능 낙석방지울타리 관련 시장의 확대에 따른 일반 낙석방지울타리 관련 시장 축소에 따라 영세한 국내업체는 사장될 가능성이 매우 높음.

… 반면 국내기술이 속속 개발될 경우 이미 국내에 확산된 해외 기술이 저가 경쟁을 시작할 경우 고성능 낙석방지울타리 관련 연구개발비를 투자한 중소업체의 큰 피해가 예상됨.

• 기존 낙석방지울타리 업체의 연구개발 경쟁

‥ 국내외 관련 연구 및 시험 결과 방호성능 200~300kJ의 낙석방지울타리의 경우 일반 낙석방지울타리 관련 원천기술을 보유한 업체의 경우 기존 기술을 보완하거나 해외기술 모방 등을 통하여 비교적 손쉽게 개발할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 뛰어넘는 원천 기술의 확보가 매우 중요할 것으로 판단됨.

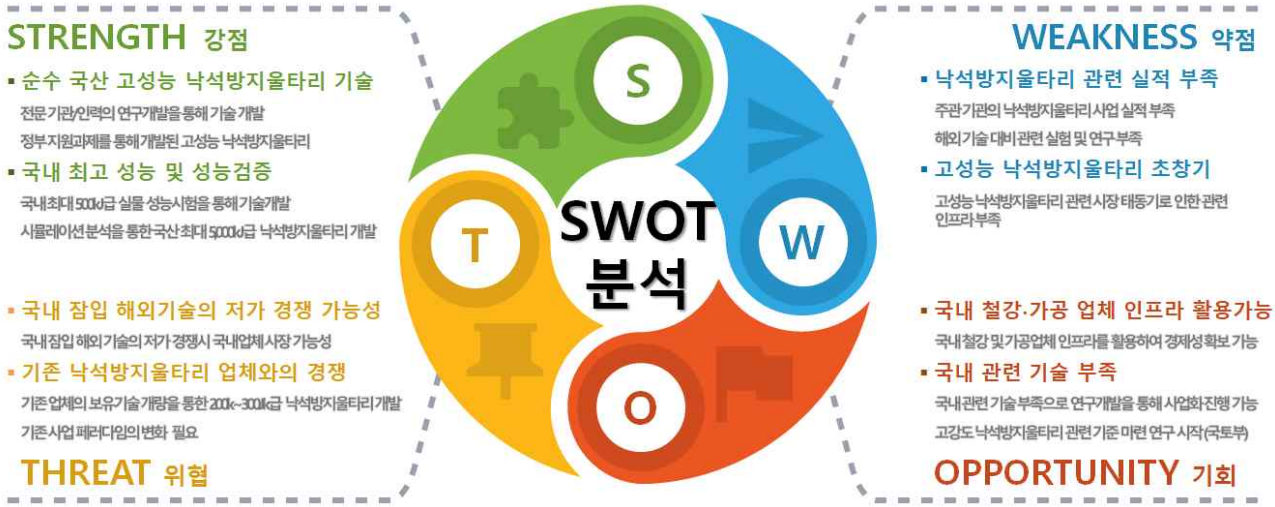


그림 5.7 SWOT 분석 결과

b. SWOT 전략

○ SO 전략 (Strength-Opportunity)

• 국가연구과제 지원으로 (주)대한지오이엔씨와 상지대 산학협력단 등 관련 기술 R&D 전문인력/전문기관으로 구성된 연구 컨소시엄을 구성하여 국내 최고사양의 낙석방지울타리를 개발하고 국내 최대 실물 성능검증을 수행 함.

• 고성능 낙석방지울타리 관련 국내 기준이 마련될 예정이지만 관련 기준 정립전 제품 개발을 완료하고 사업화함으로서 기술력을 조기 확보하고 국내 관련 기술을 선도

• 국내 철강 및 가공업체 인프라를 활용하여 해외 기술 대비 경제성 확보

○ WO 전략 (Weakness-Opportunity)

• 고성능 낙석방지울타리관련 시장은 국내 신규 시장에 해당되므로 관련 사업 실적이 매우 미흡한

상황이지만, 국내 철강 및 가공업체 인프라를 활용하여 가격경쟁력이 높은 기술을 개발하고, 적극적인 마케팅, 사업화 추진

- 국토부에서 고강도 낙석방지울타리 관련 기준 마련 연구를 시작 중에 있으며, 국내 고성능 낙석방지울타리 관련 인프라가 마련되어 있지 않으므로 적극적인 사업화를 추진하여 관련 업계를 선도하고자 함.

○ ST 전략 (Strength-Threat)

- 200~300kJ의 낙석방지울타리의 경우 일반 낙석방지울타리 관련 원천기술을 보유한 업체는 기존 기술의 보완, 해외기술 모방 등을 통해 비교적 손쉽게 개발 가능할 것으로 판단되기 때문에 이를 뛰어넘국내 최대 500kJ 실물 성능검증과 국산 최대 3,000kJ급 낙석방지울타리 기술을 개발하고자 함.
- 국내 잠입 해외기술의 저가 경쟁 시도전 고성능 낙석방지울타리 관련 원천 기술을 확보하고 사업화 수행하여 국내 시장 및 관련 산업을 보호하고자 함.

○ SW 전략 (Strength-Weakness)

- 고성능 낙석방지울타리의 경우 신규 시장에 해당되므로 관련 사업 실적이 매우 미흡한 상황이만, 기술개발 결과를 바탕으로 방재신기술/건설신기술/도로공사 기술마켓 등 신기술 인증을 확보함으로서 보다 적극적인 마케팅과 시장진입을 시도하고자 함.
- 고성능 낙석방지울타리 관련 시장 태동기를 고려하여 기존 상용화 기술, 보유 기술의 적극 활용을 통해 경제성과 성능을 확보

(2) 3C 분석

연구과제를 통해 개발된 고성능 낙석방지울타리의 사업화 전략 마련을 위한 기초 분석으로 Customer(고객), Competitor(경장사), Company(자사)에 대한 3C분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

○ Customers 고객 분석 ▶ 고성능 낙석방지울타리 관련 국내기술 개발 필요

- 건설관련 예산 감소에도 노후시설물의 증가에 따른 국민적 관심증가로 인하여 재해대책시설과 시설물 유지관리에 대한 예산은 증가 되고 있음.
- 특히 위험비탈면 대책공법 중 낙석방지울타리가 15% 정도를 차지하고 있으나 국내 관련 기준과 기술의 부족으로 인하여 방호성능 부족으로 인한 낙석피해가 지속적으로 발생하고 있음.
- 그러나 국내에는 방호성능 200kJ급 이상의 제품이 개발되어 있지 않아 고성능 외산 기술이 적용되고 있음.

○ Competitors 경쟁사 분석 ▶ 가격경쟁력과 서비스 품질이 확보된 고성능 낙석방지울타리 국산기술 필요

- 현재 국내에서 개발된 낙석방지울타리의 경우 최대 방호성능 200kJ급으로 선진국 대비 4% 수준

에 불과하며, 고성능 낙석방지울타리에 대한 설계 및 시공을 수행할 수 있는 전문인력 및 업체가 매우 부족함.

- 따라서 고성능 낙석방지울타리 필요시 외산 기술이 적용되고 있으나 가격이 매우 높기 때문에 예산의 한계로 인한 적용에 애로사항이 발생하고 있음.
- 외산 자재의 수입일정, 시공일정 문제 등 낮은 서비스 품질로 인하여 외산 기술에 대한 신뢰 문제가 대두되고 있음.

○ Company 자사 분석 ▶ 관련 요소 전문기관 및 전문인력 구성을 통한 제품 개발·개량 지속

- 관련 요소 전문기관의 연구컨소시엄 구성을 통해 고성능 낙석방지울타리 개발연구를 수행하고자 함.
- 관련 연구 및 사업 경험이 있는 연구진을 포함하여 고성능 낙석방지울타리 개발연구를 수행하고자 함.
- 신규 사업화 아이템 개발과 적극적인 사업화를 통해 기업경쟁력을 향상시키고자 함.



그림 5.8 C분석 결과

(3) 사업화 전략

a. 단계별 사업화 전략

○ STEP #1. 2019.05~2020.12 R&D

- 국내 최대 방호성능 500kJ급 실물 성능시험을 통한 제품 개발
- 국산 최대 방호성능 3,000kJ급 낙석방지울타리 개발

○ STEP #2. 2021.01~2023.12 고속성장기

- 국내 시장 진출 및 매출 확대
- 신기술 인증을 통한 시장 적극 공략
- 설계시공 FEED BACK 축적을 통한 제품 개선

○ STEP #3. 2024.01~2033.12 안정성장기
- 고성능 낙석방지울타리 관련 국내시장 TOP3 업체로 도약
- 지속적 제품 개량 연구를 통한 경제성 및 완성도 향상

○ STEP #4. 2034.01~2035.12 쇠퇴기
- 고성능 낙석방지울타리 분야 글로벌 사업 진출
- 토석류 대책시설, 낙석방지망 등 타 분야로의 사업영역 확대
- 지속적 사업성 확보를 위한 신제품 개발

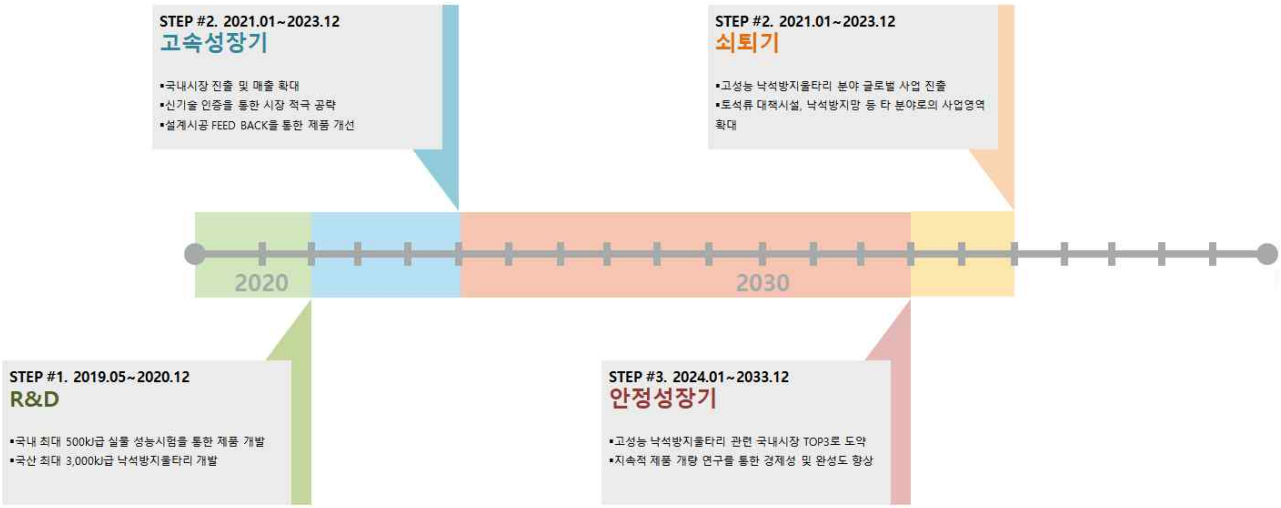


그림 5.9 단계별 사업화 전략

b. 전문업체 OEM 생산을 통한 경제성과 품질 확보

○ 주관기관인 (주)대한지오이엔씨의 보유/사업화 중인 네일식생옹벽의 경우 OEM 생산 방식을 적용하고 있으며, 이를 통해 초기 설비 투자 비용을 절감하고 있음. 이를 통해 경제성을 확보하고 있으며, 전문 업체 생산관리를 통해 품질을 확보하고 있음.

○ 고성능 낙석방지울타리도 OEM 생산 방식을 적극 도입하여 초기 설비 투자 비용 절감에 따른 경제성을 확보하고 전문 업체 생산관리를 통해 품질을 확보할 계획임.

c. 해외시장 진출 계획

○ 순수 국내 기술 및 국산 자재를 활용하여 제작되는 고성능 낙석방지울타리는 국내 철강 및 가공 인프라를 적극 활용하여 개발되며, 이를 통해 해외 기술 대비 가격경쟁력을 확보함으로서 해외 시장에서도 충분히 사업화 가능할 것으로 판단됨.

○ 따라서 보다 효율적이고 효과적인 제품 홍보를 위해서 해외 시장 진출시 해외진출마케팅을 수행하여 적극적인 마케팅과 홍보를 수행할 계획이며, 국제학술대회, SCI급 논문 발표 등의 학술적 홍보와 국제기술박람회 참여 등을 통해 기술력을 제시하고자 함.

d. 사업화에 따른 기대효과

○ 국내외 시장분석 및 사업화 전망(pp.22 참조)을 통한 사업화 계획에 따른 추정손익계산서를 토대로 한 기대효과는 다음과 같이 추정됨.

표 5.9 향후 10년간(2020~2029) 낙석방지울타리 관련 시장 예측 (단위:백만)

구분		2019 기술개발 전 년	2020 기술개발 원 년	2021 기술개발 1년	2022 기술개발 2년	2023 기술개발 3년	2024 기술개발 4년	2025 기술개발 5년	2026 기술개발 6년	2027 기술개발 7년	2028 기술개발 8년	2029 기술개발 9년	2030 기술개발 10년
투자계획	연구비	200	200	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	투자비 [1]	134	134	100	110	121	133	146	161	177	195	214	236
	누적 투자비	334	668	768	878	999	1,132	1,279	1,440	1,617	1,812	2,026	2,262
판매계획	내수 [2] 시장점유율	–	–	891 0.5 %	1,782 1.0 %	3,564 1.9 %	4,811 2.6 %	6,014 3.1 %	7,517 3.9 %	9,396 4.7 %	11,745 5.8 %	14,682 7.1 %	18,352 8.8 %
	직접 수출 [3]	–	–	–	–	–	–	60	79	99	123	154	193
	간접 수출 [4]	–	–	–	–	–	–	120	158	197	247	308	385
	계	–	–	891	1,782	3,564	4,811	6,194	7,754	9,692	12,115	15,144	18,930
원가	매출 원가 [5]	–	–	535	1,048	2,095	2,829	3,536	4,420	5,525	6,906	8,633	10,791
	감가 삼각 [6]	–	–	16	35	69	93	117	146	182	228	285	356
	누적 원가	–	–	551	1,082	2,165	2,922	3,653	4,566	5,707	7,134	8,918	11,147
누적 이익		–	–	-428	-178	400	757	1,263	1,748	2,368	3,170	4,201	5,521
수입 대체 [7]		–	–	1,273	2,545	5,091	6,873	8,591	10,739	13,423	16,779	20,974	26,217
비용 절감 [8]		–	–	382	764	1,527	2,062	2,577	3,222	4,027	5,034	6,292	7,865

* 주 1) 기술개발 1년 후를 기준으로 매년 투자비 10% 증액(제품 개량 개선).
2) 기술개발 1년 후 시장 점유율 0.5%로 시작하여 기술개발 3년 후까지 연간 2배 확장을 목표로 하며, 기술개발 5년 후부터 매년 25% 확장을 목표로 함.
3) 기술개발 5년 후를 해외 시장 개척 원년으로 삼아 매출액의 1%를 직접 수출 목표액으로 매년 5% 확장을 목표로 함.
4) 기술개발 5년 후를 해외 시장 개척 원년으로 삼아 매출액의 2%를 간접 수출 목표액으로 매년 5% 확장을 목표로 함.
5) 사업초기 매출의 60%를 매출 원가를 목표로 하며, 원가절감 및 기술개발을 통해 매년 2% 절감을 목표로 함.
6) 사업초기 매출원가의 3%를 감가삼각비로 삼고, 매년 10% 증가되는 것으로 가정함.
7) 고성능 낙석방지책 국산화 기술은 해외 기술대비 70% 수준을 목표로 삼아 산정함.
8) 고성능 낙석방지책 국산화를 통해 수입대체 효과에 따른 비용절감액으로 산정함.

- 고성능 낙석방지울타리 관련 사업은 토목관련 업종으로서 관련 연구개발비 대비 매출이 크며, 국내 철강 및 가공업체 인프라와 전문업체 OEM 생산을 통한 초기 투자비용 절감을 통해 상용화 2년내에 순익분기점을 돌파하여 이익을 발생 할 수 있을 것으로 분석됨.
- 특히. 고성능 낙석방지울타리에 관한 국내 기술 확보는 외화 유출 방지 및 국가 경쟁력 확보 효과가 있으며, 한정된 예산으로 보다 많은 재해예방공사를 수행할 수 있기 때문에 인적피해 및 물적피해 감소효과가 기대됨.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

○ 일본 신기술정보시스템(https://www.netis.mlit.go.jp)

○ AASHTO (2015). Guidelines for Certification and Management of Flexible Rockfall Protection Systems. American Society of State Highway and Transportation Officials.

○ EOTA (2008). Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection kits, ETAG 27. European Organization for Technical Approvals.

○ 낙석대책편람, 일본도로협회(2017)

○ 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)

○ Castanon-Jano, L., Blanco-Fernandez, E., Castro-Fresno, D.,and Ballester-Muñoz, F. (2017). Energy dissipating devices in falling rock protection barriers. Rock Mech. Rock Eng., Vol. 50, No. 3, pp. 603-619.

○ Castro-Fresno, D., del Coz Díaz, J.J., García Nieto, P.J., and Norambuena Contreras, J. (2009). Comparative analysis of mechanical tensile tests and the explicit simulation of a brake energy dissipater by FEM. International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, Vol. 10, No. 8, pp. 1059-1085.

○ Grassl, H., Bartelt, P., Volkwein, A., and Wartmann, S. (2003). Experimental and numerical modeling of highly flexible rockfall protection barriers. Proceedings of 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 2589-2594.

○ Olmedo, I., Robit, P., Bertrand, D., Galandrin, C., Coulibaly, J., and Chanut, M.-A. (2017). Extended experimental studies on rockfall flexible fences. Proceedings of 6th Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection, Barcelona, Spain, pp. 181-184.

○ Xu, H., Gentilini, C., Yu, Z., Qi, X., and Zhao, S. (2018). An energy allocation based design approach for flexible rockfall protection barriers. Engineering Structures, Vol. 173, pp. 831-852.

○ Escallón, J.P., and Wendeler, C. (2013). Numerical simulations of quasi-static and rockfall impact tests of ultra-high strength steel wire-ring nets using Abaqus/Explici. Proceedings of 2013 SIMULIA Community Conference.

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유		

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 고성능 낙석방지울타리 국산화 에 관한 연구로서 각부재들은 주로 철강제로 제작되는 중량물이기 때문에 주의가 필요함.
  - 특히 실물 시험시 방호성능 500kJ의 고성능 낙석방지울타리 시험을 수행하여야 하므로 중장비를 사용하여야 하며, 시험체가 이탈할 수 있는 위험성이 내포됨.

○ 안전 관리 대책

- 중량 구조물의 연구개발을 위해 주관연구기관과 공동연구기관은 연구실 안전관리 수칙을 마련하여 안전한 연구개발을 위해 노력할 계획임.
- [(주)대한지오이엔씨]는 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	낙석방지 울타리용 충격에너지 감쇄장치	㈜대한지오이엔씨	주 개발자	대한민국		2020.11.02	단독사사	
2	특허	사면보강재의 지지강화장치	㈜대한지오이엔씨	주 개발자	대한민국		2020.07.24	단독사사	
3	특허	비탈면 경보 장치와 연동된 낙석과 토석 대책 시설의 관리 및 경보 시스템 및 방법	㈜지오코리아이엔지	주 개발자	대한민국		2020.06.12.	단독사사	
4	논문	Mitigation Method of Rockfall Hazard on Rock Slope Using Large-Scale Field Tests and Numerical Simulations	상지대학교 산학협력단	공동	Advances in Civil Engineering	-	2020.03.23	단독사사	SCI

5	논문	낙석방지울타리 망의 변위량 및 성능검증을 위한 실물낙석시험	상지대학교 산학협력단	주저자	한국지반환경공학회 / 대한민국	-	2020.12.03	중복사사	
6	논문	2,040MPa급 고강도 강선을 활용한 고성능 낙석·토석 대책시설용 링형 포획망 개발 연구	㈜대한지오이엔씨	주저자	한국방재학회 / 대한민국		2020.12.31	단독사사	
7	논문	고성능 낙석·토석 대책시설용 에너지 감쇄장치 개발 연구	㈜대한지오이엔씨	주저자	한국방재학회 / 대한민국		2020.12.31	단독사사	
8	S/W	낙석방지 대책시설 유지관리 시스템	㈜지오코리아이엔지	주 개발자	대한민국		2020.10.26	단독사사	

제11장. 기타 사항

제12장. 참고 문헌

○ 급경사지 주민대피 계측관리시스템 구축 및 계측시방서 개발 연구, 국민안전처, 2015
○ 급경사지 재해예방을 위한 전문가 토론회 자료, 행정안전부, 2019
○ 신기후체제 대비 한반도 기후변화 전망보고서, 기상청, 2017
○ 건설공사 비탈면 설계기준, 국토해양부, 2016
○ 건설공사 비탈면 표준시방서, 국토해양부, 2016
○ 급경사지 계측 표준시방서, 행정안전부, 2016
○ 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)
○ AASHTO (2015). Guidelines for Certification and Management of Flexible Rockfall Protection Systems. American Society of State Highway and Transportation Officials.
○ EOTA (2008). Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection kits, ETAG 27. European Organization for Technical Approvals.
○ Castanon-Jano, L., Blanco-Fernandez, E., Castro -Fresno, D. (2017). Energy Dissipating Devices in Falling Rock Protection Barriers. Rock Mech Rock Eng 50, pp.603-619.
○ Castro-Fresno D., Del Coz Díaz JJ., Garcia Nieto PJ., Norambuena Contreras J. (2009). Comparative analysis of mechanical tensile tests and the explicit simulation of a brake energy dissipater by FEM. International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, 10 (8), pp. 1059-1085.

○ Grassl H., Bartelt P A., Volkwein A., Wartmann S. (2003). Experimental and numerical modeling of highly flexible rockfall protection barriers. Soil and Rock America 2003, Cambridge, Massachusetts.

○ Hu Xu, Cristina Gentilini, Zhixiang Yu, Xin Qi, Shichun Zhao (2013). An energy allocation based design approach for flexible rockfall protection barriers. Journal of the Engineering structures v.173, 2013. pp.831-852.

○ Ignacio Olmedo, Philippe Robit, David Bertrand, Clément Galandrin, Jibril Coulibaly, Marie-Aurélie Chanut (2017). Extended Experimental Studies on RockFall Flexible Fences. 6th Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection, pp.181-184.

○ Kim, K.D., Ko, M.G., Kim, D.S., Moon, B.G. (2015), Performance Assessment for Rockfall Protection Systems I: Performance Assessment Criteria, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, No. 1, Vol. 35, pp. 63-76.

○ J.P. Escallón, C. Wendeler (2013), Numerical simulations of quasi-static and rockfall impact tests of ultra-high strength steel wire-ring nets using Abaqus/Explici. 2013 SIMULIA Community Conference.

#부록 01. KR-NET SYSTEM 시방서

(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)
KR-NET SYSTEM 시방서

2020. 12

(주)대한지오이엔씨
Daehan Geo Engineering & Construction

(고에너지 흡수형 낙석・토석 대책시설)
KR-NET SYSTEM 시방서

1 일반사항

1.1 적용범위

(1) 이 시방서는 방호성능 48, 61kJ급의 일반 낙석방지울타리로 방호하지 못하는 중대형의 낙석이나 토석류로 인한 피해를 방지・저감시키기 위한 대책시설인 KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석・토석 대책시설) 시공에 적용한다.



a. 낙석대책시설용 설치시 b. 토석류 대책시설용 설치시

[그림] KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석・토석 대책시설)

1.2 관련 기준

(1) KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석・토석 대책시설)의 참고 기준은 KCS 11 75 10 및 KCS 11 75 25에 준하여 아래의 사항을 적용한다.

(2) KS B 1344 와이어 클립

(3) KS D 3503 일반 구조용 압연 강재

(4) KS D 3514 와이어로프

(5) KS B 1333 섀클

(6) KS B 1002 6각 볼트

(7) KS B 1012 6각 너트 및 6각 낮은너트

(8) KS D 2330 주물용 알루미늄 합금 잉곳

(9) KS D 7018 체인 링크 철망

(10) KS D 7036 염화 비닐 피복 철선

(11) KS D 3552 철선

1.3 시공 전 검토사항

(1) 시공 전 검토사항은 KCS 11 75 10 (3.1) 및 KSCS 11 7 25 (3.1)에 준한다.

(2) 설계 및 현장 조건 확인

① 낙석 대책시설로 설치할 경우 낙석이 KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)을 뛰어 넘지 않도록 적정한 높이와 이격거리를 결정한 후 울타리의 허용범위 내에서 흡수가능 에너지를 결정하고 낙석에너지와 비교하여 설계하되 기초의 안정성에 대해서도 검토하여야 한다.

② 토석류 대책시설로 설치할 경우 설계 도서에 따라 선정된 위치가 실제 지형 조건과 맞는지 확인하고 지지부를 견고히 시공하고 품질을 확보하기 유리한 위치가 있을 경우 감독자의 승인을 받아 시공위치를 조정할 수 있다.

③ 공사 지점 및 현장여건에 따라 재료 운반을 위한 사전 점검을 수행하고 자재 운반 계획을 수립하여야 한다.

(3) 재료의 품질 확인

① KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)의 품질확보를 위하여 수급인은 설치 전에 부속 재료별로 발주기관의 사전 공급원 승인을 받은 제품을 사용, 시공하여야 하며, 필요시 그 성능을 확인하여야 한다.

2 자재

2.1 재료

2.1.1 KR-NET(링형 포획망)

(1) KR-NET(링형 포획망)의 사양은 설계도서에 명기된 사양 이상이어야 한다.

(2) KR-NET(링형 포획망)을 구성하는 원형링의 크기는 평균 300mm를 만족하여야 한다.

(3) KR-NET(링형 포획망)을 구성하는 선재의 지름은 2.8mm 이상의 2,040MPa 이상의 강도로 제작되어야 한다.

(4) KR-NET(링형 포획망)을 구성하는 선재는 방청을 위해 용융아연 도금을 수행한 제품으로 아연 부착량은 150 gf/㎡ 이상이어야 한다.

2.1.2 와이어로프

(1) 와이어로프의 외접원지름과 절단하중은 설계도서에 명기된 사양 이상이어야 하며, 규격은 KS D 3514 와이어로프를 따라야 한다.

2.1.3 철망

(1) 철망은 KS D 7036과 KS D 7018에 적합하여야 한다.

(2) 철망 심선의 지름은 3.2 ㎜ ~ 4 ㎜로 아연도금 후 PVC 코팅한 선의 지름은 4 ㎜ ~ 5 ㎜이며 망눈의 치수는 50 ㎜ × 50 ㎜ 이상의 것을 사용한다.

(3) 아연의 부착량은 SWMV-GS2종을 기준으로 할 때 심선지름 3.2 ㎜는 30 gf/㎡, 심선지름 4.0 ㎜는 35 gf/㎡ 이상이어야 한다.

(4) PVC 코팅망은 KS D 3552 규격에 적합한 경질염화비닐(0.3 ㎜)을 피복한 철망제품으로 KS D 7018의 V-G1에 적합한 제품이라야 한다.

2.1.4 DH-POST(지주)

(1) 지주에 사용하는 강관, 형강 및 기타 자재는 KS D 3503의 SS400에 적합하거나 또는 동등 이상의 제품이라야 한다. 재질의 인장강도는 400~510 MPa, 항복점은 245 MPa 이상이어야 하며, 연신율은 17 % 이상이어야 한다.

(2) 강재의 아연부착량은 편면 600 gf/㎡ 이상이어야 한다.

(3) DH-POST는 지주상부와 지주하부가 힌지로 연결된다.

2.1.5 DH-CLUP(와이어 클립)

(1) DH-CLIP(와이어클립)은 DH-ROPE(와이어로프) 단부를 DH-WR ANCHOR 또는 DH ANCHOR 에 고정시킬 때 사용하며 KS B 1344에 적합한 규격이어야 한다.

(2) 사용하는 DH-CLIP(와이어클립)은 설계도서에 명기된 사양을 사용한다.

2.1.6 DH-SHACKLE(샤클)

(1) DH-SHACKLE(샤클)은 KR-NET(링형포획망)과 DH-ROPE(와이어로프)의 체결, KR-NET(링형포획망)과 KR-NET(링형포획망)의 체결, 기타 자재의 체결시 사용하며 KS B 1333에 준하는 규격이어야 한다.

(2) 사용하는 DH-SHACKLE(샤클)은 설계도서에 명기된 사양을 사용한다.

2.1.7 DH-BRAKE(감쇄장치)

(1) 필요에 따라 설계도서에 명기된 사양의 DH-BRAKE(감쇄장치)를 사용한다.

2.1.8 DH-WR ANCHOR (지지부)

(1) 필요에 따라 설계도서에 명기된 사양의 DH-WR ANCHOR(지지부)를 사용한다.

2.1.9 결속선

(1) 결속선은 철망의 강도 이상의 재료를 사용한다.

2.1.10 그라우트

(1) 그라우트에 사용하는 시멘트는 KSL 5201에 적합한 보통 포틀랜드 시멘트 및 조강 시멘트로 사용하고 혼화재는 그라우트용 혼화재를 사용토록 한다.

2.1.11 재료 품질관리

(1) KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)은 실물성능시험과 시뮬레이션 결과를 통해 개발된 시스템으로서 각 요소를 동등이상의 제품으로 교체하더라도 전체 시스

템의 거동 양상과 성능 확인이 되지 않기 때문에 설계 도서에 명기된 자재를 사용하여야 한다.

3 시공

3.1 시공일반

(1) KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)의 시공은 KCS 11 75 10과 KCS 11 75 25 에 준하되 아래의 사항을 추가하여 적용한다.

(2) KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)을 설치하기 전에 설계도서에 규정된 토공작업 및 비탈면 보호시설을 완료하여 공사중 낙석이나 비탈면 붕괴로 인한 안전사고를 사전에 예방하여야 한다.

(3) KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)의 설치위치와 범위를 현장실정에 적합하도록 검토하여 감독자(또는 감리원)와 사전협의를 거친 후 설치하여야 한다.

(4) 유지관리 및 DH-ROPE(와이어로프), KR-NET(링형포획망)의 장력유지를 위하여 단부지주는 100m 이내로 하여야 한다.

(5) KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)의 높이는 안정성 검토 결과에 따른다.

(6) DH-ROPE(와이어로프)의 단부를 단부 고정 장치에 연결할 때에는 DH-CLIP(와이어클립)을 4~6개를 약 DH-ROPE(와이어로프) 지름의 6배의 간격으로 설치하며 DH-CLIP(와이어클립)을 조립할 때는 너트부분이 DH-ROPE(와이어로프)의 힘을 받는 쪽에 설치되도록 하여야 한다.

(7) DH-CLIP(와이어클립)의 조임은 400 N . m의 토크렌치를 이용하며 DH-CLIP(와이어클립)을 2 ~ 3차례 번갈아 가면서 견고하게 조인다.

(8) DH-ROPE(와이어로프)를 절단하거나 연결할 경우는 단부 고정 장치에 DH-ROPE(와이어로프)를 결속하는 방법과 동일한 성능이 확보되는 방법을 이용하여야 한다.

3.2 시공 조건 확인

3.2.1 시공 전 검토사항

(1) 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공 계획서를 작성하여 제출하여야 한다.

(2) 자재 제품자료

① 제조업자의 제품자료 및 설치 지침서

② 사용 원재료의 재질 및 규격이 명시된 납품서 및 품질시험 성과표

(3) 시공 상세도면

① 낙석방지울타리의 설치위치, 지주간격 등을 표시한 평면도 및 시공전개도

② 비탈면과 울타리의 설치높이 등을 표시한 횡단면도

③ 지주 설치상세도

(4) 흡수가능 에너지의 확인
시공 전에 현장 비탈면의 낙석 규모(낙석의 중량, 형태, 낙하높이, 비탈면의 경사, 암질, 비탈면의 상태 등)에 따른 낙석에너지를 검토하여 그 낙석에너지를 안전하게 흡수할 수 있는 구조의 낙석방지울타리인지 재확인하여야 한다.

(5) 낙석방지울타리의 품질확보를 위하여 수급인은 설치 전에 부속 재료별로 발주기관의 사전 공급원 승인을 받은 제품을 사용, 시공하여야 하며, 필요시 그 성능을 확인하여야 한다.

3.2.2 작업준비

(1) 낙석방지울타리를 시공하기 전에 설계도서에 규정된 토공작업 및 비탈면 보호시설을 완료하여 공사 중 낙석이나 비탈면 붕괴로 인한 안전사고를 사전에 예방하여야 한다.

3.3 시공순서

(1) DH-WR ANCHOR 또는 DH-ANCHOR 천공 위치 측량 및 천공
(2) DH-WR ANCHOR 또는 DH-ANCHOR 설치, 그라우팅
(3) DH-POST 하부 설치
(4) DH-POST 상부 설치
(5) UP SLOPE DH-ROPE 설치
(6) DH-BRAKE(감쇄장치) 설치(필요시)
(7) 상하부 MAIN DH-ROPE 설치
(8) KR-NET(링형포획망) 설치
(9) 유지관리시스템 설치
(10) 현장정리

3.4 시공 상세

3.4.1 천공 및 지지부 삽입

(1) 천공은 주위의 지하 매설물, 건물 등의 시설물을 충분히 조사한 후 설계조건에 맞는 천공장비를 선택하여 주변 시설물이나 지반이 심하게 교란되는 것을 방지하여야 한다.

(2) 천공은 설계도서에 표시된 위치, 천공지름, 길이, 방향을 만족시켜야 하며, 천공각도는 하향으로 하되 설계도서에 명시되어 있는 각도로 시공해야한다.

(3) 천공 Hole은 지지부 삽입 및 그라우팅 완료시까지 붕괴되지 않고 공내부가 청결해야 한다.

(4) 만일 천공 Hole 전면부 및 Hole 일부가 안정되지 못하고 붕괴 또는 붕락할 경우는 필요시 CASING을 사용한다.

(5) 지지부는 자재에 결함이 없어야 하며 그라우트가 부착되는 부분에는 유해한 흙, 기름등을 제거하고 사용한다.

(6) 지지부의 삽입은 소정의 위치 또는 HOLE의 중앙에 위치하여야 하며 이를 위하여 지지부

의 길이 방향으로 설계도면에 명시된 간격마다 간격재를 부착하여야 한다. 또한 지지부 설치공사 중 특별히 천공 내부가 붕괴 우려가 있을 경우에는 천공 후 즉시 지지부를 삽입하고 그라우트를 실시하며, 그라우트가 경화될 때까지 지지부에 직접적인 충격 및 타격을 주지 않도록 하여야 한다.



a. 기계식 천공



b. 인력식 천공



c. CASING 설치(필요시)



d. 지지부 삽입

[그림] 지지부 시공

3.4.2 그라우트

(1) 공내에 지지부를 설치한 후 CEMEMT MILK를 공내부에 충진 한다.

(2) GROUT 주입은 공 내부에 CEMEMT MILK가 완전히 충진되도록 실시해야한다.

(3) Grout가 완료되면 지반의 균열 및 동공부분에 Grout 재료의 충진 효과로 인해서 GROUT의 체적 감소가 발생되므로 Grout를 재차 주입하여 공극을 채울 수 있도록 한다.

(4) GROUT가 종료되면 소요강도를 얻기 위한 양생기간은 최소 3일~5일 정도가 소요되므로 이 기간 내에는 지지부에 인장 또는 충격을 가하는 일이 없도록 해야 한다.

(5) 시멘트는 일반적으로 KS규격 품질에 적합한 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하나 필요시에는 조강 시멘트를 사용한다.

(6) 그라우트의 배합은 지반의 토질특성에 따라 물시멘트, 비를 조정하여 현장 지반조건에 맞도록 아래 기준을 표준으로 배합을 실시한다.

(7) 일반적인 기준은 W/C≒45% 을 표준으로 한다.

(8) 현장에 사용될 그라우트의 믹서 용량을 정확히 계산하여 믹서용량의 60~70%용량(체적)을 기준으로 다음과 같이 현장배합설계를 실시한다. 믹서용량이 V이면, 배합설계 용량은 0.7V 이므로 상기 현장 지반조건에 해당되는 W/C의 1m³당 그라우트의 배합표준은 다음 표와 같이 적용하여 계산한다.

W/C(%)	물(Kg/m³)	시멘트(Kg/m³)	혼화재	비 고
40	557	1,394	그라우트용	
45	586	1,303		
50	611	1,223		

(9) 그라우트는 배합 시 첨가되는 혼화재료의 배합률은 제품의 지침에 따라 사용하도록 한다.


a. 그라우팅 주입


b. 그라우팅 주입

[그림] 링형 포켓식 낙석방지울타리의 지지부 그라우팅

3.4.3 DH-POST(지주)의 제작 및 설치

(1) DH-POST는 충격하중 흡수를 위해 지주상하부가 힌지를 통해 연결된 가동식의 구조로 한다.

(2) 지주의 제작은 KCS 11 75 10 (3.3.2)에 준하며, 설계도서에 따른다.

(3) 지주의 직선부는 이음매가 없는 것을 사용하여야 한다.

(4) 지주의 간격은 설계도서에 명시된 경간의 길이를 초과하지 않는 범위 내에서 동일한 간격을 유지하도록 하고 시점, 종점, 변곡점 및 경사 변환점 등을 고려하여 설치되도록 한다.


a. 지주하부 설치


b. 지주상부 설치

[그림] 링형 포켓식 낙석방지울타리의 지주 설치

3.4.5 UP SLOPE DH-ROPE 설치

(1) UP SLOPE DH-ROPE는 지주의 설치 각도를 유지하고 낙석 방호시 지주에 전달되는 하중을 분산시키기 위하여 설치한다.

(2) UP SLOPE DH-ROPE의 지름 및 사양은 설계도서에 따른다.

(3) UP SLOPE DH-ROPE의 체결시 DH-CLIP(와이어클립)을 4~6개를 약 DH-ROPE 지름의 6배의 간격으로 설치하며 DH-CLIP(와이어클립)을 조립할 때는 너트부분이 DH-ROPE의 힘을 받는 쪽에 설치되도록 하여야 한다.



a. 지주 지지로프 거치



b. 지주 지지로프 체결

[그림] UP SLOPE DH-ROPE 설치

3.4.6 DH-BRAKE(감쇄장치)의 제작 및 설치

(1) DH-BRAKE(감쇄장치)는 낙석 방호시 DH-ROPE에 작용하는 하중을 감쇄시켜 지지부에 전달하는 역할을 하며, 설계도서에 명기된 제원과 수량을 사용한다.



a. DH-BRAKE(감쇄장치) 설치



b. DH-BRAKE(감쇄장치) 설치

[그림] DH-BRAKE(감쇄장치) 설치

3.4.7 상하부 MAIN DH-ROPE의 설치

(1) 상하부 MAIN DH-ROPE는 팽팽하게 당겨 견고하게 설치하여야 하며, 시공완료 후 초기 장력이 5500kg/개 이상을 유지하도록 설치하여야 한다.

(2) MAIN DH-ROPE를 고정시킬 때는 DH-CLIP(와이어클립)을 사용하며, 적용 DH-ROPE의 인장강도에 따라 DH-CLIP(와이어클립)의 종류, 개수, 조임 토크 및 설치 간격을 선정한다.

(3) 상하부 MAIN DH-ROPE의 지름 및 사양은 안정성 검토결과에 따른 사양서를 참조한다.
(4) 상하부 MAIN DH-ROPE의 양단이 DH-BRAKE와 체결될 때 꼬임과 방향성에 주의한다.
(5) 상하부 MAIN DH-ROPE와 DH-POST의 교차 지점에서 MAIN DH-ROPE의 배치와 꼬임에 주의한다.


a. 상하부 MAIN DH-ROPE의 설치


b. DH-BRAKE(감쇄장치)와의 체결

[그림] 상하부 MAIN DH-ROPE의 설치

3.4.8 KR-NET(링형포획망) 설치

(1) KR-NET(링형포획망) 거치 및 설치시 KR-NET(링형포획망)에 무리한 힘을 주어서는 안된다.
(2) KR-NET(링형포획망)은 커튼 형태로 설치하며, 연직 또는 수평으로 설치되어 있는 상하부 MAIN DH-ROPE에 DH-SHACKLE을 사용하여 고정시킨다.
(3) KR-NET(링형포획망)의 연결 또는 이음시 망의 인장강도와 동등이상의 강도를 발휘할 수 있는 DH-SHACKLE을 사용하여 연결한다.


a. 링형 포획망 설치


b. 링형 포획망 설치

[그림] KR-NET(링형포획망) 설치

4 유지관리

4.1 유지관리 일반

(1) 유지관리는 KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)의 설치 상태를 유지하여 기능성을 유지하도록 하는데 있다.

(2) 유지관리를 위해 점검을 수행하여야 하며, 필요시 유지관리키트를 설치하여 유지관리를 수행할 수 있다.

(3) 점검 결과에 따라 보수 보강이 필요한 경우 신속히 대처하여야 한다.

4.2 점검

(1) KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)의 유지관리를 위한 점검은 도로안전시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2019), 사방시설의 유지관리 지침(산림청, 2018) 등에 준하여 정기점검, 수시점검, 하자점검 등으로 수행한다.

(2) 일상점검 : 도보나 차량 위에서 시설물의 변형이나 이상을 조기 발견하기 위해 육안으로 점검을 수행한다.

(3) 정기점검 : 시설물의 유지관리를 위해 매년 정기적으로 점검이 필요한 사방시설에 대하여 수행한다.

① 사방시설의 유지관리 지침 [별표7]에 준하여 외관점검을 수행한다. KR-NET SYSTEM의 파손, 변위, 기초부 세굴, 부식, 마모 등에 대한 주요시설 점검과 시설물 주변 식생상태, 안전시설, 접근도로, 기타 사항에 대한 부대시설 점검을 수행한다.

② KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)은 일반 낙석·토석 대책시설과 형상 및 구성요소가 상이함으로 다음 사항을 중점적으로 점검한다.

- DH-BRAKE(감쇄장치)의 훼손, 변형량, 부식상태, 체결상태 점검
- MAIN DH-ROPE, UP SLOPE DH-ROPE의 훼손, 부식상태, 체결상태 점검
- DH-WR ANCHOR의 훼손, 변형량, 부식상태, 체결상태 점검
- DH-CLIP 및 DH-SHACKLE의 훼손, 부식상태, 체결상태 점검
- KR-NET(링형포획망) 훼손, 부식상태, 체결상태 점검

(4) 수시점검 : 해빙기, 우기, 태풍 또는 집중호우 등으로 피해발생이 우려되거나 피해가 발생되었을 때 시설물의 관리주체에서 비정기적(수시)로 수행한다.

① 사방시설의 유지관리 지침 [별표7]에 준하여 외관점검을 수행한다. KR-NET SYSTEM의 파손, 변위, 기초부 세굴, 부식, 마모 등에 대한 주요시설 점검과 시설물 주변 식생상태, 안전시설, 접근도로, 기타 사항에 대한 부대시설 점검을 수행한다.

① 사방시설의 유지관리 지침 [별표7]에 준하여 외관점검을 수행한다. KR-NET SYSTEM의 파손, 변위, 기초부 세굴, 부식, 마모 등에 대한 주요시설 점검과 시설물 주변 식생상태, 안전시설, 접근도로, 기타 사항에 대한 부대시설 점검을 수행한다.

② KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)은 일반 낙석·토석 대책시설과

형상 및 구성요소가 상이함으로 다음 사항을 중점적으로 점검한다.

- DH-BRAKE(감쇄장치)의 훼손, 변형량, 부식상태, 체결상태 점검
- MAIN DH-ROPE, UP SLOPE DH-ROPE의 훼손, 부식상태, 체결상태 점검
- DH-WR ANCHOR의 훼손, 변형량, 부식상태, 체결상태 점검
- DH-CLIP 및 DH-SHACKLE의 훼손, 부식상태, 체결상태 점검
- KR-NET(링형포획망) 훼손, 부식상태, 체결상태 점검

4.3 유지관리시스템을 활용한 유지관리

(1) KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)은 무선통신과 클라우드 기술이 융합한 스마트 측정장비인 유지관리키트-GEONE을 활용하여 수행할 수 있다.

(2) 유지관리시스템은 저전력 장거리 무선통신 기술인 LoRa를 활용하여 별도의 전원공급장치 및 통신설비를 구축하지 않고 내장된 배터리를 활용하여 6회/일의 계측빈도로 2년이상 구동할 수 있는 준실시간 모니터링 시스템으로서 정기점검시 배터리를 교체하여 장기적으로 운영할 수 있다.

(3) 유지관리시스템은 KR-NET(링형포획망) 또는 DH-BRAKE(감쇄장치)의 변형량을 측정할 수 있는 신축계와 지주의 변형각도를 측정할 수 있는 경사계를 목적에 따라 구성하여 설치할 수 있다.

(4) 측정된 계측정보는 GOOGLE CLOUD 기반 서버에서 관리되며, 현장특성을 고려하여 입력된 계측관리 기준치에 따라 담당자에게 SNS 발송 알람기능을 제공한다.

(5) 유지관리시스템의 구축은 별도의 협의를 수행하여야 한다.

4.4 유지보수

(1) 안전조치의 종류

① 보수 : 시설물의 기능 유지를 위해 일정 작업(보수, 보강, 준설 등)을 실시하여 기능을 회복할 수 있는 대책

② 개량 : 보수를 실시하더라도 기능회복이 어렵다고 판단될 경우 시설물의 변형 및 변경을 실시하여 기능을 유지하는 대책

③ 철거 : 보수 및 개량이 불가능하거나 시설이 존치하는 경우 위험도가 높아 시설물의 철거가 필요할 경우

④ 재시공 : 철거된 시설물의 위치에 새로운 시설물을 시공

⑤ 추가시공 : 기존 시설물을 철거하지 않고 주변에 시설물을 추가 시공

(2) 유지보수 방법

① DH-BLAKE(감쇄장치)의 교체

- DH-BLAKE(감쇄장치)의 교체는 전체 시스템의 해체가 필요 없으나 DH-BLAKE(감쇄장치)의 교체전 지지부와 DH-ROPE를 전선바이스로 단단히 결속하여 전체 시스템의 이완 및 분리에 유의하여 수행한다.

② DH-ROPE의 교체

■ DH-ROPE의 교체는 KR-NET(링형포획망)의 해체가 필요하므로 전체 시스템의 이완 및 분리에 유의하여 수행한다.

③ KR-NET(링형포획망)의 교체

■ KR-NET(링형포획망)을 절단하거나 체결부위를 해체하여 교체를 수행한다.

(3) 낙석 및 토석, 유송잡물 준설

① 토석류 대책시설의 경우 계상기울기를 완화하고 종횡침식을 방지하여 계류를 안정시키고, 산각을 고정하여 붕괴를 방지하기 위해 설치되므로 대수면에 퇴적된 토석을 제거하는 작업은 원칙적으로 실시하지 않는다. 다만 토석류 대책시설과 인접한 생활권 보호를 위하여 다음 사항을 고려하여 준설을 수행할 수 있다.

■ 투과형 토석류 대책시설의 경우 유목 및 토석이 차단부의 1/2 이상 퇴적된 시설물의 경우

■ 준설을 시행할 경우에도 시설물의 안정성에 문제가 없는 경우

■ 계류의 경사가 급하여 산각 균형이 무너져 더 많은 침식우려가 있는 경우

■ 시설물의 양쪽 기슭에서 계류 중심선까지와 상류지역의 계류 기울기는 원만히 유지되도록 하고, 준설로 인하여 RFB 침식이 우려되는 지역에는 바닥막이, 골막이, 기슭막이 등을 추가로 설치한다.

■ 계류 양쪽 기슭에 시설물이 있는 경우 그 시설물 표면의 토석은 남겨두거나 인력으로 제거하며, 본 시설물 및 주변 구조물과 직접적으로 닿는 부분은 훼손을 방지하기 위하여 2m 내외의 여유를 두어 준설한다.

■ 안전조치에 따른 현장의 토석 및 준설한 토석은 사토장을 지정하여 처리하거나 시설물의 안전조치 후 되메우기 등으로 이용할 수 있으며, 공용·공공용 사업에 필요할 경우 관련 규정에 따라 무상으로 공급할 수 있다.

■ 사토장에 처리한 토석류가 호우 등으로 유실되지 않도록 필요시 유실방지 구조물과 비탈면 보호공(녹화) 등을 실행한다.

■ 사토장 확보가 어려워 준설을 하지 못할 경우에는 유목 및 퇴적된 토사를 폐기물로 처리하여 준설을 이행할 수 있다.

■ 준설시 KR-NET 연결부를 해체하여 커튼식으로 열어 준설을 수행할 수 있으나 적치된 토석, 유송잡물의 붕괴 및 유실에 유의하여야 한다.

② 낙석 대책시설의 경우 적치된 낙석이 하중으로 작용하여 방호성능이 낮아 질 수 있으므로 준설을 원칙으로 한다.

■ KR-NET와 하부 MAIN DH-ROPE의 연결부를 해체하고 KR-NET를 블라인드 식으로 위쪽으로 걷어 하부에 적치된 낙석을 준설할 수 있으나 적치된 낙석의 유실에 유의하여야 한다.

5 기 타

5.1 안전관리

(1) 공사 중 안전을 최우선으로 해야 하며, 위험을 방지할 수 있는 공사과정을 선택하도록 한다.
(2) 현장근로자에 대한 안전교육을 수시로 실시하고, 현장 내에서는 항상 안전보호 장구를 착용하도록 한다.
(3) 중장비로 운반이나 설치 시 사고가 발생하지 않도록 유의해야 하며, 리프트 와이어 및 리프트 바의 연결 고리에 이상이 없는지를 수시로 점검해야 한다.
(4) 지지부의 돌출된 부분으로 인한 안전사고를 방지해야 한다.
(5) 중장비의 작업반경내에는 출입하지 않도록 하고, 좁은 공간에서 중장비의 옆을 통과해야 할 경우에는 장비기사에게 신호를 하여 장비를 정지시킨 후 통과해야 한다.
(6) 높고 좁은 공간에서 장비가 전복되지 않도록 유의해야 한다.
(7) 안전 관리자는 대상공사구간 전체에 걸쳐 답사하고, 비탈면의 지층변화 및 상황을 확인한다.
(8) 작업원의 복장은 해당 작업에 적당해야 하며 안전모를 반드시 착용해야 한다.
(9) 작업구역 내에는 관계자 이외의 자에 대하여는 출입을 통제해야 한다.

5.2 품질관리계획

(1) KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)을 구조적으로 안전하고, 경제적인 시공을 위해서 모든 자재를 철저히 관리해야 한다.
(2) 현장 확인인발시험
  ① 지지부에 대한 확인인발시험을 실시 할 수 있으며, 인발하중은 지지부의 허용인장 응력 범위 내에서 인발력이 발현되는지 확인한다.
  ② 시험 위치나 부위는 현장 여건에 따라 감독자(또는 감리원)의 검토에 따라 변경할 수 있다.
  ③ 인발 시험할 지지부는 장비가 장착될 수 있도록 별도의 지그를 설치하여 수행한다.
  ④ 지지부의 인발은 표면에 이물질 (기름, 흙, 먼지, 등)을 완전히 제거한 후 실시한다.
  ⑤ 인발기는 소정의 단계에서 소정의 압력이 유지되는데 무리가 없는 것이라야 한다.
  ⑥ 인발시험시의 변형률 측정은 지반의 토질특성에 따라 가변적으로 정량적 변형률 측정이 불가능하므로 인발 하중재하시의 설계하중강도 확인으로 대처한다.
  ⑦ 현장 확인인발 시험 비용은 별도로 산정되어 있지 않으므로 발주처나 감독자(또는 감리원)과의 협의 후 진행한다.
(3) 자재 품질관리
  ① 제품의 품질기준 설계도서에 명기된 사양을 원칙으로 한다.
  ② 시험성과는 공인된 기관에서의 시험결과 성적서로 대체한다.
  ③ KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)은 모든 자재가 도금이나 방청재로 도포된 철재로 구성되어 있으므로 자재의 현장 적치, 취급시 손상에 따른 부식이 발생하지 않도록 주의한다.

#부록 02. KR-NET 유지관리 시스템 매뉴얼

(고에너지 흡수형 낙석·토석 대책시설)
KR-NET SYSTEM 유지관리 매뉴얼

(주)대한지오이엔씨
Daehan Geo Engineering & Construction

GEO KOREA

(고에너지 흡수형 낙석・토석 대책시설)
KR-NET SYSTEM 유지관리 매뉴얼

1 일반사항

1.1 적용범위

(1) 이 매뉴얼은 방호성능 48, 61kJ급의 일반 낙석방지울타리로 방호하지 못하는 중대형의 낙석이나 토석류로 인한 피해를 방지・저감시키기 위한 대책시설인 KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석・토석 대책시설) 의 유지관리에 적용한다.



a. 낙석대책시설용 설치시



b. 토석류 대책시설용 설치시

[그림] KR-NET SYSTEM(고에너지 흡수형 낙석・토석 대책시설)

2 KR-SYSTEM 유지관리

2.1 유지관리 일반

(1) KR-SYSTEM의 유지관리는 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침(국토교통부)」에 제5장 준하여 수행하되, 시스템적으로 가장 유사한 「사방시설의 유지관리 매뉴얼」을 참조한다.

(2) KR-SYSTEM의 유지관리를 위한 안전점검 및 성능평가를 수행하여 할 경우 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침(국토교통부)」 제6장 안전점검 등 및 성능평가 비용의 산정기준에 준하여 그 비용을 산정하고 청구할 수 있다.

2.2 점검 종류

(1) 정기점검 : 매년 정기적으로 수행하는 점검

(2) 수시점검 : 태풍 또는 집중호우 등으로 피해발생이 우려되거나 피해가 발생되었을 때 수행하는 점검

2.3 점검 시기

(1) 정기점검 : 사방시설의 정기점검은 매년 6.30까지 1회 이상 실시하는 것을 원칙으로 하되 관리주체의 장과 협의하여 변경할 수 있다.

(2) 수시점검 : 관리주체의 장이 필요시 비정기적(수시)으로 실시할 수 있다.

2.4 점검 방법

(1) KR-NET SYSTEM의 점검은 현장점검을 원칙으로 하되, 원격탐사 및 의견조사 등 간접점검을 병행 할 수 있다.

(2) 점검시 다음표와 같이 「사방댐 현장점검 조사서」를 활용하여 고안된 「KR-NET SYSTEM 현장점검 조사서」를 활용한다.

KR-NET SYSTEM 현장점검 조사서

조사일시 : 년 월 일

소 재 지				조 사 자		
형태				시공년도	년	
댐의 규모	상장	m	하장	m	유효고	m

			양호	보완	유실
주요시설	① KR-NET(링형포획망)의 상태				
	② DH-ROPE(와이어로프)의 상태				
	③ DH-BRAKE(감쇄장치)의 상태				
	④ DH-POST(지주)의 상태				
	⑤ DH-SHACKLE 및 DH-CLIP의 상태				
등급	⑥ DH-WR ANCHOR의 상태				
			양호	보완	유실
부대시설	① 시설관리도로(접근도로) 상태				
	② 본 시설물 상·하부 또는 상·하류 상태	상부·상류			
		하부·하류			
	③ 본 시설물 비탈면 또는 계류 상태	상부·상류			
		하부·하류			
	④ 비탈면 및 계류 보강·보수 상태				
등급	⑤ 기타 시설 상태(안전펜스, 안내판 등)				

KR-NET SYSTEM 관리 (준설)	① 현재 저사량(저사고)	고(80% 이상)		중(50%~79%)		저(50% 미만)	
	② 생활권과의 거리	단(500m이하)		중(501~999m)		장(1000m 이상)	
	③ 적치 낙석·토석 경사각	급(10% 이상)		경(5%~9%)		완(5% 미만)	
	④ 낙석·토석이동량	다(70% 이상)		중(30%~69%)		소(30% 미만)	
	⑤ 쌓인 낙석·토석·유목의 제거 여부					필요 / 불필요	

		있음	없음
기타	① 주변지역의 개발·훼손에 따른 시설과의 관계		
	② 특이사항 등		

※ 양호 : 변형 및 파손 등이 없는 경우
보완 : 변형 및 파손 등이 확인되는 경우
유실 : 파손된 경우

2.5 점검 방법

(1) 사방시설의 점검결과 등급판정은 다음과 같이 구분한다.

① A등급(손상 없음) : 시설물의 변형·손상 등이 없는 양호한 상태의 시설로서 안전진단을 시행하지 않아도 무방한 상태

② B등급(관찰 필요) : 시설물에 약간의 손상·결함 등이 있으나, 안전진단을 시행하지 않아도 무방한 시설로서 지속적인 점검 및 모니터링을 실시할 필요가 있는 상태

③ C등급(대책 필요) : 시설물에 변형과 파손 등의 심각한 구조결함이 발생되어 안전조치가 필요한 상태

3 KR-NET SYSTEM 의 안전조치

3.1 안전조치의 종류

(1) 보 완 : 시설물의 기능 유지를 위해 일정 작업(보수, 보강, 준설 등)을 실시하여 기능을 회복할 수 있는 대책

(2) 개 량 : 보완을 실시하더라도 기능회복이 어렵다고 판단되어 시설물의 변형 및 변경을 실시하여 기능을 유지하기 위한 대책

(3) 철 거 : 보완 및 개량이 불가능하거나 시설물을 존치할 경우 위험도가 높아 시설물을 제거하는 대책

(4) 재시공 : 철거된 시설물의 위치에 신규 시설물을 시공하는 대책

3.2 안전조치 시기

(1) 시설물의 점검 및 안전진단 결과 안전조치가 필요하다고 판정된 시설은 1년 이내에 보완·개량 등의 안전조치를 시행하여야 한다.

(2) 시설물의 보완·개량 등 안전조치는 매년 상반기에 완료하는 것을 원칙으로 한다.

(3) 준설은 상반기에 실시하는 것을 원칙으로 하되, 여름철에 낙석 및 토석이 많이 퇴적된 시설물은 당해년도 하반기에 준설할 수 있다.

3.2 안전사고 예방조치

(1) 시설로 인해 인명 및 재산피해 등 안전사고가 우려되는 곳은 안전펜스, 위험경고판 등 예방시설을 설치하여야 한다.

4 유지관리시스템을 활용한 KR-NET SYSTEM 유지관리

4.1 유지관리시스템을 활용한 KR-NET SYSTEM 유지관리 일반

(1) KR-NET SYSTEM 유지관리시스템이란 저전력 장거리 통신기술인 LoRa 통신기반 유지관리 키트를 활용하여 KR-NET SYSTEM의 유지관리를 수행하는 것으로, KR-NET SYSTEM 유지관리시스템은 내장된 베터리 및 상용 LoRa 통신기술을 활용하여 별도의 전력공급설비 및 통신설비 구축 없이 계측관리를 수행 할 수 있다.

(2) 유지관리시스템을 활용한 유지관리의 효과

① 실측자료의 분석을 통하여 이벤트 발생 확인 및 안전 판단

② 낙석 및 토석류 이벤트 발생 시 알림문자 전송

③ 실측 자료의 분석을 통한 거동의 예측 및 안전을 판단

④ 주변 민원에 대한 증빙자료의 확보와 객관적 자료 제시 가능

⑤ 유지관리 비용 절감(베터리 2년이상 구동)

4.2 계측 항목 및 계측기 설치 위치

(1) KR-NET SYSTEM 계측항목

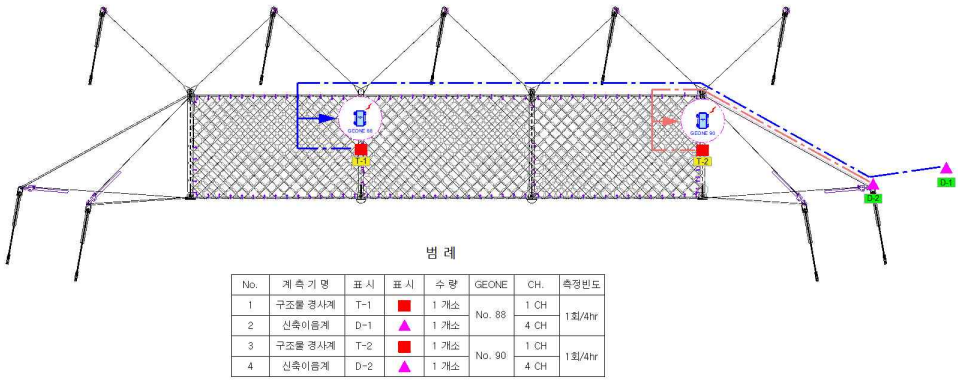
① 구조물 경사계

- DH-POST(지주)의 경사를 측정하여 낙석 및 토석류 발생시 충격하중에 따른 기울기 변화를 감지

② 신축이음계

- KR-NET(포획망)의 신축 길이변화를 측정하여 상태정보 확인
- DH-BRAKE(감쇄장치)의 길이변화를 측정하여 상태정보 확인

(2) 계측기 설치 위치



범 례

No.	계 측 기 명	표 시	표 시	수 량	GEONE	CH.	측정빈도
1	구조물 경사계	T-1	■	1 개소	No. 88	1 CH	1회/4hr
2	신축이음계	D-1	▲	1 개소		4 CH	
3	구조물 경사계	T-2	■	1 개소	No. 90	1 CH	1회/4hr
4	신축이음계	D-2	▲	1 개소		4 CH	

[그림] 계측기기 및 유지관리키트 설치 사례

① 구조물 경사계

- DH-POST(지주)에 설치하되 낙석 또는 토석류에 의해 훼손될 수 있으므로 DH-POST(지주)의 하부 또는 하류쪽에 설치한다.
- 낙석 또는 토석류에 의해 훼손될 수 있으므로 DH-POST(지주) 높이의 2/3 높이 이상에 설치한다.

② 신축이음계

- KR-NET(포획망)에 설치하는 신축이음계는 낙석·토석류 포획시 KR-NET SYSTEM의 변형 형상을 고려하여 DH-POST(지주) 높이의 1/3 ~ 1/2 지점에 설치한다.
- DH-BRAKE(감쇄장치)에 설치하는 신축이음계는 변형량에 가장 민감한 상부메인로프에 체결된 DH-BRAKE(감쇄장치)에 설치한다.

4.3 계측빈도 및 계측관리 기준치 설정

(1) 계측기간 및 계측 빈도

① 계측의 중요성, 계측의 목적, 발생하는 변위량의 크기, 변위 증가 속도와 안전성의 연관관계 등을 고려하여 현장상황에 따라 관리 주체와의 협의를 통해 조정 할 수 있다.

② 계측빈도 및 내장된 베터리 성능에 따라 계측가능 기간이 결정되므로 사전 점검을 수행한다.

③ 현장적용 계측빈도

- 구조물 경사계 : 1회/4HR
- 신축이음계 : 1회/4HR

(2) 계측관리 기준치

① 계측관리 기준치는 실물성능평가시 KR-NET SYSTEM의 변형 및 거동 특성을 반영하여 설정하되 현장상황과 위험요소를 고려하여 관리 주체와의 협의를 통해 조정 할 수 있다.

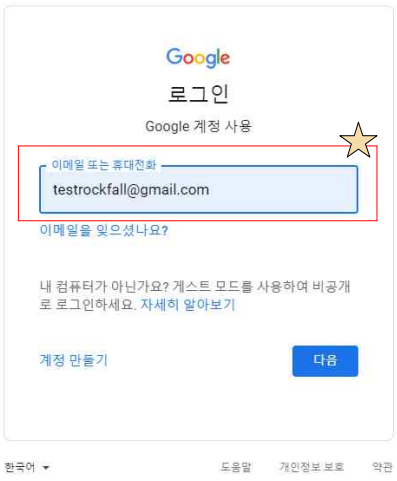
② 관리기준치

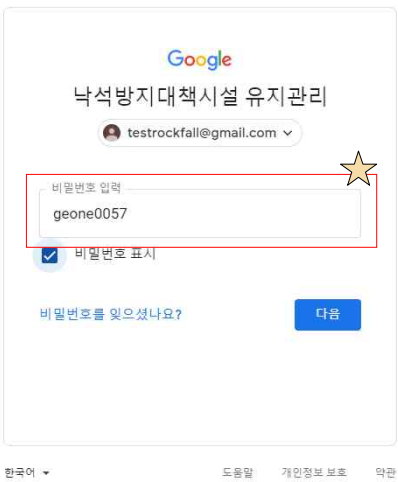
구분	구조물 경사계		신축이음계		비고
	Pile No.2	Pile No.4	낙석방지망	감쇄장치	
	T-1	T-2	D-1	D-2	
관심	< 2.23	< 2.35	< 423.44	< 95.52	
주의	> 2.23	> 2.35	> 423.44	> 95.52	
경계	> 2.97	> 3.13	> 564.58	> 127.36	
위험	> 3.71	> 3.92	> 705.73	> 159.20	

4.4 계측관리 프로그램

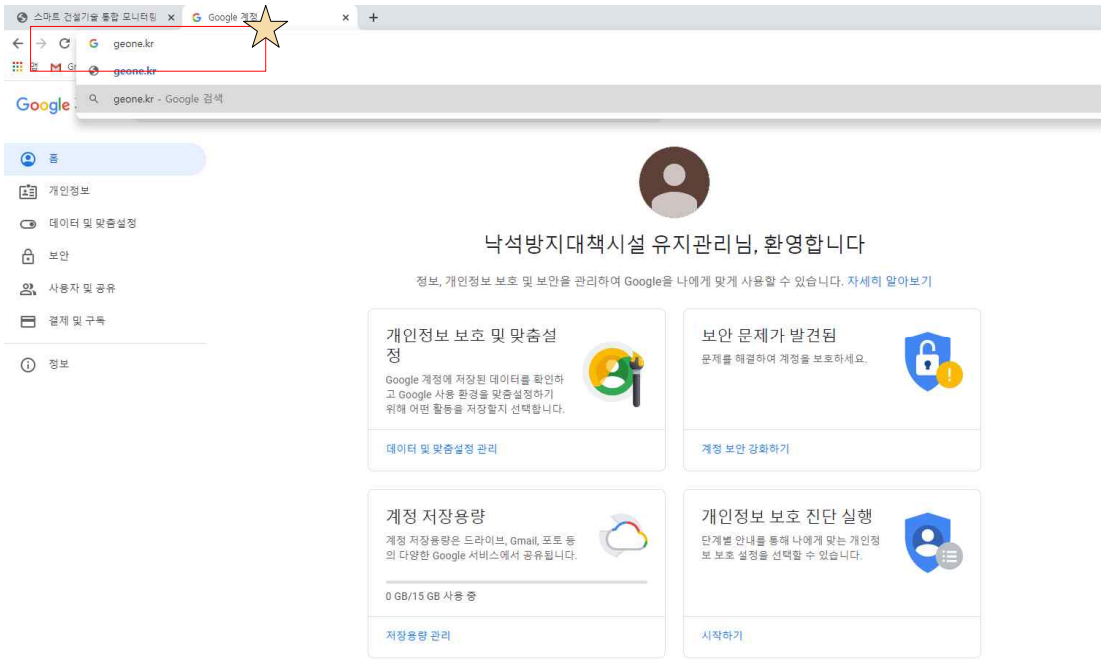
(1) 웹 프로그램 접속 및 운영

① 구글 계정 접속: ID. testrocfall, PW. geone0057 (예)





② 유지관리 사이트 접속 : 상단 주소창에 geone.kr입력



③ 구글 계정 로그인 화면에서 로그인하기



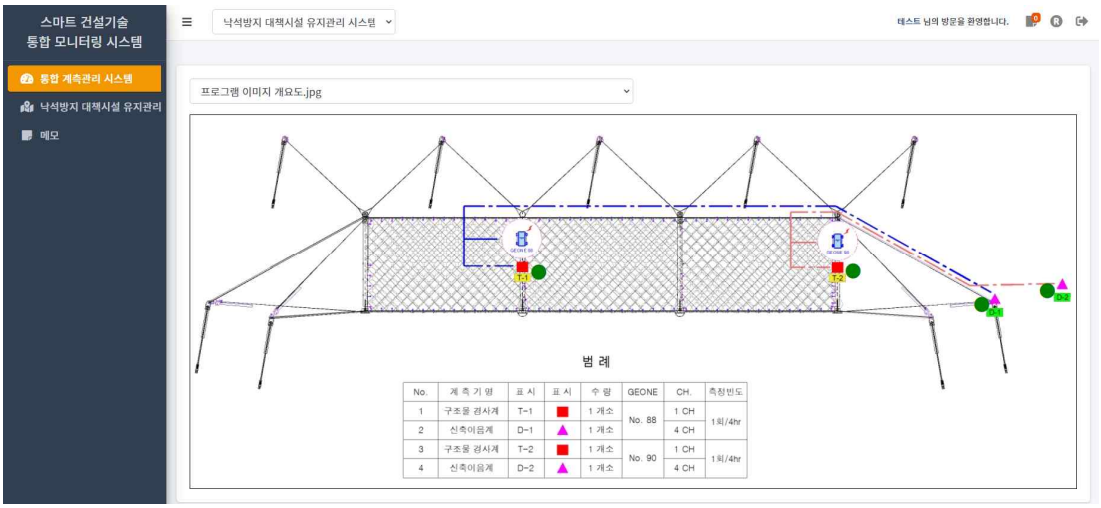
(2) 운영 프로그램 실행화면

① 계측센서 배치도 화면이 열리고, 센서 옆에 동그란 녹색 마크가 점멸됨

② 점멸등 색상

- 정상 단계 : 녹색
- 1차 단계 : 파랑색
- 2차 단계 : 주황색

- 3차 단계 : 빨강색

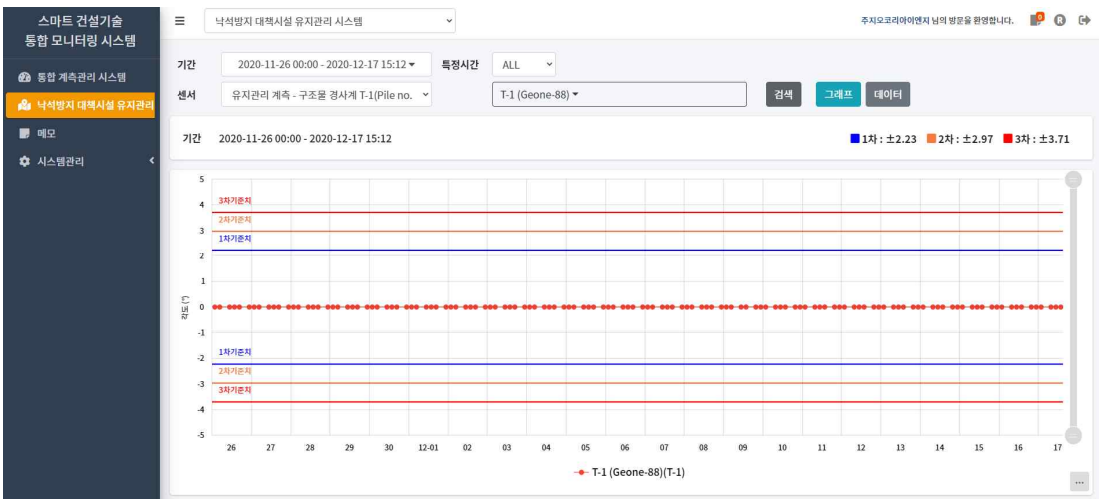


③ 데이터 조회 및 확인

- 기간 설정 → 센서 설정 → 구조물 경사계 선택 → Geone-88(T-1), Geone-90(T-2) 선택 → 검색(그래프 및 최대/최소값 표현) → 데이터 탭 선택 → 엑셀 저장
- 기간 설정 → 센서 설정 → 신축이음계 선택 → Geone-88(D-1), Geone-90(D-2) 선택 → 검색(그래프 및 최대/최소값 표현) → 데이터 탭 선택 → 엑셀 저장

④ 데이터 화면

- 구조물경사계 / 신축이음계 계측DATA
- 기간 및 특정시간 조회가능(1일, 1주일, 1개월, 직접선택 기능)
- 그래프 및 데이터 저장 가능
- 관리기준치 설정 및 알람문자 전송가능

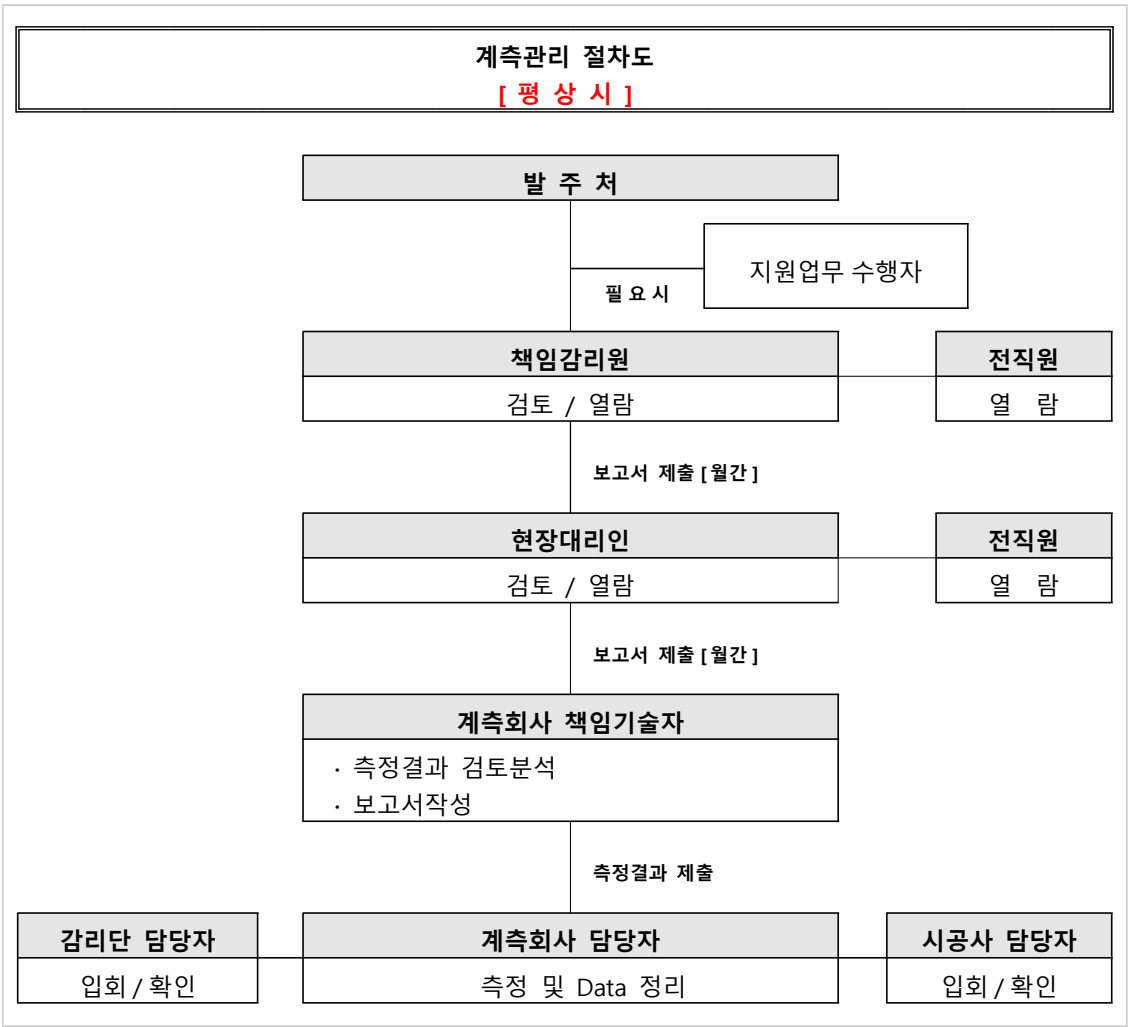


4.5 계측관리 대응체계

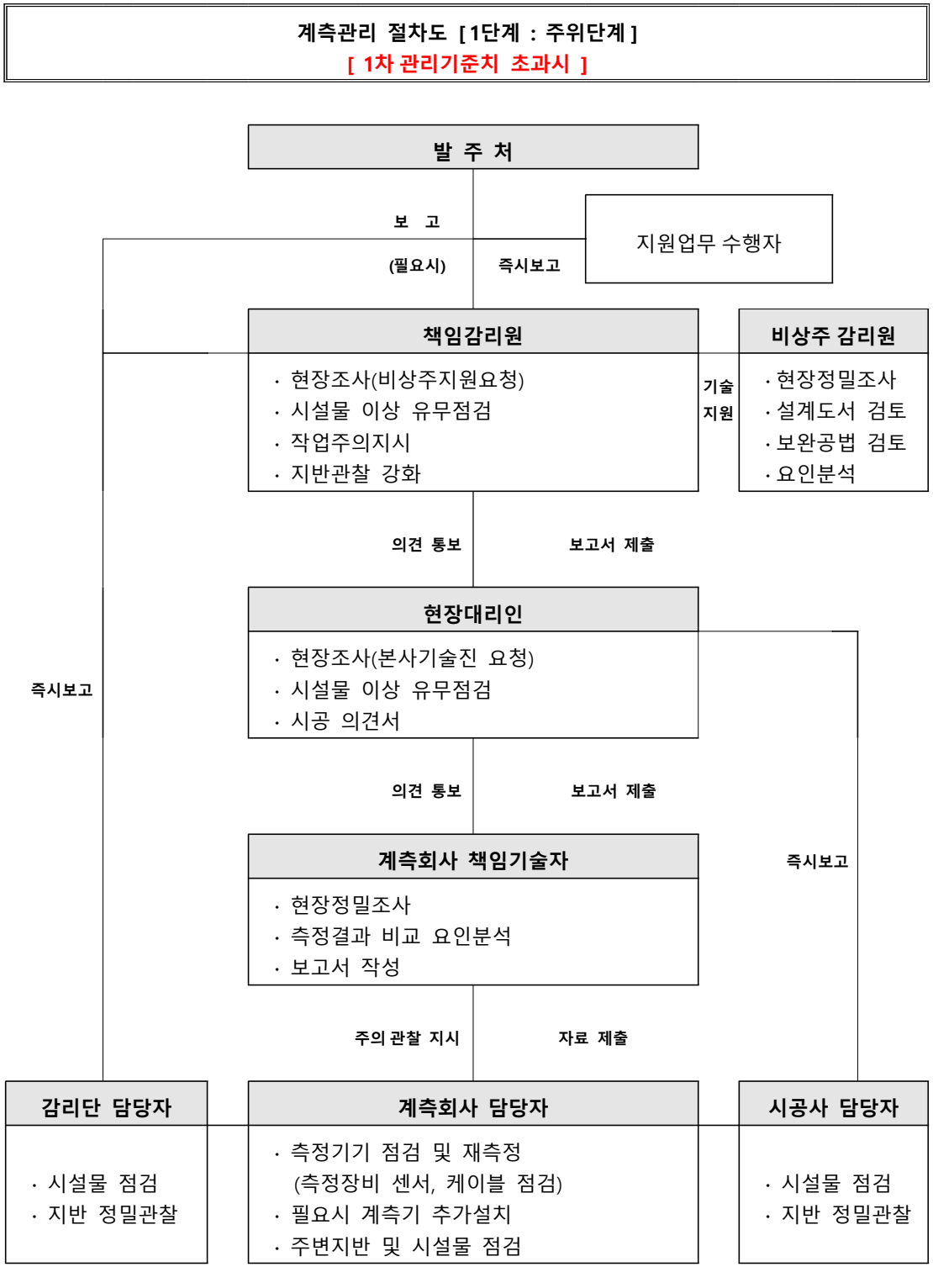
(1) 단계별 계측관리 대응체계

단 계	관리기준 범위	계측사	시공사
관심	계측치≤제1관리치	· 정상계측 및 보고	· 주변점검, 낙석방지책 상태점검
주의	제1관리치 < 계측치 ≤ 제2관리치	· 통보 · 계측기 점검, 재측정 · 원인분석, 보고서 작성	· 주변점검, 낙석방지책 정밀관찰 · 응급보강(필요시) · 구조검토, 대책공의 검토
경계	제2관리치 < 계측치 ≤ 제3관리치	· 즉시통보 · 계측체계 강화(측정빈도) · 원인 확인, 보고서 작성 · 계측 모니터링 강화 · 계측기 추가(필요시)	· 현장상황 점검 및 강화 · 보강방안 검토 및 실시(필요시) · 대책공의 실시(필요시)
심각	계측치 > 제3관리치	· 즉시통보 · 계측체계의 강화 · 요인분석 · 재설계, 대책공 실시	· 응급보강 실시(필요시) · 주변 지반 및 시설물 일체점검 · 안전점검 실시 · 대책 공법 및 보강 이행(필요시)

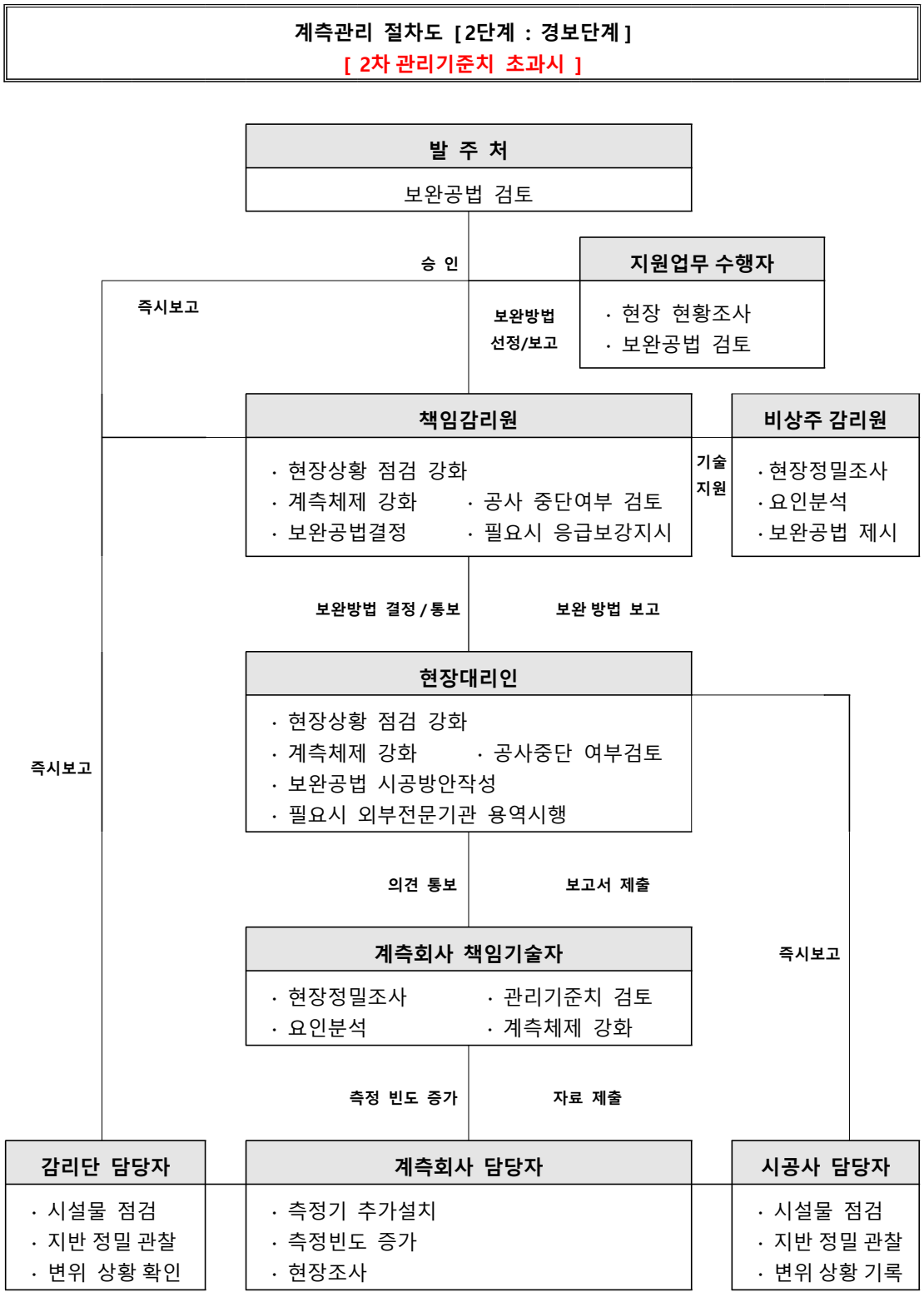
(2) 평상시 계측관리 절차



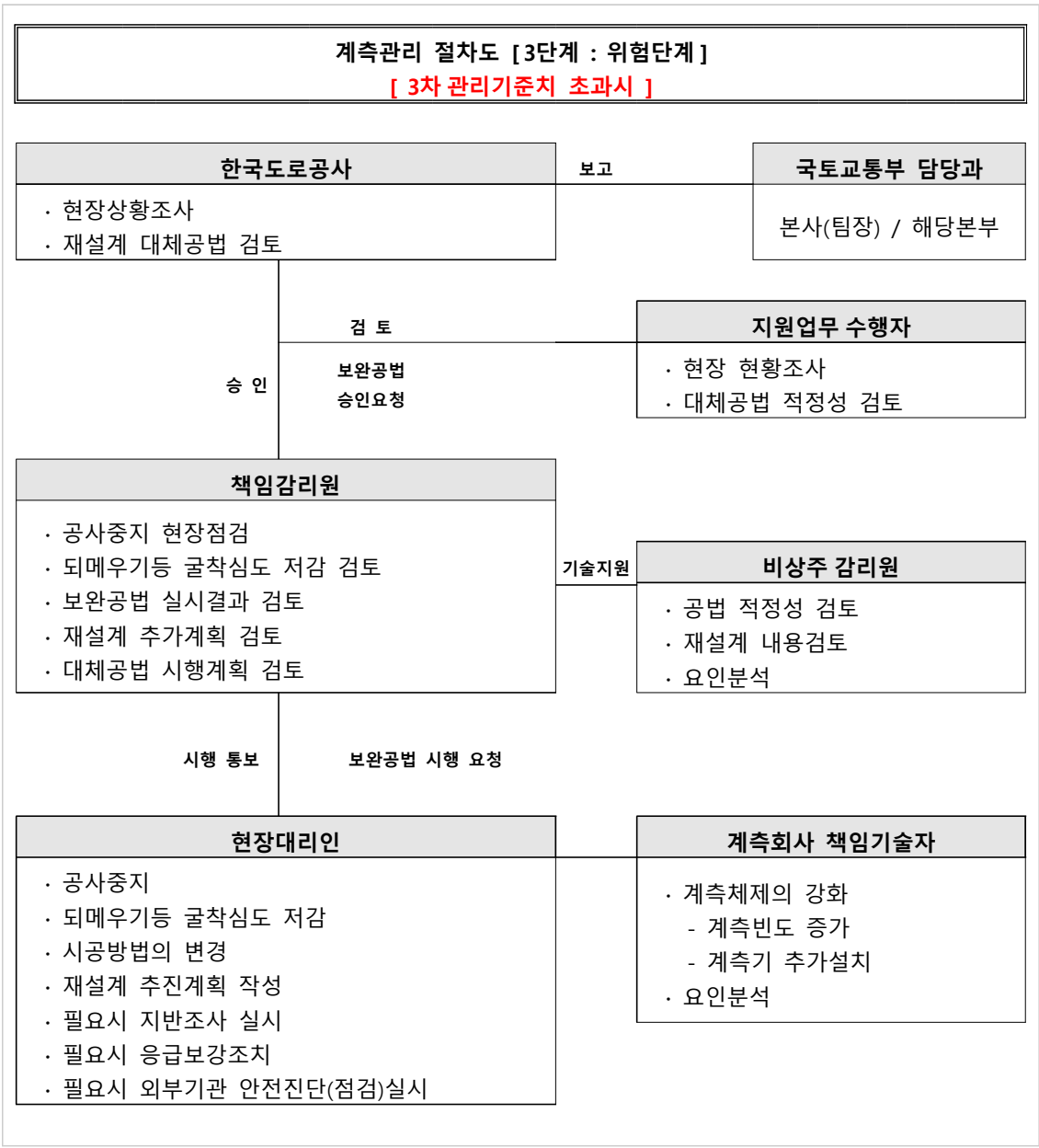
(3) 1차 관리기준치 초과시 계측관리 절차



(4) 2차 관리기준치 초과시 계측관리 절차



(5) 3차 관리기준치 초과시 계측관리 절차



주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.