20TBIP-C144416-03

실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비 개발 및 사업화 최종보고서

2020

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()

국토교통기술사업화지원사업 최종보고서

R&D / 20TBIP-C144416-03

실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비 개발 및 사업화 최종보고서

2020. 12. 31.

주관연구기관 / (주)성진이엔씨

공동연구기관 / 한양대학교

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비 개발 및 사업화’(연구개발 기간 : 2018. 04. 01. ~ 2020. 12. 31.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2020. 12. 31.

주관연구기관명 : ㈜성진이엔씨 (대표자) 김 선 홍 (인)

공동연구기관명 : 한양대학교 산학협력단 (대표자) 하 성 규 (인)

주관연구기관책임자: 김선홍 대표이사
공동연구기관책임자: 이승원 교수

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

요약문

연구의 목적 및 내용	❑ 본 연구에서는 독립적인 세팅능력과 기동성이 없는 기존의 선대구경 천공장비의 단점을 보완하고, 4차 산업기술을 융합시켜 스마트 건설시스템 구축을 통한 작업공정의 단순화, 공기단축, 생산성 향상 등을 통한 경제적 이익을 창출시키기 위해 "실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비 개발 및 사업화"를 최종 목표로 설정함. ❑ 고성능 선대구경 천공장비개발은 다음사항이 포함됨. ① 자체 기동, 적재 및 장비세팅과 천공장비 자체고정이 가능한 장비개발 ② 천공수 외부 유도 시스템 개발 ③ 전기유압식 파워팩을 사용한 무공해 천공장비 적용 ④ 현장 모니터링을 통한 실시간 지질변화 대응시스템 개발 ⑤ 머신러닝 기법을 이용한 선대구경 성능최적화 소프트웨어 개발 ⑥ 천공 경로 파악 및 천공 홀 내부 관측을 위한 전방 암반 계측 장비 개발 ⑦ 안드로이드 기반의 서버구축을 통한 실시간 정보 공유 시스템 개발 ❑ 사업화에서는 다음사항이 포함됨 ① Market, Technology, Application, Business를 고려한 "실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비" 비즈니스모델 개발 ② 발파진동 저감 공법 관련 시장조사 및 국내외 마케팅 전략 수립 ③ 제품개발 후 안정적인 매출확보를 위한 국내외 판로확보 계획 수립 ④ 보유특허의 기술가치평가를 통한 자금조달 전략 수립 ❑ 1단계 : 탑재기능별 목표성능 설정 및 비즈니스 모델 설정 • 고성능 선대구경 천공장비의 탑재성능별 사례조사 • 장비운행속도, 모니터링 시스템, 장비용량결정 등 탑재 기능별 목표사양 설정 • 머신러닝 툴 개발 및 천공 홀 계측 장비 시제품 고안 • 안드로이드 기반의 실시간 정보 공유 시스템 인터페이스 제작 • Market, Technology, Application, Business를 고려한 "실시간 현장계측 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비" 비즈니스모델 개발 ❑ 2단계 : 시제품 제작/ 성능평가를 통한 특허출원, 사업화 계획 수립 • 고성능 선대구경 천공장비 및 실시간 현장계측 모니터링 시스템 제작 • 머신러닝 기반의 선대구경 성능최적화 알고리즘 개발 • 천공 홀 내부 관측을 통한 전방 암반 계측 장비 및 안드로이드 기반의 서버구축을 통한 실시간 정보 전달/공유 시스템 개발 • 터널현장에서 성능검증 및 보완 • 관련특허출원(자체동력 시스템 및 크레인 장비, 유압식 고정 시스템 • 장비 장착・적재 시스템, 천공 홀 내부 계측 장비) • 발파진동 저감 공법 관련 시장조사 및 국내외 마케팅 전략 수립

❑ 3단계 : 2차 시제품 제작/설계 보완, 특허등록, 품질인증 및 기술가치 평가

- 1단계 시 제작된 시제품에 대한 성능평가를 토대로 2차 시제품 제작
- 1, 2단계 제작된 앱 및 서버 자료공유 구축
- 특허등록 및 품질인증
- 제품개발 후 안정적인 매출확보를 위한 국내,외 판로확보 계획 수립 및 보유 특허의 기술가치평가를 통한 자금조달 전략 수립

연구개발성과

❑ 선대구경 수평천공장비개발

- 자력이동 및 자체 크레인 시스템을 통한 공사비/공사기간 절감
- 천공장비 고정 장치 및 장비(롯드, 고압호스) 장착・적재 시스템 개발을 통한 공사비/공사기간 절감
- 전기유압식 파워팩을 사용한 천공 시스템 품질 개선
- 천공수 외부 유도 시스템 개발에 의한 품질개선
- 스마트 실시간 모니터링 시스템과 선대구경 성능최적화 소프트웨어를 이용한 천공효율 증대
- 천공 홀 계측 장비 개발을 통하여 굴착면 전방의 암종/암질을 사전에 파악하여 지반조건별 대응이 가능한 선대구경 천공시스템 개발
- 안드로이드 기반의 실시간 정보 전달/공유 시스템 개발을 통한 천공 효율 증대
- 현장계측으로부터 축척한 정량적인 천공 데이터베이스를 바탕으로 개발된 천공 최적화 알고리즘을 선대구경 장비에 장착·활용하여 굴착효율 최대화

❑ 기존기술과의 공사비/공기비교

공사비		공사기간	
기존기술	사업화 대상기술	기존기술	사업화 대상기술
18,550	8,400	10.6	4.8
감 10,150 천원 (▼ 55%)		감 5.8 시간 (▼ 55%)	

＊ 50m 천공 시

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)

❑ 활용계획

- 안드로이드 기반의 실시간 정보 전달 및 공유 시스템 개발을 통해 고객 요구사항을 파악/수용, 지속적인 유지보수, 국내외 컨설팅을 통한 현장 중심의 기술개발 실현 가능
- 국토교통기술 사업화 지원 사업을 통해 확보된 기술을 바탕으로 터널발파현장 의 점유율 증대 및 신규수요 창출
- 머신러닝 기반의 선대구경 전용 소프트웨어 개발을 통한 선대구경 장비의 성능 최적화와 실시간 모니터링 시스템 탑재로 스마트 선대구경 장비의 해외 사업화
- 천공 홀 내부 관측 장비를 통한 전방 암반의 지질변화 등의 핵심 데이터 제공
- 진동저감 굴착 시장 환경에 적합한 국내,외 기술/제품 마케팅 활용 및 보유특허의 기술가치평가를 통한 사업화 자금 확보

<table>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td colspan="5">❑ 기대효과
• 단순한 천공장비에 대하여 자동화/공정단순화/IT 기술 접목 등을 통한 스마트 선대구경장비 개발로 현장 적용성 증대, 터널시공 현장의 본 공정 단축에 기여, 환경측면에서 갱내공기오염 방지, 작업자 건강 및 안전 증대가 기대됨
• 또한, IT융합기술과의 접목으로 축적된 빅데이터를 활용하여 선대구경 굴착의 최적화, 굴착면 전방의 터널지반조건 사전분석 및 대처방안 마련 등 기초연구 활용을 위한 기반구축이 가능할 것으로 기대됨</td></tr>
<tr><td>국문핵심어
(5개 이내)</td><td>선대구경
수평천공공법</td><td>실시간
모니터닝</td><td>빅데이터</td><td>유압식파워팩</td><td>해외수출시장
개척</td></tr>
<tr><td>영문핵심어
(5개 이내)</td><td>Pre-Large Hole
Boring Method</td><td>Real-time
Monitoring</td><td>Big Data
Analysis</td><td>Hydraulic
Power Package</td><td>Launching to
Foreign Market</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 11

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 36

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 38

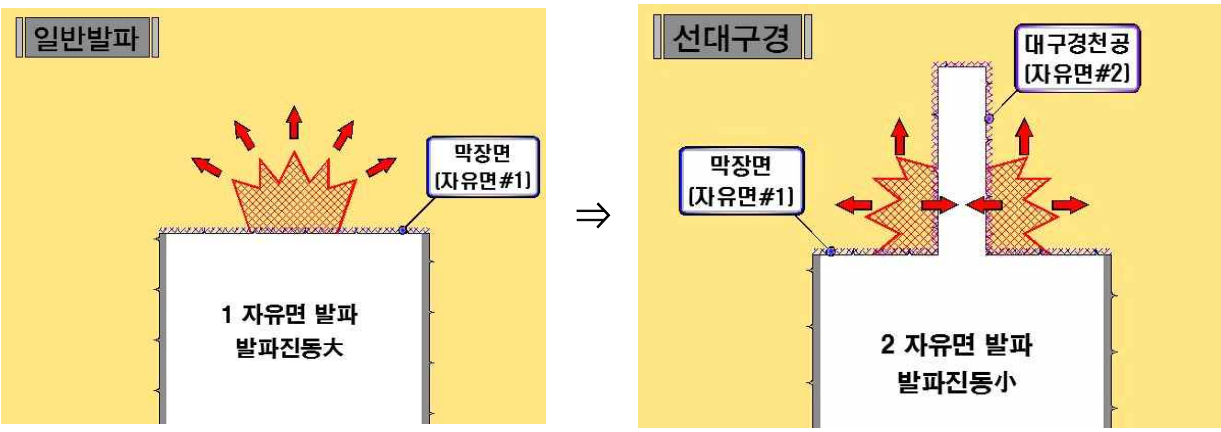
5. 보고서 요약서 ····· 42

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 사업화 추진 배경

- 터널 등 지하공간 굴착은 일반적으로 발파공법(Drill &Blast)이 사용되고 있으나, 발파 시 발생되는 진동/소음으로 인한 문제가 발생되며, 최근 환경문제에 대한 관심이 높아져 발파 시 발생하는 진동 및 소음 공해에 대한 규제가 심해지고 있는 추세임. 이에 저비용, 고효율의 진동/소음제어 공법으로 선대구경 수평천공공법의 적용성이 증대되고 있음.
- 선대구경 천공 공법은 유압으로 작동하는 함마비트를 이용한 수평천공으로 터널 발파 굴착 시 굴진 효율을 극대화하고 소음/진동을 최소화하는 수평천공 굴착장치 및 터널 굴착 공법이며, 이는 1자유면인 터널 막장면에 약 210mm ~ 382mm 직경의 대구경을 천공하여 2자유면을 만들어 줌으로써, 자유면이 증가됨에 따라 발파 시 진동/소음이 저감되는 공법임.
- 선행 연구 및 현장 적용결과에 따르면 선대구경 1공 적용 시 기존의 심발 공법인 V-cut 적용에 비해 약 26~30%의 발파진동 제어 효과가 있는 것으로 보고되고 있으며, 민가, 축사 등의 보안물건이 근접하여 유압력을 이용한 무진동굴착(URS, SW, GNR 등)시 암석의 파쇄굴착을 용이하게 하기 위한 자유면 확보 시에도 선대구경을 활용하고 있음.



<선대구경 수평천공 공법 개념도>

a. 선대구경 수평천공 장비　　b. 막장면 대구경 천공　　c. 암파쇄 굴착 시 선대구경 자유면

<선대구경 수평천공 공법>

- 선대구경 천공작업은 터널 본 공정에 지장을 주지 않기 위하여 주로 작업이 중지된 심야시간에 천공작업이 진행되기 때문에 10시간 이내에 작업을 완수하여야 되며, 이에 선대구경 천공작업은 작업시간의 단축이 무엇보다 중요함.
  그러나, 기존 선대구경 수평천공장비는 막장면까지 장비운반, setting, 장비고정, 천공 등 주요작업시 카고트럭, 백호 등 별도건설장비가 추가적으로 필요함에 따라 공사비가 증대하며, 장비setting, 고정 등을 수동으로 수행함에 따라 작업시간이 증대됨.

<기존 선대구경 천공장비 설치 과정>

- ㈜성진이엔씨는 기존 본체프레임의 하측 부위에 탈부착이 가능한 바퀴를 장착하여 막장면까지 바퀴를 이용해 이동한 후, 해당 위치에서 바퀴를 제거한 후 다수의 유압동작수단을 동작시켜 본체프레임을 상하 이동시켜 원하는 심발부 위치에 굴착로드수단을 위치시킬 수 있도록 할 수 있어 자유롭게 천공 높이의 조절이 가능하도록 하여 자유면을 최대한 낮게 형성함으로써 소음 및 진동을 최소화시킬 수 있게 됨.
- 또한, 기존의 화석연료를 사용하는 엔진에 의한 유압 공급 방식이 아닌 전기를 사용하는 파워팩에 의한 유압 공급 시스템을 제공함으로써, 전체 중량을 경량화시킬 수 있으며, 굴착 작업장의 대기오염을 최소화시켜 작업장 내 환경을 개선함.
- 상기 보유 특허기술을 적용하여 2018년 이전부터 사업을 수행 중이며, 사업수행 중 다양한 터널굴착현장에서 현장 Needs 파악 및 개선을 통하여 국내시장의 점유율이 높아지고 있고 해당분야 매출도 매년 증가하였음.
- 2018년 이후, 본 과업을 통하여 ①자체동력 및 크레인 시스템 ② 유압식 고정장치, ③ 자체동력 적재 시스템, ④ 실시간 모니터링 시스템 및 빅데이터를 활용한 천공시스템을 개발하였음.

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-1587276 호

출원번호 제 10-2015-0100864 호
출원일 2015년 07월 16일
등록일 2016년 01월 14일

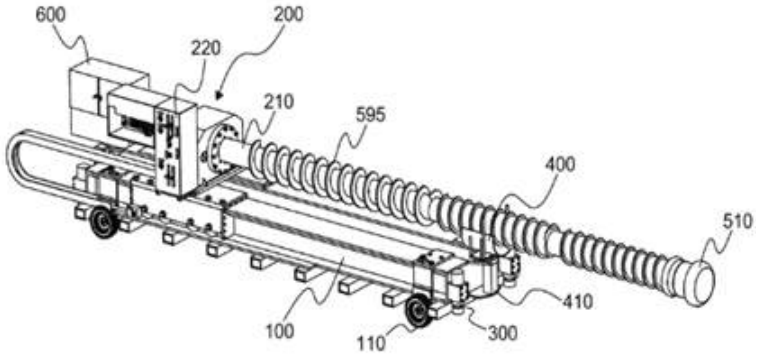
발명의 명칭 선대구경 천공 굴착장치 및 이를 이용한 터널 굴착 공법

특허권자 (주)성진이엔씨(284831-0*****)
경기도 파주시 재두루미길 364, 1층 (산촌동)

발명자 등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2016년 01월 14일
특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
최 동 규



<㈜성진이엔씨 기존보유기술- 선대구경 천공 굴착장치 및 이를 이용한 터널 굴착 공법, [특허 제10-1587276호]>

a. 기존 선대구경 천공장비

b. ㈜성진이엔씨 보유 개량형 선대구경 천공장비

<기존 선대구경 천공장비와 개량형 선대구경 천공장비 비교>

<table>
<tr><th>구분</th><th>내 용</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>기술적
배경</td><td>· 발파진동 저감 공법에 대한 기존 기술의 가장 큰 단점인 작업시간 동안 본 공정(굴착, 지보재 설치 등)이 중지되어 공기가 증대되는 것을 최소화함으로서 신규 수요를 창출하며,
· 해외의 경우, 터널, 광산, 지하철 등 개발이 필요한 지역이 많아 터널 및 지하공간 굴착의 수요가 많고 선진화된 진동 저감 공법이 필요하며, 선대구경 공법은 해외에는 없는 독창적인 국내기술로서, 스마트 모니터링 하드웨어, 선대구경 최적화 프로그램 등을 통한 선대구경 효율 극대화 기술개발 시 해외시장 진출이 가능함.</td><td></td></tr>
<tr><td>경제적
배경</td><td>· 발파진동 저감 공법 적용시장의 확대추세에 맞춰 사업화 대상기술 적용 시 공사비 및 공기를 약 55% 절감할 수 있어 경제성 확보 가능.
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구분</th><th colspan="2">공사비(천원)</th><th colspan="2">공사기간(시간)</th></tr>
<tr><th>기존기술</th><th>사업화 대상기술</th><th>기존기술</th><th>사업화 대상기술</th></tr>
<tr><td rowspan="5">공정</td><td>장비 상하차</td><td>3,500</td><td>875</td><td>2.0</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>작업장 이동</td><td>1,750</td><td>875</td><td>1.0</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>천공장비 조립, 설치, 고정</td><td>7,000</td><td>3,500</td><td>4.0</td><td>2.0</td></tr>
<tr><td>천공 중 롯드 연장 작업 및 비트교체</td><td>2,800</td><td>1,400</td><td>1.6</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>작업완료 후 장비 해체 및 이동</td><td>3,500</td><td>1,750</td><td>2.0</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계</td><td>18,550</td><td>8,400</td><td>10.6</td><td>4.8</td></tr>
<tr><td colspan="2">평가</td><td colspan="2">감 10,150천원(▼55%)</td><td colspan="2">감 5.8 시간(▼55%)</td></tr>
</table>
※ 터널길이 1.0km, 50m 천공기준</td><td></td></tr>
<tr><td>정책적
배경</td><td>· 전 세계적으로 도시화가 가속화되면서 도심지뿐만 아니라 모든 지역에서의 지하공간 건설을 위한 발파공사의 수요가 지속적으로 증가함에 따라서 환경문제에 관한 사회적 요구가 높아지고 있으며, 정책적으로 발파공사시 진동에 대한 규제가 엄격해짐에 따라서 발파진동을 저감시키는 기술의 적용이 불가피함.</td><td>건설생활 진동 규제 기준(환경부) 및 구조물 손상기준 (국토교통부)</td></tr>
</table>

나. 사업화 대상기술 요약

구분	기존 보유기술 또는 이전받은 기술	사업화 기술
▪ 과제명		실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비 개발
▪ 사업화 기술 및 분야	■ 자체보유 □ (이전 받은 기관명)에서 기술이전	□ 공공기술 중소기업 이전 및 사업화 ■ 중소기업 보유기술 및 아이디어 사업화 □ 국토교통 안전기술 사업화 □ 서비스 R&D 융합기술 사업화
▪ 사업화 대상이 되는 기술의 지식재산권 * 특허, 실용신안 등 유형별 기재	(특허번호)	제10-1587276호
	(특허명)	선대구경 천공 굴착장치 및 이를 이용한 터널 굴착 공법
	(권리자)	(주) 성진이엔씨
	(특허번호)	제10-2029202호
	(특허명)	자력이동이 가능한 선대구경 천공장비
	(권리자)	(주) 성진이엔씨
	(특허번호)	제10-2012359호
	(특허명)	자력이동이 가능한 롯드카
	(권리자)	(주) 성진이엔씨
	(디자인번호)	제30-1019922호
	(디자인명)	유압식 고정장치
	(권리자)	(주) 성진이엔씨
	(특허번호)	10-2019-0132920
	(특허명)	천공 데이터 분석 시스템 및 그의 분석 방법
	(권리자)	한양대학교 산학협력단/성진이엔씨
	(특허번호)	10-2019-0132921 (등록 심사중)
	(특허명)	천공 경로 탐색 장치 및 이를 이용한 천공 경로 탐색 방법
	(권리자)	한양대학교 산학협력단/성진이엔씨
▪ 기존 사업화 과제 신청 전 보유 (이전)한 기술과 비교하여 성능 개선 등 차별화 내용		· 자력이동 및 자체 크레인 시스템을 통한 공사비/공사기간 절감 · 천공장비 고정 장치 및 장비(롯드, 고압호스) 장착·적재 시스템 개발을 통한 공사비/공사기간 절감 · 유압식 파워팩을 사용한 천공 시스템 품질 개선 및 작업환경 개선 · 천공수 외부 유도 시스템 개발에 의한 소모성 자재 절감 · 천공 홀 계측 장비 개발을 통한 굴착면 전방의 암반특성 파악 및 지반조건별 대응 가능한 시스템 개발 · 안드로이드 기반의 정보전달/공유 시스템을 통한 체계적인 데이터베이스 구축과 실시간 정보 공유를 통한 시공성 향상

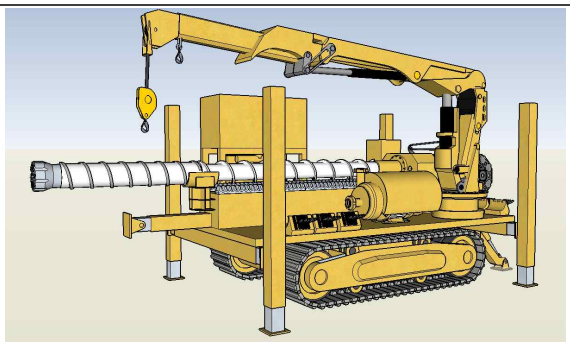
(1) 사업화 대상 기술의 개념도

① 기존 기술

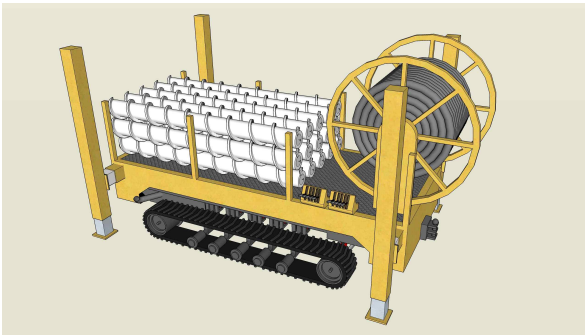
<기존 선대구경 천공장비>

<개량형 선대구경 천공장비>

② 사업화 대상기술



<고성능 선대구경 천공장비>



<장비적재 시스템>

<고성능 선대구경 천공장비>

<유압식 반력저감장치>

<장비적재 시스템>

<천공데이터 모니터링 시스템>

(2) 국내외 유사기술과 수준 비교

구분	고성능 선대구경 장비	기 존 선대구경수평보링	전자발파	무진동 할암
품질	▪ 천공수를 함마와 롯드의 외부로 우회시키는 장치 개발로 롯드 등의 소모성 장비의 내구성 증대	▪ 함마 드릴과 실린더에 천공수의 직접적인 마찰로 장비를 연마시켜 내구성 감소 및 교체 주기 증대	▪ 막장면 천공간격 축소 및 장약량 감소에 의한 발파시차 세분화로 굴착 효율 감소	▪ 막장암반에 천공 후 장비유압에 의한 암반 할암 굴착으로 경암에서 굴착효율 저하
공사비	▪ 640 만원 (8 만원/㎥)	▪ 800 만원 (10 만원/㎥)	▪ 1,600 만원 (20 만원/㎥)	▪ 2,000 만원 (25 만원/㎥)
공기	▪ 14.8 시간	▪ 20.6 시간	▪ 50시간	▪ 170.6시간
현장 적용성	▪ 장비 자체의 상·하차 및 이동 능력으로 인해 현장 적용성 향상 ▪ 전기를 사용하여 막장 내 공기오염이 없어 작업환경 및 작업 능률 향상	▪ 별도 장비를(크레인, 백호 등) 사용하여 상·하차 및 이동으로 시공성 저하 ▪ 가솔린 엔진을 사용하여 천공작업 시 매연 배출로 환경성 저하	▪ 막장면 천공간격 축소에 의한 천공 시간 증대 및 장약 설치개소 증대로 시공성 저하 ▪ 발파시차가 1/1000초 다수 분포로 발파 시 정밀도 요구	▪ 무진동 공법 적용 시 막장면 암질에 따라 시공성 편차가 큼 ▪ 무진동 공법 적용 시에도 심발은 선대구경 공법이 적용됨

(3) 사업화 대상 기술의 우수성에 대한 상세 설명 및 근거

구분	실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비
품질	▪ 기존기술은 대구경 천공 시 강한 반력에 대응을 위한 고정 작업에 많은 부속 장비와 장비고정을 위한 용접, 산소절단 등 공정복잡, 작업효율 저하 및 천공품질 저하가 발생됨. 또한, 설계의 오류나 천공작업 중 예기치 못한 변수로 인해 재설치가 필요할 경우 현장운영과 후속공정에 큰 영향을 미침. ▪ 사업화대상기술은 유압식 자동 반력시스템 개발로 천공품질향상 가능 및 장비 설치/재설치 시 장비자동화를 통한 정밀한 setting 가능 및 품질확보 가능 ▪ 선대구경 장비에 구축된 실시간 천공 데이터 모니터링 시스템을 통해 천공 상황별 즉각 대응을 통해 장비의 망실을 최소화하고, 각 상황별 천공 가이드라인을 수립하여 천공 효율과 품질을 향상시킴 ▪ 천공 홀 내부 계측장비와 모니터링 시스템의 연계분석을 통해 향후 터널 굴착 시 막장 전방 지질상황을 사전에 제공하는 추가 서비스를 통하여 사업성을 극대화함 ▪ 머신러닝 기반의 선대구경 성능최적화 소프트웨어 개발을 통해 현장 상황별 합리적인 초기 세팅 조건을 제시해 전문가의 부재 시에도 천공 품질을 유지할 수 있음 ▪ 앱 기반 정보 공유 시스템을 통해 체계적으로 관리된 이전 시공 이력 및 특이사항 등을 열람하여 천공 품질을 유지 및 향상시킬 수 있음

공사비	▪ 기존기술(기존장비)은 자체 기동력이 없어 별도 장비(크레인, 백호 등)를 사용해야만 장비의 상·하차 및 이동이 가능했지만, 본 사업화대상기술은 자체 동력의 무한궤도(바퀴)와 선대구경 천공장비를 융합해 상·하차 및 작업장까지 자력 이동으로 공사비절감 가능 ▪ 천공장비 조립과 해체 시, 3명의 작업자와 대형 장비가 필요하고, 천공 중 롯드 교체를 위한 별도장비가 필요했으나, 크레인 융합형 장비 개발로 타 장비 도움 없이 모든 공정의 자체수행이 가능하고, 그로 인해 필요 인력이 2명으로 줄어들며, 조립 및 해체 시공 시 각각 4시간 소요되는 기존 공정에 비해 각각 2시간으로 50% 절감 가능 및 인력절감으로 공사비 절감 ▪ 별도장비 임대료 및 인건비를 절감하고, 전체 공정률 향상을 통해 생산성을 극대화시켜 공사비 절감이 가능함 ▪ 선대구경 공법의 특성상 발파 굴진을 통해 천공 결과를 점차적으로 확인 가능하기 때문에 큰 천공 오차가 발생해 추가 천공이 필요할 경우 장비와 인력의 재투입으로 인해 공사비 손실이 매우 컸으나, 천공 홀 내부 계측 장비를 이용해 선대구경 시공 직후 천공 경로를 파악하여 시공 결과를 즉각 확인할 수 있어 장비 재투입으로 인한 손실을 줄일 수 있음
공기	▪ 선대구경 수평천공장비는 현장까지 카고 트럭으로 이동되며, 현장에서 천공장비 하차, 막장면까지 이동, 분리된 파트 조립, 해머 및 로드설치, 천공작업의 순서로 공정이 진행됨 ▪ 기존장비는 장비상하차, 이동, 조립 등 장비 Setting 시 크레인 등 별도장비 필요 및 막장면 예상위치에 설치 시 장비수평조정, 장비고정을 위한 용접, 산소절단 등 공정복잡으로 불필요한 소요시간이 필요하며, 암질 등 지반조건 변경 시 작업자 경험에 따른 대체로 굴진효율 저하 등 발생 ▪ 특히, 발파진동 저감 공법 시공 시 터널 본 공정에 지장을 주지 않기 위하여 주로 작업이 중지된 심야시간에 천공작업이 진행되기 때문에 가급적 10시간 이내에 작업을 완수하여야 되므로 작업시간의 단축이 무엇보다 중요하며, 기존기술은 본 공정에 영향을 미치고 있음 ▪ 즉, 기존의 발파진동·소음 저감 공법의 가장 큰 단점인 작업시간 동안 터널 본 공정(굴착, 지보재 설치 등) 중지로 인한 터널공기증대와 공정복잡에 대하여, 본 사업화 대상기술은 작업공정 자동화/단순화에 따른 작업시간의 단축이 가능
현장 적용성	▪ 사업화 대상기술의 경우 외부운반 차량이 터널내로 바로 진입하여 중장비의 도움 없이 자력으로 하차작업이 이루어져 안전하고 공기 절감 가능 ▪ 천공장비 자체고정이 가능하여 반력에 대한 장비를 고정하는데 소용되는 불필요한 공정 생략 ▪ 롯드 및 고압호스 롤 등 천공 시 필요한 부속장비 적재시스템을 이용하여 타 장비 도움 없이 운반이 가능 ▪ 유압식 고압호스 수거장치 적용으로 호스 설치 및 완료시 고압호스 수거에 소요되는 작업시간 감소 ▪ 전기를 사용하여 막장내 공기오염이 없어 작업환경 및 작업능률 향상 ▪ 앱 기반의 정보 공유 시스템을 통해 사무실-현장 간 커뮤니케이션 효율을 향상시킴

다. 사업화 최종 목표

▪ 기존의 선대구경 천공장비의 단점을 보완하고, 4차 산업기술을 융합시켜 스마트 건설 시스템 구축을 통한 작업공정의 단순화, 공기단축, 생산성 향상 등을 통한 경제적 이익을 창출시키기 위해 "실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비 개발"을 통해 신규수요 창출과 해외진출을 최종 사업화 목표로 설정함.

라. 연도별 사업화 목표 및 결과

구분(연도)	사업화 목표	사업화 전략 및 방법	성과물
1차 연도 (2018년)	▪ 비즈니스 모델 개발	▪ 산업통상자원부 지정 사업화 전문회사와 함께 비즈니스 모델 개발 ▪ 개발항목 : Market, Technology, Application, Business	▪ BM 보고서 1부
2차 연도 (2019년)	▪ 마케팅 전략 수립	▪ 산업통상자원부 지정 사업화 전문회사와 함께 마케팅 전략 및 기술이전 전략 수립 ▪ 국내·외 (잠재)수요자 탐색 및 유사사례 벤치마킹 ▪ 국내·외 시장동향 분석, 기술 우위성 분석, 타겟 시장 및 응용제품 분석, 성장전략 수립	▪ 마케팅 전략 수립 보고서 1부
3차 연도 (2020)	▪ 판로확보 계획 수립	▪ 한국도로공사 기술마켓 등록 ▪ 국내외 유관기관 구매의향서 확보	▪ 기술마켓 등록 ▪ 구매의향서
	▪ 자금조달 전략 수립	▪ 산업통상자원부 지정의 전문 기술평가기관에 의뢰하여 기술가치평가 시행 (기술성/권리성/시장성/사업성)	▪ 기술가치평가 보고서 1부

(1) 제안 당시 기술 수준 및 현재의 기술개발 성숙도

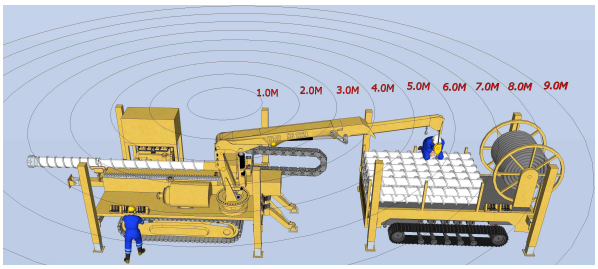
구분		1차 년도	2차 년도	3차 년도	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	해당 없음	해당 없음	해당 없음	【기초실험】 기본원리발견
	TRL 2				【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립
실험 단계	TRL 3				【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증
	TRL 4				【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발
시작품 단계	TRL 5				【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증
	TRL 6	■	□	□	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발
실용화 단계	TRL 7	□	■	□	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모
	TRL 8	□	□	■	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증
양산 단계	TRL 9	□	□	□	【사업화】 상용제품생산

2. 연구수행내용 및 성과

가. 차년도별 연구개발 내용 및 결과

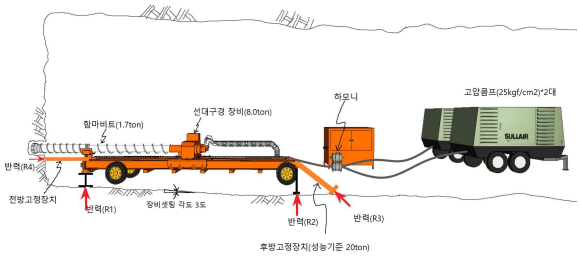
(1) 1차년도 (2018)

<table>
<tr><th>구분
(연도)</th><th>세부 과제명</th><th>연구개발 수행 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1차
연도
(2018)</td><td rowspan="2">고성능
선대구경
천공장비
개발
(성진이엔씨)</td><td>자체 동력 시스템 및
크레인 개발</td><td>- 성능목표 설정을 위한 사례조사 및 분석
- 현장 내 장비이동시 요구되는 속도분석 및 장비 Setting시 요구되는 크레인 용량 분석
- 기존건설장비 사례조사 (운반시스템, 운행속도 조사, 크레인 용량 등)
- 건설품셈조사 및 분석
- 터널 내 싸이클 타임 분석

· 성능목표 설정
<table>
<tr><th>구분</th><th>성능 목표</th></tr>
<tr><td>운행속도
(자체동력 시스템)</td><td>5km/h</td></tr>
<tr><td>크레인 용량</td><td>5 ton</td></tr>
</table>


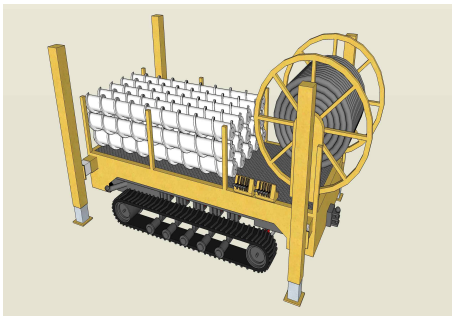
<장비 개념도></td></tr>
<tr><td>유압식 고정 장치 개발</td><td>- 성능목표 설정을 위한 사례조사 및 분석
- 선대구경장비에 요구되는 반력 산정
- 기존건설장비 사례조사
(지지방식, 고정장치 크기 등)

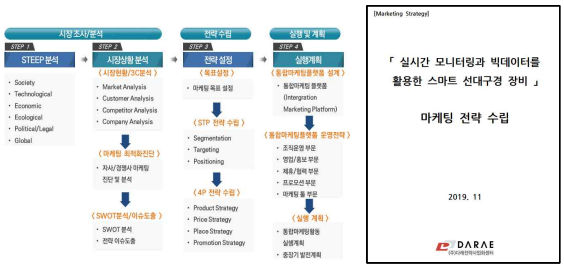
- 성능목표 설정
<table>
<tr><th>구분</th><th>성능 목표</th></tr>
<tr><td>요구되는 반력크기</td><td>24ton</td></tr>
<tr><td>반력지지형식</td><td>후면 및 연직지지형식</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

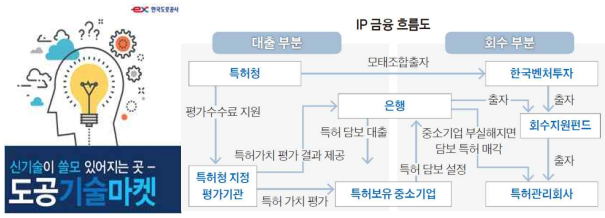
<table>
<tr><th>구분
(연도)</th><th>세부 과제명</th><th>연구개발 수행 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>- 시작품 제작 및 현장검증을 통한 개선사항 도출
 

<시작품 현장적용 개념도>

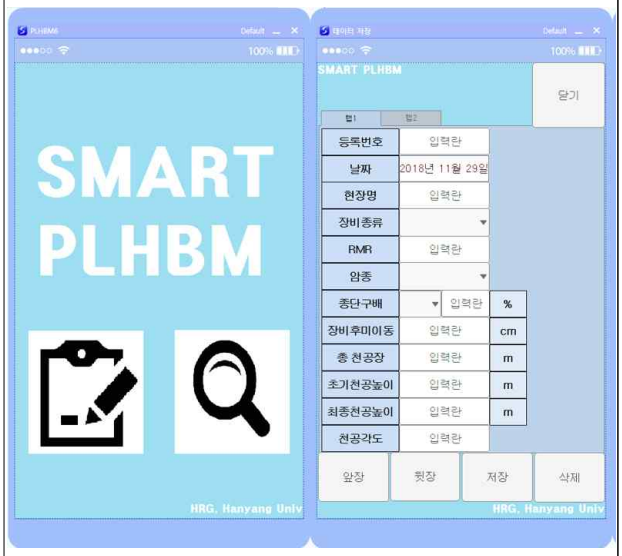
(a) 현장설치과정
(b) 현장 설치후
<장비 사진></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>장비 장착 및 적재 시스템 설계 및 개발</td><td>- 성능목표 설정을 위한 사례조사 및 분석
- 선대구경장비에 요구되는 적재 크기 설정
- 기존건설장비 사례조사
(적재 공간, 형식 등)

- 성능목표 설정
<table><tr><th>구분</th><th>성능 목표</th></tr><tr><td>롯드 적재 공간</td><td>부피 8㎥</td></tr><tr><td>고압호스 (릴형식)</td><td>폭 1.5m, 높이 1.5m (릴내경 0.6m)</td></tr><tr><td colspan="2">※ 터널갱구에서 작업장까지 약 500m 적용</td></tr></table> 
<적재시스템 개념도></td></tr>
</table>

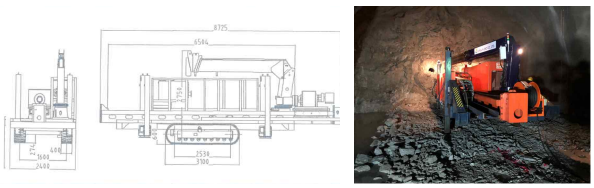
<table>
<tr><th>구분
(연도)</th><th>세부 과제명</th><th>연구개발 수행 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="4"></td><td rowspan="3">사업화
(성진이엔씨)</td><td>비즈니스 모델 수립</td><td>- 국내외 시장분석 및 기술분석을 통한 비즈니스 모델 수립</td></tr>
<tr><td>마케팅 전략수립</td><td>- 거시환경, 시장 상황 분석, 경쟁사 분석을 통해 기술에 대한 마케팅 전략 수립
- 마케팅 전략 수립 보고서 작성
 

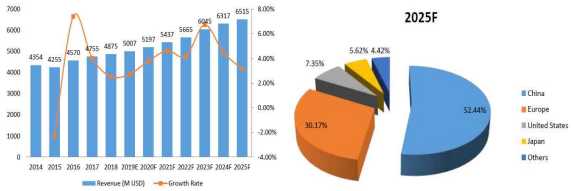
<마케팅 전략수립 보고서></td></tr>
<tr><td>판로 확보 및 자금조달 전략 수립</td><td>- 기술 마켓을 통한 판로 확보방향 제시
- 국내외 전시회 및 학회를 통한 기술 홍보 계획 수립
- 보유특허의 기술가치평가 및 IP금융을 통한 자금 조달 전략 수립
 
</td></tr>
<tr><td>천공데이터 모니터링 시스템 및 계측 장비
(한양대학교)</td><td>천공데이터 모니터링 시스템 및 계측 장비 개발</td><td>- 실시간 모니터링 시스템 설계를 위한 핵심 인자분석 및 선정
- 선대구경 천공 시 시공 오류를 초래할 수 있는 인자 선정(주요인자 분석)
- 기존 스마트 모니터링 시스템 적용 사례조사

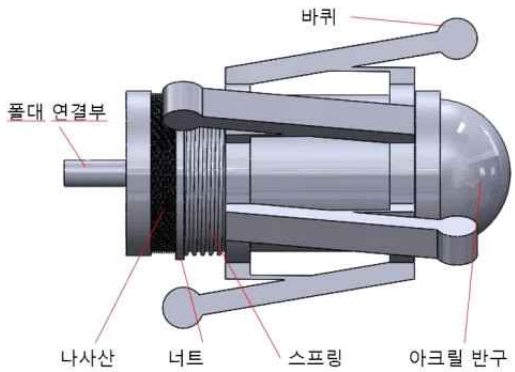
- 성능목표 설정
<table><tr><th>구분</th><th>성능 목표</th></tr><tr><td>모니터링 항목</td><td>타격압, 회전압, 피드압</td></tr></table></td></tr>
</table>

구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
		선대구경 성능최적화 소프트웨어	- 선대구경 최적화 딥 러닝 알고리즘 선정 - 적용 알고리즘 선정을 위한 딥 러닝 사례조사 - 선대구경 초기세팅 관련 딥 러닝 Data Set 인자 연구/선정 - 안드로이드 기반 정보 공유 시스템 개발  <개발된 소프트웨어>

(2) 2차년도 (2019)

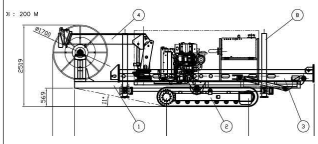
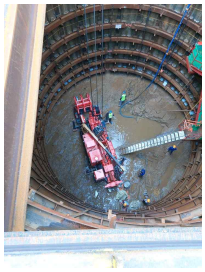
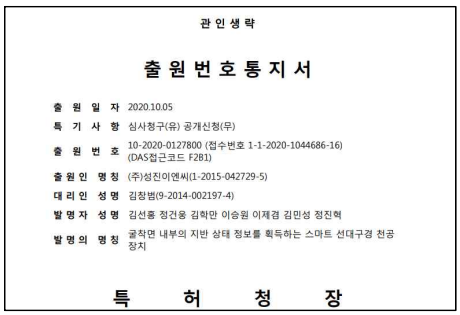
구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2019)	고성능 선대구경 천공장비 개발 (성진이엔씨)	자체 동력 및 크레인 적재 시스템 천공 장비 개발	- 자체 기동, 적재 및 장비세팅과 천공장비 자체고정이 가능한 장비개발 완료 - 고성능 선대구경 천공장비 개발 시제품 제작 완료 - 현장 적용을 통한 시제품 성능평가 (서울 제물포 터널 2019. 8. 24) - 특허 등록완료(제10-2029202호)  <개발 장비>
		유압식 고정 장치 개발	- 1차년도 개발한 시제품을 선대구경 천공장비에 장착하여 고정 장치 현장 검증 완료 (서울 제물포 터널 외 다수 현장 적용) - 아웃트리거 및 후면 유압식 고정 장치를 통해 천공 시 반력지지 확인 - 디자인 등록 완료(제330-1019922호) <개발 장비>
		자체동력 자재 적재 시스템 설계 및 개발	- 목표 성능인 적재 공간 8m^3 확보를 통해 천공 시 롯드, 함마, 고압호스 등을 적재가능한 시제품 제작 - 현장 이동시 자체동력을 이용하여 이동성 확보 - 특허 등록완료(제10-2012359호) <개발 장비>

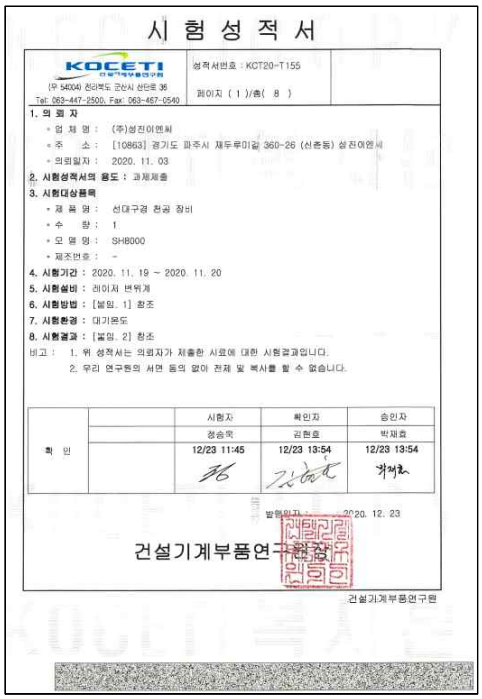
구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
		실시간 모니터링 시스템 구축	- 천공 시 타격압, 피드압, 회전압을 실시간으로 모니터링이 가능한 시스템 개발 - 타격압, 피드압, 회전압 모니터링 확인 <모니터링 시스템>
	사업화 (성진이엔씨)	마케팅 전략 수립	- 마케팅 전략에 따른 기술홍보 및 기술마켓 추진 - 국내외 유사기술 업체 현황 및 터널 시장 상세 분석 - 국내외 경쟁사 분석 - 한국도로공사 기술마켓 심의 신청 완료 - 경기도청 기술마켓 등록 완료  - 스마트 건설기술 안전 EXPO 홍보부스 운영 (2019.11.27.~29, 킨텍스) 및 기술 홍보 <기술홍보>

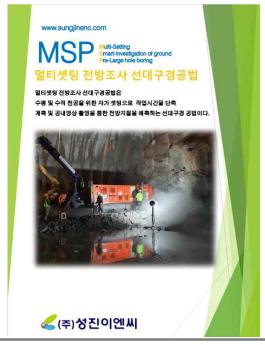
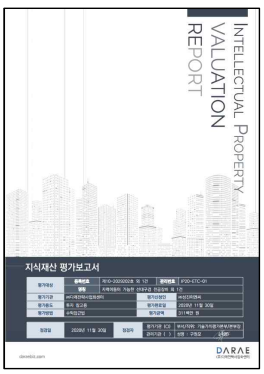
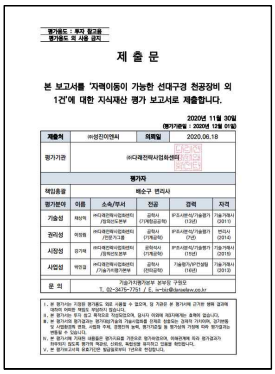
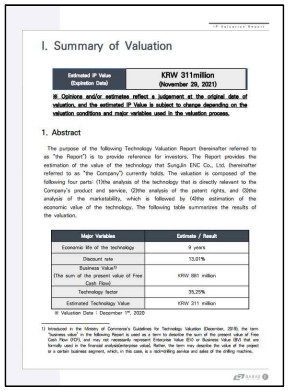
구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2019)	천공데이터 모니터링 시스템 및 계측 장비 (한양대학교)	선대구경 천공 데이터 모니터링을 위한 커플러형 센서 모듈 개발	- 암반과 장비 간 직접적으로 작용하는 토크와 타격 진동을 측정하는 커플러형 센서 모듈 설계 및 개발 <커플러형 센서 모듈>
		천공 경로 계측 장비 개발	- 차량 형태의 1차 테스트 시제품 제작 및 현장 적용을 통한 경로계측 및 영상 촬영의 가능성 파악 - 1차 시제품의 개선사항을 반영한 수동형 천공 홀 내부 계측 장비(2차 시제품) 고안 및 제작 중 <차량형 1차 시제품 개발>  <2차 시제품 구상도>

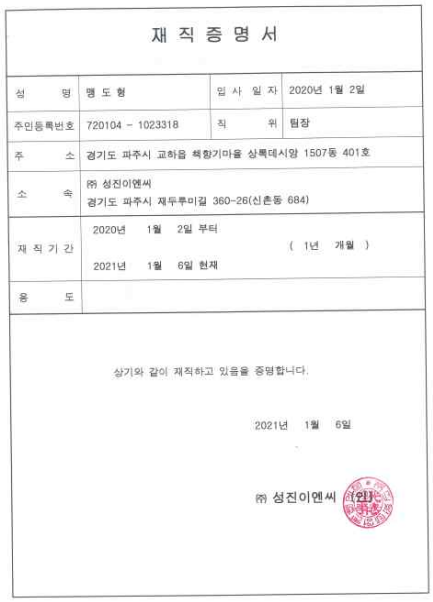
구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
	선대구경 성능최적화 소프트웨어 (한양대학교)	머신러닝 프로그램 개발	- 선대구경 수평 천공 머신러닝 소프트웨어 개발 - 저작권 등록 완료(PLHBM ANN, 2019-028593-2) <머신러닝 소프트웨어>
		앱 기반 정보 공유 시스템 개발	- 데이터베이스 1차 설계, 서버 연동 가능한 앱 UI 및 기능 개발 <앱 기반 정보 공유 시스템 UI 개발>

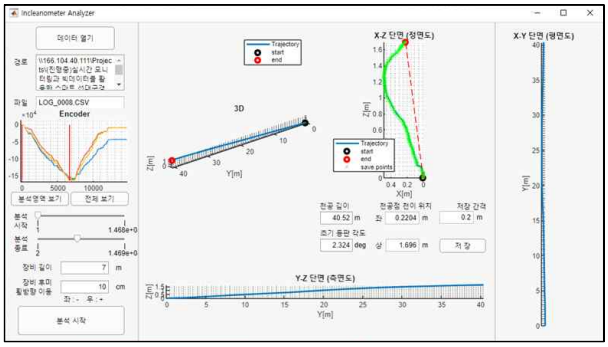
(3) 3차년도 (2020)

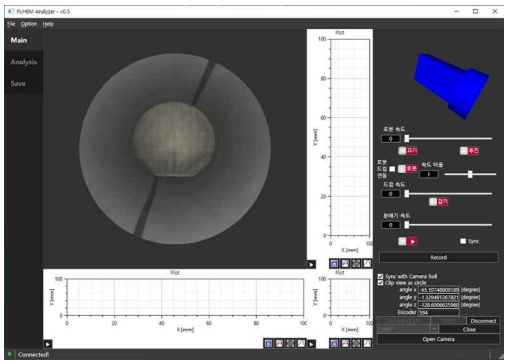
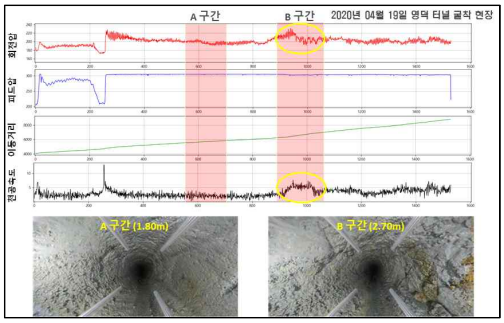
구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2020)	고성능 선대구경 천공장비 개발 (성진이엔씨)	시제품 제작	- 기존 장비 대비 15% 장비 프레임 경량화 도면 설계 및 시제품 제작 - 천공 속도를 조절하기 위해 가변펌프 적용 (1000RPM, 100CC) - 시제품 길이 축소(7.78m)를 통한 천공작업성, 이동성, 운반 능력 향상 - 천공속도 및 타격압 자동제어를 위한 자동화 컨트롤 패널 적용 - 기존 장비는 수평방향으로만 천공이 가능하였으나 3차년도 장비는 수직 및 수평 방향 천공이 가능함. - 수직 천공에 따른 현장 적용성 검증 수행(삼성 ~ 동탄 3공구 중 수직구 천공(2020.08.), GTX A 3-1공구 중 수직구 천공(2020.10.) - 3차년도 개발 장비 및 기술을 바탕으로 특허 출원 완료(2020.10)  <장비 설계도면 및 3차년도 시제품>  <삼성동탄 3공구, GTX A 3-1공구 수직구 천공>  관인생략 출원번호통지서 출원일자 2020.10.05 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 출원번호 10-2020-0127800 (접수번호 1-1-2020-1044686-16) (DAS접근코드 F2B1) 출원인 명칭 (주)성진이엔씨(1-2015-042729-5) 대리인 성명 김창범(9-2014-002197-4) 발명자 성명 김선홍 정건웅 김학만 이승원 이재겸 김민성 정진혁 발명의 명칭 굴착면 내부의 지반 상태 정보를 획득하는 스마트 선대구경 천공장치 특 허 청 장 <수직천공장비 특허 출원 완료>

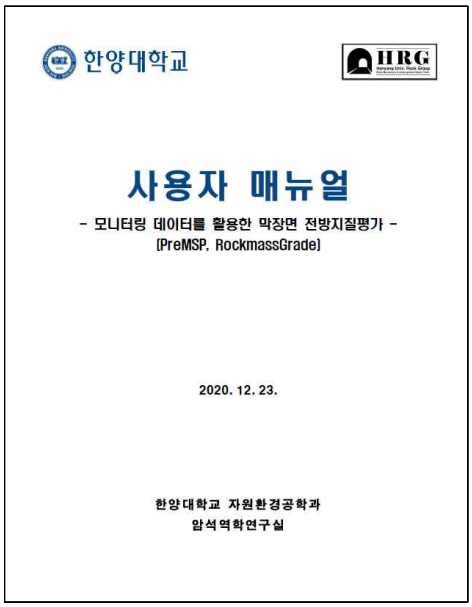
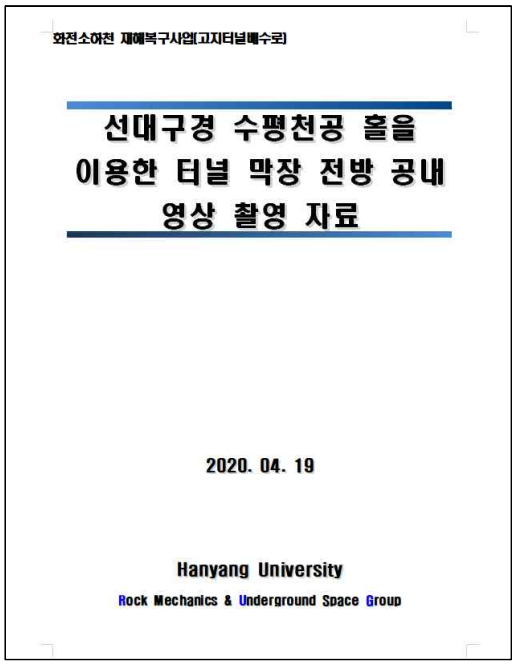
구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
		현장검증을 통한 개발 기술 공인기관 시험성적서	- 현장 검증을 통한 공인기관 시험성적보고서 완료(건설기계부품연구원(KOCETI)) : 검증일 2020년 11월 19일 ~ 20일(별내선 3공구) - 목표항목: 1) 장비경량화(16톤이하), 2)천공속도 조절을 위한 가변펌프 적용유무, 3)장비 길이 8m이내, 4)천공데이터 모니터링을 위한 자동화 컨트롤 패널 고도화  시 험 성 적 서 KOCETI 건설기계부품연구원 (우 54004) 전라북도 군산시 산단로 36 Tel: 063-447-2500, Fax: 063-467-0540 성적서번호 : KCT20-T155 페이지 (1)/총(8) 1. 의 뢰 자 • 업 체 명 : (주)성진이엔씨 • 주 소 : [10863] 경기도 파주시 재두루미길 360-26 (신촌동) 성진이엔씨 • 의뢰일자 : 2020. 11. 03 2. 시험성적서의 용도 : 과제제출 3. 시험대상품목 • 제 품 명 : 선대구경 천공 장비 • 수 량 : 1 • 모 델 명 : SHB000 • 제조번호 : - 4. 시험기간 : 2020. 11. 19 ~ 2020. 11. 20 5. 시험설비 : 레이저 변위계 6. 시험방법 : [붙임. 1] 참조 7. 시험환경 : 대기온도 8. 시험결과 : [붙임. 2] 참조 비고 : 1. 위 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 대한 시험결과입니다. 2. 우리 연구원의 서면 동의 없이 전체 및 복사를 할 수 없습니다. 시험자 / 확인자 / 승인자 정승묵 / 김현호 / 박재효 12/23 11:45 / 12/23 13:54 / 12/23 13:54 확 인 발행일자 : 2020. 12. 23 건설기계부품연구원장 건설기계부품연구원
		실시간 모니터링 시스템 구축	- 회전압, 추진압, 타격압, 천공 속도, 타격진동 측정이 가능한 모니터링 시스템 구축

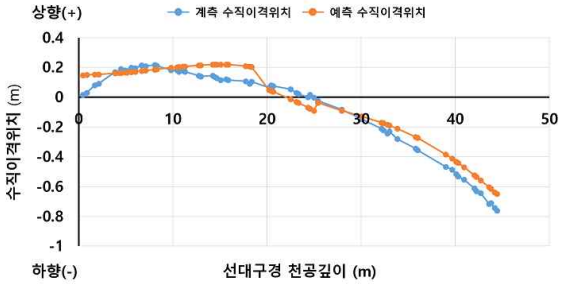
구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
	사업화 (성진이엔씨)	판로 확보	- 한국도로공사 도공기술마켓 등록 완료(2020.02.11.) 도공기술마켓 등록증 기 술 명 : 자력이동이 가능한 선대구경 수평천공 공법 법 인 명 : 성진이엔씨 법인등록번호 : 284911-0135797 상기 기술은 한국도로공사 기술마켓에 등록되었음을 확인합니다. 2020년 02월 11일 한 국 도 로 공 사 사 장 - 사업화대상기술의 홍보를 위한 카달로그 제작 
		기술가치 평가	- 개발기술을 바탕으로 기술가치 평가보고서(2020.11.31.)   제 출 문 본 보고서를 '자력이동이 가능한 선대구경 천공장비 외 1건'에 대한 지식재산 평가 보고서로 제출합니다. - 해외 판로 홍보 및 확보를 위한 기술가치평가 영문 요약보고서(2020.10)  I. Summary of Valuation 1. Abstract

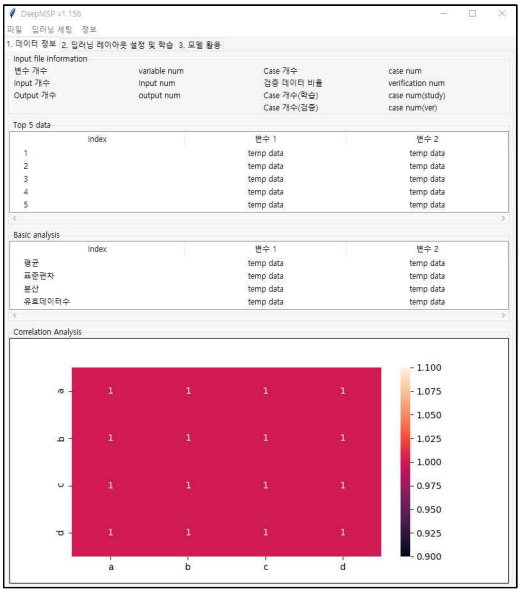
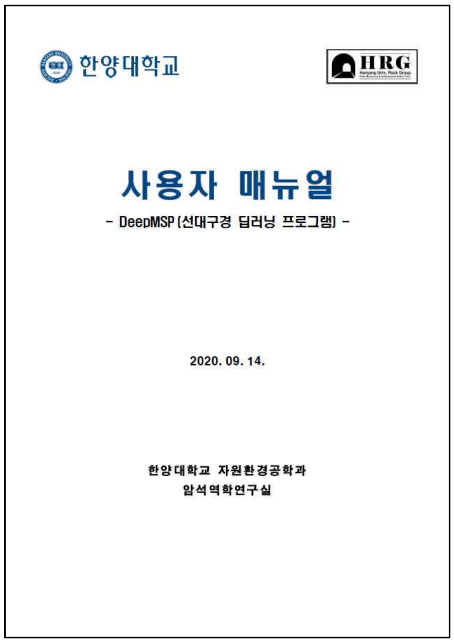
구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
		신규채용실적	- 신규채용실적 증빙 1) 맹도형 연구원 : 2020년 01월 02일 입사 ~ 재직중  재 직 증 명 서 성 명: 맹 도 형 / 입 사 일 자: 2020년 1월 2일 주민등록번호: 720104 - 1023318 / 직 위: 팀장 주 소: 경기도 파주시 교하읍 책향기마을 상록데시앙 1507동 401호 소 속: ㈜ 성진이엔씨 경기도 파주시 재두루미길 360-26(신촌동 684) 재 직 기 간: 2020년 1월 2일 부터 2021년 1월 6일 현재 (1년 개월) 용 도: 상기와 같이 재직하고 있음을 증명합니다. 2021년 1월 6일 ㈜ 성진이엔씨 (인) <맹도형 연구원 신규채용 증빙>

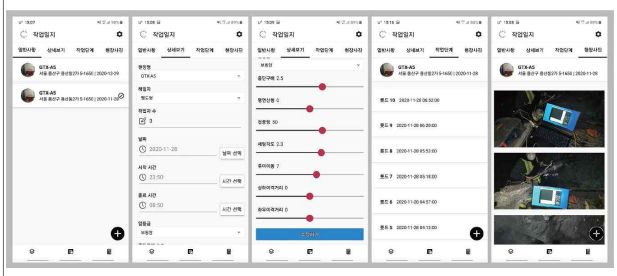
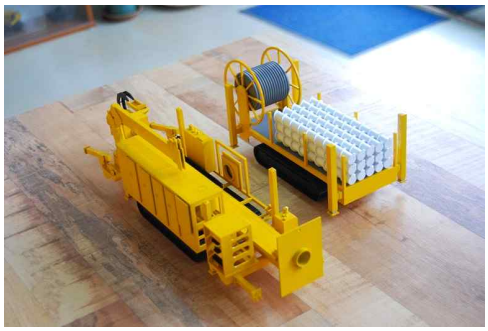
구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2020)	천공데이터 모니터링 시스템 및 계측 장비 (한양대학교)	천공경로 및 지반탐사 복합시스템 개발	- 2차 시제품 개발 및 현장 적용(20회 이상)과 최종 시제품의 최적화 방안 연구 <수동형 천공 홀 내부 계측 장비(2차 시제품)> - 천공 홀 내부 계측 장비를 이용해 측정된 기울기 데이터로 천공 경로를 추적하는 천공 경로 분석 소프트웨어 개발  <천공 경로 분석 소프트웨어> - 전기를 이용해 자력이동 가능한 천공경로 및 지반탐사 복합시스템 개발(3차 시제품) - 특허 등록 심사 중 <천공경로 및 지반탐사 복합시스템(3차 시제품)>

구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
			- 천공경로 및 지반탐사 복합스템의 컨트롤 및 데이터 확인을 위한 통합 플랫폼(MAP) 개발 - 저작권 등록 완료 (MSP Analysis Platform C-2021-000358)  <MSP Analysis Platform (MAP)>
		천공 데이터 모니터링 시스템 개발	- 천공 데이터와 홀 내부 촬영 영상의 연계분석을 통한 합리적인 막장전방 지질분석 시스템 개발 - 특허 등록 완료(천공 데이터 분석 시스템 및 그의 분석 방법, 10-2183346)  <모니터링 데이터 분석 시스템> - 천공 모니터링 데이터의 원활한 분석을 위한 데이터 전처리 프로그램 개발 - 저작권 등록 완료(PreMSP, C-2021-000036) <천공 모니터링 데이터 전처리 프로그램>

구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
			- 모니터링 시스템을 통해 계측된 데이터들을 활용하여 막장면 전방의 암질을 평가하는 매뉴얼(가이드라인) 제작  한양대학교 HRG 사용자 매뉴얼 - 모니터링 데이터를 활용한 막장면 전방지질평가 - (PreMSP, RockmassGrade) 2020. 12. 23. 한양대학교 자원환경공학과 암석역학연구실 <모니터링 데이터를 활용한 전방지질평가 매뉴얼>
		선대구경 수평천공 홀을 이용한 터널 막장 전방 공내 영상 촬영 보고서 발간	- 실시간 천공 데이터 모니터링 시스템 및 천공 경로 및 지반 탐사 복합시스템을 활용한 다수의 막장 전방 지질 예측 서비스 및 계측 보고서 발간  화전소하천 재해복구사업(고지터널배수로) 선대구경 수평천공 홀을 이용한 터널 막장 전방 공내 영상 촬영 자료 2020. 04. 19 Hanyang University Rock Mechanics & Underground Space Group <계측 보고서 표지>

구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
	선대구경 성능최적화 소프트웨어 (한양대학교)	머신러닝 기반 초기세팅조건 산정 소프트웨어 개발	- 머신러닝 기반의 현장별 선대구경 최적 세팅 산정 가이드라인 개발 - 평균절대오차는 수평 이격위치 0.19m, 수직 이격위치 0.12m이며, 지속적인 데이터 수집을 통해 개선된 모델을 개발할 예정  <머신러닝을 이용한 천공 경로 예측 모델> - 머신러닝 기반의 현장별 천공 장비의 합리적인 초기세팅조건을 산정하는 소프트웨어의 사용자 매뉴얼 제작 <PLHBM ANN 사용자 매뉴얼>

구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
			- 수평천공뿐만 아니라 수직, 경사 천공 등에 동적 모델 구성이 가능한 범용 통계·딥러닝 소프트웨어 개발 - 저작권 등록 완료(DeepMSP, C-2020-029831)  <범용 통계·딥러닝 소프트웨어> - 범용 통계·딥러닝 소프트웨어(DeepMSP)의 사용자 매뉴얼 제작  <DeepMSP 사용자 매뉴얼>

구분 (연도)	세부 과제명	연구개발 수행 내용	연구 결과
		국내 학술논문 게재	- 국내 대한화약발파공학회지 학술논문 게재 화약·발파(대한화약발파공학회지) 제38권 제4호, 2020년 12월, pp. 16-25 EXPLOSIVES & BLASTING, Vol. 38, No. 4, 2020, pp. 16-25 https://doi.org/10.22704/ksee.2020.38.4.016 터널 발파 진동 저감을 위한 대구경 무장약공 천공 장비의 최적 세팅조건 산정을 위한 딥러닝 적용에 관한 연구 김민성[1]·이제겸[1]·최요현[1]·김선홍[2]·정건용[2]·김기림[3]·이승원[1]* A Study on the Optimal Setting of Large Uncharged Hole Boring Machine for Reducing Blast-induced Vibration using Deep Learning Min-Seong Kim, Je-Kyum Lee, Yo-Hyun Choi, Seon-Hong Kim, Keon-Woong Jeong, Ki-Lim Kim, Sean Seungwon Lee <국내학술논문 게재>
		앱 기반 정보 공유 시스템 개발	- 앱 기반의 시공이력 열람, 체계적인 데이터베이스 관리 그리고 실시간 커뮤니케이션이 가능한 정보 공유 시스템 개발 - 저작권 등록 완료(Communication App for MSP, C-2020-053876)  <Communication App for MSP (CAM)>
		고성능 선대구경 천공장비 모형 제작	- North American Tunneling Conference (NAT) 2020의 건설기계 전시회 참석해 통해 기술/제품 홍보를 목적으로 사업화 대상 장비의 3D 모형 제작 완료 (COVID-19로 인해 취소) - 향후 장비 전시회에 지속적으로 참석하여 공법 및 기술 홍보 예정  <고성능 선대구경 천공 장비 모형>

나. 연구 개발 성과 목표 및 달성도

(1) 총괄

구 분		목표	달성	달성도(%)	비고
국내외 논문게재 (SCI)		0	1 (0)	100	목표대비 1건 추가 달성
특허	출원	3	5	166	목표대비 2건 추가 달성
	등록	3	3	100	
디자인	등록	1	1	100	
기타	학술발표	-	-	-	
	보고서	6	6	100	
	시제품, 시작품	11	13	109	목표대비 2건 추가 달성
	소프트웨어	2	4	200	목표대비 2건 추가 달성
	설계지침	-	-	-	
	사업화	2,500 백만원	2,527 백만원	102%	2020/11/30까지 매출액으로 12월 합산 시 매출액 향상
	운영매뉴얼	1	4	300%	목표대비 3건 추가 달성
	제작도면	-	-	-	
	시나리오	-	-	-	
	Test Bed 적용	-	-	-	
	기술이전	-	-	-	
	산학연간기술지원	-	-	-	
	현장적용	1	2	200	천공경로 및 지반탐사 복합시스템 추가 현장 적용
	홍보	-	-	-	

(2) 주관연구기관(성진이엔씨)

구 분		목표	달성	달성도(%)	비고
특허	출원	2	3	150	목표대비 1건 추가 달성
	등록	2	2	100	
디자인	등록	1	1	100	
기타	사업화(매출액)	2,500 백만원	2,527 백만원	102	2020. 11. 30일 기준, 초과달성
	시제품	9	9	100	
	도면/매뉴얼	0	1	100	목표대비 1건 추가 달성
	신규고용	3	3	100	

(3) 공동연구기관(한양대학교)

구 분		목표	달성	달성도(%)	비고
국내외 논문게재 (SCI)		0 (0)	1 (0)	100	목표대비 1건 추가 달성
특허	출원	1	2	200	목표대비 1건 추가 달성
	등록	1	1	100	1건 추가 등록심사 진행중
기타	시제품, 시작품	2	4	150	천공 홀 내부 계측 장비 관련 2건 초과 달성
	소프트웨어	2	4	200	-
	보고서	3	3	100	-
	도면/매뉴얼	1	3	200	목표대비 2건 추가 달성
	현장시험/적용	0	1	200	천공경로 및 지반탐사 복합시스템 추가 현장 적용

(4) 각 기관별 정량적 연구성과 목표 및 달성치

(달성치(건)/목표치(건))

	논문 (SCI)	특허		학술 발표	시제품 /시작품	지침/매뉴얼 /가이드라인	현장적용 /사업화	S/W	언론 홍보
		출원	등록						
(주관)성진이엔씨	0/0	3/2	2/2	0/0	9/9	1/0	2,527백만원/2,500백만원	0/0	0/0
(공동)한양대학교	1/0	2/1	1/1	0/0	4/2	3/1	1/0	4/2	0/0

다. 연구개발 성과 목록

(1) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일
1	터널 발파 진동 저감을 위한 대구경 무장약공 천공 장비의 최적 세팅조건 산정을 위한 딥러닝 적용에 관한 연구	대한화약발파공학회	김민성	38(4)	대한민국	대한화약발파공학회		20.12.14
2	A study on MSP method and reduction efficiency of blasting-induced vibration	Applied Sciences	Minseong Kim		Switzerland	MDPI	SCI	Under Review

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 논문명	발표자	발표일시	국명
1					

(3) 지식재산권 (특허)

번호	지식재산권 등 명칭	국명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	자력이동이 가능한 선대구경 천공장비	대한민국	㈜성진이엔씨	19.03.19	10-2019-0029245	㈜성진이엔씨	19.09.30	10-2029202	100
2	자력이동이 가능한 롯드카	대한민국	㈜성진이엔씨	19.03.14	10-2019-0029257	㈜성진이엔씨	19.08.13	10-2012359	100
3	굴착면 내부의 지반상태 정보를 획득하는 스마트 선대구경 천공장치	대한민국	㈜성진이엔씨	20.10.05	10-2020-0127800				100
4	천공 데이터 분석 시스템 및 그의 분석 방법	대한민국	한양대학교 산학협력단/성진이엔씨	19.10	10-2019-0132920	한양대학교 산학협력단/성진이엔씨	20.11.20	10-2183346	50/50
5	천공 경로 탐색 장치 및 이를 이용한 천공 경로 탐색 방법 (등록 심사중)	대한민국	한양대학교 산학협력단/성진이엔씨	19.10	10-2019-0132921				50/50

(4) 디자인

번호	지식재산권 등 명칭	국명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	유압식 반력저감장치	대한민국	㈜성진이엔씨	19.04.08	30-2019-0016314	㈜성진이엔씨	19.08.16	30-1019922	100

(5) 저작권 (소프트웨어)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	PLHBM ANN (선대구경 인공신경망)	19.10	한양대학교 산학협력단	19.10	C-2019-028593-2	한양대학교 산학협력단	100
2	DeepMSP (선대구경 딥러닝 프로그램)	20.08	한양대학교 산학협력단	20.09	C-2020-029831	한양대학교 산학협력단	100
3	CAM (Communication App for MSP)	20.12.	한양대학교 산학협력단	20.12.	C-2020-053876	한양대학교 산학협력단	100
4	PreMSP (천공 모니터링 데이터 전처리 프로그램)	19.09	한양대학교 산학협력단	21.01	C-2021-000036	한양대학교 산학협력단	100
5	MAP (MSP Analysis Platform)	20.12	한양대학교 산학협력단	21.01	C-2021-000358	한양대학교 산학협력단	100

(6) 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준연도	현황										
			학위별			성별			지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	연구인력 양성 (졸업 예정)	2021		2			2		2				

(7) 기술 거래(이전) 등

No	기관명	기술명칭(계약대상자)	계약일시

(8) 기타

(가) 시제품 및 시작품

번호	제품명		제작일시	제작 기관명
1	자체동력 및 크레인 적재 시스템 천공 장비		19.08	㈜성진이엔씨
2	자체동력 및 적재가능한 롯드카		19.08	㈜성진이엔씨
3	유압식 고정장치		18.11	㈜성진이엔씨
4	수평 및 수직천공이 가능한 선대구경 천공장비(3차년도)	장비 경량화 프레임 적용	20.08	㈜성진이엔씨
5		천공속도조절을 위한 가변펌프 적용		
6		장비 길이 축소		
7		자동화 컨트롤 패널 모니터링 시스템 적용		
8	스마트 모니터링 하드웨어 제작 (2차년도 고성능 선대구경 천공장비 시제품 적용)		19.08	㈜성진이엔씨
9	실시간 모니터링 시스템 (3차년도 수직 및 수평 천공이 가능한 선대구경 장비 시제품 적용)		20.08	㈜성진이엔씨
10	차량형 천공 경로 계측 장비(1차 시제품)		19.06	한양대학교
11	수동형 천공 홀 내부 계측 장비(2차 시제품)		19.12	한양대학교
12	커플러형 센서 모듈		20.01	한양대학교
13	천공경로 및 지반탐사 복합시스템(3차 시제품)		20.10	한양대학교

(나) 도면 및 시나리오

번호	설계도 명칭	제작 기관명
1	고성능 선대구경 천공장비	㈜성진이엔씨
2	유압식 반력장치	㈜성진이엔씨
3	수직 및 수평천공이 가능한 선대구경 천공장비	㈜성진이엔씨
4	자력이동이 가능한 적재시스템	㈜성진이엔씨

(다) 설계지침 및 매뉴얼

번호	설계지침 / 매뉴얼 명칭	제작 기관명
1	고성능 선대구경 천공장비 작동 메뉴얼	㈜성진이엔씨
2	PLHBM ANN 사용자 매뉴얼	한양대학교
3	DeepMSP(선대구경 딥러닝 프로그램) 매뉴얼	한양대학교
4	모니터링 데이터를 활용한 막장면 전방암질예측 매뉴얼	한양대학교

(라) 보고서

번호	보고서명	작성일시	작성 기관명
1	TCB평가 보고서	2019.10	이크레더블
2	선대구경 마케팅전략수립 보고서	2019.11	㈜다래전략 사업화센터
3	기술가치평가 보고서	2020.11	㈜다래전략 사업화센터
4	천공 데이터베이스 구축	2018.11	한양대학교
5	천공경로 및 지반탐사 복합시스템 기능·성능 평가 보고서	2020.12	한양대학교
6	머신러닝 소프트웨어 성능 평가 보고서	2020.12	한양대학교

(마) 현장 적용

번호	현장적용명	적용장소	적용일시	적용기관명
1	제물포터널2-1,2공구(5회)	제물포터널2-1,2공구(5회)	20190530	㈜성진이엔씨
2	신분당선1공구(4회)	신분당선1공구(4회)	20190917	㈜성진이엔씨
3	신분당선1-2공구(7회)	신분당선1-2공구(7회)	20190825	㈜성진이엔씨
4	삼척화력(5회)	삼척화력(5회)	20191102	㈜성진이엔씨
5	안성-구리11공구(2회)	안성-구리11공구(2회)	20190921	㈜성진이엔씨
6	이천-문경9공구(8회)	이천-문경9공구(8회)	20190902	㈜성진이엔씨
7	별내선3공구(7회)	별내선3공구(7회)	20200401	㈜성진이엔씨
8	별내선4공구(3회)	별내선4공구(3회)	20200523	㈜성진이엔씨
9	화전소하천(11회)	화전소하천(11회)	20200304	㈜성진이엔씨
10	새만금-전주6공구(1회)	새만금-전주6공구(1회)	20200218	㈜성진이엔씨
11	GTX-A2공구(2회)	GTX-A2공구(2회)	20200725	㈜성진이엔씨
12	GTX-A5공구(2회)	GTX-A5공구(2회)	20200722	㈜성진이엔씨
13	신림선 경전철(1회)	신림선 경전철(1회)	20200723	㈜성진이엔씨
14	삼성-동탄3공구(1회)	삼성-동탄3공구(1회)	20200813	㈜성진이엔씨
15	도담-영천8공구(1회)	도담-영천8공구(1회)	20200901	㈜성진이엔씨
16	GTX-A6공구(1회)	GTX-A6공구(1회)	20200108	㈜성진이엔씨
17	GTX-A3-1공구(1회)	GTX-A3-1공구(1회)	20200926	㈜성진이엔씨
18	GTX-A4-2공구(1회)	GTX-A4-2공구(1회)	20200922	㈜성진이엔씨
19	GTX-A3-3공구(1회)	GTX-A3-3공구(1회)	20201030	㈜성진이엔씨
20	안성~구리11공구(2회)	안성~구리11공구(2회)	20201102	㈜성진이엔씨
21	GTX-A5-1공구(1회)	GTX-A5-1공구(1회)	20201111	㈜성진이엔씨
22	GTX-A5-4공구(1회)	GTX-A5-4공구(1회)	20201107	㈜성진이엔씨
23	새만금-전주6공구(1회)	새만금-전주6공구(1회)	20200219	한양대학교
24	삼척화력(1회)	삼척화력(1회)	20200302	한양대학교
25	화전소하천(9회)	화전소하천(9회)	20200304	한양대학교
26	별내선3공구(5회)	별내선3공구(5회)	20200401	한양대학교
27	별내선4공구(2회)	별내선4공구(2회)	20200523	한양대학교
28	이천-문경9공구(1회)	이천-문경9공구(1회)	20200507	한양대학교
29	GTX-A2공구(2회)	GTX-A2공구(2회)	20200725	한양대학교
30	GTX-A5공구(2회)	GTX-A5공구(2회)	20200722	한양대학교
31	GTX-A6공구(1회)	GTX-A6공구(1회)	20200108	한양대학교
32	신림선 경전철(1회)	신림선 경전철(1회)	20200723	한양대학교

(바) 홍보

번호	홍보구분	홍보명	매체	일자	기관명
1	전시회홍보	자력이동이 가능한 고성능 선대구경 수평 천공 공법	2019 스마트건설 EXPO 홍보부스	2019.11	㈜성진이엔씨

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 성과점검기준표

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		총괄 질적 성과						해당 기관	예산 (백만)	총괄 양적 목표	
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			목표치	가중치
주관	A	고성능 선대구경 천공장비 개발	A-1	고성능선대 구경 천공장비 개발	①	자체동력 및 크레인 적재 시스템 천공 장비 개발	운행속도 5km/h 크레인 용량 5 ton	목표 성능 확인	현장 검측	9	(주)성진 이엔씨	827.4	특허 : 출원 2 건 등록 2 건 시제품 : 9 건 디자인 : 1 건 매출액: 2,500백만원 신규고용: 3 명	60
						장비 장착·적재 시스템 설계 및 개발	공간 1㎥확보	설치 공간 확인	보고서 도면					
						유압식 고정 장치	천공시 장비고정 여부 확인, 반력용량 20ton	목표 성능 확인	현장 검측					
						자체동력 자재 적재 시스템 설계 및 개발	공간 8㎥확보	목표 성능 확인	현장 검측					
						장비경량화	기존장비 대비 15%(16 ton이하)	목표 성능확인	현장 검증 (공인기관 시험보고서)					
						천공속도조절	가변펌프 적용 (1,000RPM, 100cc)	목표 성능확인	현장검증 (공인기관 시험보고서)					
						천공 장비 제원축소 (길이축소)	장비길이 8m 이내	목표 성능확인	현장검증 (공인기관 시험보고서)					
						자동화 컨트롤패널 고도화 개발	천공 속도 및 타격압 자동 제어	목표 성능확인	현장검증 (공인기관 시험보고서)					
					②	스마트 모니터링 하드웨어 제작	사례분석 : 3건 이상	전문가	보고서					
						실시간 모니터링 시스템	추진압, 추진거리 등 모니터링	목표 성능확인	현장 검측					
			A-2	사업화	①	비지니스모델 수립	비즈니스모델 : 1건	모델 확인	보고서	1		77.6		
					②	마케팅전략 수립	국내외 마케팅 전략수립	보고서 작성	전문가 검증	1				
					③	판로 확보 및 자금조달 전략 수립	판로 확보 및 기술가치평가	구매의향서 및 보고서 작성	평가 기관 보고서	1				

공동	B	천공데이터 분석 프로그램 개발	B-1	천공데이터 모니터링 시스템 및 계측 장비개발	①	천공 데이터 베이스 구축	천공 자료 데이터베이스 구축	전문가	보고서	5	한양대학교	208.3	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시제품 : 2 건 S/W : 2 건	40
					②	천공 모니터링 시스템 매뉴얼	암종별 작동 매뉴얼	전문가	보고서					
					③	천공 경로 계측 장비	천공장 대비 정확도 95% 이상	전문가	보고서					
			B-2	선대구경 성능최적화 소프트웨어	①	머신러닝 소프트웨어	천공 이격거리 2 m 이내 80% 이상	전문가	보고서	3		169		
계										20		1282.3	특허 : 출원 3 건 등록 3 건 시제품 : 11 건 디자인 : 1 건 S/W : 2 건 매출액: 2,500백만원 신규고용: 3 명	100

나. 목표 달성여부

- 성과점검기준표 참고

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 사업화 계획(기술이전 포함)

(1) 생산 계획

- 주관연구기관(성진이엔씨)

구분		(2021년) 개발 종료 후 1년	(2022년) 개발 종료 후 2년	(2023년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	70%	80%	85%
	판매량(단위:)	40건 이상 시공	50건 이상 시공예상	70건 이상 시공예상
	판매 단가(원)	-	-	-
	국내 매출액(백만원)	3,000	4,000	5,000
해외	시장점유율(%)	-	-	-
	판매량(단위:)	-	-	-
	판매 단가(달러)	-	-	-
	해외 매출액(백만달러)	-	-	-
당사 생산 능력1)		-	-	-

(2) 투자 계획

구분	(2021년) 개발 종료 후 1년	(2022년) 개발 종료 후 2년	(2023년) 개발 종료 후 3년
투자계획(백만원)	1,000	2,000	2,500

(3) 사업화 전략(기술이전 전략)

- 주관연구기관(성진이엔씨)

구분	구체적인 내용
형태/규모	o 상용화 형태 : 수직 및 수평 천공이 가능한 고성능 선대구경 장비 o 수요처 : 한국도로공사, 철도시설공단 등 터널 및 지하차도 발주처 o 예상 단가 : 지반 및 암반 조건 등 다양한 여건으로 인해 균일한 단가를 산정하기 어려움 o 개발 투입 인력 및 기간 기재 : 투입인력 3명/월
상용화 능력 및 자원 보유	o 개발 장비의 설계 및 제작을 맡은 업체(성한디앤티, 민우정밀) o 자체개발· 설계가 가능 o 전문시공능력 보유
상용화 계획 및 일정	o 국내 도심지 터널 통과구간 실시간 모니터링이 가능한 선대구경 및 천공 홀 촬영기술을 기본 및 실시설계에 적용 검토 추진 중

붙임. 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 대심도 지하 GTX 사업의 안전 및 방재 대책, 2018

2. 한국철도기술연구원, 무진동 급속 터널 굴착기술 개발, 2016

3. 국토해양부 한국건설교통기술평가원, 대심도 지하 복층터널 구축 기술 개발 기획, 2012

4. 강성승, 발파공학 및 발파전산해석 실습(제4장 터널발파), 2016

5. 이광재, 도심지 터널발파에 따른 소음·진동 저감방안 연구, 2008.02

6. 현대건설 공식블로그, 지하공사의 거대 강자 TBM(Tunnel Boring Machine), 2018.05

7. 대한화약발파공학회, 선대구경 수평보링 발파공법(PLHBM)의 설계 연구, 2012

8. 대한화약발파공학회, 편마암지역에서 선대구경 수평보링 공수적용에 따른 지반진동 감쇠 효과 연구, 2016

9. Bohrtec GmbH, Front Steer for Hard Ground and Rock up to 40 MPa, 2018

10. 신용보증기금 리서치, 국내 건설산업의 현황과 전망, 2006

11. KISTEP 기술동향브리프, 지하공간 개발동향, 2019

12. 국토교통부, 도로 교량 및 터널 현황조서, 2020

13. 국토교통부, 2019 국토교통 R&D 동향조사 총괄보고서, 2019

14. 국토교통과학기술진흥원, 실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비 개발 및 사업화, 2018

15. 한국건설산업연구원, 2020년 건설경기전망, 2019

16. 키움증권, 550조원 아시아 터널 시장 연말 수주 대전, 2019

17. 동아일보, ‘국내 최장’ 보령해저터널, 양방향 관통, 2019

18. e-나라지표홈페이지 (http://www.index.go.kr)

19. CRETOP 신용조사리포트 (http://www.cretop.com)

20. 산업통상자원부, 기술가치평가 실무가이드, 2017

21. 국토교통부, 2020회계연도 국토교통부 소관 예산 및 기금운용계획안 개요, 2019

22. 대한전문건설신문, [2021예산] 국토부 소관 SOC예산 12.4% 증가한 21조 편성, 2020.09.

23. 대한민국 정부, 2019~2023년 국가재정운용계획, 2019

24. 강추원, 발파공학 A to Z, 2014

25. Rune Gustafsson, Blasting Technique, 1981

26. Atlas Powder Company, Explosives and Rock Blasting, 1987

27. 김정진, 신발파 핸드북, 2019

28. 이효, 자유면의 수가 발파진동의 크기에 미치는 영향, 2001

29. 최병희, 지반진동 규제기준에서 진동레벨과 진동속도의 상호관계에 대한 고찰, 2012

30. Barry M. New, Ground Vibration Caused by Construction works, 1990

31. Giorgio Berta, Blasting-induced Vibration in Tunnelling, 1994

32. 김광식, 천공데이터를 이용한 지반상태 평가, 2007

33. 안재광, 파쇄영역에 따른 발파진동 전파특성, 2017

34. 김광염, 천공데이터를 활용한 막장 전방 암반특성 평가, 2007

35. 김광염, 암석시험편 천공시험을 이용한 천공파라미터 연구, 2008

36. 김광염, 천공데이터를 이용한 터널 굴진면 전방 암반강도 예측, 2009

37. 김해만, RMR과 암석종류가 터널 천공속도에 미치는 영향, 2019

38. 손지호, 심발공법에 따른 발파진동 저감효과에 대한 수치해석적 연구, 2019

39. 임현묵, 터널 발파진동으로 인한 피해예상범위 산정에 관한 연구, 2019

40. 장수호, 기계식 암반 굴착기술 - TBM과 로드헤더를 위주로, 2015

41. 정지희, 토사터널의 쉴드 TBM 데이터 시계열 분석을 통한 막장 전방 예측 연구, 2019

42. 김영근, 대심도 도심지 터널링 어떻게 풀 것인가?, 2020

43. 우준명, 터널 심발발파시 대구경 무장약공의 효과에 관한 연구, 2003

44. 송창헌, Top-Hammer 천공기 국내외 기술동향 분석, 2013

45. 권기범, 암반 천공장비의 시장 및 기술동향, 드라이브·컨트롤, 2013

46. 산업통산자원부, 굴착용 천공드릴 모듈, 2013

47. 조래훈, 전자뇌관과 선대구경수평보링공의 발파진동 저감효과, 2013

48. Geoffrey E, A fast learning algorithm for deep belief nets, 2006

49. Kumar, B. R. Artificial neural network model for prediction of rock Properties from sound level produced during drilling, 2013

50. Matthew Valet Barr, Instrumented horizontal drilling for tunneling site investigation, 1984

51. Nitish Srivastava, Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting, 2014

52. Olofsson, Applied explosives technology for construction and mining, 1998

53. Yu Yan, Review of predicting the blast-induced ground vibrations to reduce impacts on ambient urban communities, 2020

연구내용 요약문

<1차년도>

- 선대구경 수평천공에 의한 진동저감 원리 : 1자유면인 터널 막장면에 약 382mm 직경의 대구경을 천공하여 2자유면을 만들어 줌으로써, 자유면이 증가됨에 따라 발파 시 진동/소음이 저감되는 공법임.
- 일반적인 터널심발공법(Cylinder-cut)은 중앙부에 비교적 큰 burn hole을 1~2개 형성시켜 자유면으로 활용하나, burn hole은 직경 102mm로 굴착함에 따라 진동저감 효과가 미미함. 그러나, 선대구경 수평천공 공법은 터널 막장면에 382mm 직경의 대구경을 천공함에 따라 burn hole과 체적비에 의한 자유면 효과 비교 시 60배의 자유면 증대효과가 발생하며, 기존 102mm 무장약공 대비 약 181개 천공효과가 발생됨.

(1) 102mm Burn hole의 자유면 체적
· Φ=102mm → πD2/4 = π×0.1022/4 = 0.0082 ㎡
· 102mm 무장약공 3개를 굴진장 3.5m에 적용할 경우, 자유면 체적은
0.0082 ×3 개 × 3.85m(천공장) = 0.0947 ㎥

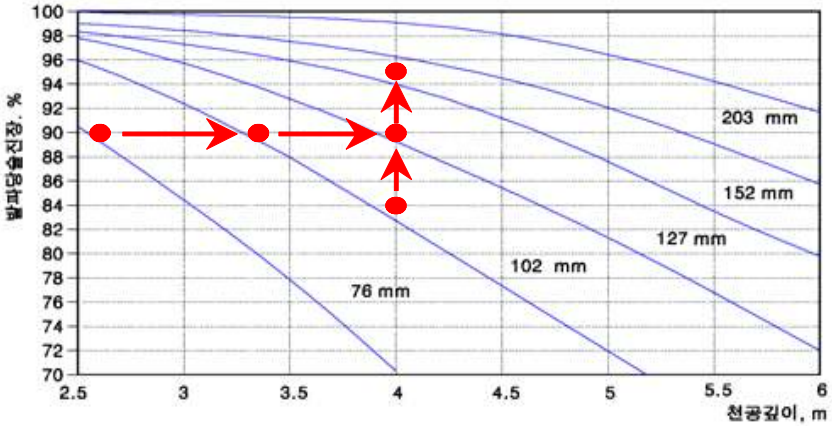
(2) 선대구경 무장약공(382mm)의 자유면 체적
· Φ=382mm → πD2/4 = π×0.3822/4 = 0.115 ㎡
· 연장 50m 고려 → πD2/4 ×50 = π×0.3822/4 ×50 = 5.75 ㎥

(3) 체적비에 의한 자유면 효과 비교 ⇒ 5.75/0.0947 = 60배

(4) 환산직경에 의한 자유면 효과 비교
· 동일연장천공 시 → D=√n , n=(D/d)2 = (382/102)2 = 14배
· 50m 연장고려 시 14×(50m/3.85m) = 181배

무장약공 직경에 따른 자유면 효과

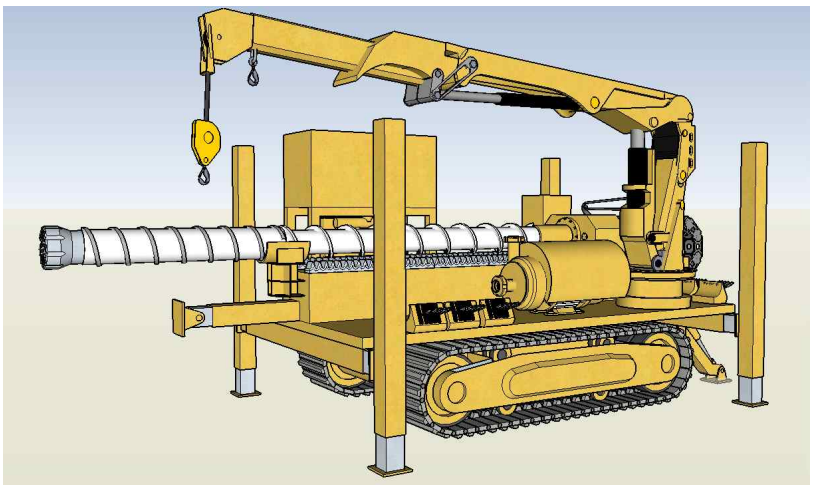
- 상기에 언급된 자유면 증대효과에 의하여 진동 저감이 가능하며, 부수적으로 굴진효율이 향상되는 효과를 가져옴. 무장약공의 공경이 변화됨에 따라 천공장과 굴진율의 변화를 그래프로 나타낸 것으로, 동일한 굴진율 조건에서 무장약공의 크기가 커질수록 천공 깊이를 크게 할 수 있음을 알 수 있음. 또한 동일한 천공장일 경우, 무장약공의 직경이 커질수록 굴진효율은 보다 향상됨을 보여주고 있음.



천공장과 무장약공 직경에 따른 굴진율

1. 자체동력 시스템 및 크레인 장비 개발

- 기존기술(기존장비)은 자체 기동력이 없어 별도 장비(크레인, 백호 등)를 사용해야만 장비의 상·하차 및 이동이 가능했지만, 본 사업화대상기술은 자체동력의 무한궤도(바퀴)와 선대구경 천공장비를 융합해 상·하차 및 작업장까지 자력 이동으로 공사비 및 공기 절감 가능하다. 천공장비 조립과 해체 시, 3명의 작업자와 대형 장비가 필요하고, 천공 중 롯드 교체를 위한 별도장비가 필요했으나, 크레인 융합형 장비 개발로 타 장비 도움 없이 모든 공정의 자체수행이 가능하고, 그로 인해 필요 인력이 2명으로 줄어들며, 조립 및 해체 시공 시 각각 4시간 소요되는 기존 공정에 비해 각각 2시간으로 50% 절감 가능하다. 따라서 선대구경 장비에 자체동력의 무한궤도와 자체크레인 장착기능을 추가한 장비개발을 계획하였으며, 이를 위해서는 장비이동속도와 크레인 용량에 대한 목표성능을 설정해야 한다. 목표성능 설정은 현장 내 장비이동을 위한 속도와 크레인 용량으로 구분하여 설정하였으며, 주관연구기관인 (주)성진이엔씨가 현재 보유한 특허기술(선대구경 천공 굴착장치 및 이를 이용한 터널 굴착 공법)로 사업을 수행한 현장에 대하여, 계획된 작업시간 내 완료를 위해 필요한 성능을 분석하였다. 또한, 기존의 건설장비 이동속도와 크레인 용량에 대한 사례조사 및 터널 내 싸이클 타임분석을 통한 장비소요시간 등을 추가분석하여 목표성능을 설정하였음.



고성능 선대구경 장비 개념도

1) 천공장비 및 롯드카의 장비 속도 및 구동 방식 선정

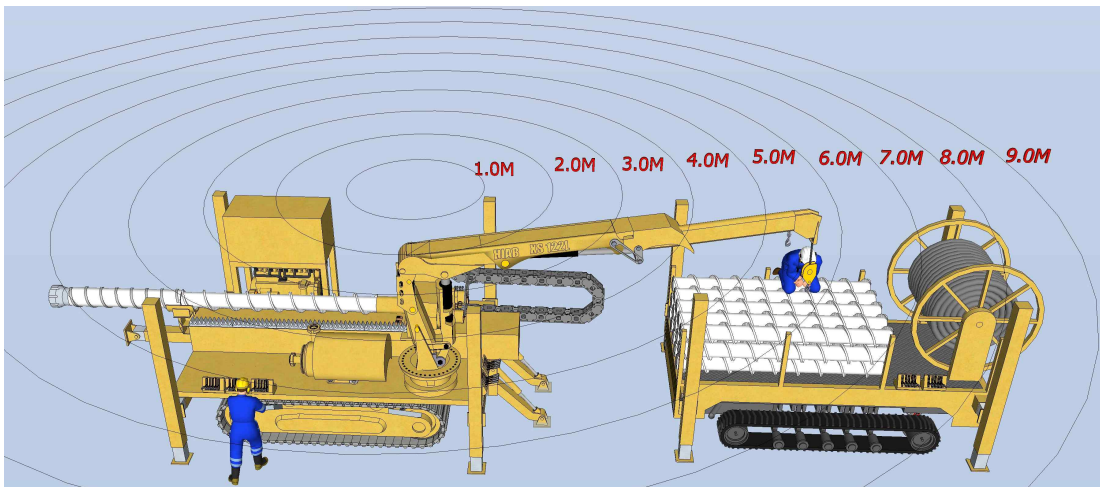
- 현장 내 장비이동시 요구되는 속도분석 및 장비 SETTING시 요구되는 크레인 용량 분석, 기존건설장비 사례조사 및 터널 내 싸이클 타임 분석을 통하여 운행속도에 대한 목표성능을 설정하였음.
- 기존 건설장비의 경우, 일반적으로 무한 궤도형은 속도가 7km/h 이하이며, 장비교행 등 이동공간의 제한과 터널바닥면의 요철 등 터널특성상 터널 내 이동시에는 속도가 크지 않음. 또한, 선대구경 장비의 갱내 이동시에도 이동거리가 2.5km 이내로 대부분 이동시간이 30분 이내 충분함에 따라, 주행속도를 5km/h로 설정하였음.

목표성능 설정 (운행속도)

구분		성능 목표 운행속도 (km/h)
현장요구사항		5
품셈기준	덤프 (사리도로-불량)	10
	덤프(토치장, 토사장)	7(적재), 8(공차)
	로더(타이어)	10
	크레인(타이어)	10
	불도저(무한궤도)	2.4~6.96
	불도저(타이어)	4.98~32.76
싸이클타임분석 (터널)	로더(무한궤도)	1.8
	로더(타이어)	2.0
건설기계 제원표	굴착기(무한궤도)	4.4~6.3
	굴착기(타이어)	31.2~37.0
	휠 로더	40/26.1(전진/후진)
	점보드릴(타이어)	15~16(평지), 3.5~6.0(경사 14%)
고성능 선대구경 천공장비		5

2) 크레인 용량 목표 설정

- 사업화대상 크레인의 경우 목표성능 최대하중능력 5ton/m를 만족하고 최대 작업 반경 8.0m를 만족하도록 계획함. 천공장비와 일체화된 융합형장비로 천공 중 함마, 비트, 롯드 등을 교체하는데 충분한 하중능력 및 작업 반경을 확보하도록 성능을 개량하였음.



장비 작업 반경 및 개요도

- 천공장비에 탑재될 계획임에 따라 트럭 탑재형 크레인을 한정으로 기존 건설기계의 용량을 조사 및 분석을 완료하였으며, 조사자료 및 현장 요구사항을 토대로 크레인 용량에 대한 목표성능을 설정하였음.

목표성능 설정 (크레인 용량)

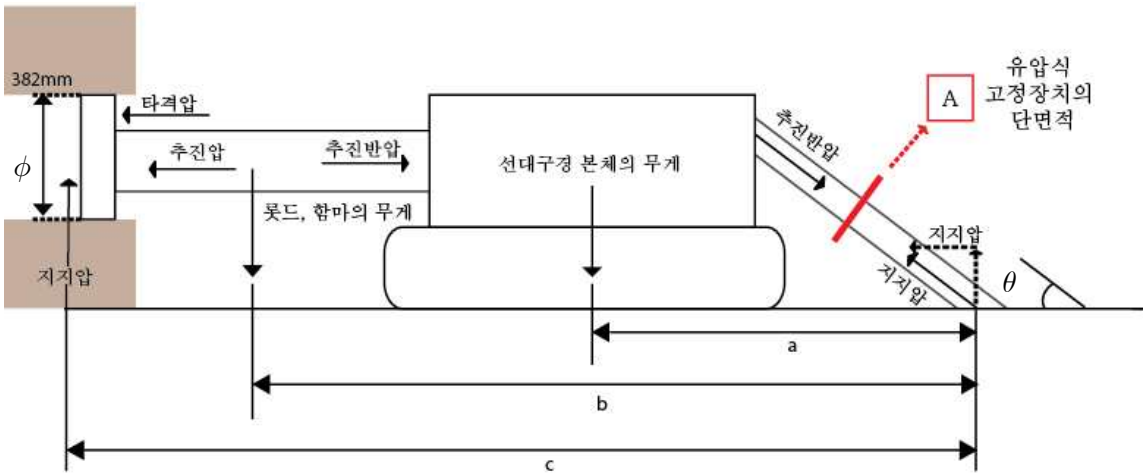
구분		성능 목표
		크레인 용량 (ton)
현장요구사항		5
품셈기준	트럭탑재형 크레인	2 ~ 18
건설기계 제원표	트럭탑재형 크레인	2.1~20.0
고성능 선대구경 천공장비		5

3) 유압식 반력대 설계 및 시제품 제작

- 고성능 선대구경 천공장비 개발의 중요한 성능중 하나인 유압식 고정 장치는 2대의 고압콤프레샤(25kgf/㎠)에 의해 작동되는 천공장비의 반력을 지지하는 중요한 장치로 기존장비의 락앵커 지지방식에 비해 장비 세팅 및 해체 시간을 단축할 수 있는 핵심적인 장치임.
- 기존 건설장비의 사례들을 분석하여 유압식 반력대의 크기 및 목표성능을 설정하였음.

목표성능 설정

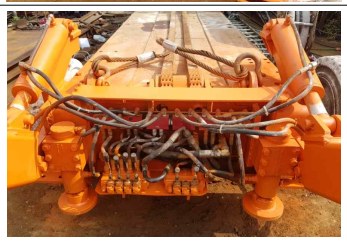
구분	성능 목표
반력크기	24 ton (천공 시 장비고정여부 확인)
반력형식	후면 및 연직지지방식



유압식 고정장치 개념도

- 기존 장비 전방에 고정용 유압잭 2개, 후방에 유압식 고정장치 2개를 각각 장착하였음. 기존장비의 총중량은 9.7ton이고 사업화 대상장비의 총중량은 19.5ton이며 사업화

대상장비의 경우 무한궤도 및 아웃트리거 등이 지반과 넓은 면적에 접하고 있어 후방 유압고장장치에 상대적으로 적은 반력이 전달된다. 따라서 시제품을 기존장비에 장착 시 상대적으로 큰 반력이 전달되므로 실제 터널현장에 투입하여 다양한 암질의 지반에서 테스트를 수행하였으며 현장검증을 통해 시제품의 성능을 검증하였음.

전방 고정장치	후방 고정장치	
		

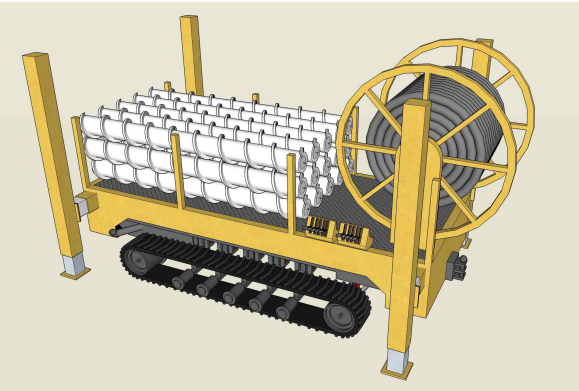
- 현장 적용결과 1차년도 시제품인 후방 고정 장치의 경우 20ton의 성능기준을 만족하고 다양한 지반조건에 효과적으로 기능을 발휘하여 안정적인 천공작업을 수행할 수 있었다.
- 현재 개발된 고정 장치를 이용한 천공 작업 시 초기에 천공 장비가 자리를 잡을 때까지 약간의 변위가 발생하며, 장비의 반력에 의한 지반의 압밀작용을 통해 변위가 수렴하는 형태를 보임.

전방 고정 장치 설치

후방 유압식 고정 장치 설치

2. 장비 장착 적재 시스템 설계 및 개발

- 롯드, 고압호스 롤 등 천공 시 필요한 부속 장비들에 대하여 터널 내 운반 시 별도 상·하차 장비가 필요하며, 터널갱구에서 터널 내 작업장 까지 거리가 길 경우, 터널갱구에 위치한 콤푸레셔와 터널 내 작업장까지 고압호스 연결 및 작업구 고압호스 수거에 어려움이 발생됨.
- 롯드, 고압호스 롤 등 천공 시 필요한 부속 장비 들을 장비 내에 적재할 수 있는 시스템 개발을 통해 타 장비의 도움 없이 운반이 가능해 선대구경 천공 장비의 설치 시 제약을 줄이고, 공정 및 공사비 절감이 가능함.
- 선대구경 장비에 천공 시 필요한 부속 장비 들을 장비 내에 적재할 수 있는 시스템 개발을 계획하였으며, 이를 위해서는 장비적체 용량에 대한 목표성능을 설정하였음.

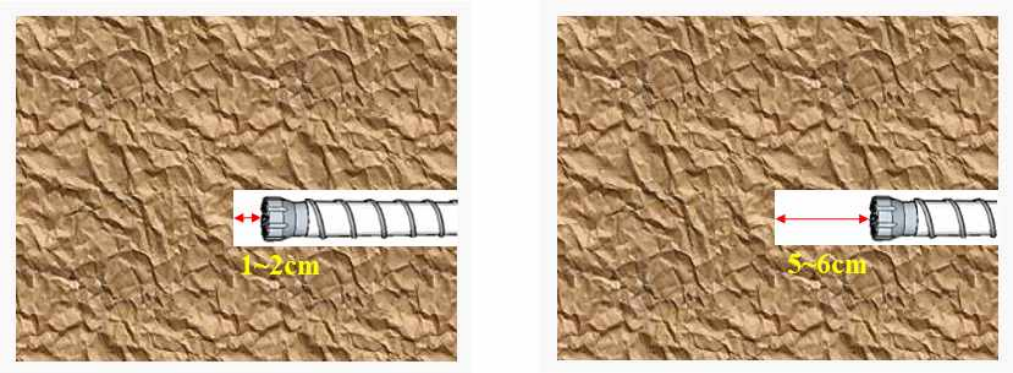


장착·적재 시스템 개념도

구분	성능 목표
	적재 공간
롯드적재 공간	폭 1.5m, 길이 6m, 높이 0.9m이상 (부피 8㎥)
고압호스 (릴형식)	폭 1.5m, 높이 1.5m (릴내경 0.6m)
※ 터널갱구에서 작업장까지 약 500m 적용	

3. 스마트 모니터링 하드웨어 제작

- 성능 선대구경 천공장비에는 센서를 부착하여 천공 시 발생하는 회전압, 추진압 등을 실시간으로 계측하여, 예측하기 힘든 굴착면 내부의 암종, 암반강도를 판별하고 예기치 못한 지질변화에 즉각적으로 대응하여 굴착효율 및 생산성을 증대시키는 시스템을 계획함.
- 고성능 선대구경 천공장비에 실시간 계측자료를 모니터링 할 수 있고, 나아가 빅데이터 분석을 통한 천공속도, 압력 등 제시가 가능한 모니터링 시스템을 계획함.
- 따라서, 건설장비에 부착된 모니터링 하드웨어에 대한 사례조사 및 분석을 통하여, 사업화 대상기술인 고성능 선대구경 천공장비에 장착 가능한 하드웨어를 선정고자 목표 성능을 설정함.
- 선대구경 천공장비와 유사한 천공장비, 터널굴착 TBM의 모니터링 사례를 조사하였으며, 국내외 논문을 조사 및 분석하였음. 그 결과, 스마트 모니터링에 계측인자로 분리되는 타격압, 회전압, 피드압을 선정하였음.



추진압에 따른 함마의 왕복운동

4. 비즈니스 모델

- 국내 시장점유율 확대 및 신규수요 창출을 위해 개선된 시제품 출시 및 특허기술 확보로 국내 시장점유율을 확대하고자 함. 또한 지속적으로 신규 수요를 발굴할 예정임
- 해외 시장진출로는 국제 학회를 통한 선대구경 시공사례발표 및 해외건설장비 전시회 참가를 통해 기술/제품 마케팅을 실시함.
- SWOT분석 : 앞서 조사, 분석된 자료와 정보를 토대로 기업의 내부 환경과 외부 환경을 분석하여 강점(strength), 약점(weakness), 기회(opportunity), 위협(threat) 요인을 규정하고 이를 토대로 경영 전략 및 마케팅전략을 수립하는 기법으로 SO전략, WO전략, ST전략, WT전략 등을 도출함.
- 마케팅 목표 설정 : 수익성, 매출극대화, 시장점유율 확대, 혁신, 브랜드 인지도 향상, 리스크 방지 등은 물론 시장세분화, 표적시장선정, 제품 포지셔닝 등 구체적인 마케팅 목표를 설정하는 것으로 정량적과 정성적 목표로 나누어지며 KPI, CSF 등을 통해 목표관리를 함.

- 판로 확보계획 : 가) 한국도로공사 및 기타 공공기관의 기술마켓 등록, 나)구매의향서 확보, 다) 해외 전시회 참가를 통한 기술./제품 마케팅
- 자금조달계획 : 보유특허의 기술가치평가를 통해 기술성, 시장성, 사업성 분석 결과를 토대로 최종적 평가금액을 나타남.

5. 천공데이터 분석 프로그램 개발

- 선대구경 천공 공법은 대구경의 비트(382mm)를 수평방향(굴진방향)으로 약 50m(현장별 상이)를 천공하여 이를 심발공으로 활용하는 공법으로, 이때 함마비트와 롯드의 자체 무게와 장비와 홀 사이의 유격에 의해 천공 깊이가 김에 짐에 따라 처짐이 발생하며, 이를 보정하기 위해 장비 초기세팅 시 2~4° 가량 상향 세팅하여 포물선의 형태로 천공이 이루어지며, 천공대상 암반 내부의 절리, 파쇄대 등 여러 상황변화에 의해 처짐의 정도가 다르기 때문에 수학적으로 최적의 초기 세팅 조건을 추정하는 것이 어려움.
- 따라서, 머신러닝 기술을 활용하여 각 현장별 암반 특성과 전문가의 경험과 노하우를 학습하여 선대구경의 성능을 최적화 시키는 알고리즘을 개발하고, 이를 바탕으로 현장 맞춤형 인터페이스를 갖춘 소프트웨어를 개발하여 경험이 부족한 비숙련공에게 성능 최적화를 위한 객관적인 가이드라인을 제시해주는 것을 최종 개발목표로 함.
- 머신러닝 학습을 위한 변수 선정에 앞서, 이론적으로 선대구경 천공 시 시공 오류를 초래할 수 있는 다양한 항목들을 분석하고 현장경험을 통해 타당성과 측정 가능한 인자들을 중심으로 초기 선정하였고, 전문가 자문을 통해 선정항목들에 대한 타당성 평가를 수행하여 최종 학습 변수를 선정함. 또한, 이에 대한 현장 데이터를 지속적으로 수집하여 데이터베이스를 구축해나갈 계획임.

시공 오류를 초래하는 변수

항목	세부내용
초기세팅각도	시공 현장 및 장비 상태 등의 종합적인 평가를 통해 초기세팅각도를 산정
종단구배	시공 현장의 구배(기울기)에 따라 초기 세팅각도가 상이함
장비후미이동	시공 현장 및 장비 상태 등의 종합적인 평가를 통해 초기 후미이동거리를 산정
총 천공장	전체 시공 길이를 나타내며, 통상적으로 길이가 길어질수록 초기 세팅각도와 후미이동거리가 커짐
천공장비의 마모 상태	시공에 따른 함마비트의 마모, 튜빙의 유격 등 초기 세팅 시 영향을 미치는 장비의 마모 상태
시공실적이 없는 현장	최초 시공이 계획된 현장
초기장비세팅 설계착오	부적절한 판단/계산 착오 등으로 발생 가능한 초기 세팅조건의 설계 오류
천공 대상 암반의 특성	파쇄대, 단층, 절리 방향, 절리 크기, 절리 개수, 지하수 유무 등
공급 압력 저하	장비의 마모와 장비 조작 오류 등으로 인한 공급 압력 저하
설계와 다른 초기장비세팅	계산된 초기 세팅 조건과 실제 세팅 결과가 다른 경우, 1~2cm의 오차도 천공결과에 매우 큰 영향을 미침
기타 사항	예기치 못한 장비의 손상

Training data set의 항목 선정

순번	변수
1	RMR(암반분류, Rock mass rating)
2	반발경도 & 일축압축강도 (슈미터해머 테스트)
3	초기 세팅 각도
4	총 천공장
5	종단구배
6	장비 후미 이동 거리
7	비트 마모도
8	튜빙 유격

6. 선대구경 성능최적화 알고리즘 개발

- 선대구경 작업 데이터는 암반 내의 불연속면 분포 및 지질학적 상태에 따라 다양한 패턴을 보일 수 있으며, 한 가지 단일 변수로서 규정지을 수 없을 것으로 예상이 됨. 이러한 특성을 지닌 선대구경 데이터를 활용해 성능 최적화을 이루기 위해선, 선정된 입력변수와 출력변수 간의 관계를 다각적으로 추정하는 과정을 거쳐야함.
- 이러한 선대구경 데이터 분석을 위해 분석 기법 선정을 수행 함. 분석 기법 중 머신러닝에는 지도학습과 비지도학습이 있으며 각 학습기법에 대한 검토 결과 지도학습 중 인공신경망이 선대구경 데이터 분석에 있어서 적합할 것으로 판단됨. 인공신경망의 선대구경 데이터 분석 성능 검증을 위하여 예상되는 가상의 선대구경 데이터를 생성하고 기존 데이터 분석에 있어 다수의 연구에서 사용한 다변 선형 회귀 분석 기법의 결과와 비교함.
- 예상 데이터는 앞서 선정한 입력변수 중 RMR, 초기세팅각도, 총 천공장, 종단구배, 장비 후미 이동거리와 각 변수들의 조합에 대한 이격거리 값으로 구성하였으며 아래 표와 같이 Root Mean Square Error(RMSE)값과 평균오차율 모두 머신러닝이 각각 0.1705, 210.61% 낮은 결과를 도출함. 이는 향후 수집될 데이터의 분석에 있어 머신러닝이 적합함을 의미함. 따라서 머신러닝 기법은 선대구경 최적안 도출에 크게 기여할 것임.

선형회귀분석과 머신러닝 해석능력 비교

RMSE $\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}[(f_k(x)-\hat{Y}_k)]^2$		평균오차율 $\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\left\lvert\frac{f(x_k)-\hat{y}_k}{f(x_k)}\right\rvert$	
선형회귀	머신러닝	선형회귀	머신러닝
0.1707	0.0002	217.94%	7.33%

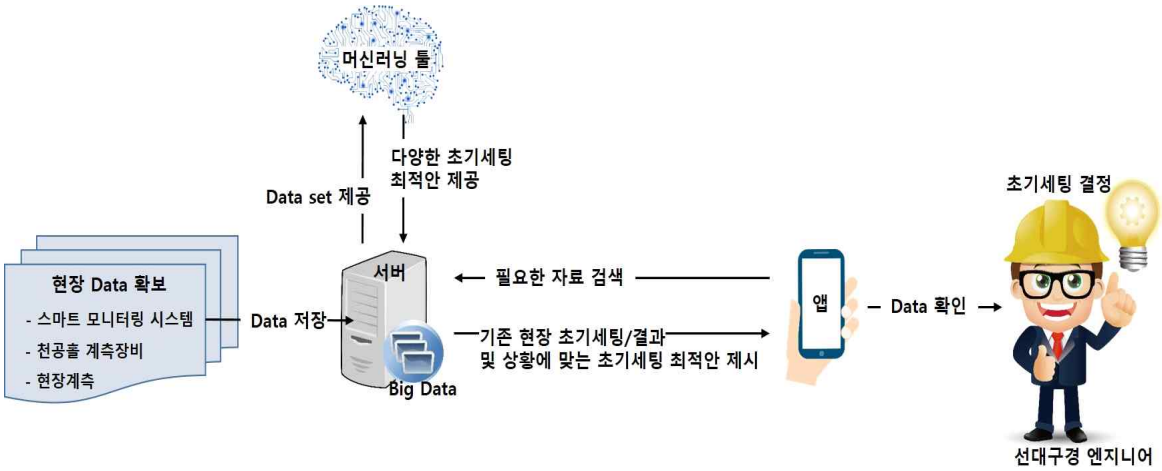
7. 선대구경 최적화 세팅모델 개발 계획

- 선대구경 성능최적화 알고리즘 개발을 위한 데이터 수집의 용이성과 체계적인 데이터베이스 관리를 위해 앱 기반의 소프트웨어를 계획하여 이에 대한 인터페이스를 1차적으로 개발하였음.
- 이 앱에서는 서버에 저장되어 있는 기존 선대구경 활용 현장자료 즉, 적용한 지반특성, 세팅정보, 결과 등을 앱으로 불러들여와 무선통신망이 사용가능한 어느 곳에서든 앱

사용 권한이 부여된 선대구경 엔지니어가 과거의 이력 확인이 가능하도록 할 예정임.

- 선대구경을 적용할 현장에서 어플리케이션 내에 내장된 머신러닝 알고리즘을 활용하여 다양한 현장 상황별 천공 장비의 초기세팅 최적안을 제안해주도록 개발할 계획임.

앱의 User Interface



선대구경 장비개발 관련 SW 개발 계획 모식도

<2차년도>

1. 고성능 선대구경 장비개발

- 사업화 대상기술 목표성능 설정

구분	내용	비고
①자체동력 및 크레인 시스템	운행속도 5 km/h	• 기존건설장비 속도 분석 및 갱내 이동시 이동거리가 2.5km 이내 고려
	크레인 용량 5 ton	• 현장시공 시 로드이동, 함마비트 이동, 조립 등을 위한 장비용량 고려
② 유압식 고정장치	반력크기 : 24 ton (천공시 장비고정여부 확인) 반력형식 : 후면 및 연직지지방식	• 현장 내 선대구경 천공 시 요구되는 반력값 고려
③ 자체동력 적재 시스템	공간 8㎥ 확보	롯드적재 공간: • 폭 1.5m, 길이 6m, 높이 0.9 m 이상 고압호스 (릴형식): • 폭 1.5m, 높이 1.5m (릴내경 0.6m)
④ 실시간 모니터링 시스템	타격압, 회전압, 피드압	• 천공효율관련 문헌조사 • TBM 등 건설장비 모니터링 사례조사

1) 자체 동력 및 크레인적재 시스템 천공장비 개발

가) 운행속도 5km/h

- 기존 기술은 자체 기동력이 없어 크레인 또는 백호를 이용하여 장비의 상·하차 및 이동을 해야만 한다. 하지만 현장에 선대구경 천공장비가 투입이 되더라도 크레인 또는 백호가 다른 작업을 수행 중일 경우, 작업을 마칠 때까지 대기해야 하므로 공기의 증가에 원인이 됨.
- 본 사업화 대상기술은 자체동력의 무한궤도와 선대구경 천공장비를 융합하여 상·하차 및 작업장까지 자력이동이 가능하여 대기시간 없이 시공을 할 수 있다. 이로 인해 공사기간을 단축시킬 수 있으며, 공사비 또한 절감이 가능함.
- 1차년도 연구결과, 현장에서 요구되는 장비 속도는 5km/h이며, 현장에서 한곳에 10~18시간을 고정된 위치에서 정밀하게 작업이 수행되는 조건에 맞게 무한궤도식을 적용함.

제물포 터널공사 현장

- 운행속도 측정결과, 평균 5.04km/h로 목표성능을 만족하였음.

구분	장비명	운행거리(m)	운행시간(sec)	시속
천공 전	롯드카	1,000	705	5.11 km/h
	천공장비	1,000	719	5.01 km/h
천공 후	롯드카	1,000	717	5.07 km/h
	천공장비	1,000	725	4.96 km/h
	총 소요시간 47.65분(평균 5.04 km/h)			

나) 크레인 용량 5ton

- 1차년도 연구결과, 선대구경 천공 작업시 롯드 및 함마비트의 이동, 조립 등을 위한 장비 용량은 5ton이면 거중하는데 무리가 없으므로 장비 셋팅 시 요구되는 목표 용량은 5ton으로 선정하였음. 작업 중 함마 및 롯드 체결이 6.0m이내에서 이루어지므로 크레인의 작업반경은 6.0m이하면 만족함.
- 목표성능을 달성하기 위해 대한건설기계안전관리원에 의뢰하여 건설기계 형식검사를 수행함. 그 결과, 유압크레인의 붐 길이는 최소 3,960mm, 최대 15,740mm로 6단 붐이며, 작업반경은 최소 2.5m~ 15.5m이다. 또한 크레인의 최대정격 총 하중은 5ton으로 확인하였음.

터널 내 크레인 현장 적용(제물포 터널) 및 형식신고서(크레인용량 5ton)

다) 유압식 고정장치 적용

- 1차년도에 제작한 유압식 고정장치의 설계안을 토대로 사업화 대상기술 본체인 선대구경 천공장치에 유압식 고정장치를 설치하였음.
- 선대구경 천공작업 시 유압식 고정장치의 장비 고정여부를 확인하기 위해 서울시 제물포 터널공사현장에서 검증을 수행하였다. 현장 검증 실험 결과, 사업화 대상 장비의 경우, 아웃트리거 및 무한궤도를 통해 지반과 넓은 면적에 접하고 있기에 후방 고정장치 고정력은 상당히 견고하였음. 정밀한 검증을 위해 변위 계측기를 이용하여 다양한 현장에서 실제 계측을 실시하여 허용 반력치에 대한 검증이 필요함.

유압식 반력장치 적용현황

라) 유압식 고정장치 적용

- 롯드, 고압호스 롤 등 천공 시 필요한 부속 장비 들을 장비 내에 적재할 수 있는 시스템 개발을 통해 타 장비의 도움 없이 운반을 하고자 자체동력 자재 적재시스템을 제작하였음.
- 사업화 대상 장비의 적재시스템의 적재공간을 확인하기 위해 눈금자를 이용하여 길이를 측정을 하였다. 측정결과, 롯드 적재 공간의 폭 1.45m, 길이 4.6m, 높이 1.2m로 8.004㎥이며, 릴 내경은 0.6m로 성능 목표에 만족하였음.

자체동력 자재 적재 시스템 목표 성능 제원 측정

마) 실시간 모니터링 시스템

- 모니터링 인제 선정 및 분석 : 장비의 메커니즘 분석을 통해 천공 시 장비에 주입되는 추진압(유압), 회전압(유압), 타격압(공압)을 분석하였음.

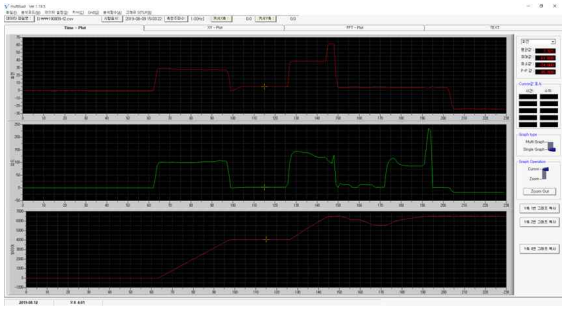
항목	측정 장치	목적
추진압	압력센서 및 데이터로거	천공 시 사용하는 주입 공/유압의 실시간 모니터링
타격압		
회전압		
추진거리	와이어센서 및 데이터로거	추진거리 및 천공속도 측정

- 실시간 모니터링 시스템 구축 : 타격압, 추진압, 회전압을 실시간으로 모니터링을 할 수 있는 모니터링 시스템을 구축하였음. 측정된 데이터를 PC로 저장하고 소프트웨어를 통해 분석을 할 수 있도록 함.

(a) 압력 센서 (b) 데이터로거 (c) 소프트웨어 내장 노트북

주입압력 모니터링 시스템

- 2차년도에 개발한 시제품에 천공 데이터의 실시간 모니터링이 가능하도록 데이터로고 및 추진, 회전 압력 센서를 내장시켰음. 획득된 데이터는 시간-압력 그래프로 확인할 수 있음.



실시간 모니터링 시스템 적용 및 분석 그래프

2. 사업화(마케팅 전략수립)

- 1차년도 비즈니스 모델 수립을 토대로 2차년도 마케팅 전략 수립, 3차년도 판로개척 및 가치평가를 성과목표로 설정하였음. 이에 1차년도에 완료된 비즈니스 모델은 시장분석→기술 분석→표적고객 확인 및 적용 가능 범위를 확인 → 성장전략방향 및 레버리징 분석을 통한 마케팅 전략수립, 판로개척으로 수립하였음.
- 산업 현황분석 시 환경 분석(PEST 분석), 정책, 경제, 사회, 기술에 대한 촉진요인 및 저해요인을 분석하였음.
- 건설기계 분야와 IT분야의 융합을 통해, 건설기계에 정보통신기술을 접목하여 건설기계의 관리효율, 서비스 향상, 정보화 및 무인자동화를 위한 첨단 기술이 복합적으로 요구되는 산업임.
- 국내외 경쟁사를 선정하여 분석을 완료하였으며, 국내외 마케팅 전략을 수립함으로 기술 및 제품 홍보계획을 수립하였음. 기존 발파공법 대비 기술적 우수성 홍보 및 건설기계 전식회 및 박람회 참석을 통해 홍보를 할 예정임
- 도로공사 기술마켓 등록을 통해 공사 발주처, 현장 관계자등에 소개되어 도로분야 시장에 진입이 수월할 것으로 기대됨
- ㈜성진이엔씨와 같은 중소형 건설 시공사는 국내 대형건설사와의 업무협력관계가 중요함에 따라 구매의향서를 확보하여 실제 개발된 기술을 즉시 납품할 수 있도록 할 예정임.

3. 천공데이터 모니터링 시스템 및 계측장비 개발

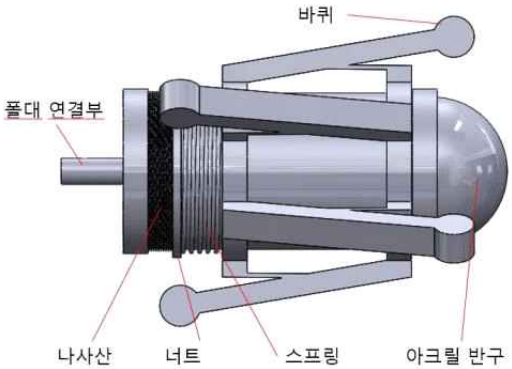
1) 커플러형 센서 모듈 개발

- 실시간 천공데이터 모니터링 시스템은 천공을 위해 장비에 공급되는 공·유압과 암반 타격 시 발생되는 압력변화를 활용해 함마-암반 간 상호관계를 간적접으로 분석하기 때문에 정밀한 분석에는 한계가 있을 수 있음.
- 고성능 천공장비를 활용한 실시간 천공데이터 모니터링 시스템뿐만 아니라 추가적인 모니터링을 통해 천공 장비의 암반-타격 간 상호연계 분석을 위해 선대구경 천공 장비의 범용 커플러형 센서 모듈을 제작하였음.
- 커플러형 센서 모듈에는 타격진동을 측정하는 피에조 센서와 토크 센서가 내장되어 있으며, 장비와 롯드 사이에 위치하여 각 데이터들을 수집함.

커플러형 센서 모듈 개발 및 현장 적용

2) 천공 홀 내부 계측 장비 개발

- 천공이 완료된 대구경 홀을 발파 진동 저감을 위한 무장약공으로만 사용하는 것이 아니라, 홀 내부를 탐사해 막장 전방의 지질을 사전에 파악하고 천공이 완료된 홀의 경로를 천공 직후 파악하기 위해 천공 홀 내부 계측장비를 추가로 고안하여 개발하였음.
- 1차적으로 천공 경로 파악과 홀 내부 탐사의 가능성을 파악하고자 기울기 센서와 광학 장치를 활용하여 차량형 시제품을 개발하였으며, 불균질한 천공 홀 바닥면으로 인해 기울기 측정에 한계가 있어 내벽 지지형 홀 내부 계측 장비를 고안 및 설계함.



차량형 테스트 제품 제작(1차 시제품)　　내벽 지지형 천공 홀 내부 계측 장비 설계(2차 시제품)

천공 홀 내부 계측 장비 시제품 설계 및 개발

4. 천공데이터 분석프로그램 개발

1) PLHBM ANN(선대구경 인공신경망) 프로그램 개발

- PLHBM ANN 프로그램은 머신러닝 중 인공신경망(ANN) 기법을 활용하여 개발 함. 사용자 편의를 위하여 Graphic User Interface(GUI)로 개발하였으며 Tensorflow, Sigmoid, Adam Optimizer, min-Max scaling, Xavier Initializer, Back propagation 등을 활용함.
- PLHBM ANN 프로그램에서 사용할 입출력인자에 대한 초기 선정을 수행함. 입력인자는 실제 현장에서 확보가 용이한가와 선대구경 경로에 영향성이 있는가에 중점을 두고 선정함. 선정한 입력인자로는 종단구배(단위 : %), 천공깊이(단위 : m), 세팅각도(단위 : °), 후미이동(단위 : cm), 후미좌/우이며 출력인자는 이격거리(단위 : m) 임.

<PLHBN ANN 개발>

2) 선대구경 앱 개발

- 기존에 사용하던 Smart Maker는 서버 연동 기능을 구현하기에 제약이 많고, 활용할 수 있는 기능도 Smart Maker 개발진이 이미 구현한 기능만 사용할 수 있어 개발의 자유도가 낮음. 이에 타 개발환경인 앱 인벤터 및 안드로이드 스튜디오에 대해 검토하였으며, 안드로이드 스튜디오보다 개발의 자유도는 낮으나, 개발을 쉽게 할 수 있는 앱 인벤터를 선정하여 개발을 진행함.
- 앱 개발을 진행하기 앞서, 앱에서 획득해야 할 데이터의 종류를 검토하고 선정하였으며, 그 결과 사무실/연구실에서 입력 가능한 일반 데이터(장비, 인원, 자재, 현장명에 대한 데이터)와 현장에서 입력하게 될 현장데이터(시공 시작시간 등 현장 일반사항, 지반물성 데이터, 롯드 설치 시간, 현장 사진 등의 데이터)가 선정됨
- 현장에 최적화된 입력방식을 고려하고, 데이터 입력 및 확인을 쉽게 할 수 있도록 UI를 구상하였으며, 앱 인벤터를 통해 앱에서 사용하게 될 페이지 및 기능을 구현함. 또한, 서버를 통한 실시간 정보공유를 위해 Firebase DB를 사용하여 데이터를 연동할 수 있는 기능을 구현함.

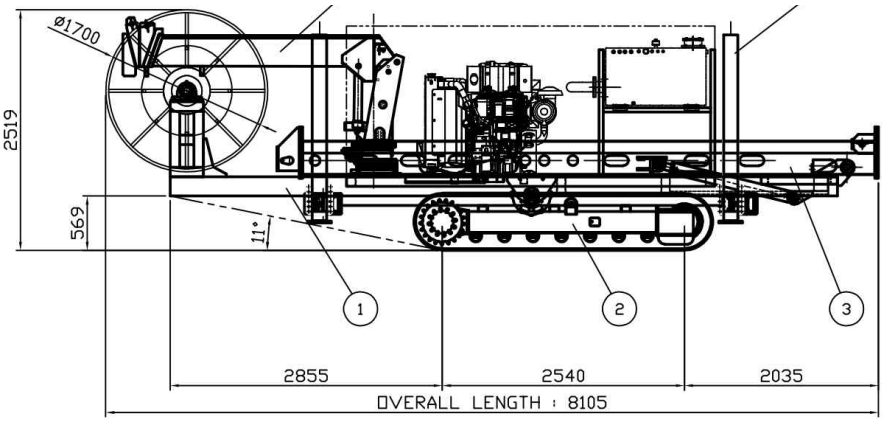
<앱 기반 정보 공유 시스템 UI 개발>

<3차년도>

1. 고성능 선대구경 장비개발

1) 천공장비 제원 축소 및 장비 경량화

- 천공장비 제원 축소 : 기존 선대구경 천공공법은 터널 과 같은 수평 작업만 가능하였으나 수직구에서의 선대구경 천공공법 수요가 증가함에 따라 수직구 내로 진입할 수 있는 장비의 제원 축소가 필요함.
- 3차년도에 개발하고자 하는 장비는 수직 및 수평 천공이 가능한 선대구경 천공장비이며, 장비길이의 목표는 수직구에 충분히 진입할 수 있도록 8m 이내로 설정하였음.



- 3차년도에 개발한 장비의 현장검증을 위해 공인인증시험기관의 시험평가를 수행하였음 (건설기계부품연구원). 레이저 길이측정을 통해 장비길이는 측정한 결과 7.781m임. 목표치보다 0.219m 축소되어 제작하였음.

- 현장투입 시 크레인을 이용하여 장비를 수직구에 진입시키거나 운반이 용이하게 하기 위해서 3차년도에 개발한 장비의 무게는 16톤 이하로 제작할 수 있도록 목표를 설정하였음.
- 현장투입 시 공인기관의 시험 평가를 통해 장비경량화의 진행결과를 입증하였음. 화물계량소를 이용하여 25톤 카고 트럭의 공차중량을 측정하고 장비를 상차한 뒤 무게를 측정하였음. 3차년도에 개발한 장비의 무게는 15.84톤으로 2차년도 장비에 비해 16.63%를 경량화를 진행하였음.

페이지	성적서번호	시 험 명
3/8	KCT20-T155	선대구경 천공 장비 성능 입회시험

1. 시험결과

1.1 장비 무게 및 길이 측정

시험품	시험결과				비고
	공차중량	실중량	장비 중량	장비 길이	
선대구경 천공 장비	39,810 kg	55,650 kg	15,840 kg	7.781 m	

선대구경 천공장비 제원 측정 결과표 (KCT20-T155 보고서)

2) 천공속도 조절 및 자동화 컨트롤 패널 고도화

- 천공 시 암반 조건 변화 및 이상대 출연으로 인하여 천공속도를 변화시킬 수 있도록 가변펌프를 적하였으며, 적용된 가변펌프의 용량은 1000RPM, 100CC임.
- 공인인증 시험평가를 위해 별내선 3공구 건설공사 중 터널 굴착에 대한 현장 적용성 평가를 수행하였음. 5m천공에 따른 천공시간을 측정한 결과 다음과 같은 결과가 나타남.
- 펌프의 토출압을 제어함으로 천공속도를 제어가 가능하였으며, 정량적 성과를 만족하였음.

1.2 천공 속도

시험품	시험결과				비고
	1회		2회		
	롯드 길이	천공 시간	롯드 길이	천공 시간	
선대구경 천공 장비	5.160 m	27분 54초	5.154 m	20분 13초	엔진 @ 1,000 r/min

선대구경 천공장비 천공속도 조절기능 현장 시험 결과표(KCT20-T155 보고서)

- 자동화 컨트롤 패널 고도화 : 기존 선대구경 장비의 경우, 회전압, 타격압, 피드압 등 데이터를 획득함에 있어 USB만을 이용하여 저장을 하였음. 하지만 현장에서 전기 공급이 중단되거나 전선에 문제가 생겨 데이터를 수집하는데 어려움이 있었음. 이를 보완하기 위해 자동화 컨트롤 패널을 고도화하였음.
- 현장에서 직접 화면을 통해 이상대나 절리 등이 출현하여 천공압력 변화가 발생 시 제어가 가능하도록 모니터 화면을 설치하였으며, 각 센서를 통해 획득된 데이터를 육안으로 확인한 뒤 무선 리모트 컨트롤을 이용하여 회전속도 및 타격압을 조절할 수 있도록 하였음.

천공속도 및 타격압 모니터링 및 무선리모컨을 이용한 천공속도 및 압력 제어

- 별내선 3공구 건설공사 중 선대구경 수평천공 시공현장에서 컨트롤 패널의 작동현황 및 이상 유무를 확인한 결과, 오작동 및 특이사항 없음을 확인하였음.(현장 입회시험평가 결과)

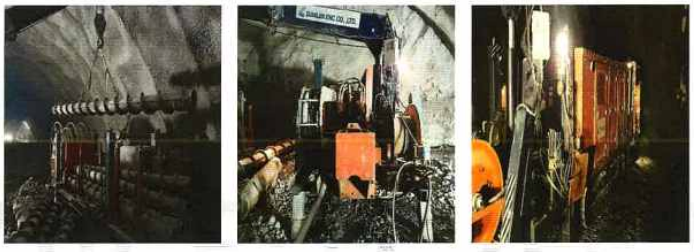
1. 시험결과 (계속)

1.3 자동화 컨트롤패널

시험품	시험결과 (육안확인)	비고
선대구경 천공 장비	오작동 및 특이사항 없음	

시험 사진

컨트롤 패널

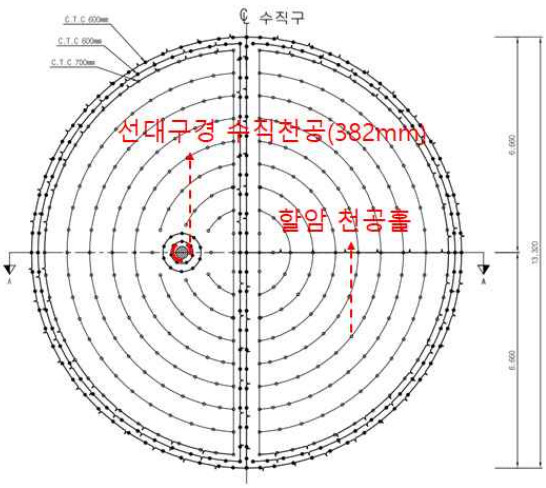


천공 진행

자동화 컨트롤 패널 고도화 현장 시험결과(KCT20-T155 보고서)

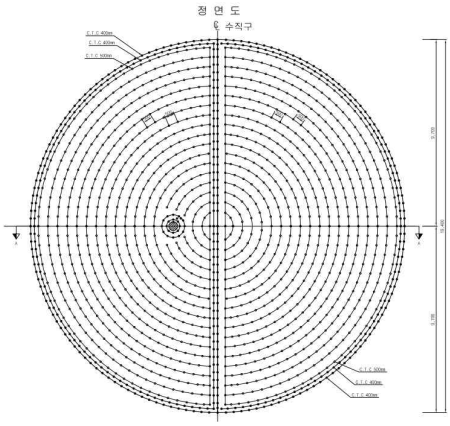
3) 현장 적용

- 삼성 동탄 광역철도 제3공구 건설공사 중 선대구경 수직천공(2020.08.13.). 무진동 암파쇄 공법 적용 시 선대구경 천공을 이용하여 자유면을 확보하기 위해 천공작업을 수행함. 선대구경 수직천공 깊이는 22m이며, 천공 직경은 Φ382mm, 롯드 길이 3m로 총 6개의 롯드와 1개의 함마롯드가 투입하였음. 수평천공 시 천공 붐대를 90°로 올리고 함마를 고정시킬 수 있는 고정 브라켓으로 고정 후 롯드를 체결하는 방식으로 천공을 수행함.

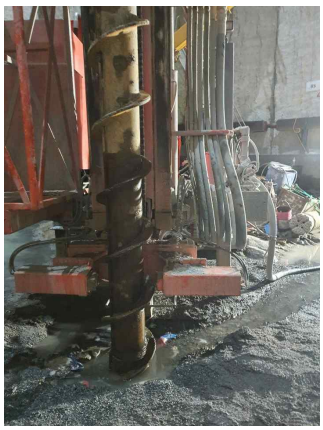


삼성 동탄 광역철도 제3공구 건설공사 중 선대구경 수평보링 천공

- GTX A3 1공구 건설공사중 선대구경 수직천공(450mm, 2020.10.30.). 수직구의 직경은 19.4m이며, 무진동 암파쇄 공간 간격은 500mm이다. 설계 시 수직구 중심으로부터 좌측부분에 선대구경 수직천공을 하며 선대구경 주변부터 무진동 암파쇄를 시작하여 자유면을 확보하면서 굴착함. 수직천공 깊이는 39m이며, 천공 직경은 Φ450mm, 롯드 길이 3m로 총 13개의 롯드와 1개의 함마비트가 투입됨. 암은 경암으로 수평천공 시 천공 붐대를 90°로 올리고 함마를 고정시킬 수 있는 고정 브라켓으로 고정 후 롯드를 체결하는 방식으로 천공을 진행하였음.
- 수직천공 시 함마비트 및 롯드를 고정하기 위해 선대구경 천공기 앞부분에 유압식 고정장치를 적용하여 롯드의 탈부착 시 고정시켜 작업자의 안전을 확보할 수 있도록 개선하였음.



(가) 무진동 암파쇄 천공 설계 도면



(나) 선대구경 수직 천공 장면

GTX A 3-1공구 건설공사 중 선대구경 수직천공(450mm)

- 별내선 3공구 건설공사 중 선대구경 수평천공(2020.11.20.). 별내선 3공구 건설공사의 경우, 주변 민원으로 인한 작업이 지연됨에 따라 발파작업을 할 수 없는 구간에 대해 무진동 암파쇄 공법을 적용하였음. 선대구경 9공을 천공하여 굴착을 하기로 하였음. 무진동 암파쇄 설계도면을 보면 터널 상반에 존재하는 9개의 공을 30m씩 천공한 뒤 할암을 위한 Φ89mm 천공 홀을 이용하여 무진동 암파쇄 공법을 적용한다. 선대구경 수평천공은 공간격은 0.8m임.
- 건설기계부품연구원에서 현장입회 시험을 통해 선대구경 장비에 대한 시험평가를 진행하였으며, 시험 평가결과는 시험보고서에 첨부된 내용과 같이 천공속도 조절, 자동화 컨트롤 패널고도화, 장비경량화, 장비 길이 축소 등에 대한 시험을 수행함.

(가) 천공 각도 셋팅(상향 1.5°)

(나)천공완료(8공)

(다) 선대구경 수평천공 작업

(라) 선대구경 수평천공 작업

별내선 3공구 건설공사 중 선대구경 수평천공(382mm*8공)

- 현장 투입에 따른 선대구경 천공장비 천공시간 이력

투입 날짜	현장명	천공 연장	천공 유형	시작 시간	종료 시간	총 소요 시간(h)	비고
8/11	별내선 3공구	50	수평	9:00	14:07	5	
8/13	삼성동탄3공구	25	수직	11:45	2:30	14	함마초크 교환(파손)
9/1	화전소하천	60	수평	1:55	11:13	9	롯드카 슈판 1개 이탈
9/24	GTX A 4-2공구	55	수평	11:50	3:10	14	
9/26	GTX A 3-1공구	39	수직	15:30	3:00	11.7	
10/30	GTX A 3-3공구	39	수직	17:50	1:10	7.6	
11/2	안성구리 11공구	50	수평	11:50	19:00	7.1	
11/7	GTX A 5-4공구	50	수평	8:10	18:00	10	
11/7	GTX A 5-4공구	25	수평	21:20	0:46	3.25	
11/11	GTX A 5-1공구	30	수평	11:35	15:36	4	
11/20	별내선 3공구	30	수평	11:10	15:40	4.3	
11/20	별내선 3공구	30	수평	18:10	11:22	3	
11/21	별내선 3공구	30	수평	13:35	17:51	4	
11/21	별내선 3공구	30	수평	19:05	9:44	3	
11/22	별내선 3공구	13	수평	19:10	21:00	2	13m, 5번 천공홀과 겹침
11/23	별내선 3공구	30	수평	9:19	12:53	3.3	30분 지연
11/23	별내선 3공구	23	수평	14:30	18:55	3	23m, 3번 천공홀과 겹침
11/23	별내선 3공구	5	수평	21:50	22:25	3	5m, 2홀과 겹침
11/24	GTX A 2공구	40	수평	10:04	24:30	12.3	작업 지연
11/29	안성구리 11공구	50	수평	18:50	6:21	11.7	
12/17	GTX A 2공구	15	수평	3:30	5:00	1.5	
12/20	GTX A 5-4공구	30	수평	10:30	14:17	4	
12/20	GTX A 5-4공구	30	수평	16:10	19:34	3	

2. 사업화 마케팅 전략수립

- 2차년도에 달성한 특허등록 된 기술을 바탕으로 기술가치평가를 수행한 결과 다음과 같음.
- 본 기술평가는 제품에 직접 반영되는 기술적 측면을 평가하는 기술성, 기술의 권리적 측면을 평가하는 권리성, 제품의 사업화 가능성 측면을 평가하는 시장성 및 사업성 분석을 통해 기술의 가치를 산출하여 ㈜성진이엔씨가 보유하고 있는 평가대상기술에 대한 투자 참고용으로 활용하고자 작성되었음.

IP가치 평가금액 (유효기간)	311백만 원 (2021년 11월 29일)

※ 평가조건, 주요변수 등이 변경될 경우 IP가치 평가금액이 변동될 수 있음.

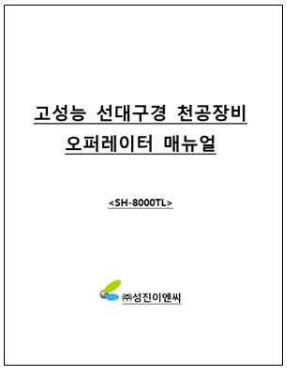
주요 변수	추정치 또는 결과
기술의 경제적 수명	9년
할인율	13.01%
사업가치	881백만 원
기술기여도	35.25%
기술의 가치	311백만 원

※ 평가기준일 : 2020년 12월 1일

평가의 목적	▪ 평가용도 : 투자 참고용
⇩	
평가대상기술(특허)	▪ 평가대상특허 : 등록 2건 1) KR 10-2029202 2) KR 10-2012359
⇩	
평가대상기술 시장 및 제품 설정	▪ 시장 : NATM 공법의 천공 시공 용역 시장 ▪ 사업화제품 : 선대구경 천공 장비 및 천공 시공 용역
⇩	
기술의 경제적 수명 산정	▪ 기술의 경제적 수명 : 9년 ▪ 현금흐름 추정기간 : 2020년 ~ 2028년
⇩	
현금흐름 추정	▪ 매출액 : 혼합추정 ▪ 매출원가 및 판매관리비 : 사업화 주체의 2019년 재무정보 ▪ 자본적 지출 / 감가상각비 : 직접추정 ▪ 운전자본증감 : 사업화 주체의 2019년 재무정보
⇩	
할인율	▪ 할인율 : 13.01% ▪ 업종 : 전문직별 공사업 (F42) ▪ 기업분류 : 비상장 소기업
⇩	
사업가치 추정	▪ 미래의 여유현금흐름을 현재가치로 환산하여 사업가치 추정
⇩	
기술기여도	▪ 산업기술요소(F42) : 50.35% ▪ 개별기술강도 : 70.0점 ▪ 최종 기술기여도 : 35.25%
⇩	
기술가치 추정	▪ 사업가치 = 881백만 원 ▪ 기술가치 = 사업가치×기술기여도 = 311백만 원

※ 평가기준일 : 2020년 12월 1일

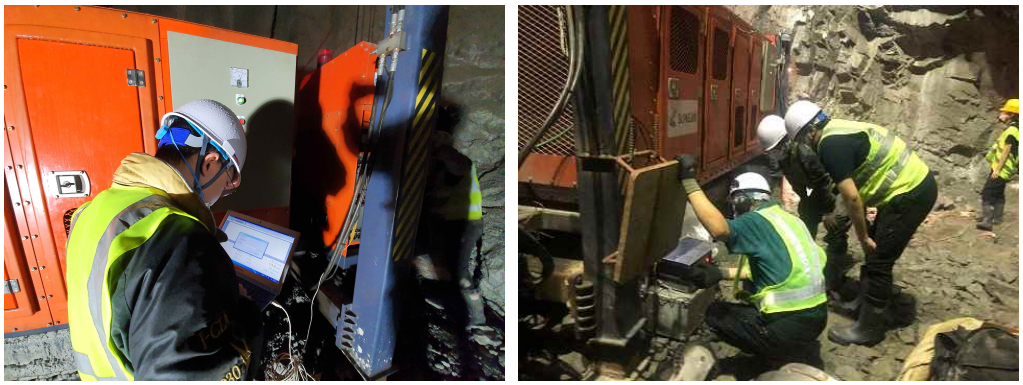
- 기술홍보를 위해 발주처, 시공사, 설계사를 대상으로 홍보용 공법 카탈로그 및 매뉴얼을 제작하였음.
- 선대구경 수평 천공 및 공내영상 촬영에 대한 기술 수요가 증가함에 따라 지속적으로 기업 매출이 증가할 것으로 판단됨. GTX A의 경우 선대구경 촬영 후 공내 영상촬영 및 보고서를 요청하는 시공사가 증가하고 있음.



3. 천공데이터 모니터링 시스템 및 계측장비 개발

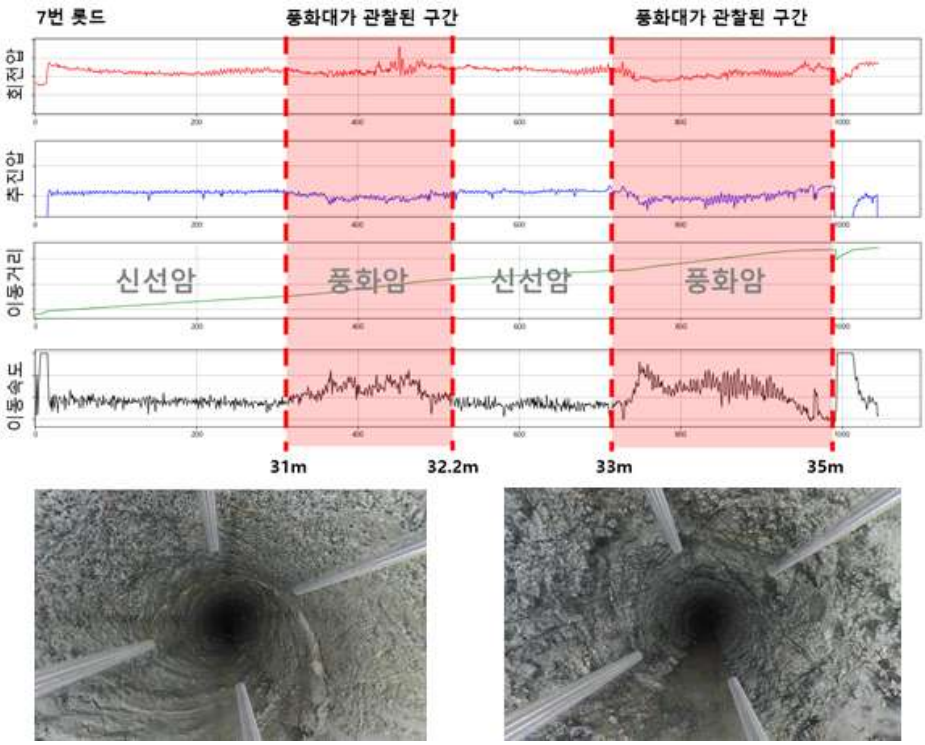
1) 천공데이터 모니터링 시스템 개발

- 구축된 선대구경 천공데이터 모니터링 시스템의 기능, 성능 그리고 현장 적용 가능성 등을 검토하고, 다양한 현장 조건에 따른 데이터를 수집/분석하기 위해서 국내에 위치한 10개의 지하철, 도로, 배수로 터널 건설 현장에 30회 이상 적용함.
- 현장들은 경암~연암까지 다양한 암질 특성을 보였으며, 상당수의 현장은 1회 천공된 50m 구간 내에서도 다양한 지질 분포 특성을 보임.



천공 데이터 모니터링 시스템의 현장 적용 및 분석

- 다양한 지질 특성을 가진 여러 현장에서 실시간 모니터링 시스템으로 계측된 데이터를 이론적으로 분석하였으며, 분석결과를 검증하기 위해 천공 홀 내부 계측장비를 활용한 천공 홀 내부 촬영 영상을 활용하였음.
- 그 결과, 회전압과 추진압의 변화로 각 구간별 신선암과 풍화암의 분포 양상을 구분할 수 있었으며, 특히 천공속도에서 확연한 구분이 가능함.

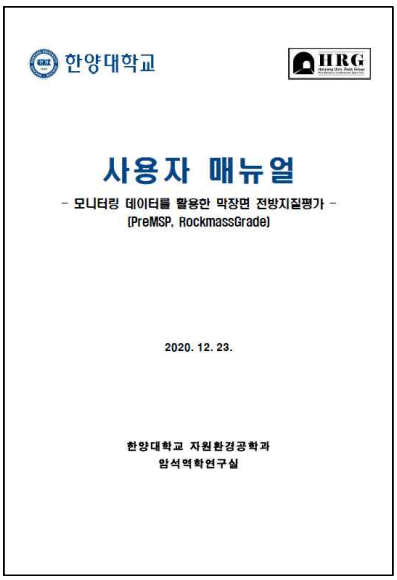


모니터링 데이터와 공내 촬영 영상을 통한 데이터 분석

- 통상적으로 50m 깊이의 대구경 무장약공 천공하기 위해 5m 롯드의 연장과정이 필수적인 선대구경 공법은 그 특성상 천공 데이터들의 불연속적인 형태를 보여 데이터 전처리 시 많은 시간이 소요되었음. 보다 원활한 모니터링 데이터의 분석을 위해 전체 천공 데이터를 자동으로 통합해주는 천공 데이터 전처리 프로그램을 개발함.

천공 데이터 전처리 프로그램 (PreMSP)

- 최종적으로 고성능 선대구경 천공 장비에 탑재된 실시간 천공 데이터 모니터링 시스템으로 계측된 데이터를 활용해 자동으로 전체 천공 구간에 대한 지질 상태를 예측/평가하는 시스템을 구축하였으며, 그에 대한 평가 방법과 활용 가이드라인을 작성함.



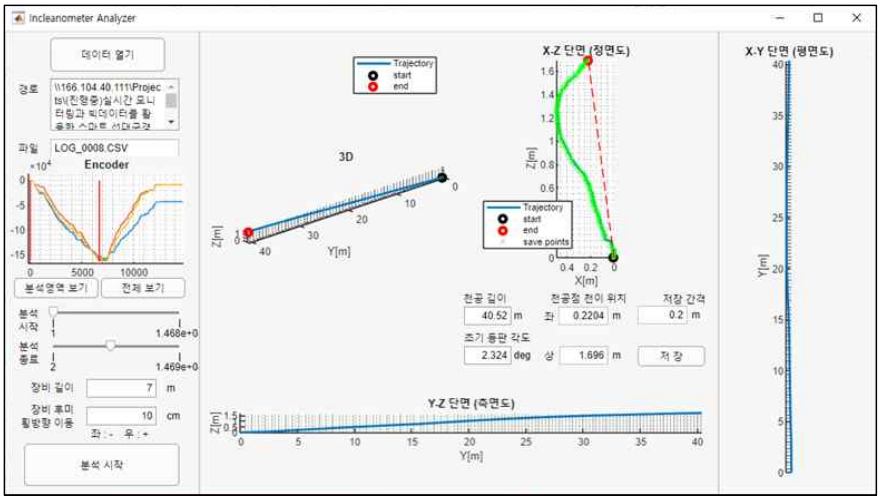
모니터링 데이터를 활용한 막장면 전방지질평가 매뉴얼

2) 천공 홀 내부 계측장비 개발

- 차량형 천공 홀 내부 계측장비의 개선사항을 반영하여 2차 시제품인 내벽지지형 천공 홀 내부 계측장비를 개발하였으며, 장비 기동 시 공벽 내부의 불균질 특성으로부터 발생되는 장비의 틀어짐을 최소화하여 IMU 센서로부터 측정되는 기울기의 오차를 줄일 수 있음.
- 또한, 360° 카메라를 활용하여 촬영된 천공 홀 내부 영상 이미지를 프로그램을 통해 다양한 각도에서 볼 수 있어 보다 정확한 분석과 판단이 가능함.

천공 홀 내부 계측장비 및 홀 내부 관측 이미지

- 천공 홀 내부 계측 장비에 부착되어 있는 IMU 센서를 이용한 천공 경로 계측 데이터 원본을 활용하여 경로를 추적하기 위해서는 매우 많은 시간이 소요되며, 이를 보완하기 위해 천공 경로 분석 소프트웨어를 개발함. 본 소프트웨어는 XY 단면, YZ 단면에 대해 최종 천공 경로를 보여주며, 이를 통합시킨 3차원에 대한 최종 천공 경로 또한 디스플레이 할 수 있음.

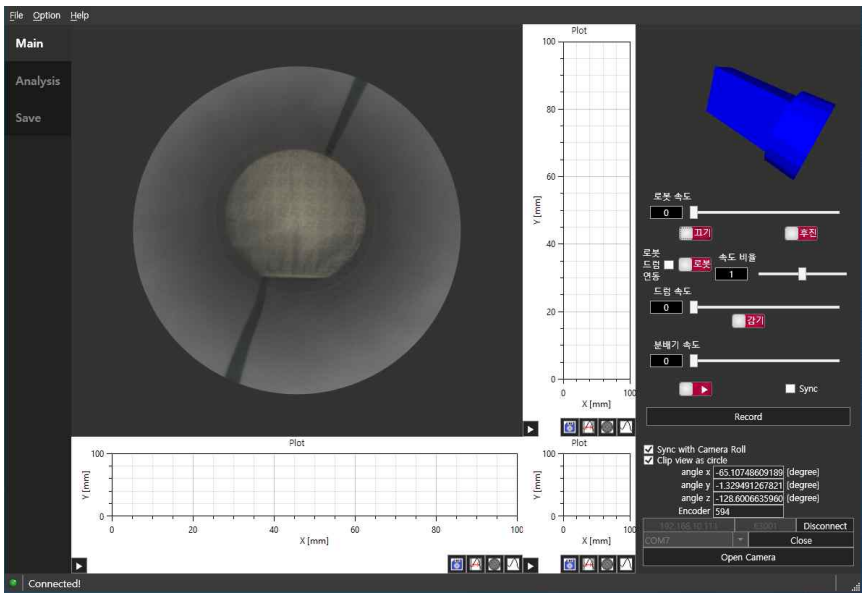


천공 경로 분석 소프트웨어

- 2차 시제품의 개선사항을 반영하기 위해 3차 시제품(최종)인 천공경로 및 지반탐사 복합시스템을 개발함. 본 시스템은 전기 모터를 9개의 기동부에 전부 장착하여 공내의 연약부에 위치한 블록의 탈락 시 발생 가능한 장비기동 문제를 보완하였음.
- 또한, 본 시제품의 몸체는 기존 장비에 비해 2배 길게 제작되어 거칠기가 심한 공벽에서도 천공경로 측정 오차를 최소화할 수 있으며, 향후 추가 연구를 통해 공내 촬영 영상을 파노라마 형태로 변환할 수 있도록 머신비전 카메라를 적용시킴.

천공경로 및 지반탐사 복합시스템(3차 시제품)

- 계측부의 카메라, IMU 센서, 플랫형 링 조명과 기동부의 모터, 그리고 전선 드럼의 회전과 전선 분배기 등을 통합적으로 컨트롤할 수 있는 윈도우 기반 MSP Analysis Platform (MAP)을 개발하였음.
- MAP에서는 공내 촬영영상과 천공 경로에 대한 데이터를 실시간으로 확인할 수 있으며, 경로 계측의 경우 천공장 대비 이격거리 정확도 검증 결과 99 %의 평균정확도를 보였음.



MSP Analysis Platform (MAP)

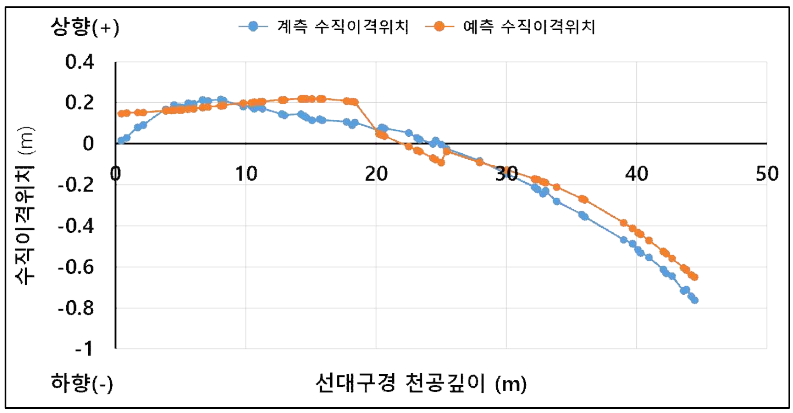
4. 선대구경 성능최적화 소프트웨어 개발

1) 머신러닝 기반의 천공장비의 상황별 초기세팅 산정 모델 개발

- 현장 데이터를 확보해보니 2차년도에 선정한 입력인자의 변경이 필요하여 후미이동의 좌우는 +, -로 표기하는 것으로 변경하였고, 암반 분류와 선대구경 장비의 유형, 그리고 암반의 변화를 추가함. 또한 출력인자의 경우 기존 이격거리에서 수평 및 수직이격위치 두 개로 구분하였음.
- 데이터는 총 2,631개를 13개 현장에서 확보하였으며 1, 2, 3차에 걸쳐 확보 및 데이터 분석을 수행함. 1차 데이터분석에서는 문헌조사에 따른 머신러닝 학습 기법선정, trial and error를 통한 초기 구조 선정, 오차율 감소를 위한 개별 출력인자 확보기법 등에 대한 연구를 진행함. 2차 데이터분석에서는 계측장비의 계측 결과 보정, 원-핫-인코딩 기법으로 추가적 연구를 진행함. 3차 데이터분석에서는 추가 문헌 연구 사항을 참고하여 최종 모델 구조(히든레이어: 2개; 노드: 각각 36개; 36-36구조)를 선정하여 최종 모델 개발을 수행함.
- 학습 데이터셋 1973개, 테스트 데이터셋 658개의 3:1 비율로 모델 개발 및 검증을 수행함. 테스트 데이터 검증 결과 수평이격위치는 범위 4.4m(-1.76~2.64m)에서 평균절대오차 0.19m를 보였으며, 수직이격위치는 범위 3.79m(-2.79~1.00m)에서 평균절대오차 0.12m를 보이며 매우 수준 높은 예측 결과를 도출함.
- 세팅각도와 후미이동 제안을 위해 이 두 인자를 출력인자로 사용하고 수평 및 수직 이격거리를 입력인자로 활용하여 머신러닝 모델을 개발함. 그 결과 세팅각도는 범위 1.2°(1.6~2.8°)에서 평균절대오차 0.068°를 보였으며, 후미이동의 경우 범위 65cm(5~70cm)에서 평균절대오차 2.13cm를 보이며 이 또한 매우 수준 높은 예측 결과를 도출함.
- 터널공학 및 머신러닝 전문가의 자문결과를 요약하면, 평균절대오차의 결과가 매우 우수하며 학습이 잘되었다고 평가되고, 학습된 현장의 인근 또는 유사현장에서 잘 적용될 것으로

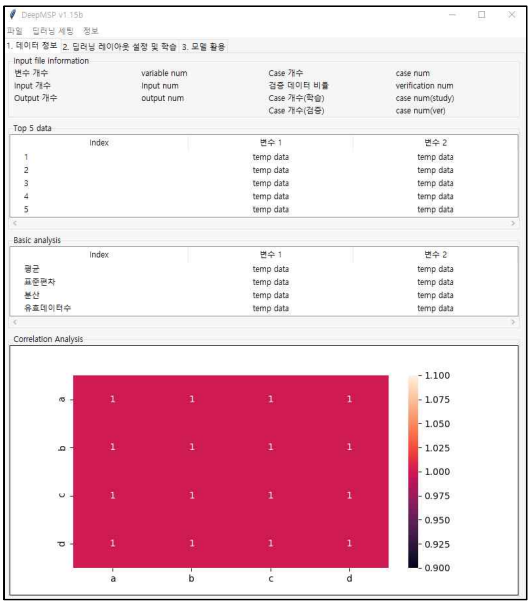
기대됨. 그러나 학습자료 추가확보가 필요하며, 과학습이 일어나지 않도록 할 필요가 있으며, 현장에서 확보하기 용이한 인자로 구성되어 일반화에 도움이 될 것이라는 의견이 있었음.

- 향후 지속적인 데이터 수집 및 분석을 통해 신뢰도를 높이고 오차를 최소화하여 다양한 현장에서 적용 가능하도록 지속적인 연구를 수행할 예정임.



머신러닝을 이용한 천공경로 예측 모델

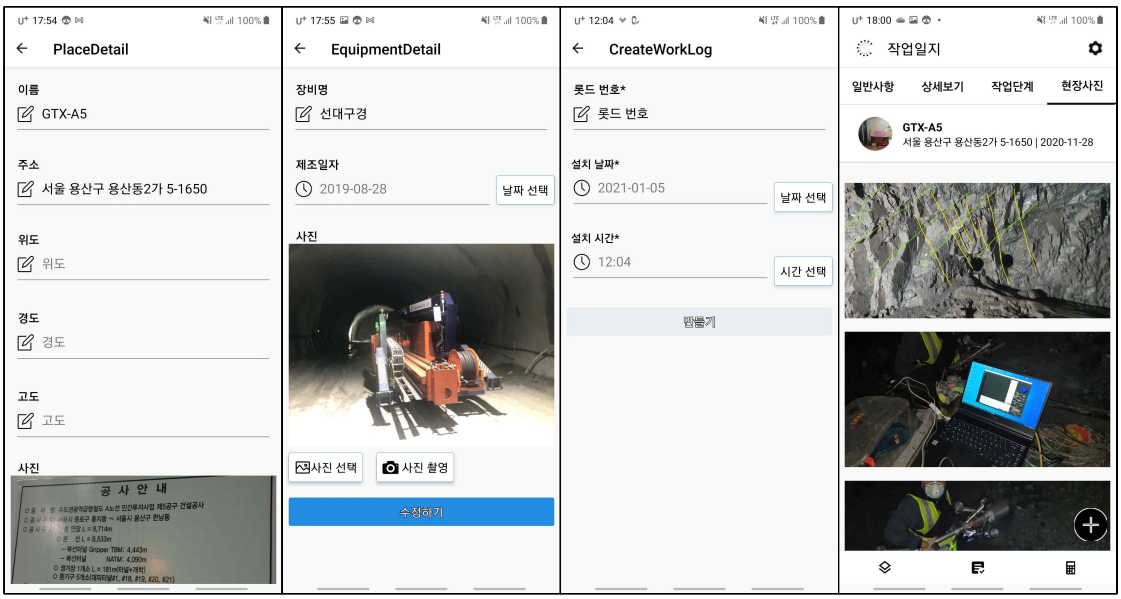
- 대구경 천공 공법은 수평천공 뿐만 아니라 수직천공 또한 가능하도록 선대구경 장비가 개발됨에 따라, 선대구경의 시공 여건이 달라질 수 있으며, 초기세팅조건에 영향을 미치는 변수가 변하거나, 딥러닝 모델의 구조가 달라져야 할 수 있음. 이러한 상황에 대비하여 선대구경 수평천공에 최적화된 기존의 프로그램 이외에, 다양한 모델을 동적으로 구성할 수 있는 프로그램을 개발하였음.
- 딥러닝 모델 학습 시 요구되는 다수의 설정 값들을 코딩 없이 사용자가 직접 입력할 수 있는 사용자 맞춤 프로그램이며, Hidden layer의 개수, 각 Hidden layer 별 노드 수, 각 Hidden layer 별 활성함수 종류를 사용자가 임의로 지정할 수 있음. 학습이 진행될 최대 Epoch 값을 입력할 수 있으며, 학습된 값을 모델에 반영하는 주기인 Batch number를 지정할 수 있다. 역전파 방법과 모델의 학습정도를 평가할 수 있는 Loss function을 사용자가 임의로 지정할 수 있음.



범용・통계 딥러닝 소프트웨어

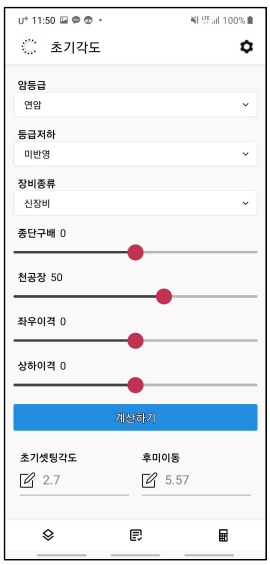
2) 앱 기반의 실시간 정보 공유 시스템 개발

- 앱 기능 최적화를 위해 개발환경 및 데이터베이스 선정에 대한 재검토를 수행하였으며, 그 결과 기존 App Inventor를 대체하여 Reactnative, Expo를 선정하였으며, Firebase DB 대신 PostgreSQL, AWS를 이용하여 앱 개발을 진행함.
- 현장 별 사진 촬영 및 서버에 저장할 수 있는 UI를 구상하였으며, 선정된 Reactnative, Expo 등의 개발환경을 이용하여 기능 구현함. 데이터베이스에 사진 경로를 저장하여 앱에서 사진 접근이 가능하도록 구현함.
- '천공경로 예측 모델'을 기반으로 선대구경의 초기세팅 시 필요한 초기세팅각도 및 후미이동 계산을 할 수 있는 UI를 제작하였으며 이를 위한 데이터베이스를 구축함.



앱 기반 정보 공유 시스템의 User Interfaces

- 천공 장비의 현장 상황별 최적의 초기세팅 산정을 위한 머신러닝 알고리즘을 앱 기반 정보 공유 시스템에 내장시켜 PC 환경이 제한된 현장에서도 간편하게 사용할 수 있도록 하였음.



현장 상황별 장비의 초기세팅 값 계산 User Interface

5. 선대구경 수평천공 시공 매뉴얼

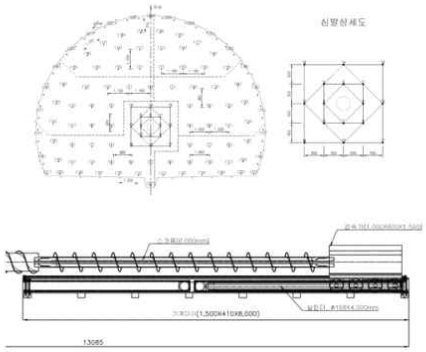
선대구경 천공 시공매뉴얼

2020.

(주) 성진이엔씨

1. 개 요

선대구경 수평천공(Super Hole or PLHBM)에 의한 발파진동 제어공법은 심발부에 자유면 체적에 의한 2자유면을 형성함으로서 터널발파시 진동 및 소음발생을 최소화하고 굴진효율을 극대화 함에 그 목적이 있다.



- 1 -

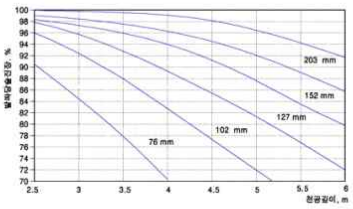
2. 천공직경에 따른 자유면증대 효과

(1) 자유면 체적 증대(50m 기준)

Φ=362mm → πD2/4 ×50 = π×0.3622/4 ×50 = 5.15㎥

Φ=382mm → πD2/4 ×50 = π×0.3822/4 ×50 = 5.73㎥

(2) 무장약공 직경에 따른 자유면 효과



여기서, D : 무장약공 환산직경,
d : 무장약공 지름
n : 무장약공 수`

$$D = d\sqrt{n}, \quad n = \left(\frac{D}{d}\right)^2 = \left(\frac{382}{362}\right)^2 = 1.11$$

Φ382mm 천공시 Φ362mm 대비 11%, 자유면 증대효과.

- 2 -

3. 장비투입계획

(1) 천공기 : 1대
(2) 롯드카 : 1대
(3) 함마/비트 : 1SET (382mm)
(4) ROD : 1조 (50M)
(5) COMP : 2~3대 (970 또는 1070CFM)
(6) 지원사항
  가) B/H : 슬라임처리
  나) 전원 : 파워팩 가동
  다) 용수 : 천공용수

- 3 -

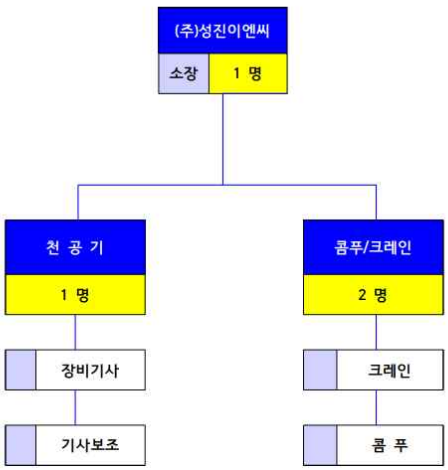
<선대구경 수평천공 장비>

<함마 비트 및 롯드카>

4. 굴착공정

구 분	전날 저녁	새벽	오전	오후
장비(천공기) 투입				
장비 SETTING				
수평천공				
장비철수				
소요개월	자재투입 포함 1일 작업량 50m~60m/일 소요			

5. 인원투입계획



6. 시공순서

(1) 준비작업 : 측량 및 바닥 정지 작업

1) 터널입구나 터널 내에는 사람들의 통로나 일반적인 작업에 방해가 되지 않은 장소에 1070cfm(25㎏f/㎠) 공기압축기 2대를 배치한다.

2) 천공 장비가 설치되는 기초바닥은 가능한 암반층이어야 하나, 현장여건상 막장 지반이 연약하거나 바닥부 여굴이 발생한 경우에는 버력 등으로 바닥을 다지거나 높이를 맞추어야 한다.

3) 천공 장비의 설치 공간은 길이=10m이상, 넓이=2.5m, 높이=4.5m이상을 확보하며 현장여건이 여의치 않을 경우에는(좁거나 높이가 낮은) 별도의 천정크레인을 설치하거나 굴삭기 등을 이용한다.

4) 막장면은 천공방향과 직각이 되도록 면을 정리해야 한다.

(2) 천공장비 설치

1) 천공 장비류 설치시 가장 중요한 것은 천공방향 설정이므로 표에서와 같은 경험적인 자료를 참고로 하여 방향을 설정하고, 연속작업 시에는 전회의 작업결과를 고려하여 지속적으로 조정작업을 하여야한다.

2) 천공장비는 천공공이 도달하는 위치에서의 오차가 최소화 되도록 천공작업이 시작되는 위치에서 천공공의 직경, 암반 상태, 천공연장에 따라서 상향 및 좌향 구배를 미리 보정하여야 한다.

표. 천공공의 직경, 암반 강도, 천공 길이에 따른 상향 구배

작업조건 / 암반상태	수평 천공공 직경 및 천공 길이	
	직경 382mm	
	25m	50m
연암 이하 (700kgf/cm²이하)	1.5%	3.0%
보통암 (700 - 1300kgf/cm²이하)	1.3%	2.8%
경 암 (1300kgf/cm²이상)	1.0%	2.5%

3) 장비 셋팅이 완료된 후에 장비후방부에 부착된 1쌍의 유압반력대를 이용하여 천공장비가 반력에 밀리지 않도록 견고하게 고정시킨다.

(3) 천공 작업

1) 초기 약 1~2m 정도까지 천공하는 작업은 햄머 부분이 자리를 잡아가는 과정이므로 굴진속도를 조정하면서 작업하여야 하며, 햄머가 천공방향으로 완전히 자리를 잡은 이후에는 1070 C.F.M 공기압축기 2대의 용량을 최대로 활용하여 천공작업을 수행한다.

2) 천공작업 시 배출되는 슬라임이 천공장비가 고정된 바닥과 작업대 사이의 공간을 채워서 천공작업 시 장비의 진동발생이 감소되도록 한다.

3) 천공 작업 중에는 수시로 물을 주입한 후(천공을 중단하고)일시에 공기를 방출하여 천공공 내의 슬라임이 원활히 배출되도록 하여야 한다.

4) 롯드의 연결 및 분리에는 선대구경 장비에 장착된 5톤 크레인을 사용 한다.

5) 천공작업 중 컨트롤패널 및 데이터 로거로 측정된 타격압을 바탕으로 반력용량을 산출하여 기록한다. 측정된 타격압을 기준으로 유압

식 반력대에 분포되는 하중이 초과 할 경우 필요에 따라 보강작업을 해야한다. (천공시 반력용량 측정)

6) 천공작업 완료 0.5~1m 전에는 롯드 내부에 5~10분 동안 물을 삽입한 후에, 일시에 Air밸브를 열어서 천공공 내부에 슬라임이 잔존하지 않도록 한다.

7) 천공을 완료하고 롯드를 분리할 때에는 막장면 쪽의 연결핀을 먼저 풀고, 다음에 감속기부분의 연결핀을 푼다.

그림. 시공순서

7. 장비제원

□ 수직 및 수평이 가능한 고성능 선대구경 천공 장비

구분		결과
자체중량		16,000kg
최고속도		5.48km/h
규격		350kg, 302.4L/min
변속기		무단
외관	길이	7,780mm
	너비	2,400mm
	높이	2,885mm
	최저 지상고	274mm
무한궤도식	슈폭	400mm
	트랙높이	600mm
	트랙중심간거리	1,600mm
	접지압	1.49kg/cm²
엔진	형식	C4.4
	출력	175.3/2200ps/rpm
	최대토크	76.5/1400kgm/rpm
	기통수	4기통
유압크레인	붐길이	최소(3,960mm) 최대(15,740mm)
	붐단수	6단
	최대정격총하중	5ton
	최소작업반경	2.5m
	최대작업반경	15.5m

장비사진 (수직 및 수평이 가능한 선대구경)

장비사진

정면 후면

8. 시공사진

수직구 선대구경 수직천공(삼성~동탄 3공구 건설공사)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원 사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.