

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호()
국토교통기술사업화지원사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 19TBIP-C126507-03

와이어쏘에 의한 장심도 암반절단 기술개발 최종보고서

2020. 01. 22.

주관연구기관 / (주)경도
공동연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관(국토교통과학기술진흥원) 귀하

‘와이어쏘에 의한 장심도 암반절단 기술개발’ (연구개발 기간 : 2017. 04. 01 ~ 2019. 12. 31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2020. 01. 22.

주관연구기관명 : (주) 경도 (대표자) 문 주 명



공동연구기관명 : 한국철도기술연구원 (대표자) 나 희 승



주관연구기관책임자: 정 성 남

공동연구기관책임자: 안 성 권

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19TBIP-C126 507-03	해당 단계 연구 기간	2019.01.01. ~ 2019.12.31	단계구분	3차년도/ 총 3차년도
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화지원사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	와이어쏘에 의한 장심도 암반절단 기술 개발			
	세부과제명				
연구책임자	정 성 남	해당단계 참여연구원 수	총: 6명 내부: 6명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:250,000천원 민간:167,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:417,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 19명 내부: 19명 외부: 명	총 연구비	정부:731,000천원 민간:491,400천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:1,222,400천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주) 경도 한국철도기술연구원			참여기업명	(주) 경도
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반과제				

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허 (디자인포함)		보고서 원문	연구시설 · 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
		출원	등록						생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	3	5	4	10	3	0	0	0	0	0	0	0

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
황제종합 건설기계	장심도 암 반절단 와 이어쏘 기 기장치		1	2018-10-19	40,000,000	070-7795-9307	경기도 안 성시 일죽 면 일죽당 촌길 43	NFEC-2018-10-246602
황제종합 건설기계	장심도 용 자주식 와 이어쏘 구 동장비	HJ-SPWS-2018	1	2018-10-18	100,000,000	070-7795-9307	경기도 안 성시 일죽 면 일죽당 촌길 43	NFEC-2018-10-246600

요약

핵심개발목표

무진동 암파쇄(Rock Splitting) 굴착 능력을 개선을 위한 와이어쏘(Wire Saw) 절단기술 개발 및 절단성능 예측기법 개발

세부목표

1. 장심도 암반절단 시스템 개발
2. 고정식 와이어쏘 구동장치 기술 개발
3. 추진식 와이어쏘 지지대 기술 개발
4. 종방향 암반 절단 기술개발
5. 앵커형 폴리 및 다면절단 기술 개발
6. 다면 동시절단 기술개발
7. 와이어쏘 절단성능 모델 시뮬레이션

131면

요약문

연구의 목적 및 내용	무진동 암파쇄(Rock Splitting) 굴착 능력 개선을 위한 와이어쏘(Wire Saw) 절단기술 개발 및 절단성능 예측기법 개발 [세부목표1] 장심도 암반절단 시스템 개발 - 협소 공간내에서의 장시간 장비가동을 위해 유압모터 구동 장비화 - 장거리 주행을 위한 주행 엔진(디젤) 별도 장착 [세부목표2] 고정식 와이어쏘 구동장치 개발 - 입체구조 거치대에 12개의 신장폴리를 장착하여 와이어쏘의 운행길이 조정 - 절단장비의 정위치 작업으로 협소공간내에서의 적용성 향상 [세부목표3] 추진식 와이어쏘 지지대 기술 개발 - 유압구동모터와 레크기어에 의한 지지대의 승강 원활화 - 진입공간내에서의 지지대 정속 승강 [세부목표4] 종방향 암반절단 기술개발 - 절단면 대응 거치대 연구개발 - 절단면 각도 대응 보조폴리 장착방법 연구개발 [세부목표5] 앵커폴리에 의한 암반 절단기술 개발 - 앵커폴리의 구조 및 그립핑 구동력 연구개발 [세부목표6] 다면 동시절단 기술개발 - 와이어쏘 방향 전환 방법 연구개발 [세부목표7] 와이어쏘 절단성능 모델 시뮬레이션 - 절단 암반 특성에 따른 지지대 하강속도 및 와이어쏘의 운행속도 선정				
연구개발성과	1. 와이어쏘 1회 절단면적 40㎡ 이상 핵심기술 확보 2. 장심도 와이어쏘 암반절단 기기 제작 및 현장적용실적 확보 3. 건설신기술 NET 인증 신청 4. 와이어쏘 절단모델 이론 및 역학적 정립				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1. 지하 대공간(e.g. 영동대로 지하공간개발) 무진동 암파쇄 2. 발파 진동에 따른 민원이 예상되는 지하구조물 3. 열차, 대형차량의 진동에 따른 민원발생 방지를 위한 방진구 4. 와이어쏘 제원 및 실험조건에 따른 시뮬레이션 획득 5. 선진국의 기술이전 기피현상 극복 및 규제회피에 효과 기대 6. 기존 발파방식에서 진동저감을 위한 보완기술로 활용하여 높은 비용절감 기대 7. 해외시장 진출시 국가이미지 제고 효과가 탁월할 것으로 기대				
국문핵심어 (5개 이내)	와이어쏘	무진동 암파쇄	지하구조물	장심도	자유면

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 연구개발 목적	1
나. 연구개발의 필요성	1
다. 연구개발 범위	2
2. 연구수행내용 및 성과	3
가. 연구개발 내용 및 결과	3
나. 연구개발 성과	84
다. 연구결과	87
3. 목표달성도 및 관련분야 기여도	91
가. 목표 달성도	91
나. 관련분야 기술발전 기여도	101
다. 개발기술의 우수성	102
라. 기존 및 유사기술 차별성	111
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	123
가. 사업화 추진방안	123
나. 사업화전략	123
다. 사업화 모형	124
붙임. 참고 문헌	129

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

구분		내용
사업화 최종 목표		▪ 건설신기술(NET) 신청/인증 ▪ 현장시공 적용 및 실적확보 ▪ 장심도 와이어쏘 암반절단 장비제작 및 성능평가
핵심목표	1	장심도 암반절단 시스템 개발
	2	고정식 와이어쏘 구동장치 개발
	3	거치대 장착 승강식 지지대 개발
	4	종방향 암반 절단 기술개발
	5	앵커폴리에 의한 암반 절단기술 개발
	6	다면 동시절단 기술개발
	7	와이어쏘 절단성능 모델 시뮬레이션

나. 연구개발의 필요성

(1) 시장현황

- 2015년 국내 터널 공사 계약 규모는 4,327억 규모이며, 터널 길이는 2010년부터 2015년까지 7.8%로 꾸준히 증가하고 있음
- 도심지 초밀집화에 따라 지하대공간 프로젝트가 계획되고 있으며 최근 영동대로 지하공간 프로젝트 설계를 국제 공모하여 선정하기도 함
- GTX-A, B, C 등 수도권 광역급행철도, 신안산선, 월곶판교 복선전철 등의 대형철도사업과 경부고속도로 지하화, 서울도심지하도로 등 초장대 지하도로 등이 계획되고 있음
- 도시집중화에 따른 집단민원 등으로 발파공사에 대한 제약이 점점 커지고 있으며, 무진동 암파쇄(할암) 시장이 크게 확대되고 있는 상황임
- 적용분야도 무진동 암파쇄 적용분야도 터널, 수직구, 터파기, 비개착 등 다양해지고 있음
- 해외 역시 도로, 철도 인프라 확대에 따른 육상 터널과 도심지 밀집화에 따른 굴착공사가 크게 확대되고 있음
- 이상과 같이 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 무진동 암파쇄 굴착시장이 크게 넓어지고 있는 추세임

(2) 기술현황

- 굴착 시장은 발주액 기준으로 관공서가 약 2조 7천 억원, 민간이 약 2조 5천 억원 정도 수준으로 전체 약 5조원 규모임. 이중 70% 이상은 화약발파 관련이며, 나머지 30%는 무진동, 미진동, 진동제어발파 관련임
- 무진동 공법으로 분류되는 할암봉에 의한 암파쇄는 소음과 진동이 없는 반면에 1회의 할암 깊이가 80cm로 제한되므로 발파 방식에 비해 굴착 효율이 낮음
- 1970년대부터 전 세계적으로 비폭성 파쇄제가 개발되어 사용되어 왔으나 자유면이 부족한 조건에서는 파쇄 효율이 저조하여 활성화되지 못하고 있음
- 해외의 대리석 석산에서 와이어쏘에 의한 암반절단이 활발하게 이루어지고 있으나 대체적으로 감싼 절단 방식을 사용하므로 터널 등의 공사 현장의 암반 절단에서는 적용하기 어려움
- 국내에서는 철근 콘크리트 구조물 해체 작업 및 파일의 선단부 절단 등에 활발히 이용되고 있으나 감싼 방식이 기조임
- 할암봉 또는 비폭성 파쇄제의 암파쇄 효율을 증대하기 위해서는 암반에 자유면을 만들어 주어야만함으로 와이어쏘에 의한 암반 절단 기술이 필요한 시점에 와있음
- 암반 절단 기술은 암파쇄시의 자유면 설치에 국한된 것이 아니고 발파시의 진동 차단 틸새로써의 효용성도 점차적으로 인지되어 가고 있는 추세임
- 기존 와이어쏘 절단 방식은 절단이 진행됨에 따라 장치가 전후로 이동해야 하기 때문에 공간 제약이 거의 없는 노천에서는 자주식 구동장치나 레일식 구동장치를 사용했는데, 공간이 협소하고 노면이 불량한 수직구에서는 사용이 불가함 따라서, 장심도 와이어쏘 암반절단 기술은 건설시장에서 터널, 수직구, 터파기, 비개착 공사현장의 무진동 암반파쇄 시장에 매우 큰 긍정적 영향을 줄 것으로 판단됨

다. 연구개발 범위

(1) 주관연구기관((주)경도)

: 장심도 와이어쏘 암반절단 장비제작, 성능평가 및 현장적용

- ① 현장적용 시작품 제작
- ② 현장 실적용 및 시공실적확보
- ③ 현장적용 시작품 성능평가
- ④ 성능평가 공인시험, 원가계산 수행
- ⑤ 건설 신기술(NET) 신청 및 인증취득

(2) 참여기관(한국철도기술연구원)

: 와이어쏘 절단모델 개발을 통한 성능 예측

- ① 와이어쏘 암반절단 모델 코딩
- ② 와이어쏘 절단성능 예측기법 디버깅
- ③ 와이어쏘 절단성능 예측기법을 위한 시뮬레이션

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구개발 내용 및 결과

(1) 연구개발 추진전략 및 방법

- 국내 와이어쏘 장비, 와이어쏘 기술자료 등의 분석결과와 국내 토목·기계 기술의 접목을 통한 와이어쏘 암반절단 독자 설계·제작 기술 확보 추진
- 장심도 와이어쏘 암반절단 기술 설계·제작 등과 관련하여 기술력과 연구경험을 보유하고 있는 연구진 및 제작사의 참여를 통해 연구성과 연계 극대화
- 특허컨설팅을 통하여 국내외 와이어쏘 선행기술조사를 수행하고, 사업화컨설팅을 통하여 사업화 자문 및 상용화 기술의 국내외 시장진출에 박차를 가하고자 함
- 필요시, 본 연구진이 해외출장 등을 통해 선진 와이어쏘 제작사와 전문가들을 대상으로 자문, 기술협력 등을 통해 단기간 기술확보 도모
- 발주처 및 설계·시공사를 대상으로 기술소개와 홍보를 적극적으로 실시하여, 가능한 직접 수주를 통해 사업화 및 성과 활용·적용 도모
- 성공적인 연구개발을 위하여 주관연구기관은 타 연구기관과의 업무협력, 추진상황점검 및 성과관리에 중점을 두고 총괄업무를 수행

(2) 연구개발 추진체계

(가) 주관연구기관((주)경도)

- 장심도 와이어쏘 암반절단 시스템 설계, 시제품 제작 및 성능평가, 현장적용

(나) 공동연구기관(한국철도기술연구원)

- 장심도 와이어쏘 암반절단 모델정립 및 시뮬레이션 수행

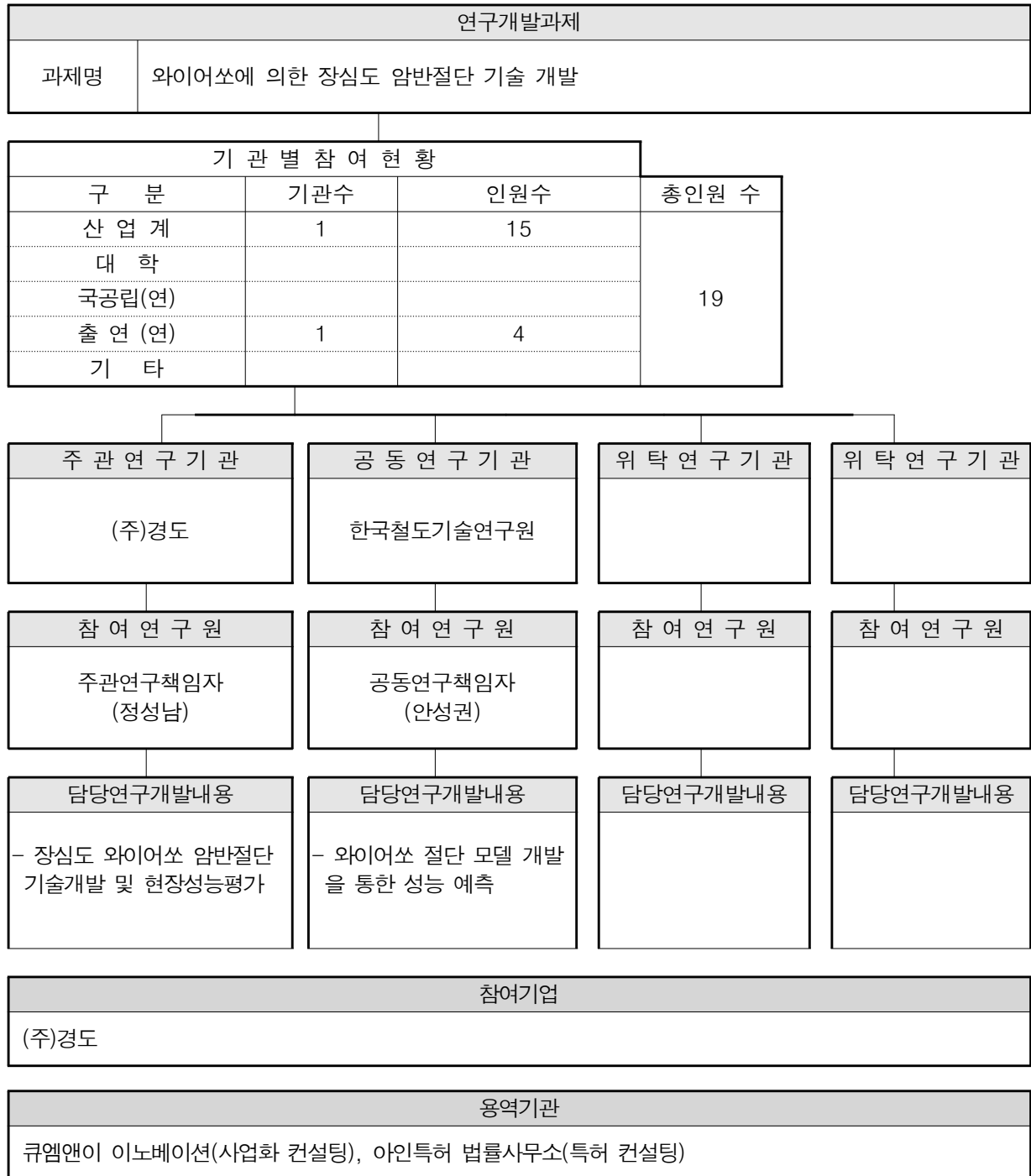
(다) 용역기관(아인특허)

- 특허컨설팅 수행(선행기술조사, 국내외 와이어쏘 특허분석)

(라) 용역기관(큐엠앤이)

- 사업화컨설팅 수행(개발기술의 사업화 분석 및 시장 확대 전략수립)

(3) 연구수행 체계도



(4) 연구개발 추진일정

구분 (연도)	사업화 목표	사업화 전략 및 방법	성과물
1차 연도 (2017)	■실험실 규모 시작품 제작 및 실내 성능평가	■시작품을 활용한 실내테스트 실시 및 평가	■실험실 시작품 제작 ■공인성적서
	■장심도 와이어쏘 암반절단 핵심기술 설계 및 개발	■특허컨설팅을 통한 선행기술 조사, 핵심기술발굴 ■사업화컨설팅을 통한 수요처 발굴	■특허출원(국내) ■컨설팅보고서(사업화, 특허)
2차 연도 (2018)	■현장테스트용 시작품 제작 및 현장성능평가	■시작품 제작 및 현장시험시 공 ■시작품 성능검증	■현장테스트용 시작품 제작 ■○○현장 시험적용 ■공인성적서
	■마케팅 계획 수립	■특허컨설팅을 통한 해외출원 ■사업화컨설팅을 통한 실수요 처 마케팅전략 수립	■특허등록(국내)/국외출원 (PCT) ■디자인출원 ■컨설팅보고서(사업화, 특허)
	■신기술 신청 준비	■사업화기술의 원가계산 용역 수행	■원가계산서
3차 연도 (2019)	■현장적용 시작품 제작 및 현 장성능평가	■시작품 제작 및 현장시공 ■시작품 성능검증	■현장용 시작품 제작 ■현장적용 및 시공실적확보 ■공인성적서
	■기술가치평가 수행	■기술가치평가 전문기관을 통 한 용역 수행 ■지식재산권 확보	■기술가치평가 보고서 ■특허출원/등록(국내)
	■사업화 관련 인증 신청	■건설신기술 지정 신청	

(5) 연구개발 내용

(가) 정위치 장심도 암반절단 기술개발

① 정위치 장심도 암반절단 기술

㉠ 절단 장비 구동동력과 형식 선정

구분	검토항목	대 비		선정결과
		장 점	단 점	
1. 암반 절단 기동력	① 엔진식	보편화	매연발생, 소음등으로 밀폐공간내 장시간 작업이 어려움	유압모터
	② 유압모터	친환경적	산업용 고압전기 공급처음 시도로 시행착오	
2. 장비 운행	① 엔진식	운행 거리에 제한이 없음	별도의 엔진 추가 장착	소형엔진 추가 장착
	② 유압모터	장비 조합이 간편	동력케이블이 연결된 상태로 운행	
3. 장비 궤도	① 라바궤도	가벼움	불규칙한 암괴상부로 운행시 파손 소형으로 장비 전도	스틸궤도
	② 스틸궤도	무거움	파손에 대한 안전성 확보 규격이 커서 안정	
4. 거치 대 형태	① 육면체	신장폴리 장착 면적이 넓음 외형적 안정성	장비 유지보수시 장애	측면 직립형
	② 측면직립형	지지대 및 보조폴리 장착 용이	비대칭 구조로 시간적 불안정	
5. 신장 폴리 설치	① 10개이상	와이어쏘 길이 조절 용이	장착 면적이 넓어야 하므로 측면 직립형 거치대 적용 못함	3개
	② 3~4개	설치면적 최소	보조폴리를 이용하여 와이어 쏘의 길이 조정 필요	
비고		와이어쏘 시공업체, 장비 제작사 및 각 분야별 전문가의 의견을 수렴하여 결정		

㉞ 시작품 설계

㉟ 시작품의 구조

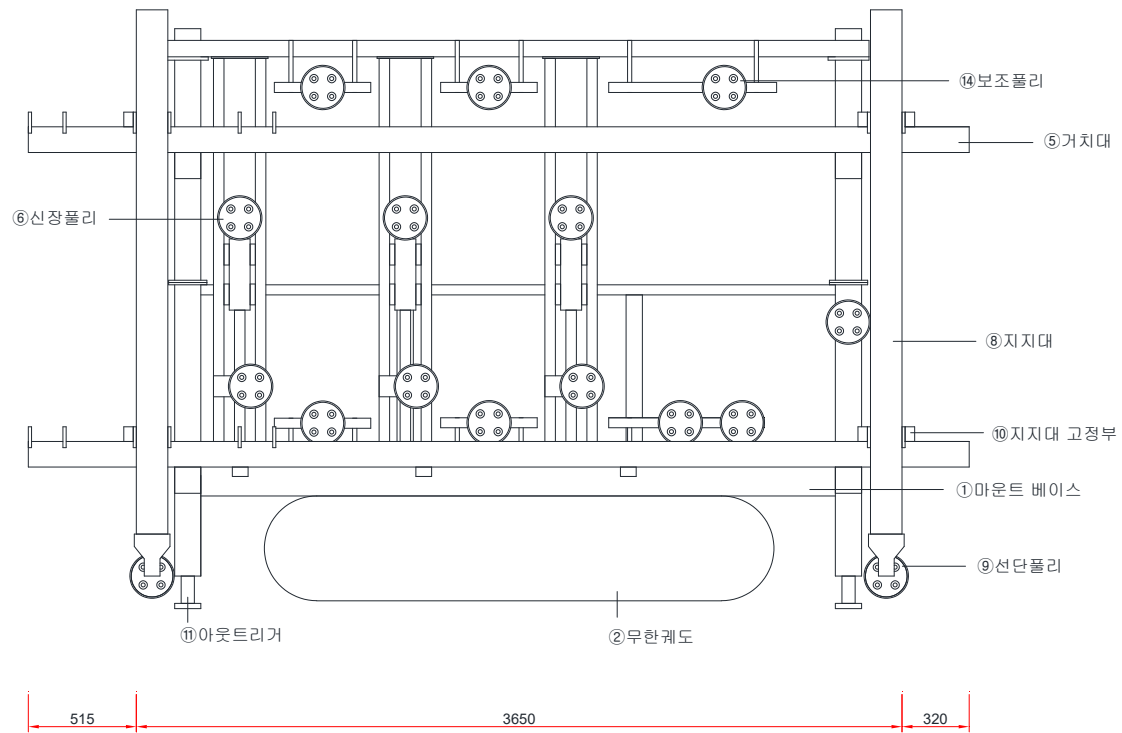


그림1. 시작품 정면도

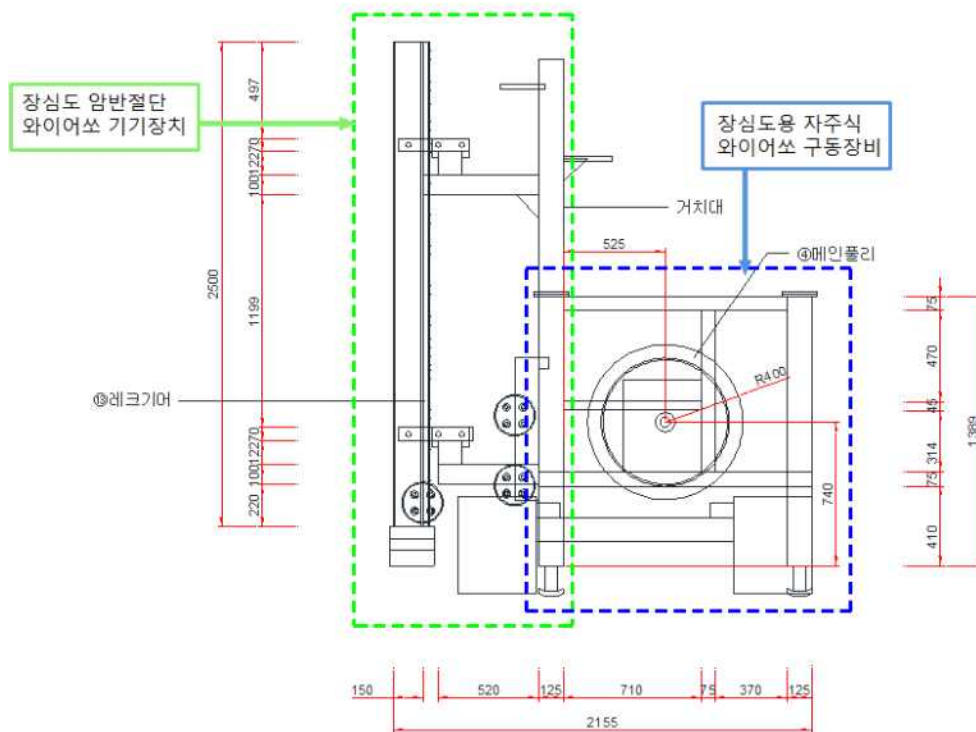


그림2. 시작품 측면도

◎ 시작품의 규격

	명 칭	규 격	비 고
①	마운트 베이스		장비 바닥
②	무한궤도		1set
③	유압모터	200HP	1개
④	메인폴리	Φ800	1개
⑤	거치대	2,610 × 195 × 4,810	1조
⑥	신장폴리	Φ50 × 행정1,000	3개
⑦	승강모터		2개
⑧	지지대	150 × 150 × 2,500	14개
⑨	선단폴리	Φ200	2개
⑩	지지대 고정장치	Φ70	상하 각 4조
⑪	아웃트리거	2,000kg/EA	4개
⑫	오버헤드 크레인	600kg	1개
⑬	레크기어	50 × 60 모듈	총 35m
⑭	보조폴리	Φ200	22개
비 고	도1, 도2 참조		

◎ 시작품 제작 과정

단계	작업 내용	참조 사진번호	비고
제1	무한궤도 공장 입고	사진1	
제2	장비프레임 제작	사진2	도색전
제3	무한궤도상에 프레임 장착	사진3	
제4	프레임상에 유압모터 설치	사진4	
제5	프레임 상에 거치대 설치	사진5	
제6	프레임 상에 크레인 설치	사진6	
제7	지지대 고정 장치 설치	사진7	
제8	지지대 고정장치에 지지대 삽입	사진8	
제9	지지대 승강 모터 장착	사진9	
제10	주행 엔진 장착	사진10	
제11	배전판 설치	사진11	
제12	와이어쏘 거치 시험	사진12	
제13	시작품 제작 완료	사진13	
제14	시작품 장비 주행 시험	사진14	



사진 1. 무한궤도 공장입고



사진 2. 장비프레임 제작



사진 3. 무한궤도상에 프레임 장착



사진 4. 프레임상에 유압모터 설치



사진 5. 프레임상에 거치대 설치



사진 6. 프레임상에 크레인 설치



사진 7. 지지대 고정 장치 설치



사진 8. 지지대 고정장치에 지지대 삽입



사진 9. 지지대 승강 모터 장착



사진 10. 주행 엔진 장착



사진 11. 배전판 설치



사진 12. 와이어쏘 거치 시험



사진 13. 시작품 제작 완료



사진 14. 시작품 장비 주행 시험

② 대형석재 절단시험 및 현장시험시공

	차수 위치 항목	1차	2차	3차	4차
		강릉건설 일죽공장	강동-상일 전력구현장	포천석산 (동아석재산업)	강릉건설 일죽공장
1	시험기간	2018.09.10 ~ 2018.09.14	2018.10.23 ~ 2018.10.25	2018.11.21 ~ 2018.11.23	2019.08.26 ~ 2019.08.27
2	절단 대상체 (mm)	대형석재(mm) 2,640×2,110	발진 수직구 35m 하부 암반	노천 절개면	대형석재(mm) (4,000×2,000) 대형석재(mm) (2,600×1,800)
3	암석 및 일축 압축 강도	화강암(126)	호상 편마암 (64)	화강암(115)	화강암(120)
4	절단면 크기 (폭×깊이mm)	2,640×2,110	4,000×5,000	4,000×2,000	2,640×1,800
5	절단 능력 (/ 간)	1.02	3.20	1.44	2.72

㉔ 강릉건설 일죽공장 (대형석재 절단 1차)

- 2,640mm (가로)×1,800mm(세로)×1,750(높이)의 석재 실험체(화강암, 일축압축 강도 125.9MPa)를 연직방향의 전진식으로 절단하면서 사용된 와이어쏘 (35m)가 약 1.0을 절단하는데 소요되는 시간을 측정
- 석재 실험체 높이(1,750mm)와 동일한 높이로 제작된 작업대 상부에 절단장비를 셋팅
- 진입공을 마련하지 않고 폭 3,500mm의 지지대 사이에 2,640mm (가로)의 석재 실험체를 둔 상태에서 지지대를 하강시켜 가면서 절단 (2,640×1,800× 1,750)



사진 15. 1차 절단 시험 광경

㉔ 강릉건설 강동-상일 전력구 현장

- 직경 Φ 7,400mm 의 발진 수직구 35m 바닥부에 노출된 호상 편마암(일축압축강도는 : 64MPa)를 연직방향으로 절단
- 수직구 바닥 암반상에 직경 Φ 400mm 의 진입공 3개를 2,000mm 간격으로 깊이 5,500mm로 천공
- 진입공 내에 이물질이 유입되지 않도록 각 진입공에는 주름관을 케이싱으로 설치
- 중앙에 위치한 공은 절단시 발생하는 Slime 집적공으로 사용
- 양 진입공 내부로 지지대를 내리면서 양 진입공 사이의 암반을 절단하여 두께 11mm의 Slot을 형성



사진 16. 2차 절단시험

㉔ 동아석재산업 포천석산현장

- 석산의 석재 절단면 상에 직경 $\Phi 400\text{mm}$ 의 진입공 2공을 4,000mm간격으로 깊이 5,000mm로 천공
- 각 진입공 내부로 와이어쏜을 감아돌리는 선단폴 리가 장착된 지지대를 내려가면서 전진식 암반 절단 방식으로 양 진입공 사이의 암반을 절단방식으로 양 진입공 사이의 암반을 절단



사진 17. 3차 절단시험

㉔ 강릉건설 일죽공장 (대형석재 절단 2차)

- 포천 동아석재에서 구입한 대형석재(길이 4,000mm , 높이 2,000mm, 폭 1,500mm)를 운반하여 1차 시험 수행 완료 후 남아있는 대형석재 (길이 1,800mm, 높이 2,640mm, 폭 1,750mm) 와 접속
- 높이 2,600mm, 길이 3,000mm, 폭 2,500mm의 강재 작업대를 두 개의 대형석재 전면 에 설치
- 작업대 상단에 절단 장비 셋팅
- 대형석재 양측외측에 선단폴리가 장착된 지지대 거치
- 제 1열 절단하고 연차적으로 제 3열까지 절단



사진 18. 4차 절단시험



사진 19. 4차 절단시험의 절단면
(절단 두께 : 11mm)

(나) 종방향 암반절단 기술개발

① 종방향 암반절단 기술

㉓ 개발 목표와 개발 기술

	목표	개발기술	참조
1	정위치 암반절단 기술	① 3개 이상의 신장폴리 장착 ② 거치대에 보조폴리 12개 설치 (상단 6, 하단6) ③ 절단 시작시는 와이어소를 수축상태의 신장폴리와 2개의 보조폴리에 거치상태로 메인폴리에 연결 ④ 절단 깊이 만큼 3개의 신장폴리를 최대한 신장 ⑤ 신장폴리로부터 와이어소를 벗겨내고 2개의 보조폴리에 걸침 ⑥ 동시에 신장폴리는 수축 ⑦ 이하 ④~⑥단계를 반복 시행하여 와이어소의 여유길이를 수용	
2	장심도 암반절단 기술	① 절단 깊이이상으로 2개의 진입공 천공 ② 진입공 공저에 와이어소가 거치된 앵커폴리 장착 ③ 앵커폴리의 Gripper 신장 ④ 진입공 두부에 각도 조절 폴리 설치 ⑤ 양편 와이어소를 메인 폴리에 장착후 절단시작	
3	종방향 암반절단 기술	① 와이어소 장비에 자유폴리 설치 ② 와이어소를 거치한 앵커폴리를 각 진입공의 공저에 설치하고 Gripper를 신장시켜서 공벽에 고정 ③ 와이어소를 메인폴리에 결속한 후 절단 시작	사진 20 사진 21-1 사진 21-2 사진 22



사진 20. 자유폴리설치



사진 21-1. 앵커폴리설치



사진 21-2. 앵커폴리설치



사진 22. 종방향 절단

㉠ 시공 절차와 방법

	공 종	시공 방법	참조
1	진입공 천공	① 직경 150 ~ 200mm 의 진입공을 절단폭 양단에 천공 ② 각 진입공 공저에 와이어쏘가 거치된 앵커폴리를 장치하고 Gripper를 신장하여 고정 ③ 와이어쏘를 메인폴리에 거치한 상태로 절단시작	사진 23 사진 24



사진 23. 앵커폴리 설치



사진 24. 암반 절단

(기존기술 수준)

- 절단면이 높은 위치에 있을 경우 역폴리 지지대 방식을 적용할 경우 지지대 설치 및 절단 방향과 각도에 따른 폴리의 각도 조절이 어려움
- 이동식 추진형 지지대 방식은 절단면이 지지대의 높이와 각도 및 폭과 일치되지 못할 경우 적용 불가

(개발기술 수준)

- 진입공내에 지지대 진입 대신 공저에 앵커를 설치하고 앵커에 선단폴리를 장착하여 와이어쏘를 무한궤도로 회전시켜서 양 진입공 사이의 암반을 절단
- 따라서, 절단면의 높이, 각도 및 깊이에 구애받지 않고 암반을 절단

② 앵커풀리에 의한 암반절단기술

	목표	개발기술	참조
1	장심도, 정위치 암반 절단	① 와이어소를 거치한 앵커풀리를 각 진입공의 공저에 설치하고 Gripper를 신장시켜서 공벽에 고정	그림 3
	연직 또는 종단방향 암반절단	② 2개의 앵커풀리와 메인풀리 간에 와이어소를 무한궤도로 회전 ③ 역풀리 방식으로 암반절단	사진 26



사진 25. 앵커풀리 형태



사진 26. 앵커풀리 설치

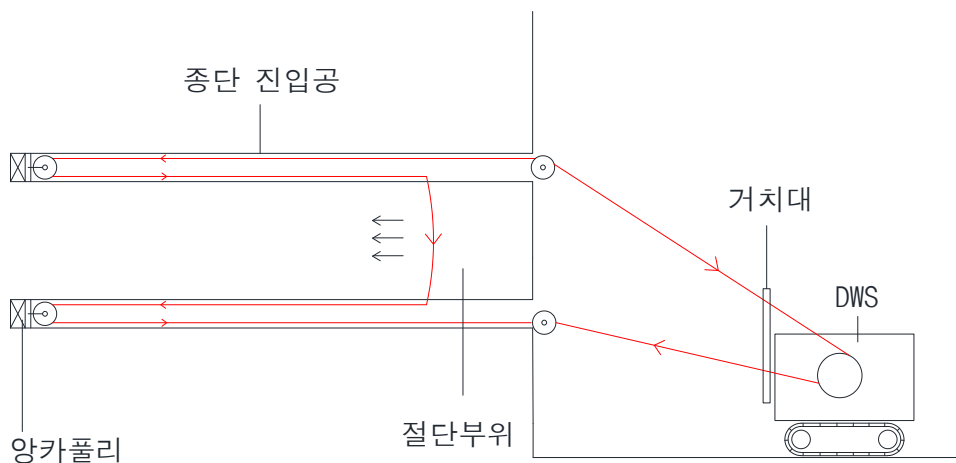


그림 3. 앵커풀리를 이용한 종방향 암반절단

③ 종방향 대형석재 절단시험

◎ 강릉건설 일죽공장

- 시행 일자 : 2019-08-28 ~ 2019-08-30
- 위 치 : 경기도 안성군 일죽면 일죽면 소재, 강릉건설 TBM 공장내
- 시험 대상체 : 화강암괴(일축 압축강도 : 125.9MPa, 규격2.64M × 2.11M × 1.75M)
- 절단 방향 : 종방향 수직
- 설치 진입공 : 제 1 Set (직경 300mm × 깊이 1.5M)
제 2 Set (직경 125mm × 깊이 1.5M)
- 절단면 : 2면



진입공 천공



앵커폴리 설치



두부각도 조절폴리설치



절단작업

사진 27. 종방향 절단 작업 시험

(다) 무선구동제어 계측 시스템기술

① 무선 계측 및 제어시스템 운용 기술

㉠ 개발 목표와 개발 기술.

목표	개발기술
1) 작업반의 안전성 확보 및 가동장비의 과부하에 따른 사고 예방	1) 무선 계측 및 Display ○ 유압 모터 작동 압력 (Bar) ○ 메인폴리 회전속도 (RPM) ○ 와이어쓰의 Tension (Bar) ○ 와이어쓰 운행 속도 (Cm/sec)
2) 최대 절단속도 발현을 위한 장비의 최적운용 Data 습득	
3) 생산성 향상을 위한 절단작업의 자동화 가동시스템 확보	2) 무선 조정 시스템 ○ 지지대 상·하향 운동 ○ 오버헤드 크레인 작동 ○ 아웃리거 신축 ○ 장비주행 방향과 속도 ○ 1) 항의 4개 항목

㉡ 시스템의 구성

발현 기능	명 칭	시스템 제작사
무선 계측 및 Display	Receiving unit & Displayer (계측자료 수신 및 Display)	제작사 : Autec (Italy) Model : LiuCRS-eng-01
무선 조정 시스템	Transmitting unit & Remote Control (장비 무선조정)	제작사 : Autec (Italy) Model : LiuFJR-eng-01



Reactor Control Panel



Data 송수신 장치 장착



송,수신 장치 해체



계측 자료 Displayer



무선 조정기



무선 계측 및 제어 광경

사진 28. 무선 계측 및 제어 시스템

(라) 개발기술의 상세 내용

① 시제품 장비

㉠ 장비사양



사진 29. 장비구성

㉡ 장비의 구성과 규격

번호	항목	사양 및 규격	비고
1	장비 모델명	HJ-SPWS-2018	
2	장비 규격	높이 3.0 × 길이 4.0 × 폭 2.2	
3	장비 중량	8.5 ton	
4	유압모터 기동력	200HP	
5	유압펌프 용량	130cc	
6	주행엔진 사양	40HP	
7	최대 절단폭	4.0M	
8	최대 절단 깊이	± 10m	
9	장비제작 완료일	2018.10.19	
10	장비 제작사	황제 종합건설기계	

번호	항목	사양 및 규격	비고
10	선단폴리	Φ200	2개
11	지지대 고정핀	Φ70	상하 각 4조
12	아웃트리거	2,440kg/EA	4개
13	오버헤드 크레인	600kg	1개
14	레크기어	50×60 모듈	총 35m
15	보조폴리	Φ200	22개
16	냉각수 분사장치		1식
17	자동계측 디스플레이어		1식
18	무선 제어기		1식
19	악세서리	자유폴리	1조
		앵커폴리 Φ200	1조
		앵커폴리 Φ150	1조

㉔ 장비의 특징

번호	항목	내용
1	구동동력 이원화	절단시는 유압모터를 사용하고, 주행시는 소형디젤엔진을 사용하여 환경 친화적인 장비
2	정위치 절단	3개의 신장폴리를 사용하여 절단깊이 만큼 와이어쏘 길이를 늘려줌
3	장심도 절단	지지대에 장착된 레크리어와 지지대 승강용 유압모터를 사용하여 하강과 인발이 용이함으로 15m 깊이까지 절단
4	절단 방향 전환 시스템	연직방향 절단시는 지지대와 선단폴리를 사용하고 종단 방향 절단시에는 지지대는 배제하고 자유폴리와 앵커폴리 및 각도 조절폴리에 의해 종단 연직 수평 경사 방향으로 암반을 절단할 수 있는 체계로의 전환이 용이함



사진 30. 장비 형태

② 현장 적용 조건

번호	항목	구분	작업장 조건
1	최소공간	연직절단	6.5m×6.5m×7.0m
		종방향 절단	6.5m×6.5m×높이 제한 없음
2	최소확보 자유면수	연직 절단	1개
		종방향 절단	2개
3	작업장 표면조건	기존기술	절단 깊이만큼 장비가 후진되어야 하므로 표면이 평탄하며 수평을 이루어야함. 석산에서는 레일 설치
		개발기술	정위치에서 작업이 이루어지므로 장비 설치와 작업공간 확보 차원에서 5.0m×5.0m 범위만 평탄 유지 필요
4	작업장 환경	협소 또는 폐쇄 공간	절단 작업이 유압모터 구동력에 의하므로
		개방된 공간	진동은 관리기준 내에 있으나 소음이 문제시 될 경우 특허 제10-2026912호(수직구 방음장치)로 대처
5	전력		절단에 사용되는 동력은 유압모터이며 유압모터는 380V, 3상의 전력을 기동력으로 사용한다.
6	작업용수		각종 폴 리가 와이어쏘 운행에 따라 가열되면 마 모나 파손이 급격히 발생하므로 이를 냉각시키는 작업용수가 공급(200l/시간)되어야 함

③ 시작품의 기술적 수준

번호	항목	구분		작업장 조건
1	절단속도	연직방향 절단		2.72m ² /시간 (22분/m ²)
		종방향 절단		1.01m ² /시간 (59.1분/m ²)
2	절단규모	연직방향 절단	절단폭	4.0m
			절단깊이	10.0m
			절단틈새두께	11.0mm
		종방향 절단	절단폭	최대3.0m
			절단깊이	최소20m
			절단틈새두께	11.0mm
3	진입공 직경	연직 절단		최소 300mm 최대 400mm
		종방향 절단		최소 127mm 최대 200mm
4	진입공 깊이(길이)	연직 절단		최대 20m
		종방향 절단		최대 25m

④ 장비의 내구성

장비의 구성품 중 소모품에 해당되는 품목은 와이어쏘와 각종 폴리이프로 수시로 교체되어야 하며 다음의 유지관리 기준에 맞추어 관리할 경우 장비의 수명은 최소20년 이상일 것으로 판단된다.

㉠ 장비유지관리기준

구분	항목	대상설비	절감수단
직접비용	유압오일	메인유압모터	50l 용량의 유압탱크로부터 공급되므로 600㎡ 암반 절단시 마다 교체주기 설정
		지지대 드라이브 모터	
		3개의 신장폴리잭	
		2개 지지대 작동잭	
		4개의 아웃트리거	
		1개의 오버헤드 크레인	
		하체 궤도 운행 모터	
	기어오일	레크기어 드라이브	가동 및 운행량이 적으므로 1,000㎡ 절단시 마다 교체
		하체궤도 운행기어	
	보조폴리	12개의 방향전환 및 운행폴리	30~50㎡절단 교체
		3개의 신장폴리	30~50㎡절단 교체
		2개의 선단폴리	30~50㎡절단 교체
	녹청부식방지	세척 및 도색	
간접비용	운반비용	작업장내 운행	자체궤도로 이동
		장거리 운반	상,하차는 자체궤도 이용
		환경 부담금	유압모터 구동으로 비 부가
			자율주행 장비로 등록되지 않아서 세금 부과 없음

(마) 와이어쏘 절단 모델 개발

① 머리말

와이어쏘 암반 절단 분석의 이론적 근거를 마련하기 위해 본 과제에서는 계량 불가능한 매개 변수를 포함하지 않는 합리적 가정의 기반에서 분석 모델을 제공한다. 제공된 모델은 미소 시간 동안 일어날 마멸 이벤트를 연속적으로 끊임없이 예측함으로써 비드-피삭재 접촉면에서의 마찰력을 추산하고 이를 바탕으로 피삭재의 변형을 예측한다.

② 이론

㉠ 형상 곡선(Shape Curve)

피삭재와 맞닿는 와이어쏘의 형상이 피삭재의 형상을 그대로 따른다는 점을 이용하여 절단이 피삭재-와이어쏘 상호작용이라고 가정한다(그림4). 피삭재의 형상을 이용하여 와이어쏘의 궤도를 유추함으로써 다음 순간 피삭재의 형상을 추정할 수 있다(식1). 비드의 위치는 형상 곡선과 제품의 사양을 이용하여 구한다(식2).

$$W = R + \frac{d_b}{2} N \quad (\text{식1})$$

$$B = W \quad (\text{식2})$$

where, W : wire saw
 R : rock (workpiece)
 d_b : bead diameter
 N : normals to R
 B : bead
 s_b : bead centre-to-centre spacing

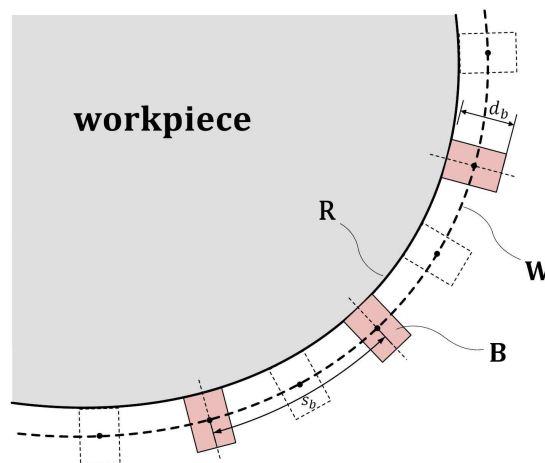


그림4. 형상 곡선

㉡ 로프 앵글(Rope Angle)

(정의)

비드는 원통형(2D에서 직사각형)이며, 이들이 서로 직선으로 연결된다고 가정한다(그림5). 로프 앵글이란 직사각형의 중심선(또는, 형상 곡선의 접선)으로부터 직선까지 사잇각으로 정의된다. 비드에는 양 끝부분이 있는데 각 끝부분 당 로프 앵글이 정의된다. 따라서, 각 비드 당 두 개의 로프 앵글이 있다. 편의상 비드에 번호가 부여되며 출력부로부터 오름차순이다. 따라서, $\alpha_{i(out)}$ 은 출력부로부터 i 번째 비드의 출력부 로프 앵글이며(식3), $\alpha_{i(in)}$ 은 같은 비드의 입력부 로프 앵글이다(식4).

$$\alpha_{i(out)} = \left| \operatorname{atan} \left(\frac{\partial f(x)}{\partial x} \right) \Big|_{x=x_i} - \operatorname{atan}(S_{i-1,i}) \right| \quad (\text{식3})$$

$$\alpha_{i(in)} = \left| \operatorname{atan} \left(\frac{\partial f(x)}{\partial x} \right) \Big|_{x=x_i} - \operatorname{atan}(S_{i,i+1}) \right| \quad (\text{식4})$$

where, $\alpha_{i(out)}$: rope angle for outlet side of b_i

$\alpha_{i(in)}$: rope angle for inlet side of b_i

$\frac{\partial f(x)}{\partial x} \Big|_{x=x_i}$: tangent to $f(x)$ at p_i

$S_{i-1,i}$: slope between b_{i-1} and b_i

$S_{i,i+1}$: slope between b_i and b_{i+1}

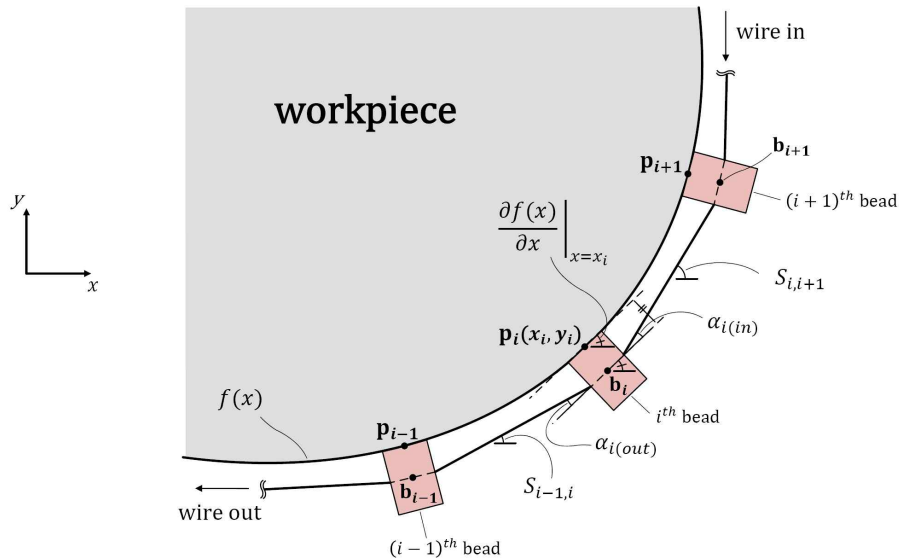


그림5. 로프 앵글

(첫 번째 비드)

첫 번째 비드의 출력부 로프 앵글($\alpha_{1(out)}$)은 출력부 풀리 위치를 이용해 구할 수 있다(식5)(식6)(그림6).

$$\alpha_{1(out)} = \left| \operatorname{atan} \frac{\partial f(x)}{\partial x} \bigg|_{x=x_1} - \operatorname{atan} \frac{b_{out}}{a_{out}} \right| \quad (\text{식5})$$

$$S_{0,1} = \frac{b_{out}}{a_{out}} \quad (\text{식6})$$

where, $\alpha_{1(out)}$: rope angle for outlet side of b
 $\frac{\partial f(x)}{\partial x} \bigg|_{x=x_1}$: tangent to $f(x)$ at p_1
 a_{out} : x-distance from outlet pulley to b_1
 b_{out} : y-distance from outlet pulley to b_1

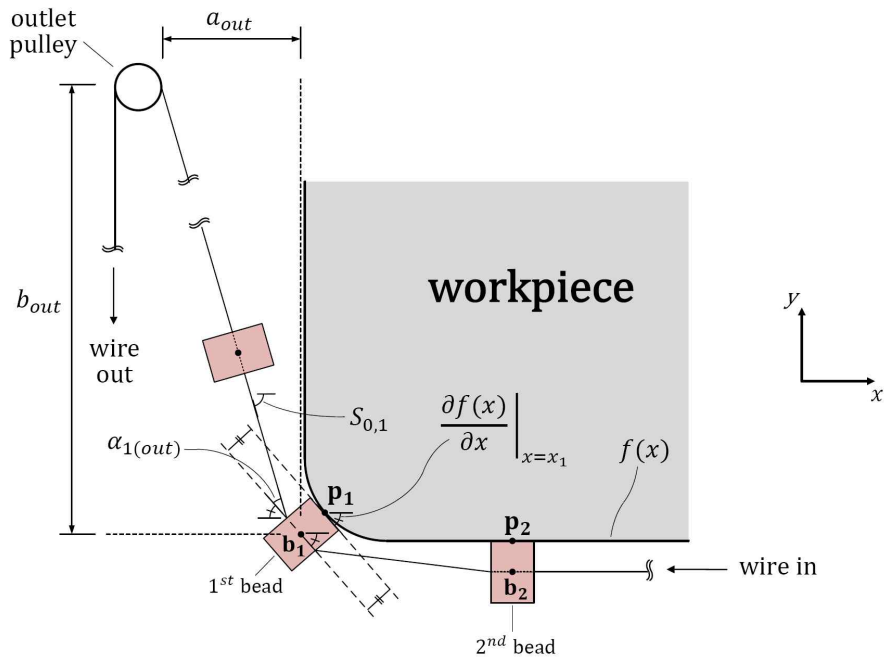


그림6. 첫 번째 비드의 출력부 로프 앵글($\alpha_{1(out)}$)

(마지막 비드)

첫 번째 비드와 마찬가지로, 마지막 비드의 입력부 로프 앵글($\alpha_{n(in)}$)은 입력부 풀리 위치를 이용해 구할 수 있다(식7)(식8).

$$\alpha_{n(in)} = \left| \tan^{-1} \left(\frac{\partial f(x)}{\partial x} \bigg|_{x=x_n} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\partial f(x)}{\partial x} \bigg|_{x=x_{n+1}} \right) \right| \quad (\text{식7})$$

$$S_{n,n+1} = \frac{b_{in}}{a_{in}} \quad (\text{식8})$$

where, $\alpha_{n(in)}$: rope angle for inlet side of b
 $\frac{\partial f(x)}{\partial x} \bigg|_{x=x_n}$: tangent to $f(x)$ at p_n
 a_{in} : x-distance from inlet pulley to b_n
 b_{in} : y-distance from inlet pulley to b_n

㉔ 장력과 마찰력(Rope tension and Friction)

(첫 번째 비드)

와이어쏘가 등속으로 운동한다고 가정할 때, 첫 번째 비드에서의 균형 조건은 출력부 장력의 접선 성분이 입력부 장력의 접선 성분과 마찰력의 합과 같을 때 성립한다(식9)(그림7). 마찰력은 법선 성분을 이용해 구할 수 있다(식10).

$$T_{1(out)} \cos \alpha_{1(out)} = T_{1(in)} \cos \alpha_{1(in)} + f_1 \quad (\text{식9})$$

$$f_1 = \mu T_{1(out)} \sin \alpha_{1(out)} + T_{1(in)} \sin \alpha_{1(in)} \quad (\text{식10})$$

where, $T_{1(out)}$: tension for outlet side of b_1

$T_{1(in)}$: tension for inlet side of b_1

f_1 : friction at p_1

μ : frictional coefficient

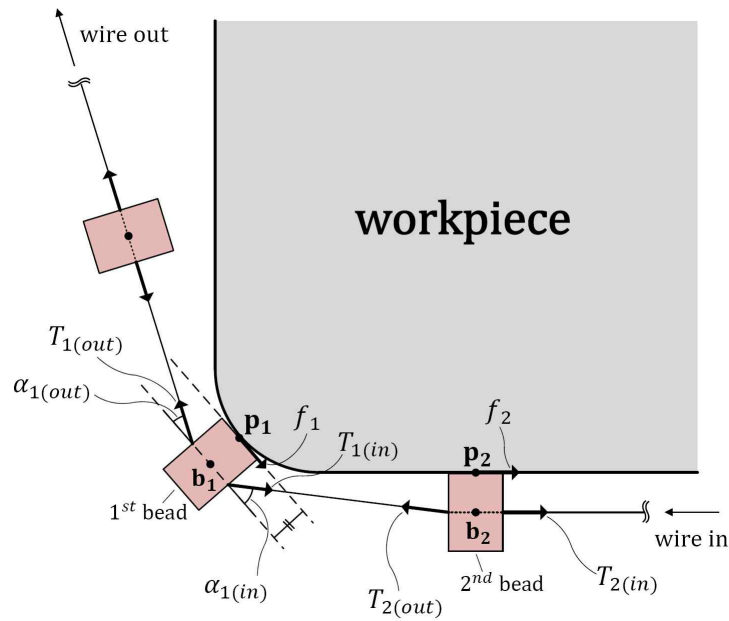


그림7. 첫 번째 비드의 장력과 마찰력

식9의 을 식10으로 치환하면 식11을 구할 수 있다. 편의상 식12와 같이 β_i 을 정의하면 식11을 식13과 같이 간략히 표현할 수 있다.

$$T_{1(in)} = \frac{\cos \alpha_{1(out)} - \mu \sin \alpha_{1(out)}}{\cos \alpha_{1(in)} + \mu \sin \alpha_{1(in)}} T_{1(out)} \quad (\text{식11})$$

$$\beta_i = \frac{\cos \alpha_{i(out)} - \mu \sin \alpha_{i(out)}}{\cos \alpha_{i(in)} + \mu \sin \alpha_{i(in)}} \quad (\text{식12})$$

$$T_{1(in)} = \beta_1 T_{1(out)} \quad (\text{식13})$$

where, $\beta_1 : \beta$ for b_1

(두 번째 비드)

첫 번째 비드와 마찬가지로, 두 번째 비드에서도 식14와 같이 균형 조건식을 만들 수 있다.

$$T_{2(in)} = \beta_2 T_{2(out)} \quad (\text{식14})$$

where, $T_{2(out)} : \text{tension for outlet side of } b_2$

$T_{2(in)} : \text{tension for inlet side of } b_2$

$\beta_2 : \beta$ for b_2

비드 사이 장력이 같다고 가정하면(식15), 식16을 얻을 수 있다.

$$T_{2(out)} = T_{1(in)} \quad (\text{식15})$$

$$T_{2(in)} = \beta_2 T_{1(in)} = \beta_2 \beta_1 T_{1(out)} \quad (\text{식16})$$

(번째 비드)

마찬가지로, i 번째 비드의 장력도 식17 및 식18과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{i(out)} = \beta_1 \beta_2 \dots \beta_{(i-1)} T_{1(out)} \quad (\text{식17})$$

$$T_{i(in)} = \beta_1 \beta_2 \dots \beta_i T_{1(out)} \quad (\text{식18})$$

where, $T_{i(out)}$: tension for outlet side of b_i

$T_{i(in)}$: tension for inlet side of b_i

β_{i-1} : β for b_{i-1}

β_i : β for b_i

식19에서 $T_{i(out)}$ 과 $T_{i(in)}$ 을 식17 및 식18로 각각 치환하면 식20을 구할 수 있다.

$$f_i = \mu (T_{i(out)} \sin \alpha_{i(out)} + T_{i(in)} \sin \alpha_{i(in)}) \quad (\text{식19})$$

$$= \mu (\beta_1 \beta_2 \dots \beta_{(i-1)} \sin \alpha_{i(out)} + \beta_1 \beta_2 \dots \beta_i \sin \alpha_{i(in)}) T_{1(out)} \quad (\text{식20})$$

where, f_i : friction at p_i

출력부 풀리에서, 또는 드라이빙 풀리에서 피삭재의 출력부까지, 마찰력 손실이 없다고 가정할 때, $T_{1(out)}$ 은 구동장치 급송력(Feeding force)과 같다고 할 수 있다(식 21).

$$T_{1(out)} = F \quad (\text{식21})$$

where, F : machine feeding force

따라서, 만약 급송력과 로프 앵글을 알 수 있다면 마찰력을 예측할 수 있다.

㉔ 마멸률(Cutting rate)

피삭재가 깎여나가는 정도가 마찰력에 비례한다고 가정한다(식22). 여기서, 는 시험조건에 따라 달라진다.

$$\delta_i = k_f f_i \quad (\text{식22})$$

where, δ_i : material removed owing to f_i

k_f : a cutting rate constant

㉕ 시간에 따른 형상 곡선의 변화

($=dt$ 일 때)

와이어쏘가 비드 간격(s_b)만큼 전진할 때(그래서 피삭재가 한번 깎여나갈 때) 걸리는 시간을 dt 라고 정의한다. 시간이 0에서 dt 만큼 흘렀을 때 피삭재의 형상은 초기 형상에서 깎여나간 만큼을 차감하여 구한다(식23).

$$R_{dt} = R_0 + {}_{dt}N_{dt} \quad (\text{식23})$$

where, R_{dt} : shape curve at $t = dt$

dt : time interval

R_0 : shape curve at $t = 0$

Δ_{dt} : material removed from $t = 0$ to $t = dt$

N_{dt} : normals to R

($t = 2dt$ 일 때)

마찬가지 방법으로 시간이 $2dt$ 만큼 흘렀을 때 피삭재의 형상도 구한다(식24). 식24의 R_{dt} 를 식23으로 치환하면 식25를 얻을 수 있다.

$$R_{2dt} = R_{dt} + \Delta_{2dt} N_{2dt} \quad (\text{식24})$$

$$R_{2dt} = R_0 + \Delta_{dt} N_{dt} + \Delta_{2dt} N_{2dt} \quad (\text{식25})$$

where, R_{2dt} : shape curve at $t = 2dt$

Δ_{2dt} : material removed from $t = dt$ to $t = 2dt$

N_{2dt} : normals to R_{dt}

($t = jdt$ 일 때)

마찬가지로 시간이 jdt 만큼 흘렀을 때 피삭재의 형상도 구한다(식26)(그림8).

$$\begin{aligned}
 R_{jdt} &= R_{(j-1)dt} + \int_{(j-1)dt}^{jdt} N_{jdt} dt \\
 &= R_0 + \Delta_{dt} N_{dt} + \Delta_{2dt} N_{2dt} + \dots + \Delta_{jdt} N_{jdt} \\
 &= R_0 + \sum_{k=1}^j \Delta_{kdt} N_{kdt}
 \end{aligned}$$

(식26)

where, R_{jdt} : shape curve at $t = jdt$
 $R_{(j-1)dt}$: shape curve at $t = (j-1)dt$
 Δ_{jdt} : material removed from $t = (j-1)dt$ to $t = jdt$
 N_{jdt} : normals to $R_{(j-1)dt}$

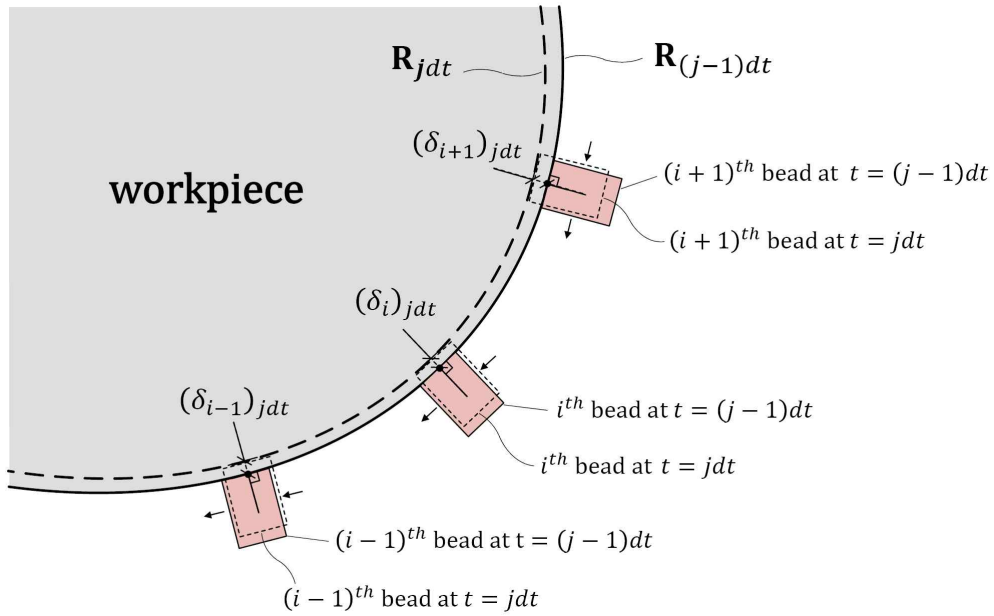


그림8. 시간에 따른 형상 곡선(피삭재)의 변화

④ 검증

㉠ 민감도 분석

그림9은 앞에서 제안한 모델을 이용한 몇 가지 절단선 예측(분석)치 보여준다. 비교를 위해, 실험치도 도시되었다. 실험은 타 연구과제에서 수행된 것임을 밝혀둔다[1].

예측결과는 k_f 가 $4.9 \sim 6.9 \times 10^{-8} m/$ (식22), 그리고 μ 가 0.3 ~ 0.5(식10)일 때이다. 예상대로, k_f 를 이용해 절단 속도를 조절할 수 있었다. 한편 μ 는 절단 속도 뿐 아니라 절단선 형상과도 관계가 있었다. μ 가 클수록 절단선의 비대칭성이 커졌다.

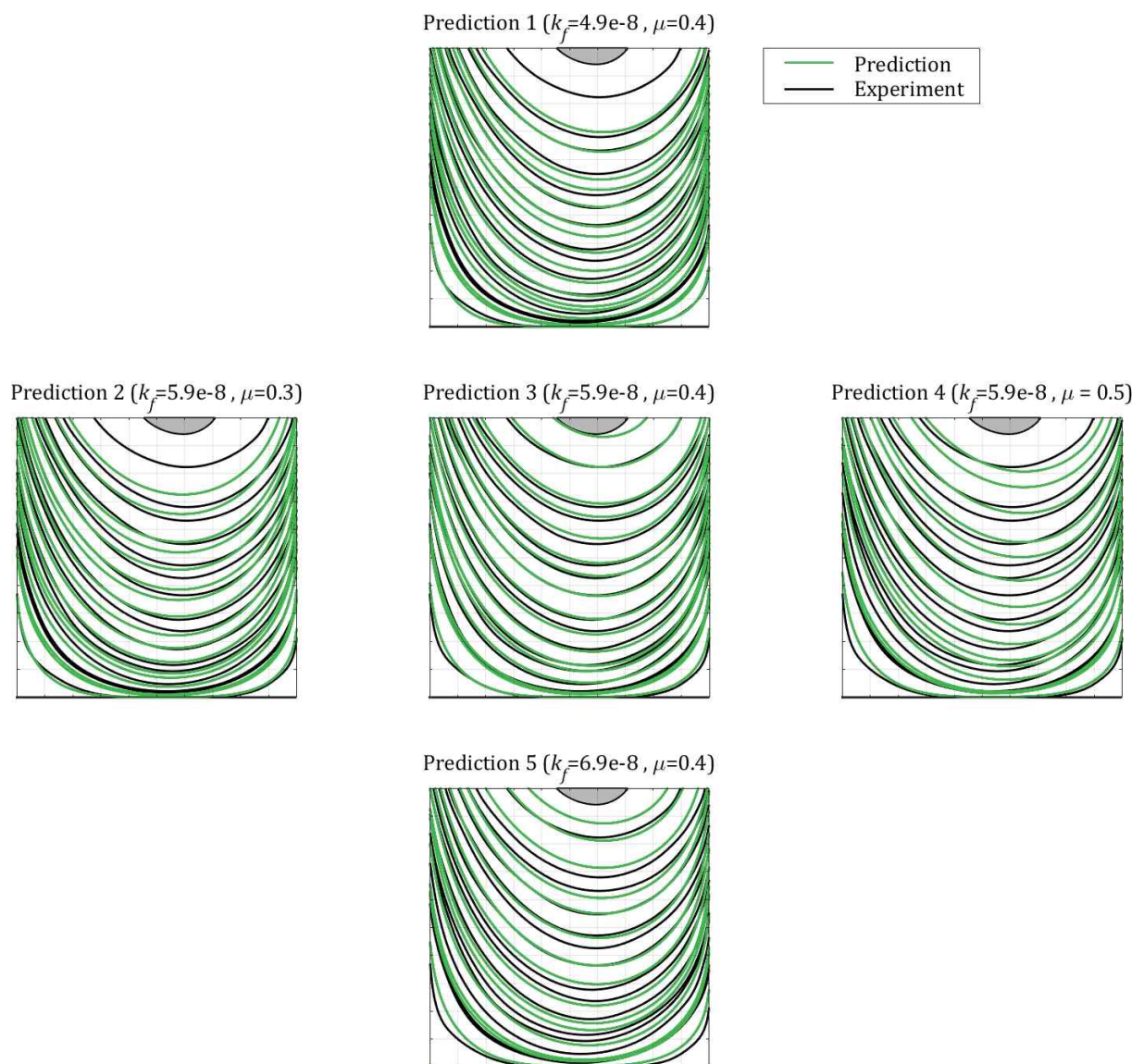
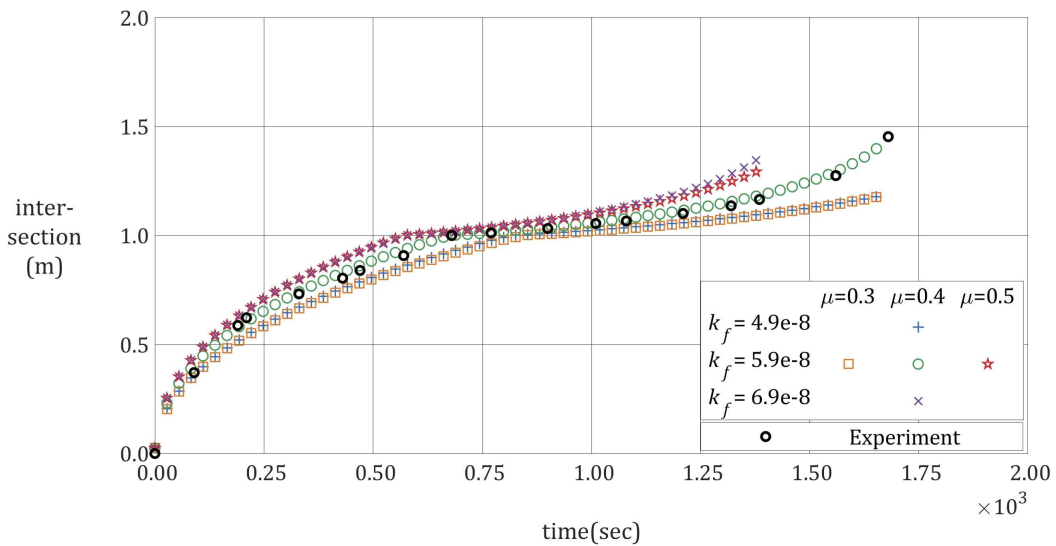


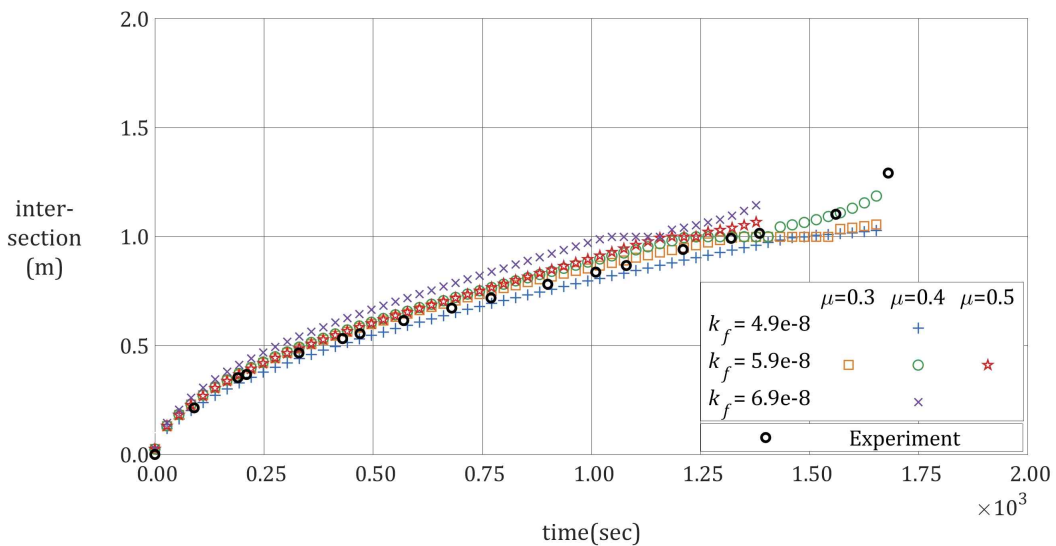
그림9. 민감도 분석 - 절단선

그림10은 피삭재 모서리를 따라 움직이는 와이어쏘 위치를 도시한다. 세로 좌표 0은 시작 시 위치이며, 1.0m는, 피삭재의 크기가 1.0m×1.0m이므로, 와이어쏘가 뒷면에 도달하였음을 의미한다.

실험결과로부터, 출력부 교차점이 입력부 교차점을 항상 앞서는 것으로 확인되었다. 와이어쏘 궤적은 좌우대칭이 아니었으므로 원형도 아니었다. 따라서 입·출력부 로프 앵글이 서로 같지 않았을 것으로 추정된다. 가 $5.9 \times 10^{-8} m/$, μ 가 0.4 일 때, 예측치가 실험치에 근접하였다.



(a) 출력부



(b) 입력부

그림10. 민감도 분석 - 교차점

㉔ 로프 앵글, 장력, 마찰력, 에너지

그림11은 로프 앵글 추정치이다. 가로축이 0일 때 세로축 값은 출력부에서 로프 앵글이며 가로축이 최대일 때 세로축 값은 입력부에서 로프 앵글이다. 시험 초반(L00-L04) 로프 앵글 그래프는 피삭재의 양쪽 코너에서 피크치를 보이는 더블픽(double-peak) 형상이었다. 입력부 피크치가 출력부 피크치보다 높으므로 입력부 코너가 출력부 코너보다 더 뽀족하였다. 따라서 피삭재가 출력부 코너에서 더 많이 깎여나갔다고 볼 수 있다. 이는 시험 중후반(L05-L16)에 피삭재가 비대칭 형상을 보이는 것과 관계가 있다. 시험 초반(L00)에 코너에서 20° 정도였던 로프 앵글 피크치는 불과 약 80초 사이에 6° 정도로 급격히 감소(L01)하였다. 로프 앵글 피크치는 L05 그래프에서 2.5° 정도로 최저 수준을 보였는데, 이는 이때 피삭재가 가장 원형에 가까운 형상이었음을 의미한다. 이후(L05-L10) 피크치가 다시 증가세로 돌아서는데, 이는 피삭재가 원형에서 벗어나고 있었음을 의미한다.

그림12는 장력 추정치이다. 출력부에서 구동장치 급송력에 근접하였던 장력이 입력부에서 250~300N으로 감소하였다. 큰 로프 앵글 위치에서 장력 감소 폭이 컸다. 초반(L00)에는 큰 로프 앵글 때문에 장력이 피삭재의 출력부 쪽 코너를 지나면서 많이 감소하여 절반 정도로 떨어졌다. 이후(L01)에도 양쪽 코너에서 장력이 떨어지면서 초반과 비슷한 양상을 보였지만 로프 앵글이 크지 않았기 때문에 장력 감소도 상대적으로 작았다. L02 이후에는 코너 사이에 로프 앵글이 발달하면서 그래프가 직선화되었다.

그림13은 마찰력 추정치이다. 마찰력 그래프도 초반(L00-L04)에는 더블픽 형상이었는데, 이는 이때 마멸작용이 피삭재의 코너에서 집중적으로 일어나고 있었음을 말한다. 이후(L05-L16) 그래프는 중앙부에 피크치가 있는 싱글픽 형상으로 변하게 된다. 따라서 이때는 마멸작용이 피삭재의 중간부에서 집중적으로 일어나고 있었음을 말한다. 초반(L00) 코너에서 100N에 달하였던 마찰력은 급속히 감소하여 30N(L01)으로 떨어졌다. 이후(L02-L16)로도 계속 감소하여 20N 정도의 수준을 보였다. 로프 앵글의 경우와 마찬가지로, 마찰력도 중반(L05)에 최저치를 보이다가 이후 다시 증가세로 돌아섰다.

그림14은 총 마찰력, 최대 마찰력, 평균 마찰력이다. 총 마찰력은 각 비드 마찰력의 총합이다. 최대 마찰력은 각 비드 마찰력 중 가장 큰 마찰력이다. 평균 마찰력은 각 비드 마찰력의 평균치이다. 최대 마찰력은 450~600N이었는데, 이는 급송력의 50~66%에 해당한다. 총 마찰력은 시간에 따라 점진적으로 감소하였는데, 이는 접촉하고 있는 와이어쑈의 길이가 줄어드는 것과 관계가 있는 것으로 보인다. 초반 200N에 이르렀던 최대 마찰력은 급격히 감소하여 약 20N 수준을 보였다. 평균 마찰력은 약 10N이었다.

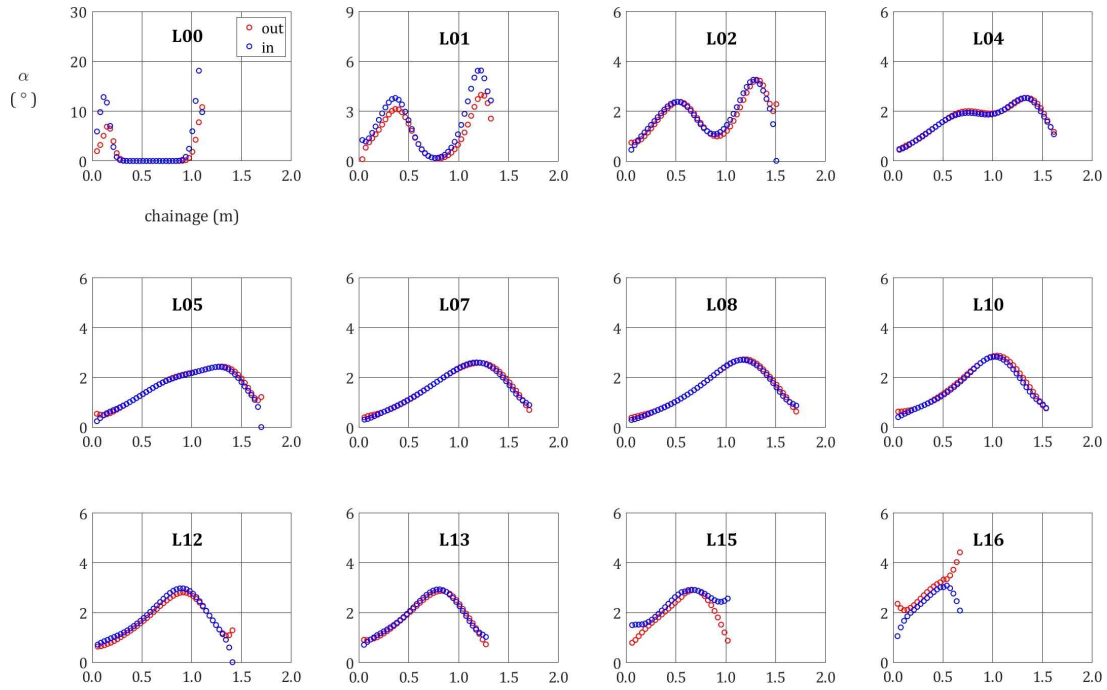


그림11. 로프 앵글

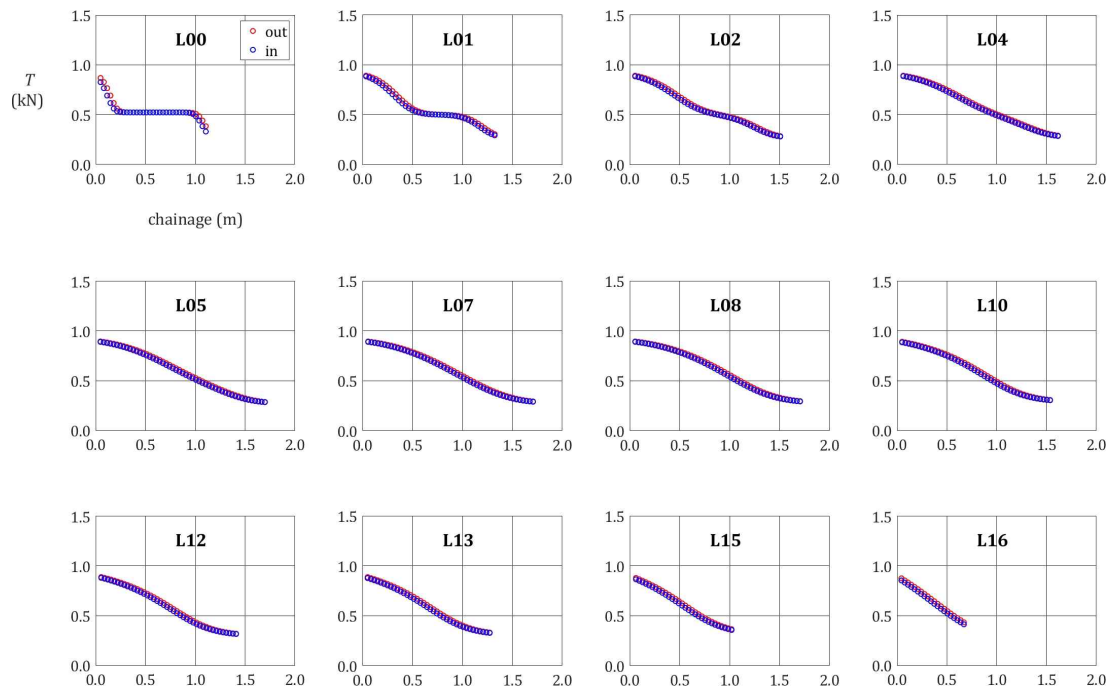


그림12. 장력

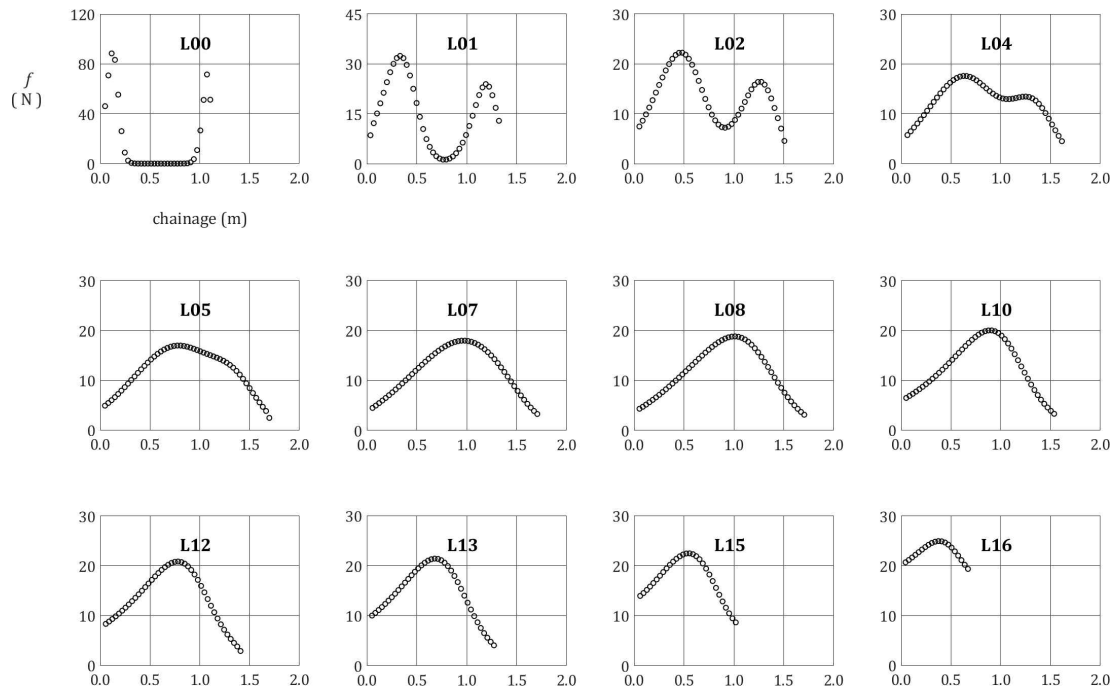


그림13. 마찰력

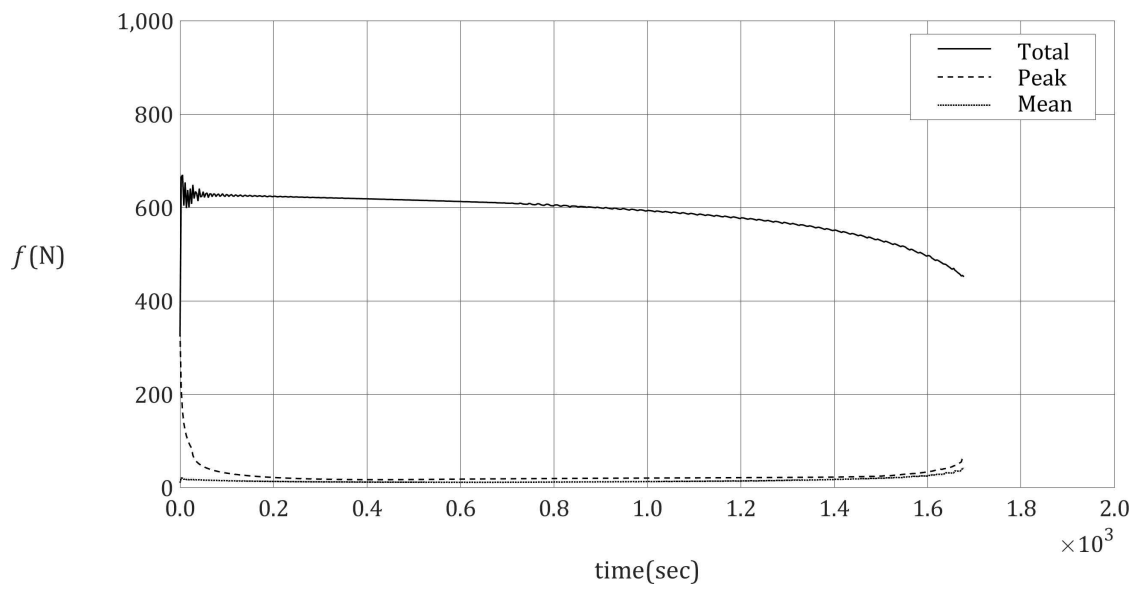


그림14. 총 마찰력, 최대 마찰력, 평균 마찰력

그림15는 피삭재 단면에서 최대 마찰력 및 최대 로프 앵글의 위치이다. 최대 마찰력과 로프 앵글 위치는 같지 않았다. 최대 마찰력은 항상 최대 로프 앵글 위치 기준으로 출력부 쪽에 있었다.

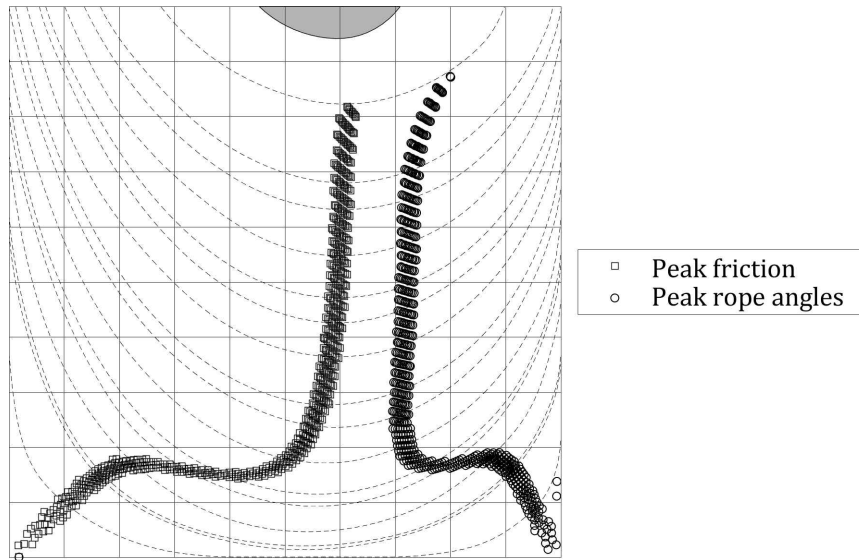


그림15. 최대 마찰력 및 최대 로프 앵글의 위치

그림16은 비 에너지(Specific energy) 추정치를 보여준다. 평균 마찰력(그림11), 사용된(피삭재와 접촉하고 있는) 와이어쏜의 길이, 절단 면적이 이용되었다. 추산된 비 에너지는 ,000 2,000 MJ/m 이었는데, 이는 타 문헌[2]에서 다이아몬드 공구를 이용한 굴착 시 예상되는 비 에너지의 범위에 해당한다. 비 에너지는 초반 증가하다가 중후반 감소하는 경향을 보였는데, 이는 사용된 와이어쏜 길이와 관련이 있는 것으로 보인다.

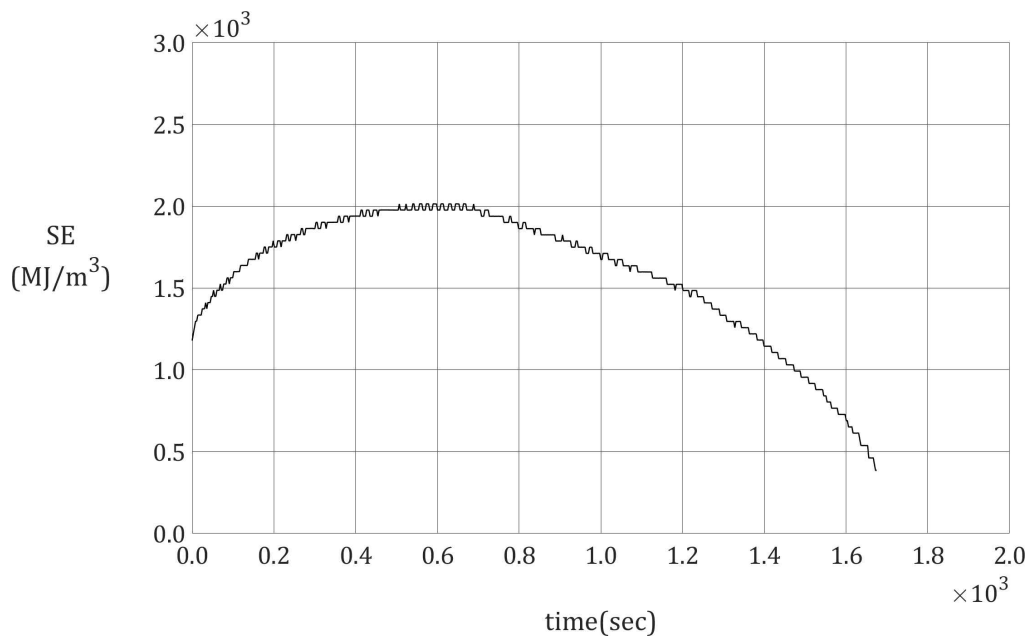


그림16. 비 에너지(Specific Energy)

한편, 추산된 비 에너지(그림16)가 적정하지만 잘못 해석될 여지가 있다고 판단되었다. 비 에너지란 단위 면적의 피삭재를 절단하는데 필요한 에너지로 정의되므로, 비 에너지가 높으면 작업효율 낮다고 해석되며, 반대로 비 에너지가 낮으면 작업효율이 높다고 해석된다. 그러나 와이어쏘 작업에서는 사용되는 와이어쏘의 길이(또는, 비드의 개수)가 시시각각 달라지기 때문에 이에 대한 적절한 고려 없이 기존의 정의대로 추산된 비 에너지로 작업효율을 판단하는 것은 적절치 않다고 판단되었다. 따라서, 본 보고서에서는 비 에너지를 사용된 비드의 개수로 나눔으로써 비 에너지를 정규화(Normalisation)하였다(그림17).

정규화된 비 에너지는 8 MJ/m /bead 수준으로 일정하였다.

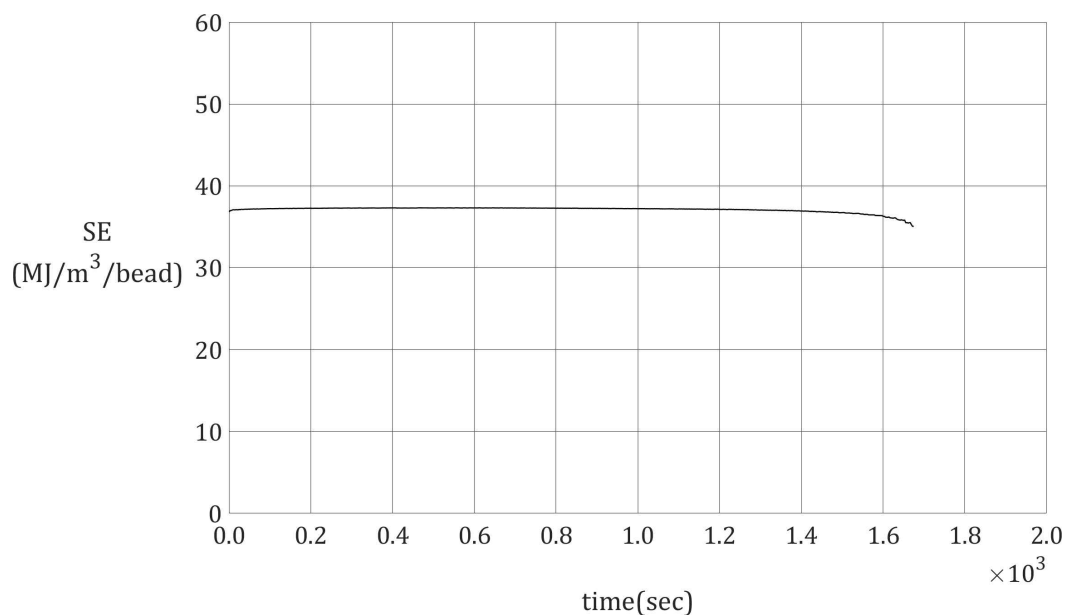


그림17. 정규화된 비 에너지(Normalised specific energy)

⑤ 결론

본 과제에서는 와이어쏘 절단 모델을 제안하였고 검증하였다. 모델을 이용한 추정치와 실험치를 비교 분석함으로써 아래의 결론에 도달하였다.

- 피삭재 절단 형상은 좌우(입·출력부)대칭이 아니었다. 따라서 와이어쏘의 궤적도 대칭이 아니었다.
- 입력부의 장력은 출력부의 장력의 50% 이하 수준이었다.
- 마찰계수 0.4를 사용하였을 때, 추정치가 실험치에 근접하였다. 마찰계수가 클수록 피삭재 형상의 비대칭성이 커졌다.
- 마멸률 상수(Cutting rate constant) $.9 \times 10^{-8} \text{ m/N}$ 을 사용하였을 때, 추정치가 실험치에 근접하였다.
- 비드의 입력측 로프 앵글은 이 비드의 출력측 로프 앵글과 같지 않았다.
- 로프 앵글은 초반 최고 수준(최대치 20°)을 보인 후 감소하여 중반 와이어쏘의 길이가 가장 길 때 최저 수준(최대치 2.5°)을 보이다가 후반에 약간 증가하였다.
- 로프 앵글이 클수록 장력의 감소가 컸다.
- 마찰력은 초반 피삭재의 코너 부분에서 높은 수준(최대치 100N 이상)을 보인 후 점진적으로 감소하여 낮은 수준(최대치 약 20N)을 유지하였다.
- 총 마찰력은 450~600N이었는데, 이는 구동장치의 급송력(Feeding force)의 50~66%에 해당하였다. 최대 마찰력은 초반 출력부에서 200N이었다. 평균 마찰력은 10N 수준으로, 급송력의 1%에 해당하였다.
- 최대 로프 앵글의 위치와 최대 마찰력 위치는 같지 않았다. 최대 마찰력은 최대 로프 앵글 위치 기준으로 출력부측에 있었다.
- 비 에너지는 1,000 ~ 2,000 MJ/m³이었다. 정규화 비 에너지는 38 MJ/m³/bead 로 일정하였다.

(바) 개발기술 성능시험평가

① 성능평가 방법

㉠ 장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법

기존공법(감싼방식 공법) 및 개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)의 절단성능 비교 항목과 함께 와이어쏘의 물리적 성능의 관련 표준 검토 후, 합리적이고 객관적인 평가방법을 정립하였다.

☐ 기존 및 개발기술의 암반 절단성능 비교를 위한 평가항목 설정

☐ 장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법 장비평가항목 설정

위에서 언급한 평가방법의 설정에 따라 본 평가대상인 기존 및 개발기술의 암반 절단성능 비교평가에 대한 세부내용은 다음과 같다.

가) 기존 및 개발기술의 암반 절단성능 비교 평가

- 절단속도
- 공구수명
- 절단마찰온도
- 비드마모량

나) 장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법 장비평가항목

- 지지대 압력
- 지지대 편차
- 장비(메인 풀리) RPM
- 소음
- 진동

다) 와이어쏘 물리적 특성

- 로크웰경도
- 파단하중

㉔ 종방향 와이어쏘 암반절단 공법

종방향 암반 절단 기술 및 정위치 암반 절단 기술의 절단성능 항목과 함께 와이어 쏘의 물리적 성능의 관련 표준 검토 후, 합리적이고 객관적인 평가방법을 정립하였다.

- ☐ 종방향 및 정위치 암반절단 기술 절단성능 평가항목 설정
- ☐ 종방향 및 정위치 암반절단 장비 평가항목 설정
- ☐ 와이어쏘 물리적 성능평가항목 설정

위에서 언급한 평가방법의 설정에 따라 본 평가대상인 종방향 및 정위치 암반절단 기술의 절단성능 평가에 대한 세부내용은 다음과 같다.

가) 종방향 암반절단 기술 절단성능 평가

- 절단속도
- 공구수명
- 절단마찰온도
- 비드마모량

나) 종방향 및 정위치 암반절단 장비 평가

- 앵커 인발 성능(종방향 암반절단 기술)
- 지지대 편차(정위치 암반절단 기술)
- 장비(메인 폴리) RPM
- 와이어쏘 장력
- 소음
- 진동

② 절단 시험체 제작

본 평가에서는 기존공법(감싼방식 공법) 및 개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반 절단 공법)의 암반 절단성능 비교 평가를 실시하였다. 시험에 사용한 절단 시험체의 규격 및 모양은 표 1 및 사진 28과 같다.

시험체의 물성확인을 위해 압축강도를 측정하였으며, 압축강도는 KS F 2519(석재의 압축 강도 시험방법)에 의거하여 50 mm(가로)×50 mm(세로)×50 mm(높이) 정육면체 시험편을 제작하여 10회 측정하였다. 시험편 압축강도 측정 결과 및 시험사진은 표 2 및 사진 29와 같다.

표 1 절단 시험체 규격

구분	절단 시험체
시험체 규격(가로×세로×높이)	2640 × 2110 × 1750 mm 4000 × 2000 × 1500 mm



1차 시험체 규격(가로×세로×높이)

2차 시험체 규격(가로×세로×높이)

사진 31. 절단 시험체

표 2 시험체 압축강도 측정 결과

시험체 번호	압축강도 (MPa)	
	1차	2차
#1	130.9	137.1
#2	123.9	127.3
#3	151.8	133.8
#4	157.1	132.4
#5	133.4	135.3
#6	114.9	145.6
#7	125.3	135.4
#8	107.1	124.7
#9	111.5	124.9
#10	103.4	134.2
평균	125.9	133.1



사진 32. 시험체 압축강도 시험



사진 33. 시험체 압축강도 시험

③ 장심도 정위치 암반절단 시험방법

㉠ 기존 및 개발공법의 개요

와이어쏘를 이용한 절단 방식 중 기존방식은 표 3과 같으며, 개발기술인 와이어쏘를 이용한 장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법(무진동 암파쇄) 기술의 핵심기술은 표 4와 같다.

표 3 기존 와이어쏘 공법 요약

구분	내용
감싼 방식	- DWS가 자유롭게 운행될 수 있는 2개의 진입공 선단이 서로 만나야 함 - 천공에 필요한 작업장과 절단 대상의 조건이 갖추어져야 적용가능
지지대 방식	- 절단 깊이에 따라 장비 자체가 전진 또는 후진이동 - 작업장 협소, 바닥면 요철이 심한 경우 시공어려움 - 지지대가 진입공 공저 또는 장비 자체에 고정으로 작업능률 저하

표 4 장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법 요약

구분	내용
정위치 암반절단	- 길이가 자동으로 조정될 수 있는 무한 궤도형 DSW의 회전 운행 체계를 이용한 정위치 암반 절단 시스템
신축형 지지대	- 장비에 장착된 지지대의 상하이동 및 신축형 지지대를 적용한 장심도 암반 절단 시스템

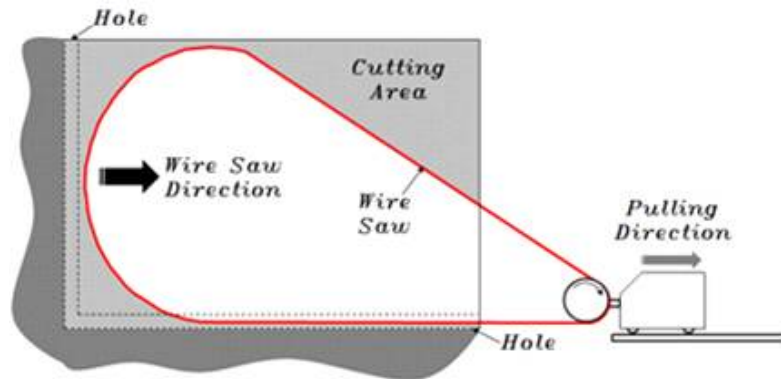


그림 18. 감싼 방식

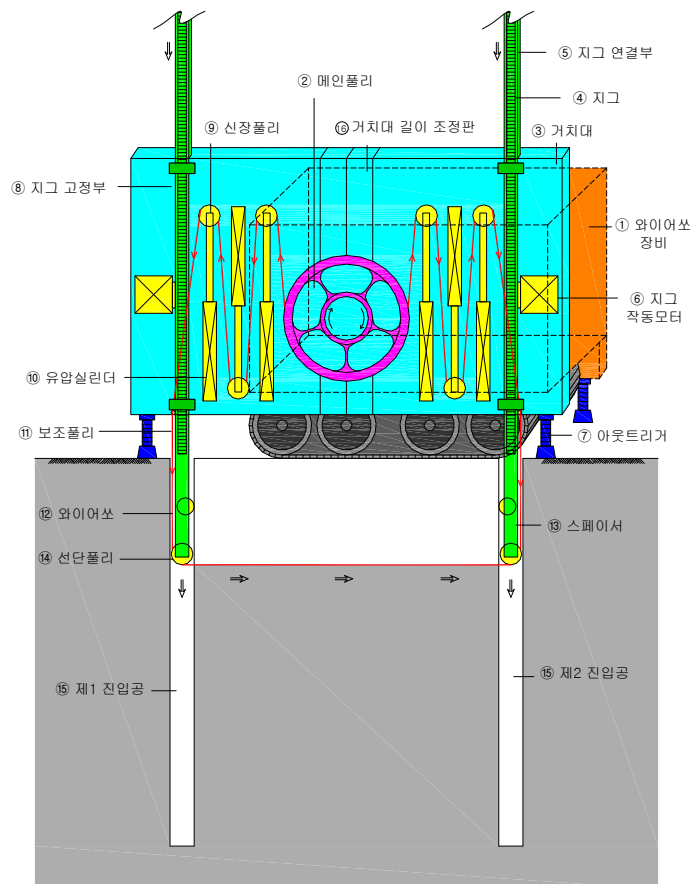


그림 19. 장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법

㉔ 암반 절단성능 비교 평가

1.1 절단속도

1) 평가 개요

기존공법(감싼방식 공법), 개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)에 의하여 시험체를 절단하면서 사용된 와이어쏘(35m, 30m)가 약 1 m² 절단에 소요되는 시간을 매회 측정하였다.



사진 34. 감싼방식 공법 시험전경



사진 35. 장심도 정위치 암반절단 공법 시험전경(1차)



사진 36. 장심도 정위치 암반절단 공법 시험전경(2차)

2) 평가 결과

기존공법(감싼방식 공법) 및 개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)의 절단속도 평가결과는 다음과 같이 나타났다. 절단속도는 1m²의 시험체를 절단하는데 소요되는 시간을 나타낸다.

표 5 절단 속도 평가결과

구분		기존공법		개발공법 1차		개발공법 2차	
		절단면적 (m ²)	절단시간 (min)	절단면적 (m ²)	절단시간 (min)	절단면적 (m ²)	절단시간 (min)
절단 횟수	1회	1.05	22	1.06	85	1.733	50
	2회	1.17	22	1.06	48	2.748	34
	3회	1.05	22	1.06	52	1.089	27
합계		3.27	66	3.18	185	5.570	111
평균절단속도 (min/m ²)		20.2		58.4		22.0	

1.2 공구수명

1) 평가 개요

기존공법(감싼방식 공법), 개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법) 및 정위치 암반 절단기술에 의하여 사용된 와이어쏘(35m, 30m)로 시험체를 절단하면서 소요되는 절단면적을 매회 측정하였다. 이 때 기존공법, 개발공법의 회전속도는 (350 ~ 490) RPM으로 유지하였다.



(a) 기존공법(감싼방식 공법)



(b) 개발공법 1차(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)



(c) 개발공법 2차 암반절단 공법

사진 37. 공구수명 시험 전경

2) 평가 결과

기존공법 및 개발공법의 절단면적 평가결과는 다음과 같이 나타났다. 절단면적은 1 m의 와이어쏘가 절단한 면적을 나타낸다. 본 시험에서는 와이어쏘가 파단 될 때까지 측정하지 않아서 공구수명의 계산이 불가능 하였다.

표 6 절단 면적 평가결과

구분		기존 공법 절단 면적 (㎡)	개발 공법 1차 절단 면적 (㎡)	개발공법 2차 절단 면적 (㎡)
절단 횟수	1회	1.05	1.06	1.733
	2회	1.17	1.06	2.748
	3회	1.05	1.06	1.089
합계		3.27	3.18	5.570
절단면적 (㎡/m)		0.091	0.093	0.186

1.3 절단 마찰온도

1) 평가 개요

기존공법(감싼방식 공법), 개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)은 시험체를 절단하면서 와이어쏘에 발생하는 마찰온도에 대하여 열화상 카메라로 절단 작업 중에 10분 간격으로 60분간 측정하였고, 개발공법 2차 시험방법은 암반 시험체를 절단하면서 와이어쏘에 발생하는 마찰온도에 대하여 열화상 카메라로 절단 작업 중에 10회 측정하여 평균을 산출하였다.

2) 평가 결과



사진 38. 기존공법

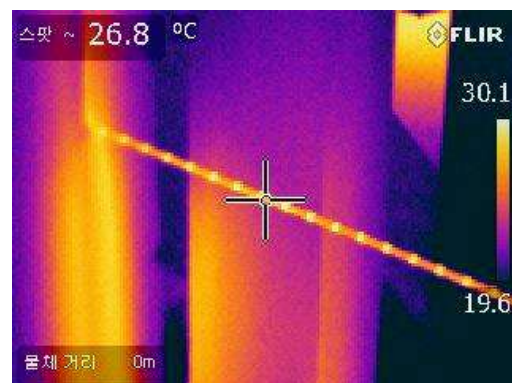


사진 39. 개발공법 1차

기존공법(감싼방식 공법) 및 개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)의 절단마찰온도 평가결과는 다음과 같이 나타났다.

표 7 절단 중 온도변화

구분	초기온도	10분	20분	30분	40분	50분	60분
기존 공법	20.8	26.8	27.8	28.1	28.5	28.1	29.4
개발 공법	20.5	25.3	26.6	28.8	27.8	27.4	28.9

개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법) 2차의 절단마찰온도 평가결과는 다음과 같이 나타났다.



사진 40. 개발 공법 2차

표 8 절단 중 온도변화

구분	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	평균
개발공법 2차	28.3	30.8	27.9	27.5	28.4	27.2	30.8	30.1	28.9	27.5	28.7

1.4 비드마모량

1) 평가 개요

기존공법(감싼방식 공법) 및 개발공법(장심도 정위치 와이어썬 암반절단 공법)에 의하여 시험체를 절단하면서 마모되는 비드의 마모량을 매회 측정하였다.



사진 41. 비드마모량 측정 방법

2) 평가 결과

기존공법, 개발공법의 비드마모량은 시험체 절단 전후 비드의 전체두께를 버니어캘리퍼스로 측정하였고, 개발공법 2차는 암반 시험체 절단 전후 비드의 두께를 버니어캘리퍼스로 10회 측정하여 평균을 산출하였으며, 측정결과는 다음과 같이 나타났다.

표 9 기존공법 비드마모량 측정결과

구분	초기두께	1회	2회	3회
절단 후 두께(mm)	10.77	10.74	10.73	10.71
마모율(%)	-	0.24	0.32	0.52

표 10 개발공법 1차 비드마모량 측정결과

구분	초기두께	1회	2회	3회
절단 후 두께(mm)	10.93	10.85	10.79	10.77
마모율(%)	-	0.73	1.32	1.48

표 11 개발공법 2차 비드마모량 측정결과

구분		절단 횟수		
		1회	2회	3회
비드 두께 (mm)	절단 전 두께(평균)	10.83	10.87	10.82
	절단 후 두께(평균)	10.55	10.35	10.63
마모율 (%)		2.58	4.82	1.70
절단시간 (min)		50	34	27

1.5 장비평가

1.5.1 지지대 압력

1) 평가 개요

개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)의 지지대 압력을 측정하기 위하여 사진 37과 같이 지지대 하단에 압축 로드셀을 설치한 후 좌, 우 지지대의 압력을 측정하였다.



사진 42. 지지대 압력 측정 방법

2) 평가 결과

개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)의 좌, 우 지지대의 압력은 표 12과 같이 나타났다.

표 12 정위치 암반절단 기술 지지대 압력 측정결과

구분	좌측(kN)	우측(kN)
1회	13.32	13.99
2회	13.32	13.32
3회	13.32	13.32
평균	13.32	13.54

1.5.2 지지대 편차

1) 평가 개요

개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)의 좌,우 지지대의 편차를 측정하기 위하여 사진 38과 같이 장비 프레임에 철재 자를 거치하고 총 5회에 걸쳐 좌,우 지지대의 위치를 측정하였다.



사진 43. 지지대 편차 측정 방법



사진 44. 지지대 편차 측정 방법

2) 평가 결과

장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법의 좌, 우 지지대의 편차는 표 13,14와 같이 나타났다.

표 13 개발장비 지지대 편차 측정결과 (1차)

구분	좌측(mm)	우측(mm)	편차(mm)
초기	211	212	1
1회	636	602	34
2회	846	814	32
3회	984	966	18
4회	1157	1155	2
5회	1382	1381	1

표 14 개발장비 지지대 편차 측정결과(2차)

구분	좌측(mm)	우측(mm)	편차(mm)
1회	60.1	67.2	7.1
2회	66.5	68.7	2.2
3회	88.4	92.5	4.1
4회	104.1	106.5	2.4
5회	125.1	130.5	5.4
6회	145.4	146.1	0.7

④ 종방향 암반절단 시험방법

1.1 절단속도

1) 평가 개요

종방향 암반절단 기술로 암반 시험체를 절단하면서 사용된 와이어어썰(30 m)가 약 1 m² 절단면적에 소요되는 시간을 매회 측정하였다.



사진 45. 종방향 암반절단 기술 절단시험 전경

2) 평가 결과

종방향 암반절단 기술의 절단속도 평가결과는 다음 표 3과 같이 나타났다. 절단속도는 암반 시험체를 1 m² 절단하는데 소요되는 시간을 나타낸다.

표 15 절단 속도 평가결과

구분		종방향 암반절단 기술	
		절단면적 (m ²)	절단시간 (min)
절단 횟수	1회	0.492	28
	2회	1.226	75
합계		1.718	103
평균절단속도 (min/m ²)		59.1	

1.2 공구수명

1) 평가 개요

종방향 암반절단 기술로 암반 시험체를 절단하면서 소요되는 절단면적을 매회 측정하였다. 이 때 사용한 와이어쏜의 길이는 30 m 이다.



사진 46. 공구수명 시험 전경

2) 평가 결과

종방향 암반절단 기술의 절단면적 평가결과는 다음과 같이 나타났다. 절단면적은 1 m의 와이어쏜이 절단한 면적을 나타낸다. 본 시험에서는 와이어쏜이 파단 될 때까지 측정하지 않아서 공구수명의 계산이 불가능 하였다.

표 16 절단 면적 평가결과

구분		종방향 암반절단 기술 절단 면적 (㎡)
절단 횟수	1회	0.492
	2회	1.226
합계		1.718
절단면적 (㎡/m)		0.057

1.3 절단 마찰온도

1) 평가 개요

종방향 암반절단 기술로 암반 시험체를 절단하면서 와이어쏘에 발생하는 마찰온도에 대하여 열화상 카메라로 절단 작업 중에 10회 측정하여 평균을 산출하였다.

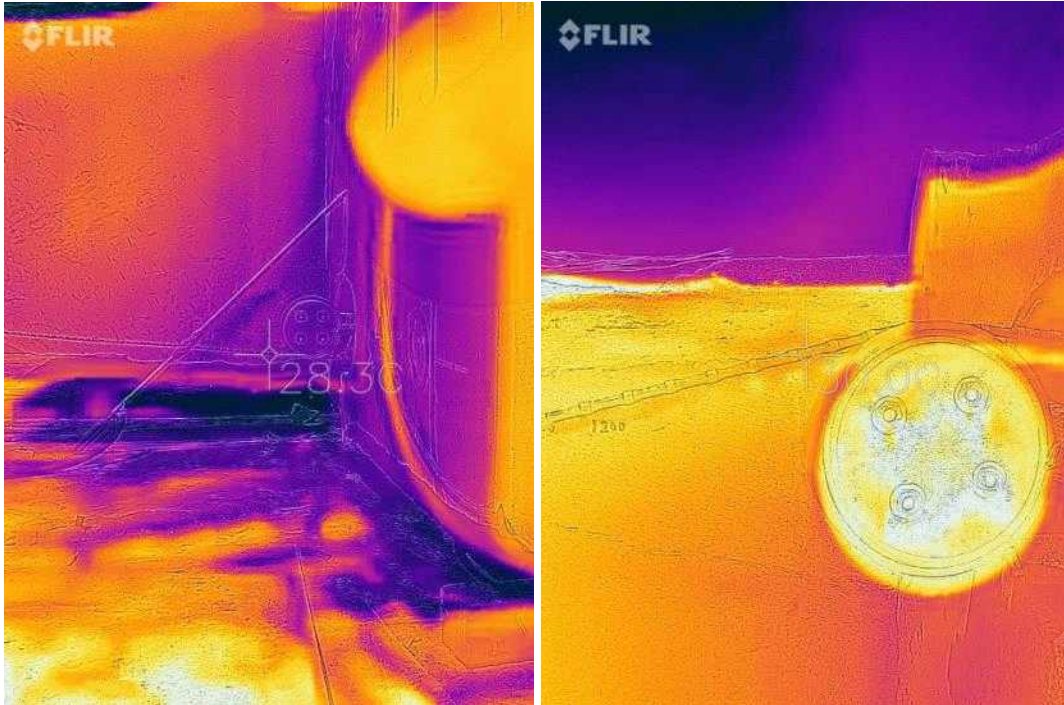


사진 47. 절단 마찰온도 측정

2) 평가 결과

종방향 암반절단 기술의 절단마찰온도 평가결과는 다음과 같이 나타났다.

표 17 절단 중 온도변화

구분	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	평균
종방향	30.0	28.0	30.0	29.0	30.5	29.3	29	29.5	30.1	29.6	29.5

1.4 비드마모량

1) 평가 개요

종방향 압반절단 기술로 압반 시험체를 절단하면서 마모되는 비드의 마모량을 매회 측정하였다.



사진 48. 비드마모량 측정 방법

2) 평가 결과

비드마모량은 압반 시험체 절단 전후 비드의 두께를 버니어캘리퍼스로 10회 측정하여 평균을 산출하였으며, 측정결과는 다음과 같이 나타났다.

표 18 절단 면적 평가결과

구분		절단 횟수	
		1회	2회
비드 두께 (mm)	절단 전 두께(평균)	10.80	10.74
	절단 후 두께(평균)	10.74	10.58
마모율 (%)		0.57	1.45
절단시간 (min)		28	75

1.5 앵커 인발

1) 평가 개요

종방향 암반절단 기술에 사용하는 앵커의 인발성능을 측정하기 위하여 암반절단장비의 유압을 이용하여 앵커 인발시험을 실시하였다.



사진 49. 종방향 암반절단 기술용 앵커사진 및 성능평가

2) 평가 결과

종방향 암반절단 기술용 앵커의 인발성능을 측정하기 위하여 와이어소 장력 120 bar 내외의 유압을 3회 이상 재하 하였을 때 앵커가 인발되었다. 하지만 유압 측정 시 사용한 계측기로는 정확한 앵커 인발 시점 및 최대하중은 측정할 수 없었다.

⑤ 기타시험

1.1 장비(메인 폴리) RPM 및 장력

1) 평가 개요

종방향 및 정위치 암반절단 기술의 RPM 및 와이어소 장력을 측정하기 위하여 장비와 연결된 측정기 및 무선계측장비를 통하여 측정하였다.



사진 50. 장비(메인 폴리) RPM 측정 방법



사진 51. RPM 및 와이어쏘 장력 측정

2) 평가 결과

표 19 RPM 및 와이어쏘 장력 측정결과

구분	종방향 암반절단 기술		정위치 암반절단 기술		
	RPM	장력(bar)	RPM		장력(bar)
			1차	2차	
1회	271	17	377.7	460	28
2회	319	15	373.4	476	19
3회			378.3	429	17
평균	296	16	376.5	455	22

1.2 소음 및 진동

1) 평가 개요

소음계 및 진동계를 활용하여 암반절단 장비의 소음 및 진동을 0, 10, 20, 30, 40, 50, 80 m 단위로 측정하였으며, 진동은 상하(Z축) 방향을 측정하였다



사진 52. 소음 및 진동 측정 방법

2) 평가 결과

암반절단 장비의 소음 및 진동은 표 20과 같이 나타났다.

표 20 정위치 암반절단 기술 지지대 편차 측정결과

구분	소음 (dB)	진동 (dB)
0 m	84.9	48.1
10 m	76.6	39.8
20 m	71.5	38.6
30 m	66.3	35.6
40 m	63.5	33.4
50 m	61.9	33.3
80 m	52.8	27.8

1.3 와이어쏜의 물리적 성능 평가

1.3.1 로크웰 경도

1) 평가 개요

기존공법(감싼방식 공법) 및 개발공법(장심도 정위치 와이어쏜 암반절단 공법)에 사용된 와이어쏜 비드부분의 경도를 KS B 0806[금속재료의 로크웰 경도 시험 방법]에 규정하는 로크웰 경도기로 확인하였다.



사진 53. 로크웰경도 시험기

2) 평가 결과

표 21 로크웰경도 평가결과

구분		로크웰경도
측정 회수	1회	56 HRBW
	2회	59 HRBW
	3회	54 HRBW

1.3.2 인장하중

1) 평가 개요

기존공법(감싼방식 공법) 및 개발공법(장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법)에 사용된 와이어쏘 인장하중 시험을 KS B 0802[금속 재료 인장 시험 방법]에 규정하는 인장시험기로 성능을 확인하였다.



사진 54. 인장 시험기

2) 평가 결과

표 22 파단하중 평가결과

구분		인장하중 (N)
측정 회수	1회	11 799
	2회	12 514
	3회	13 487

(사) 환경오염물질 측정결과

장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 장비의 가동 전, 후 결과는 다음 표와 같다.

표 23. 대기오염물질 측정결과

대기	가동전	가동후	허용기준
일산화탄소 (ppm)	1.3	1.0	20
산소 (%)	21.2	20.9	-
이산화탄소 (ppm)	300	167	1,000
메탄 (ppm)	0	0	-
TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	922.4	53.5	1,000
포름알데히드 (ppm)	0.79	1.35	100

표 24. 악취물질 측정결과

대기	가동전	가동후	허용기준
황화수소 (ppm)	0.000476	0.000720	0.02
메틸에틸케톤 (ppm)	0.012177	0.029246	13
메틸아이소뷰티르케톤 (ppm)	0.009625	0.013533	1
톨루엔 (ppm)	0.036310	0.038229	10
뷰티르아세테이트 (ppm)	0.014216	0.006941	1
자일렌 (ppm)	0.004319	0.004499	1
1) 평가기관 : (주) 산업공해연구소 2) 분석기간 대기시험 : 2019. 09. 26 ~ 2019. 09. 30 악취시험 : 2019. 09. 26 ~ 2019. 09. 30			

- 표에서 보는 바와 같이 CO, O₂, CO₂는 공중이용시설에 대한 기준을 적용하여 측정, 분석을 한 결과, CO는 기준치에 1/20, CO₂는 기준치에 1/3 ~ 1/4 정도로 나타났다.
- CH₄ 는 가동 전, 후 0.00ppm으로 나타났다.
- TVOC, 포름알데히드는 공중이용시설에 대한 기준치를 적용하여 측정, 분석결과 TVOC는 가동 전 보다 가동 후 데이터가 적게 조사되었고 이는 주변기상의 영향으로 적게 나온 것으로 보이며 포름알데히드는 기준치보다 아주 적게 분석결과를 나타냈다.
- 황화수소는 배출가스 기준치보다 민감하게 조사된 것으로 보여 강력한 기준을 적용하기 위하여 악취방지법에 의한 측정, 분석방법을 적용 하였음에도 기준치를 훨씬 못미치는 결과를 나타냈다.
- 메틸에틸케톤, 메틸아이소뷰티르케톤, 톨루엔, 뷰티르아세테이트, 자일렌 등유기용제 항목도 악취방지법에 의한 측정, 분석 방법을 적용하여 실험을 실시 결과 기준치를 만족시키는 결과를 나타냈다.
- 결론
장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 장비의 가동 전, 후를 비교 및 분석결과 장비가동 후에도 예상되는 대기오염물질 기준치뿐만 아니라 인체에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

(아) 개발기술 원가계산 분석

① 설계·시공비 절감

- 주요 구조물과 인접하고 민가가 밀집한 복잡한 도심지에서 암반을 굴착할 경우 원칙적으로 발파가 불가능하므로 천공 및 할암을 병행하여 인력 또는 기계식 굴착으로 암반을 파쇄하게 된다. 자유면이 없는 경우에 천공 및 할암을 병행하면 작업효율이 극도로 저하되므로 본 신기술은 파쇄작업을 선행시공으로 암반에 자유면을 형성하여 암반파쇄 작업의 효율을 극대화 시키는 데 목적이 있다.
- 이 개발 기술은 자유면이 형성되지 않은 신선한 암반에 천공장비로 부분 자유면(천공구멍)을 확보한 후 이 자유면 내부로 지지대를 전진시키며 와이어쏜을 이용하여 암반을 절단하는 기술이다. 굴착면 상부에서 10m 깊이로 암반을 수직절단하여 형성된 자유면 좌우로 50~60cm 간격으로 할암공을 천공을 하고 할암작업을 수행하면 기존기술(비자유면 할암파쇄)에 비하여 작업공기 및 예산을 대폭적으로 절감할 수 있다.

② 정위치 암반절단

㉠ 개발기술의 고유영역에 해당하는 시공절차 구분

기존 유사기술 시공절차	개발기술 시공절차	표준품셈 관련 부문 장-절-항	개발기술 고유영역
① 대구경천공(4공)	① 대구경 천공(2공)	토목 5-6-1 말뚝박기용 천공	
	② 와이어쏘 암반절단	전문업체 시공실적	(장비 및시공방법)
② 할암공 천공	③ 할암공 천공	토목 3-9 2항 크롤러드릴 작업능력 준용	
③ 할암 및 파쇄	④ 할암 및 파쇄	토목 3-1-2 기계적 파쇄 준용	

㉔ 시공절차별로 품 작성

시공절차 세부항목	소요 인력, 장비, 자재		단위	소요량
	품명	규격		
1. 대구경 천공(Φ400mm, 경암), 공당 / 표준품셈 토목 5-6-1				
	파일천공용 장비		HR	0.31
	오거	스크류	HR	0.31
	발전기	450kW	HR	0.31
	공기압축기		HR	0.31
	굴삭기	0.2m³	HR	0.31
	보링공		인	0.04
	특별인부		인	0.02
	보통인부		인	0.04
	용접공		인	0.02
	소모품비		식	노무비의 8%
2. 할암 천공(Φ85mm, 경암), 공당 / 표준품셈 토목 3-9 2항 크롤러드릴 작업능력 준용				
	크롤러드릴		HR	0.367
	공기압축기		HR	0.367
3. 할암 및 파쇄(Φ85mm, 경암), 공당 / 표준품셈 토목 3-1-2 기계적파쇄 준용				
	굴삭기	0.7m³	HR	0.024
	대형브레이커		HR	0.024
	대형브레이커용 치즐	0.7m³용	HR	0.00016
	발전기	100kW	HR	0.024
	유압파워팩		HR	0.024
	유압할암봉		HR	0.024
	특별인부		인	0.0334
	보통인부		인	0.0320
4. 와이어쏘 암반절단, m²당 / 전문업체 시공실적				
	와이어쏘 장비		HR	1.976
	발전기	250kW	HR	1.976
	특별인부		인	0.494
	보통인부		인	0.247

㉔ 시공절차별 일위대가

(개발기술)

시공 차 세 항 목	소요인력, 장비, 자재		단 위	소요량	단 가			금액 (소요량x단가)				단가출처
	품 명	규 격			재 료비	노무비	경 비	재 료비	노무비	경 비	계	
1. 대구경 천공(Φ400mm, 경압), 공당 / 표준품셈 토목 5-6-1												138,347
	파일천공용 장비		HR	0.62	32,206	49,032	45,417	19,967.7	30,399.8	28,158.5	78,526	18년 장비단가
	오거	스크류	HR	0.62			15,631	0.0	0.0	9,691.2	9,691	18년 장비단가
	발전기	450kW	HR	0.62	122,686	31,886	18,694	76,065.3	19,769.3	11,590.2	107,425	18년 장비단가
	공기압축기		HR	0.62	53,804	31,886	10,010	33,358.4	19,769.3	6,206.2	59,334	18년 장비단가
	굴삭기	0.2㎡	HR	0.62	8,687	49,032	11,948	5,385.9	30,399.8	7,407.7	43,193	18년 장비단가
	보링공 (x1.3)	할증 30%	인	0.08		195,065		0.0	15,605.2	0.0	15,605	18년 하반기 노임
	특별인부 (x1.3)	할증 30%	인	0.04		183,959		0.0	7,358.3	0.0	7,358	18년 하반기 노임
	보통인부 (x1.3)	할증 30%	인	0.08		153,569		0.0	12,285.5	0.0	12,286	18년 하반기 노임
	용접공 (x1.3)	할증 30%	인	0.04		234,455		0.0	9,378.2	0.0	9,378	18년 하반기 노임
	소모품비		식	노무비의 8%				3,570.1			3,570	

시공 절세 항목	소요 인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			단가				단가출처
	품명	규격			재 료비	노무비	경비	재 료비	노무비	경비	계	
	2. 할암 천공 (Φ85mm, 경암), 공당 / 표준품셈 토목 3-9 2항 크롤러드릴 작업능력 준용											2,427,890
	크롤러드릴		HR	62.023		49,032	10,980	0.0	3,041,111.7	681,012.5	3,722,124	18년 장비단가
	공기압축기		HR	62.023	39,145	31,886	4,975	2,427,890.3	1,977,665.3	308,564.4	4,714,120	18년 장비단가
	3. 할암 및 파쇄 (Φ85mm, 경암), 공당 / 표준품셈 토목 3-1-2 기계적파쇄 준용											1,664,142
	굴삭기	0.7 m ³	HR	4.056	20,322	49,032	20,430	82,426.0	198,873.7	82,864.0	364,164	18년 장비단가
	대형브레이커		HR	4.056			9,497	0.0	0.0	38,519.8	38,520	18년 장비단가
	대형브레이커용 치즐	0.7 m ³ 용	HR	0.02704	223,000			6,029.9	0.0	0.0	6,030	18/10 물정.526
	발전기	100k W	HR	4.056	30,983	31,886	4,840	125,667.0	172,439.4	19,631.0	317,737	18년 장비단가
	유압파워팩		HR	4.056			30,331	0.0	0.0	123,022.5	123,023	18년 장비단가
	유압할암봉		HR	0.7436	1,950,000			1,450,020.0	0.0	0.0	1,450,020	18/10 물정.527
	특별인부 (x1.3)	할증 30%	인	5.6446		183,959		0.0	1,038,374.9	0.0	1,038,375	18년 하반기 노임
	보통인부 (x1.3)	할증 30%	인	5.408		153,569						
	4. 와이어쏘 암반절단, m ² / 전문업체 시공실적											1,232,201
	와이어쏘 장비		HR	7.904	87,698	31,886	77,320	693,164.9	252,026.9	611,137.2	1,556,329	전문업체 제공
	발전기	250k W	HR	7.904	68,198	31,886	10,509	539,036.9	252,026.9	83,063.1	874,127	18년 장비단가
	특별인부 (x1.3)	할증 30%	인	1.976		183,959		0.0	363,502.9	0.0	363,503	18년 하반기 노임
	보통인부 (x1.3)	할증 30%	인	0.988		153,569		0.0	151,726.1	0.0	151,726	18년 하반기 노임

(비교기술)

시 정 세 항 목	소요인력, 장비, 자재		단 위	소요량	단 가			금액 (소요량x단가)				단가출처
	품 명	규 격			재 료비	노 무비	경 비	재 료비	노 무비	경 비	계	
1. 대구경 천공(Φ400mm, 경압), 공당 / 표준품셈 토목 5-6-1												276,695
	파일천공용 장비		HR	1.24	32,206	49,032	45,417	39,935.4	60,799.6	56,317.0	157,052	18년 장비단가
	오거	스크류	HR	1.24			15,631	0.0	0.0	19,382.4	19,382	18년 장비단가
	발전기	450kW	HR	1.24	122,686	31,886	18,694	152,130.6	39,538.6	23,180.5	214,850	18년 장비단가
	공기압축기		HR	1.24	53,804	31,886	10,010	66,716.9	39,538.6	12,412.4	118,668	18년 장비단가
	굴삭기	0.2㎡	HR	1.24	8,687	49,032	11,948	10,771.8	60,799.6	14,815.5	86,387	18년 장비단가
	보링공 (x1.3)	할증 30%	인	0.16		195,065		0.0	31,210.4	0.0	31,210	18년 하반기 노임
	특별인부 (x1.3)	할증 30%	인	0.08		183,959		0.0	14,716.7	0.0	14,717	18년 하반기 노임
	보통인부 (x1.3)	할증 30%	인	0.16		153,569		0.0	24,571.0	0.0	24,571	18년 하반기 노임
	용접공 (x1.3)	할증 30%	인	0.08		234,455		0.0	18,756.4	0.0	18,756	18년 하반기 노임
	소모품비		식	노무비의 8%				7,140.3			7,140	

시공 차 세 항 목	소요 인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			단가				단가출처
	품명	규격			재 료비	노무비	경비	재 료비	노무비	경비	계	
2. 할암 천공 (Φ85mm, 경암), 공당 / 표준품셈 토목 3-9 2항 크롤러드릴 작업능력 준용												3,174,933
	크롤러드릴		HR	81.107		49,032	10,980	0.0	3,976,838.4	890,554.8	4,867,393	18년 장비단가
	공기압축기		HR	81.107	39,145	31,886	4,975	3,174,933.5	2,586,177.8	403,507.3	6,164,619	18년 장비단가
3. 할암 및 파쇄 (Φ85mm, 경암), 공당 / 표준품셈 토목 3-1-2 기계적파쇄 준용												2,176,186
	굴삭기	0.7 m³	HR	5.304	20,322	49,032	20,430	107,787.8	260,065.7	108,360.7	476,214	18년 장비단가
	대형브레이커		HR	5.304			9,497	0.0	0.0	50,372.0	50,372	18년 장비단가
	대형브레이커용 치즐	0.7 m³용	HR	0.03536	223,000			7,885.2	0.0	0.0	7,885	18/10 물정.526
	발전기	100kW	HR	5.304	30,983	31,886	4,840	164,333.8	225,497.7	25,671.3	415,503	18년 장비단가
	유압파워팩		HR	5.304			30,331	0.0	0.0	160,875.6	160,876	18년 장비단가
	유압할암봉		HR	0.9724	1,950,000			1,896,180.0	0.0	0.0	1,896,180	18/10 물정.527
	특별인부 (x1.3)	할증 30%	인	7.3814		183,959		0.0	1,357,874.9	0.0	1,357,875	18년 하반기 노임
	보통인부 (x1.3)	할증 30%	인	7.072		153,569						
4. 와이어쏘 암반절단, m³당 / 전문업체 시공실적												0
	와이어쏘 장비		HR		87,698	31,886	77,320	0.0	0.0	0.0	0	전문업체 제공
	발전기	250kW	HR		68,198	31,886	10,509	0.0	0.0	0.0	0	18년 장비단가
	특별인부 (x1.3)	할증 30%	인			183,959		0.0	0.0	0.0	0	18년 하반기 노임
	보통인부 (x1.3)	할증 30%	인			153,569		0.0	0.0	0.0	0	18년 하반기 노임

③ 종방향 암반절단

㉦ 개발기술의 고유영역에 해당하는 시공절차 구분

기존 유사기술 시공절차	개발기술 시공절차	표준품셈 관련 부문 장-절-항	개발기술 고유영역
① 대구경천공(2공)	① 대구경 천공(2공)	전문업체 시공실적	
	② 와이어쏘 암반절단	토목 3-2 3항 천공기계의 천공속도	(장비 및 시공방법)
② 할암공 천공	③ 할암공 천공	공통 3-2-2 기계적파쇄 준용	
③ 할암 및 파쇄	④ 할암 및 파쇄	전문업체 시공실적	

㉞ 시공절차별로 품 작성

시공절차 세부항목	소요 인력, 장비, 자재		단위	소요량
	품명	규격		
1. 대구경 천공(Φ250mm, 경암), m당 / 전문업체 시공실적				
	대구경천공드릴		HR	1.815
	발전기	100kW	HR	1.815
	유압파워팩		HR	1.815
	착암공		인	0.227
	특별인부		인	0.227
	보통인부		인	0.227
2. 할암 천공(Φ38mm, 경암), 공당 / 표준품셈 토목 3-2 3항 천공기계의 천공속도				
	착암공		HR	0.083
	소형브레이커		HR	0.083
3. 할암 및 파쇄(Φ85mm, 경암), 공당 / 표준품셈 공통 3-2-2 기계적파쇄 준용				
	굴삭기	0.7m³용	HR	0.00712
	발전기	100kW	HR	0.00712
	대형브레이커		HR	0.00712
	대형브레이크용 치즐		HR	0.0000475
	유압할암봉		HR	0.001305
	유압파워팩		HR	0.00712
	특별인부		인	0.01484
	보통인부		인	0.01424
4. 와이어쏘 암반절단, m²당 / 전문업체 시공실적				
	와이어쏘		HR	3.021
	발전기	250kW	HR	3.021
	특별인부		인	1.511
	보통인부		인	0.755

㉔ 시공절차별 일위대가

(개발기술)

시공 절차 세 항목	소요 인력, 장비, 자재		단 위	소요량	단가			단가				단가출처
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계	
1. 대구경 천공(Φ250mm, 경압), m당 / 전문업체 시공실적								53,883	148,623	94,078	296,584	
	대구경천공드릴		HR	1.815			15,804			28684.2	28684	19년 장비단가
	발전기		HR	1.815	29,688	27,397	4,984	53883.7	49725.6	9046	112655	19년 장비단가
	유압과워팩		HR	1.815			31,046			56348.4	56348	19년 장비단가
	착압공		HR	0.227		150,052			34043		34043	19년 장비단가
	특별인부		인	0.227		155,599			35301.5		35301	19년 하반기 노임
	보통인부		인	0.227		130,264			29553.6		29553	19년 하반기 노임
2. 할압 천공(Φ38mm, 경압), 공당 / 표준품셈 토목 3-2 3항 천공기계의 천공속도								0	12,454	57	12,511	
	착압공		HR	0.083		150,052			12454.3		12454	19년 장비단가
	소형브레이커		HR	0.083			687			57	57	19년 장비단가

시공 절차 세 항목	소요 인력, 장비, 자재		단 위	소요량	단가			단가				단가출처
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계	
3. 할암 및 파쇄 (Φ85mm, 경암), 공당 / 표준품셈 공통 3-2-2 기계적파쇄 준용								2,906	4,641	475	8,022	
	굴삭기	0.7 m³용	HR	0.00712	19,473	39,625	21,214	138.6	282.1	151	571	19년 장비단가
	발전기	100k W	HR	0.00712	29,688	27,397	4,984	211.4	195.1	35.4	441	19년 장비단가
	대형브레이커		HR	0.00712			9,595			68.3	68	19년 장비단가
	대형브레이크용 치즐		HR	0.0000475	223,000			10.5			10	19년 장비단가
	유압할암봉		HR	0.00131	1,950,000			2545.9			2545	19년 장비단가
	유압파워팩		HR	0.00712			31,046			221	221	19년 장비단가
	특별인부		인	0.01484		155,599			2308.5		2308	19년 하반기 노임
	보통인부		인	0.01424		130,264			1855.3		1855	19년 하반기 노임
4. 와이어쏘 암반절단, m²당 / 전문업체 시공실적								236,060	332,239	227,420	795,719	
	와이어쏘 장비		HR	3.021	12,792	27,397	64,460	38644.6	82766.3	194733.6	316144	전문업체 제공
	발전기	250k W	HR	3.021	65,348	27,397	10,820	197416.3	82766.3	32687.2	312869	19년 장비단가
	특별인부		인	0.75525		155,599			117516.1		117516	19년 하반기 노임
	보통인부		인	0.37763		130,264			49190.9		49190	19년 하반기 노임

(비교기술)

시공 차 세 항 목	소요 인력, 장비, 자재		단 위	소요량	단가			단가				단가출처
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계	
1. 대구경 천공 (Φ250mm, 경압), m당 / 전문업체 시공실적												53,883
	대구경천공드릴		HR	1.815			15,804.0			28,684.3	28,684	19년 장비단가
	발전기		HR	1.815	29,688.0	27,397.0	4,984.0	53,883.7	49,725.6	9,046.0	112,655	19년 장비단가
	유압파워팩		HR	1.815			31,046.0			56,348.5	56,348	19년 장비단가
	착암공		HR	0.227		150,052.0			34,061.8		34,062	19년 장비단가
	특별인부		인	0.227		155,599.0			35,321.0		35,321	19년 하반기 노임
	보통인부		인	0.227		130,264.0			29,569.9		29,570	19년 하반기 노임
2. 할암 천공 (Φ38mm, 경압), 공당 / 표준품셈 토목 3-2 3항 천공기계의 천공속도												-
	착암공		HR	8.964		150,052.0			1,345,066.1		1,345,066	19년 장비단가
	소형브레이커		HR	8.964			687.0			6,158.3	6,158	19년 장비단가

시공 절차 세 항목	소요 인력, 장비, 자재		단 위	소요량	단가			단가				단가출처
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계	
3. 합암 및 파쇄 (Φ85mm, 경암), 공당 / 표준품셈 공통 3-2-2 기계적파쇄 준용												313, 779. 0
	굴삭기	0. 7 m³용	HR	0. 769	19, 473	39, 625	21, 214	14, 974. 0	30, 470. 0	16, 312. 7	61, 757	19년 장비단가
	발전기	100k W	HR	0. 769	29, 688	27, 397	4, 984	22, 828. 9	21, 067. 2	3, 832. 5	47, 729	19년 장비단가
	대형브레이커		HR	0. 769			9, 595			7, 378. 2	7, 378	19년 장비단가
	대형브레이크용 치즐		HR	0. 005	223, 000			1, 144. 0			1, 144	19년 장비단가
	유압할암봉		HR	0. 141	1, 950, 000			274, 833. 0			274, 833	19년 장비단가
	유압파워팩		HR	0. 769			31, 046			23, 873. 1	23, 873	19년 장비단가
	특별인부		인	1. 603		155, 599. 0			249, 381. 6		249, 382	19년 하반기 노임
	보통인부		인	1. 538		130, 264. 0			200, 335. 6		200, 336	19년 하반기 노임
4. 와이어쏘 암반절단, m²당 / 전문업체 시공실적												-
	와이어쏘 장비		HR	-	12, 792	27, 397	64, 460	-	-	-	-	전문업체 제공
	발전기	250k W	HR	-	65, 348	27, 397	10, 820	-	-	-	-	19년 장비단가
	특별인부		인	-		155, 599			-		-	19년 하반기 노임
	보통인부		인	-		130, 264			-		-	19년 하반기 노임

나. 연구개발 성과

(1) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	원형 자유면을 이용한 암반 파쇄의 수치해석적 연구	한국터널지하공간학회 논문집	안성권	19권 6호	한국	한국터널지하공간학회	비SCI	2017.11.	eISSN 2287-4747
2	Investigation into the wire saw rock cutting	International Journal of Machine Tools and Manufacture	안성권				SCI	심사중	ISSN: 0890-6955
3	Calculation procedures for replicating the wire saw rock cutting	MethodsX	안성권				SCI	심사중	ISSN: 2215-0161

(2) 지식재산권

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기 여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	다이아몬드 와이어 쏘에 의한 정위치 암반 절단 장비 및 방법	한국	경도	2017 0929	10-2017- 0127904		경도	2018 0424	제10-185 3303호		100%
2	다이아몬드 와이어 쏘에에 의한 정위치 암반 절단 장비 및 방법	PCT	경도	2018 0622	PCT/KR20 18/00712 7						100%
3	암반절단용 와이어 쏘 (디자인)	한국	경도	2018 1207	30-2018- 0057764		경도	2019 0625	제30-101 2728호		100%
4	다면동시 절단방식을 이용한 와이어 쏘 절단 시스템 및 이를 이용한 터널 굴착 방법	한국	경도	2018 1128	10-2018- 0150008		경도		심사중		100%
5	암반절단용 앵커폴리 (디자인)	한국	경도	2019 1118	30-2019- 0055011		경도		등록결정 완료		100%

(3) 보고서

연도	보고서 구분	작성일	비 고
2018년	특허컨설팅 최종보고서	2018년 10월	아인
2018년	사업화컨설팅 최종보고서	2018년 10월	큐엠에이
2018년	품질시험 보고서	2018년 10월	KCL
2018년	원가계산 보고서(정위치)	2018년 10월	동양경제
2018년	와이어쏘 절단모델개발 주요연구내용	2018년 11월	KRRI
2019년	원가계산 보고서(종방향)	2019년 9월	동양경제
2019년	품질시험 보고서(정위치)	2019년 9월	KCL
2019년	품질시험 보고서(종방향)	2019년 9월	KCL
2019년	환경시험평가 보고서(대기, 악취)	2019년 10월	산공
2019년	와이어쏘 절단모델개발 주요연구내용	2019년 12월	KRRI

(4) 공인시험성적서

연도	시험항목	시험기관	비 고
2017년 11월	다이아몬드 와이어쏘 경도	한국화학융합시험연구원(KTR)	
2017년 11월	다이아몬드 와이어쏘 인장하중	"	
2018년 10월	감싼방식 공법(절단속도, 마찰온도, 비트 마모량)	한국건설생활환경시험연구원(KCL)	
2018년 10월	장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법(절단속도, 마찰온도, 비트마모 량, 지지대 압력, 지지대 편차, RPM)	"	
2018년 10월	장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법용 와이어쏘 물성평가(경도, 인장하중)	"	
2019년 09월	장심도 정위치 와이어쏘 암반절단 공법	"	
2019년 09월	종방향 와이어쏘 암반절단 공법	"	
2019년 09월	다이아몬드 와이어쏘 물성평가(경도, 인장하중)	"	
2019년 10월	와이어쏘 장비 환경시험(대기, 가동전)	(주)산업공해연구소	
2019년 10월	와이어쏘 장비 환경시험(대기, 가동후)	"	
2019년 10월	와이어쏘 장비 환경시험(악취)	"	

(5) 장비 등록

장비명	등록일자	장비번호	비고
장심도용 자주식 와이어쏘 구동장비 (Self-propelled Wire Sawing Machine for Rock Excavation of Long Depth)	2018-10-19	NFEC-2018-10-246600	
장심도 암반절단 와이어쏘 기기장치 (Wire Sawing Device for Rock Excavation of Long Depth)	2018-10-19	NFEC-2018-10-246602	

(6) 신기술 신청

신기술명	진행단계	접수(예정)일자	비고
전진식 지지대와 신장폴리를 이용한 다이아몬드 와이어쏘에 의한 정위치에서의 암반절단 공법	공고접수	2019-10-21	
	관보공고	2019-11-26	
	1차심사	2020-02-06	

(7) 성과 홍보

홍보제목	일자	홍보매체	비고
와이어쏘 암반절단 더욱 진화하다	17년 9월 25일 ~ 10월 2일	토목신문	

다. 연구결과

(1) 기술적 성과

(가) 기술수준 및 기술개발 성숙도

구분		1 차년 도	2 차년 도	3 차년 도	단계별 설명
기초연구 구 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				
시작품 단계	TRL 5				【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발
	TRL 6	■	□	□	【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증
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

(나) 연구 실적물

구분		목표	달성도(%)	비고
국내 논문게제	비SCI	1	1 (100%)	
국외 논문게제	SCI	2	2 (100%)	2020년 상반기 예정
특허 출원	국내	2	2 (100%)	
특허 등록	국내	1	2 (100%)	1건 진행중
PCT 출원	국외	1	1 (100%)	
디자인 출원	국내	0	2 (100%)	
디자인 등록	국내	0	2 (100%)	1건 진행중 (등록결정완료)
시작품 제작		3	3 (100%)	
SMK		0	1 (100%)	
기타	공인성적서	3	11 (367%)	
	현장시험	0	5 (500%)	대형석재절단시험 테스트베드 현장시험시공
	컨설팅	0	2 (200%)	사업화 컨설팅 특허 컨설팅
	보고서	1	10 (1000%)	성능평가보고서 시작품 및 현장시험시공 와이어쏘 절단모델개발 원가계산서

(2) 경제적성과

(가) 시장점유율

- 국내 당사 연간 적용수량 산정

연간 공동구터널 평균수주량 : 5개현장 (수직구조물 10개소, 각현장당 발진·도달2개)

2020년 : 당사 공동구터널 2개 현장 적용, 수직구조물 4개소 적용(합 4개소)

2021년 : 당사 공동구터널 3개 현장 적용, 수직구조물 6개소 적용

타사 공동구터널 2개 현장 적용, 수직구조물 4개소 적용(합 10개소)

2022년 : 당사 공동구터널 3개 현장 적용, 수직구조물 6개소 적용

타사 공동구터널 4개 현장 적용, 수직구조물 8개소 적용(합 14개소)

- 해외 연간 적용수량 산정

개발종료 후 2년부터 적용

2021년 : 공동구터널 2개 현장 적용, 수직구조물 4개소 적용(합 4개소)

2022년 : 공동구터널 4개 현장 적용, 수직구조물 8개소 적용(합 8개소)

구분		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021년) 개발 종료 후 2년	(2022년) 개발 종료 후 3년
국 내	시장점유율(%)	2%	5%	8%
	판매량(단위:현장수)	2개현장(4개소)	5개현장(10개소)	7개현장(14개소)
	판매(시공) 단가(원)	500,000,000	500,000,000	500,000,000
	국내 매출액(백만원)	2,000	5,000	7,000
해 외	시장점유율(%)		1%	2%
	판매량(단위:현장수)		2개현장(4개소)	4개현장(8개소)
	판매(시공) 단가(달러)		250,000	250,000
	해외 매출액(달러)		1,000,000	2000,000

(나) 매출액 증대

① 국내 예상 매출액

구분	단위	2015년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	산술내역
총 터널길이	km	1,419	1,882	2,029	2,187	2,358	2,542	7.8% (‘10~’15 CAGR)
당해 신규 연장	km	126	136	147	158	171	184	당해연도 터널길이- 전년도 터널길이
당해 터널 공사 비용	억원	4,327	4,677	5,042	5,435	5,859	6,316	km당 34억원 (‘15년 기준)
총 공사비용 중 해당비용	억원	649	702	756	815	879	947	15%
목표 M/S	%	N/A	N/A	5%	10%	15%	20%	매년 M/S 5% 증가
매출액	억원	N/A	N/A	35	76	122	176	
누적 매출액	억원	N/A	N/A	35	111	233	409	

- 본 과제가 상용화되었을 때, 진동저감률 및 비용적인 측면에서 혁신적인 대체 시장으로 자리매김할 것으로 예상되며 매년 5% M/S를 확보하는 것은 무난할 것으로 예상됨
- 위와 같은 산출 근거로 추정된 결과, 2020년부터 향후 4년간 409억의 누적매출액이 발생할 것으로 예상됨
- 또한, 영동대로 지하대공간 등 향후 암반굴착 시공이 필요한 새로운 시장이 형성될 것을 고려하였을 때, 확보 가능한 매출액은 더욱 증가할 것으로 예상

② 해외 예상 매출액

구분	단위	2014년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	산술내역
해외건설시장	억 달러	5,800	8,926	9,837	10,840	11,946	13,164	10.2% (‘07~’14 CAGR)
국내 수주액	억 달러	659	1,014	1,117	1,231	1,357	1,495	해외건설시 장의 11.4% (‘14년 국내 수주율)
토목 공사 수주액	억 달러	N/A	132	145	160	176	194	국내 수주액의 13% (‘10년이후 5년간 평균 비중)
터널 공사 수주액	억 달러	N/A	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	토목 공사 수주액의 1.5% (국내 토목 공사 대비 터널공사 평균비중)
해당 공사비	억	N/A	345	380	414	449	500	15%
목표 M/S	%	N/A	-	2.5%	5.0%	7.5%	10.0%	‘19년 이후 매년 2.5%증가
매출액	억원	N/A	-	9	21	34	50	환율 1,150원 적용
누적 매출액	억원	N/A	-	9	30	64	114	

- 해외건설시장은 대기업 위주로 형성되었기 때문에(약 85% 이상) 목표 M/S를 보수적으로 선정함(연 2.5% 증가)
- 위와 같은 근거로 2023년까지 누적 매출액을 산정하였을 때, 약 114억원의 매출액이 발생할 것으로 예상됨

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

(1) 연구개발 성과물

(가) 정위치 장심도 암반절단기술개발

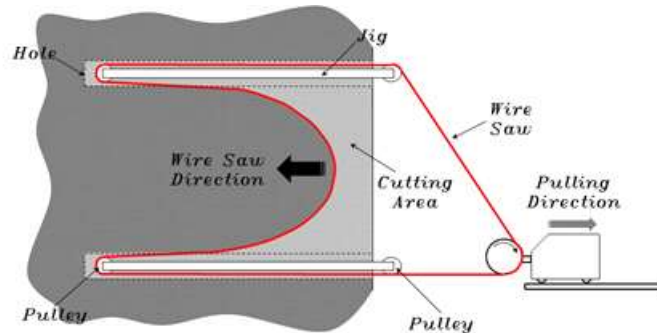
① 장심도 암반절단 시스템

정의	- 기존 기술은 인력(人力)으로 폴리가 장착된 막대형상의 지지대(지그, Jig)를 진입공(구멍) 내부에 설치하게 되는데 ※ 폴리란 와이어소를 걸어 와이어소를 돌리거나 와이어소의 진행방향을 바꾸기 위해 사용하는 홈(groove)이 파여진 바퀴 모양의 부품을 말함. 도르래 원리와 동일함 - 진입공 깊이 만큼 막대형상의 지지대 길이를 길게 할 경우(최대 10m), 지지대 자체도 무거워지기 때문에 인력으로 설치할 경우 취급이 쉽지 않음 - 또한, 진입공의 품질이 좋지 않은 경우(진입공 공벽이 일부 무너져 울통불통한 경우) 사용이 더욱 어려울 수 있음   <기존 막대형상 지지대(Jig)> <품질이 좋지 않은 구멍의 예> - 따라서, 진입공 내에 지지대 설치를 인력이 아닌 기계식(구동모터, 레크기어, H형 강재 적용)으로 설치하는 기술을 개발
목적	- 암반 절단 깊이(심도)를 획기적으로 크게 하기 위함(10m 내외) - 지지대 추진을 기존의 인력식이 아닌 기계식(구동모터, 레크기어)으로 개발
성능목표	(기존기술 수준) - [현장시험] 한국철도기술연구원이 2016년 8월에 오송철도종합시험선로 제3터널 막장에서 수행한 현장 시험의 사례의 경우, 장착깊이 최대 3m이었음(자연상태 암반, 3타입)

	  <오송철도종합시험선로 현장시험> <절단 깊이 3m> - [모형시험] 한국철도기술연구원 모형시험의 사례의 경우, 장착 깊이 최대 약 5m이었음(포천화강암 사용).  <모형시험> (개발기술 수준) - 인력이 아닌 기계식(구동모터, 레크기어) 지지대 설치기술 개발 - 지지대 설치를 기계식 기술로 적용함으로써 진입공 심도에 구애받지 않고 지지대 길이를 획기적으로 연장 설치가능 (최대 10m)
성과달성 책임자 (소속기관)	정성남((주)경도)
소요기간	'17.04 ~ '19.09(2년6개월, 1~3년차)
성과달성 확인방법	1) 시작품 2) 논문게재, 특허출원/등록 3) 공인시험성적서 4) 현장적용 및 시공실적증명서 5) 신기술(NET) 인증취득
성과달성에 따른 정량적 최종성과	특허 출원/등록 국내 : 출원 1건, 등록 1건 국외 : PCT 출원 1건 디자인 : 출원 1건, 등록 1건 (타 핵심성과공통)
	논문 국내 : 1건, 국외 : 1건 (타 핵심성과공통)
	시작품 3건 (타 핵심성과공통)
	공인성적서 6건 (타 핵심성과공통)
	신기술 신청 (진행중) 1건 (타 핵심성과공통)

② 고정식 구동장치 기술

- 기존 기술은 와이어쏘 절단이 진행됨에 따라 와이어쏘가 피삭재를 감싸고 있는 길이가 짧아지기 때문에(즉, 와이어쏘가 길어지기 때문에) 구동장치가 점진적으로 피삭재 반대방향으로 이동(후진)하여야 함.



<구동장치의 전후이동>

- 공간 제약이 거의 없는 노천에서는 무한궤도를 장착한 자주식 구동장치나 또는 레일식 구동장치를 사용하는데,

정의



<자주식 구동장치>



<레일식 구동장치>

- 수직구와 같이 구동장치가 이동할 공간이 협소하고 노면이 불량한 조건인 경우, 이러한 기존의 방안을 사용하기 어려움.

※ 수직구란 비개착(Trenchless) 방식으로 터널을 시공하기 위해 시종점부에 연직방향으로 선 시공하는 터널형태의 토목구조물을 말함.

- 따라서, 구동장치의 이동 없이 와이어쏘 절단작업을 수행할 수 있는 기술을 개발하고자 함

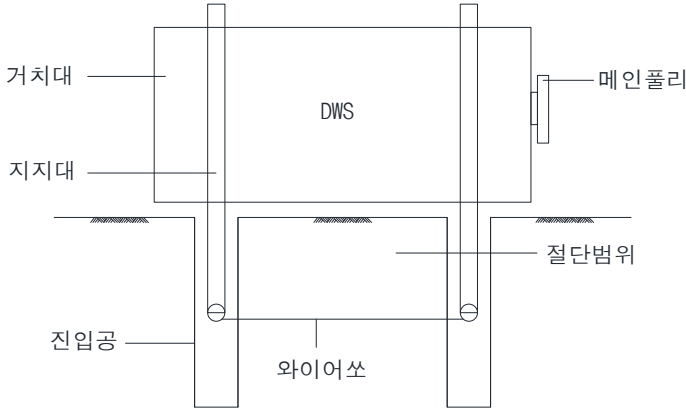
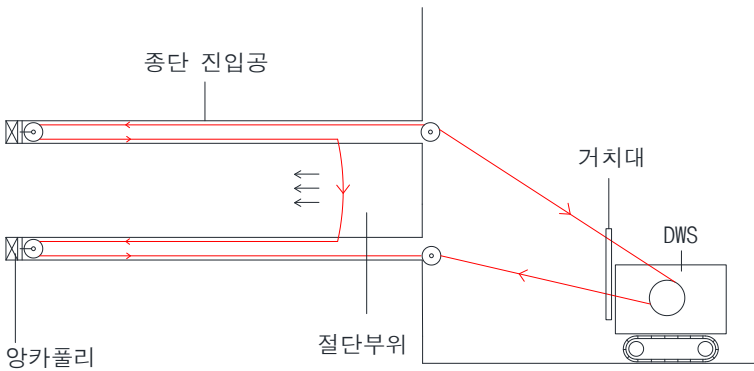
목적	공간이 협소하거나 바닥의 요철이 심한 작업조건에서 구동장치의 이동없이 깊은 심도까지 암반을 절단 할 수 있는 체계 개발	
성능목표	(기존기술 수준) - 절단이 진행됨에 따라 장비가 이동(전,후진) 되어야 하므로 일정 공간이 확보되지 못할 경우 적용이 제한적임 - 절단 심도가 깊어질 수록 지지대의 거치와 취급 및 정렬이 어려워지므로 장심도 적용이 부담 (개발기술 수준) - 구동장비 자체에서 와이어소의 길이가 조정되도록 하여 구동장비가 이동하지 않고 고정된 위치에서 암반 절단이 되는 체계 - 암반 절단 깊이에 구애받지 않도록 하는 장심도 절단 기술	
성과달성 책임자 (소속기관)	정성남((주)경도)	
소요기간	'17.04 ~ '19.09(2년6개월, 1~3년차)	
성과달성 확인방법	1) 시작품 2) 논문게재, 특허출원/등록 3) 공인시험성적서 4) 현장적용 및 시공실적증명서 5) 신기술(NET) 인증취득	
성과달성에 따른 정량적 최종성과	특허 출원/등록	성과 (가) 공통
	논문	"
	시작품	"
	공인성적서	"
	신기술 신청 (진행중)	"

③ 거치대 장착 추진식 지지대 개발

정의	기존 기술은 와이어쏘에 과도한 피로하중이 받게 되어 절단면적이 커질 경우 사용이 어려워지므로 이를 방지하기 위한 기술개발 필요	
목적	1) 와이어쏘의 과도한 피로하중 방지 2) 와이어쏘의 과마모와 파단방지	
성능목표	(기존기술 수준) - 두 진입공의 지지대가 독립적으로 따로 움직이므로 와이어쏘의 운행경로가 나란히 일직선상으로 정렬되기 어려움 - 지지대 말단부의 전방 폴리의 직경이 작으므로 와이어쏘의 운행 방향이 90°~180°로 변경됨에 따라 과마모 또는 파단이 발생함 (기존 진입공 구경은 127mm임) (개발기술 수준) - 지지대를 거치대에 장착하여 체결하고 거치대는 기성장비에 부착함으로써 지지대의 정렬, 거치 및 취급이 용이해짐 - 지지대가 진입공 내로 장심도 진행시에도 좌우로 요동하지 않고 일정하게 유지 - 전방 폴리의 직경을 160mm이상으로 크게 확대하여 와이어쏘의 과마모와 파단을 줄임	
성과달성 책임자 (소속기관)	정성남((주)경도)	
소요기간	'17.04 ~ '19.09(2년6개월, 1~3년차)	
성과달성 확인방법	1) 시작품 2) 논문게재, 특허출원/등록 3) 공인시험성적서 4) 현장적용 및 시공실적증명서 5) 신기술(NET) 인증취득	
성과달성에 따른 정량적 최종성과	특허 출원/등록	성과 (가) 공통
	논문	"
	시작품	"
	공인성적서	"
	신기술 신청 (진행중)	"

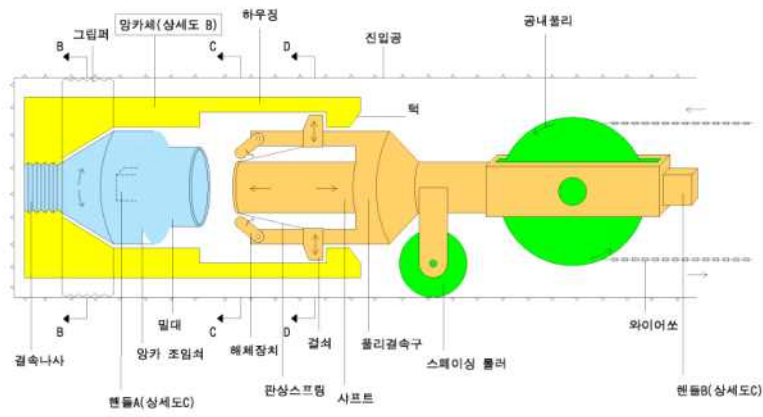
(나) 종방향 암반절단 기술개발

① 종방향 암반절단 기술

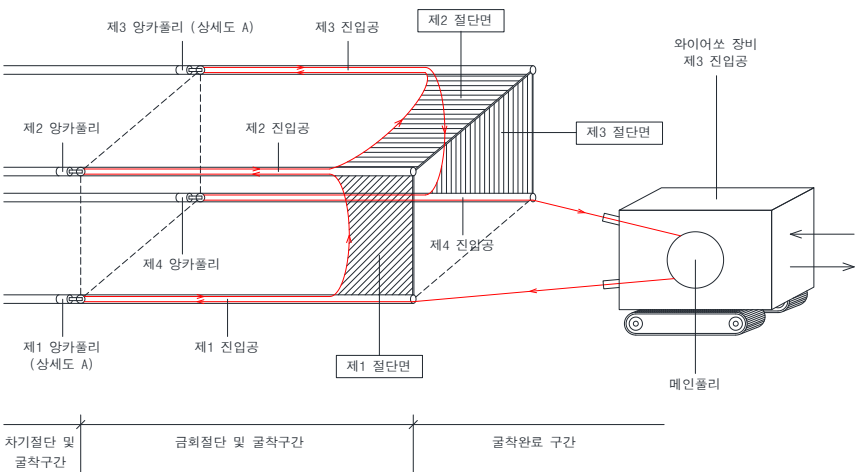
정의	- 2차년도 시작품 장비는 폭4.0m×깊이10.0m의 암반을 연직방향으로 절단하는 장비가 구축되었다.  - 건설현장에서는 종단방향으로의 암반절단이 요구되고 있으며 절단높이와 절단면 간의 교차 각도에 구애받지 않는 절단 기술을 요구하고 있음  - 종단방향 절단 경우는 지지대에 의한 절단 방식을 적용할 수 없으므로 진입공 공저에 앵커폴리를 설치하여 종단 연직, 종단수평 방향으로의 절단기술을 개발하고자 함
목적	절단 높이가 높고, 절단면의 각도가 다양하며 절단 깊이가 깊은 작업 조건에서의 효율적인 암반절단 체계 개발
성능목표	(기존기술 수준) - 절단면이 높은 위치에 있을 경우 역폴리 지지대 방식을 적용할 경우 지지대 설치 및 절단 방향과 각도에 따른 폴리의 각도 조절이 어려움 - 이동식 추진형 지지대 방식은 절단면이 지지대의 높이와 각도 및 폭과 일치되지 못할 경우 적용 불가 (개발기술 수준) - 진입공내에 지지대 진입 대신 공저에 앵커를 설치하고 앵커에 선단폴리를 장착하여 와이어쏘를 무한궤도로 회전시켜서 양 진입공 사이의 암반을 절단

	- 따라서, 절단면의 높이, 각도 및 깊이에 구애받지 않고 암반을 절단	
성과달성 책임자 (소속기관)	정성남((주)경도)	
소요기간	'19.01 ~ '19.09(9개월, 3년차)	
성과달성 확인방법	1) 시작품 2) 논문게재, 특허출원/등록 3) 공인시험성적서 4) 현장적용 및 시공실적증명서 5) 신기술(NET) 인증취득	
성과달성에 따른 정량적 최종성과	특허 출원/등록	국내 : 출원 1건 , 등록 1건 디자인 : 출원 1건
	논문	국외 : 1건 (타 핵심성과공통)
	시작품	1건 (타 핵심성과공통)
	공인성적서	2건 (타 핵심성과공통)

② 앵커폴리에 의한 장거리 암반절단 기술

정의	진입공 내에 선단폴 리가 장착된 지지대를 삽입하는 역폴리 방식은 절단면의 위치와 배열 및 각도에 따른 능동적인 적응이 매우 어려우므로 공저에 앵커형 폴리를 설치하여 와이어소를 무한계도로 회전시켜 진입공 사이의 암반을 깊은 심도까지 절단하는 기술이 요구됨  앵커폴리의 구조도	
목적	1) 절단면의 위치와 각도 및 깊이에 구애받지 않고 암반을 절단 2) 2~3개 면을 동시 절단	
성능목표	(기존기술 수준) - 역폴리 지지대 방식은 절단면이 높은 위치에 있을 경우 지지대 장착 및 폴리의 절단 방향 일치가 어려움 - 이동식 추진형 지지대 방식은 절단면의 높이와 절단면의 각도가 폭이 장비의 사향과 형태에 일치하지 않는 경우 적용 불가 - 상기 양 방식은 절단 깊이가 5m이상인 경우 절단 능률이 반감 (개발기술 수준) 절단면의 높이, 각도, 폭 및 깊이에 구애받지 않고 암반을 절단	
성과달성 책임자 (소속기관)	정성남((주)경도)	
소요기간	'19.01 ~ '19.09(9개월, 3년차)	
성과달성 확인방법	1) 시작품 2) 논문게재, 특허출원/등록 3) 공인시험성적서 4) 현장적용 및 시공실적증명서 5) 신기술(NET) 인증취득	
성과달성에 따른 정량적 최종성과	특허 출원/등록	성과 (나) 공통
	논문	"
	시작품	"
	공인성적서	"

③ 다면동시 절단 기술

정의	터널은 여러개의 절단이 필요한데 1개 면적 절단을 하는 경우 공사기간이 길어지므로 여러개의 절단면을 동시에 절단  3면 동시 절단 구도 2~3개의 면을 동시에 절단하기 위해서는 절단 장비의 동력을 최대화	
성능목표	(기존기술 수준) - 2개의 진입공 사이의 암반을 절단(1면절단) - 깊이 5m 정도 (개발기술 수준) - 진입공의 공저에 앵커폴리를 장착하고 와이어소를 2~3개의 앵커폴리를 거쳐서 회전시켜 2~3개의 면을 동시에 절단 - 깊이 10m이상 절단	
성과달성 책임자 (소속기관)	정성남((주)경도)	
소요기간	'19.01 ~ '19.09(9개월, 3년차)	
성과달성 확인방법	1) 시작품 2) 논문게재, 특허출원/등록 3) 공인시험성적서 4) 현장적용 및 시공실적증명서 5) 신기술(NET) 인증취득	
성과달성에 따른 정량적 최종성과	특허 출원/등록	성과 (나) 공통
	논문	"
	시작품	"
	공인성적서	"

(2) 연구개발 성과점검

(가) 성과 목표 및 성과 지표

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		총괄 질적성과						해당 기관	예산 (백만원)	총괄 양적목표		
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법			가 중 치	목표치	가중치
총괄	A	장심도 와이어쏘 절단기기 제작 및 성능평가	A-1	장심도 암반절단 기술	① 절단 심도	10m	10m	현장 실내 측정	동영상 시작품	2	경도	132	특허: 출원 3건 (국내2건, 국외1건) 등록 2건 디자인: 4건 (출원 2건, 등록2건) 공인성적서: 3건 시작품: 3건 신기술인증: 1건 (진행중) SMK: 1건 보고서: 8건	4	특허: 출원 3건 (국내2건, 국외1건) 등록 2건 디자인: 4건 (출원 2건, 등록2건) 공인성적서: 11건 시작품: 3건 신기술인증: 1건 (진행중) SMK: 1건 보고서: 8건
					② 절단 폭 (진입공 거리)	4m	4m	현장 실내 측정	동영상 시작품	2					
			A-2	고정식 구동장치 기술	① 절단 심도	10m	10m	현장 실내 측정	동영상 시작품	2	경도	121			
					② 절단 폭 (진입공 거리)	4m	4m	현장 실내 측정	동영상 시작품	2					
			A-3	추진식 지지대 기술	① 전방폴리 직경확대	160mm	160mm	현장 실내 측정	동영상 시작품	2	경도	110			
			A-4	앵커형 폴리장착 기술	① 절단 심도	10m	10m	현장 실내 측정	동영상 시작품	2	경도	92			
			A-5	다면절단기술	① 동시 절단면수	2절단면	2절단면	현장 실내 측정	동영상 시작품	2	경도	88			
	B	와이어쏘 절단 예측 기법 개발	B-1 모델정립 및 코딩, 디버깅, 시뮬레이션	① 국내외 논문 게재	3	3	논문투고	논문 게재 여부	6	철도연	237	논문: 3건 (국내2건, 국외1건) 보고서: 1건	30	논문: 3건 (국내2건, 국외1건) 보고서: 1건	
	계								20		780	특허: 출원 3건 (국내2건, 국외1건) 등록 2건 디자인: 출원 2건 등록 2건 논문: 3건 (국내2건, 국외1건) 공인성적서: 3건 시작품: 3건 신기술인증: 1건 보고서: 1건	100	특허: 출원 3건 (국내2건, 국외1건) 등록 2건 디자인: 출원 2건 등록 2건 논문: 3건 (국내2건, 국외1건) 공인성적서: 11건 시작품: 3건 신기술인증: 1건 (진행중) SMK: 1건 보고서: 10건	

나. 관련분야 기술발전 기여도

(1) 기술적 측면

장심도 와이어쏘 암반절단 기술은 건설시장에서 터널, 수직구, 터파기, 비개착 공사 현장의 무진동 암반파쇄 시장에 매우 큰 긍정적 영향을 줄 것으로 판단됨
또한 선진국의 기술이전 기피현상 극복 및 규제 회피에 효과를 발휘할 수 있을 것으로 기대됨

(2) 사회·경제·산업적 측면

- 암반 파쇄 굴착 시장은 주로 교통 및 철도를 위한 터널, 수직구, 터파기, 비개착 공사 등에서 주로 이루어짐
- 지하구조물 공사는 도시화, 장대화로 인하여 무진동, 저소음 방식으로 변화하고 있으며 그에 따라 발파방식에서 무진동 암파쇄 방식으로 변화하는 추세임
- 본 장심도 와이어쏘 암반절단 기술이 상용화된다면 기존 발파방식에서 진동 저감을 위한 보완기술로 활용될 것이며, 무진동 암파쇄의 높은 비용을 절감하는 시장을 형성할 것임
- 또한, 향후에는 영동대로 지하공간 개발 등 지하대공간 암반 파쇄 굴착 시장으로 확대될 것으로 나타나며, 비용과 시공간편성 측면에서 우수한 본 기술의 활용가능성은 증대할 것으로 보임
- 당해 기술개발에 따른 경제적 효과로서 2024년까지 누적 수익을 산정하였을 때, 약 114억원의 수익이 발생할 것으로 예상됨

해당 기술 관련 국내외 시장 예상 수익

구분	단위	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년	비 고
국내 매출액	억원	N/A	35	76	122	176	237	
해외 매출액	억원	N/A	-	9	21	34	50	
매출액 합계	억원	N/A	35	85	143	210	287	
수익	억원	N/A	5	13	21	32	43	매출액의 15%
수익 누계	억원	N/A	5	18	39	71	114	

(3) 정책적 측면

장심도 와이어쏘 암반절단 시장확보를 위하여 전문인력양성 필요
기존의 시공능률이 매우 떨어지는 건설산업에 구조개선을 할 것으로 판단
또한 해외시장 진출시 국가이미지 제고 효과가 탁월할 것으로 기대

다. 개발기술의 우수성

(1) 개요

다이아몬드 와이어쏘를 이용한 기존의 절단방식은 필수적으로 2개 이상의 자유면이 확보된 조건에서만 적용이 가능한 기술로써 감싼방식에 의한 석산의 석재 절단과 절단 대상체를 휘어감아 돌려서 구조물을 절단하는 방법이 있다.

그러나 개발기술은 기존기술을 적용할 수 없는 자유면이 1개뿐인 협소한 공간조건하에서도 고정된 위치에서 환경친화적으로 암반을 절단하여 제2의 자유면을 설치하는 국내유일의 암반절단 기술임



석재절단



구조물 절단

사진 55. 기존기술



연직 절단



종방향 절단

사진 56. 개발기술

(2) 상세내용

(가) 장심도 암반절단 기술

선단에 와이어쏜을 거치한 지지대를 측면에 장착된 레크기어와 구동모터를 사용하여 필요한 깊이만큼 지지대를 승강시키는 시스템으로써 암반절단에 의해 부족한 길이 만큼 지지대를 추가로 연결해 주는 구조이다. 따라서, 절단깊이는 지지대 구동모터의 인장능력(500kg)에 달려있고 지지대 중량이 31.5kg/m이므로 10m 깊이까지 절단이 가능하녀 10m이상 절단이 요구될 때는 용량이 큰 구동모터로 교체하면 되므로 장심도 암반절단이 가능한 기술임



사진 57. 레크기어 및 구동모터



사진 58. 지지대

(나) 정위치 암반절단

암반 절단기술이 수직구 및 터널 등 협소하거나 극히 제한적인 공간에서 이루어지게 되는데 절단깊이 만큼 장비를 후진시켜야하는 기존의 감싼방식의 절단 기술은 적용할 수가 없다. 개발기술에서는 와이어쏜의 운행 경로 상에 여러개의 신장폴리를 설치하여 절단 시작시에는 최대로 신장된 상태에서 절단을 하면서 신장폴리를 축소시켜 절단 깊 이 만큼 와이어쏜의 길이를 늘려주고 절단이 종료되면 신장폴리를 신장시킴으로서 와 이어쏜을 당겨낸다. 본 개발기술은 신장폴리 시스템을 이용하여 정위치에서 암반을 절 단할 수 있으므로 수직구 등의 협소한 작업공간에서 적용할 수 있는 국내 유일의 절단 기술임



사진 59. 1차 절단시험



사진 60. 2차 절단시험

(다) 환경친화적 절단기술

① 개요

협소하거나 극히 제한적인 공간에서 장시간의 절단장비가 가동될 경우 대기오염 물질과 악취물질이 발생하여 중독사고가 발생하거나 장시간의 작업이 불가능할 경우가 발생한다.

또한, 개방된 공간에서 작업을 할 경우 소음과 진동에 의해 민원을 야기하기도 한다.

개발기술에서는 동력을 이원화하여 절단 작업시에는 380V, 3상전기를 기동력으로 하는 200HP의 유압모터를 사용하고 장비를 이동할 때는 별도로 장착한 소형의 디젤엔진을 사용함으로써 친환경적인 장비체계를 구축함으로써 대기오염물질과 악취물질 및 소음, 진동을 최소화하였음.

<대기오염물질 측정결과>

대기	가동전	가동후	허용기준
일산화탄소 (ppm)	1.3	1.0	20
산소 (%)	21.2	20.9	-
이산화탄소 (ppm)	300	167	1,000
메탄 (ppm)	0	0	-
TVOC (μg/m ³)	922.4	53.5	1,000
포름알데히드 (ppm)	0.79	1.35	100
1) 평가기관 : (주) 산업공해연구소 2) 분석기간 : 2019. 09. 26 ~ 2019. 09. 30			

<악취오염물질 측정결과>

악취오염물질	가동전	가동후	허용기준
황화수소 (ppm)	0.000476	0.000720	0.02
메틸에틸케톤 (ppm)	0.012177	0.029246	13
메틸아이소뷰티르케톤 (ppm)	0.009625	0.013533	1
톨루엔 (ppm)	0.036310	0.038229	10
뷰티르아세테이트 (ppm)	0.014216	0.006941	1
자일렌 (ppm)	0.004319	0.004499	1
1) 평가기관 : (주) 산업공해연구소 2) 분석기간 : 2019. 09. 26 ~ 2019. 09. 30			

<소음 진동 측정결과>

구분	소음 dB(A)	진동 dB(V)
0 m	84.9	48.1
10 m	76.6	39.8
20 m	71.5	38.6
30 m	66.3	35.6
40 m	63.5	33.4
50 m	61.9	33.3
80 m	52.8	27.8

(라) 절단방향 전환 시스템

① 연직방향절단

연직방향으로의 암반절단시에는 지지대와 지지대 선단에 장착된 선단폴리를 사용하여 암반을 절단하며 이의 절단 방법을 전진식 암반절단방식이라 한다.

본 개발기술은 전진식 암반절단 방식을 근거로 하며 전진식 암반절단은 양측 선단폴리와 절단면이 직선을 이룬 상태로 암반을 절단한다.



사진 61. 3차 절단시험

② 종방향 절단

지지대 사용은 배제하고 장비에는 자유폴리, 진입공 공저에 앵커폴리, 진입공 두부에는 방향전환 폴리를 설치하여 종단방향에서의 연직, 경사 및 수평으로 암반을 절단하는 시스템으로 손쉽게 전환할 수 있음

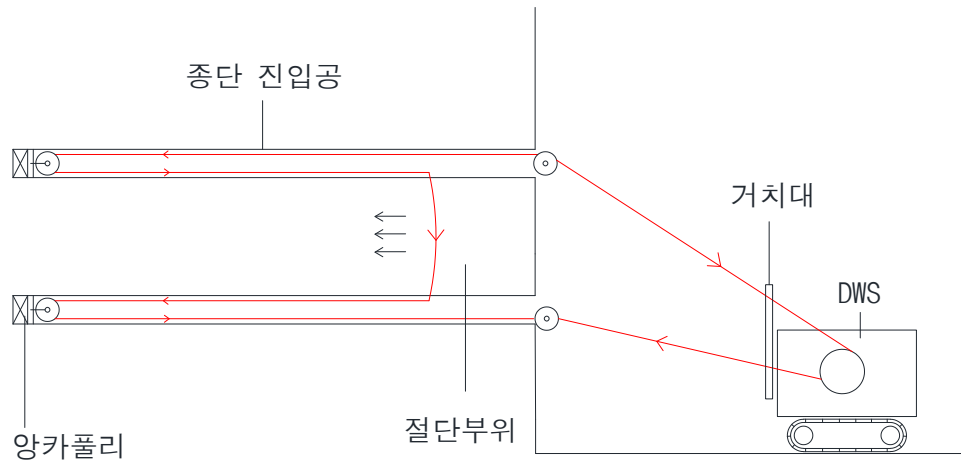


사진 62. 앵커폴리를 이용한 종방향 암반절단



사진 63. 앵커폴리



사진 64. 앵커폴리 설치



사진 65. 각도 조절 폴리



사진 66. 종단 연직 절단

(마) 다면 동시 절단기술

암석절단 시간을 단축하기 위해 여러 개의 진입공을 설치한 후 앵커폴리, 자유폴리, 각도 조절폴리 등을 사용하여 2개 이상의 면을 동시에 절단하는 기술로써 진입공 1과2, 2와3 사이를 동시에 절단

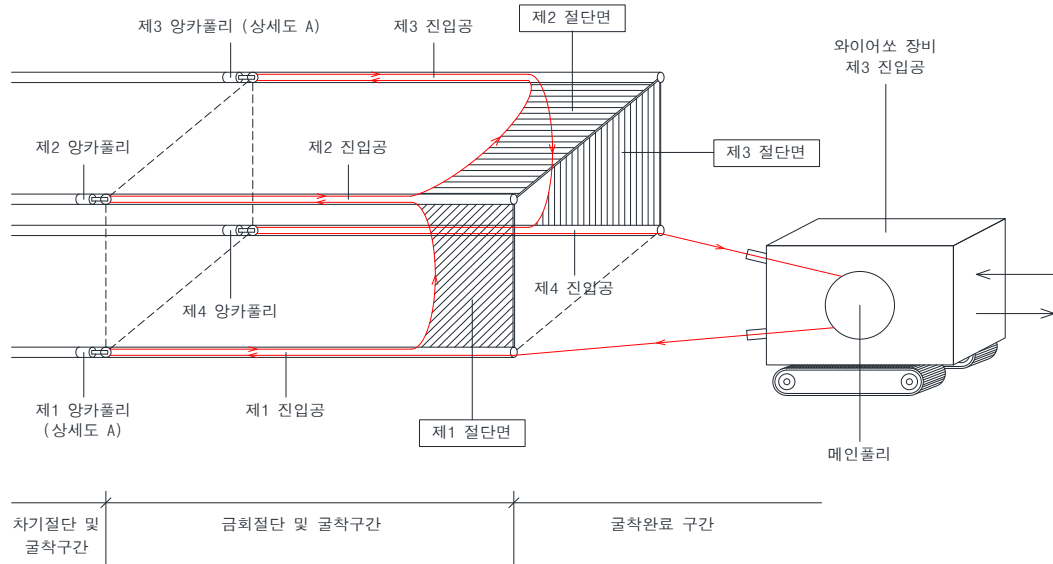


사진 67. 다면동시 절단 기술

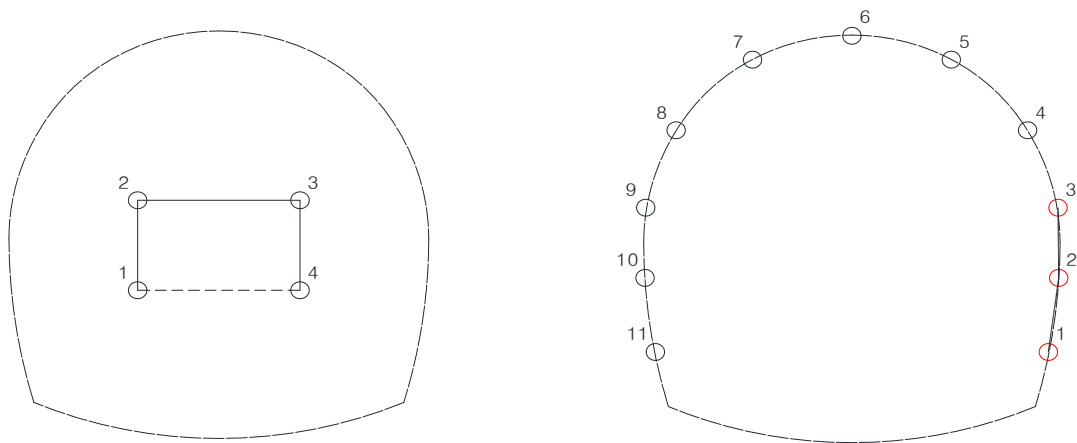


사진 68. 와이어쏘 다면절단 예시

(바) 장비 자동 계측 및 제어시스템

① 무선자동 계측과 제어시스템

㉠ 시스템 설치 및 응용 목적

- 유압모터 구동에 따른 과부하로 부터의 장비 보호
- 무선 조정에 의한 작업반원의 안전거리 확보
- 최대 절단속도 발현을 위한 장비의 최적 운행 Data 습득
- 향후 자동화를 통한 생산성 향상 시스템으로의 발전을 위해 장비의 수동 및 자동 제어 Mode화

㉡ 시스템의 구성

구분	내용	항목
Receiving unit & Mobile Machine Displays (수신 및 Display)	제작사 : Autec(Italy) Model : LIUCRS-eng-01	유압모터 압력 (Bar)
		메인폴리 회전속도 (RPM)
	제작사 : Danfoss(Denmark) Model : DP700	와이어쏘의 Tension (Bar)
		와이어쏘 운행속도 (cm/sec)
Transmitting unit (Radio Remote Control)	제작사 : Autec(Italy) Model : LIUFJR-eng-01	유압모터 압력
		메인폴리 회전속도
		와이어쏘 장력
		와이어쏘 운행속도
		지지대 상하향 운동
		오버헤드크레인 작동
		아웃트리거 신축
		장비중행방향 및 속도

㉔ 절단능률 향상을 위한 최적가동조건

구분	시간(분)	중심부깊이 (cm)	금회 절단 깊이(cm)	회전속도 (RPM)	Tension (Bar)	와이어쏘 속도 (m/sec)
절단 Type1		48	0	0	0	0
	10	62	14	460	27	20
	10	80	18	460~490	27~30	20
	10	97	17	420~430	29~32	17~18
	10	113	16	460~510	22~33	20~21
	10	129	16	470~490	24~32	20
절단 Type2	20	43	43	420~430	0~7	17~18
	10	95	52	520~530	15	21~22
	4	117	22	410~490	20~26	17~20
판단	최적 절단 모델			460~490	27~30	20
	와이어쏘 파단			520~530	15	21~22



사진 69. 메인구동 무선 리모트컨트롤



사진 70. 무선 송수신 계기판

㉔ 스마트 암반절단 기술

암반절단 스마트 설계기술

- 다수의 암반절단 시험이 일축압축강도가 150MPa인 화강암을 대상으로 실시되어 절단속도가 2.0~2.8m²/hr 임이 확인되었으며 이때의 장비 최적 가동 조건이 다음과 같음을 확인
- 유압모터 압력 : 245 Bar
- 메인폴리 회전속도 : 450~490 RPM
- 와이어쏘의 Tension : 25~30 Bar
- 와이어쏘 운행속도 : 20 m/sec

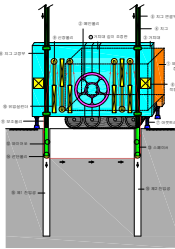
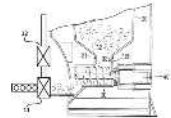
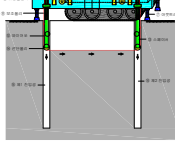
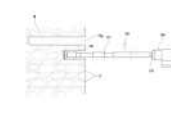
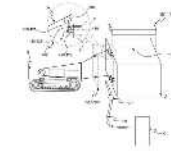
암반절단 스마트 시공기술

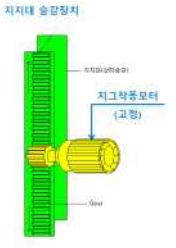
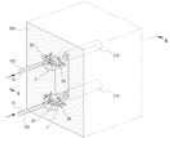
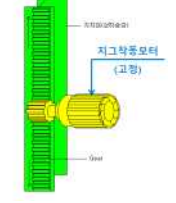
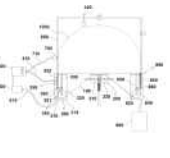
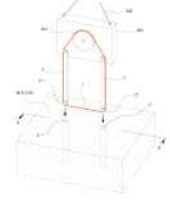
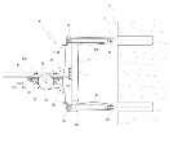
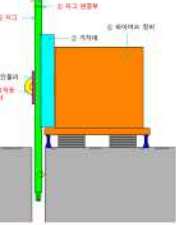
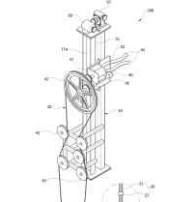
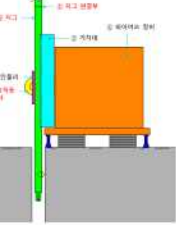
절단작업의 시행착오 방지와 능률 향상을 위해 2단계로 나누워 작업한다. 1단계는 최적 가동조건 선정을 위해 수동 Mode로 작업하고 1단계에서 습득된 Data를 분석하여 최적 절단모델을 선정한 다음 2단계로는 자동 Mode로 작업하며 1단계의 수동 Mode 작업은 다음과 같이 수행한다.

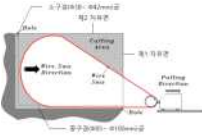
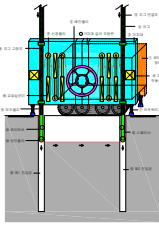
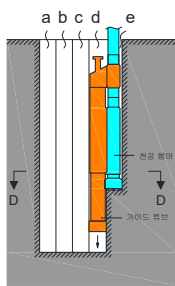
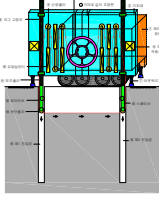
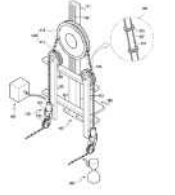
	차수	절단시간(분)	절단면적(㎡)	장비 가동조건 측정
1단계 수동 Mode	1	10	0.48	유압모터 압력 메인폴리 회전속도 와이어쏘의 Tension 와이어쏘 운행속도
	2	10	0.43	
	3	10	0.43	
	4	10	0.42	
2단계 자동 Mode	장비가동조건을 순차적으로 변화시켜가면서 절단 시험을 시행하여 절단면적이 최대인 차수의 장비 가동조건을 절단모델로 선정하고 선정된 Data에 의해 자동 절단 Mode로 전환			

라. 기존 및 유사기술과의 차별성

(1) 동종분야 기존 유사기술과 비교분석

번호	기존 기술명	기술내용	기존기술도면	신청기술도면	신청기술과의 차별성	비고
1	E.D.C.S	와이어쏘로 콘크리트를 절단하고 집진장치로 분진처리하는 건식절단해체공법			기존기술: 콘크리트 구조물에 적용 신청기술: 암반절단에 적용	신기술 717호
2	워터젯을 이용한 굴착 시스템의 연마제 공급 장치	연마제 공급장치와 초고압노즐을 적용한 워터젯을 활용한 암반절단 공법			기존기술: 워터젯을 이용한 암반절단공법 신청기술: 와이어쏘를 이용한 암반절단공법	출원 10-2014-0096816
3	초고압 워터젯 노즐					출원 10-2014-0096823
4	방진절삭선 및 심발부 방진구를 이용한 발파 진동저감 굴착공법	와이어쏘를 이용하여 터널굴착면에 방진절삭선 및 심발부 방진부 굴착공법			기존기술: 암반절단에 대한 개념적인 공법 터널 적용 신청기술: 암반절단을 위한 구체적인 와이어쏘 절단기구장치 수직구조물 적용	특허 10-1774439
5	천공절단식 암벽굴착과 이를위한 천공기구	발파가 아닌 암벽절단 방식을 통해 굴착을 진행하므로, 발파소음과 진동을 없애고 안전한 암벽굴착을 가능하게 한다.			기존기술: 암반에 천공 홈라인을 만들기 위한 암반천공기술 신청기술: 와이어쏘를 이용한 암반절단기술	특허 10-1910351
6	친환경 와이어쏘 절단장치 및 방법 (S.W.S.)	콘크리트 절단시 냉각수로 분사하고 냉각수는 집진기로 회수함			기존기술: 콘크리트 절단적 용별도의 냉각수 사용 신청기술: 암반절단적용 냉각위해 수도사용	특허 10-1337274

번호	기존 기술명	기술내용	기존기술도면	신청기술도면	신청기술과의 차별성	비고
7	와이어소를 이용한 터널 굴착을 위한 고정식 지그 장치	지그장치에 의한 장비본체의 손상을 예방할 수 있고, 전방 폴리의 위치고정을 통한 와이어소 운동 장애를 최소화함에 따라 효율적 절삭이 가능			기존기술: 지지대(지그)가 진입공 내부에 고정. 지지대 인력설치 신청기술: 지지대 진입공에 전진이동 지지대를 기계식으로 전진시킴	특허 10- 1508 205
8	와이어소를 이용한 터널 굴착을 위한 전진 방식 지그장치	터널시공을 위한 진입공을 천공하고, 지그장치를 진입공 입구에 설치하여 지그장치를 용이하게 진입공내에 삽입함과 동시에 지그장치 본체의 진동으로 인한 폴리의 손상을 예방하고 가이드겸 간격을 유지하는 장치			기존기술: 지지대와 구동부의 분리따른 인력전진 신청기술: 지지대와 구동부 일체형으로 기계식으로 전진 기계식에 따른 전진깊이 깊음	특허 10- 1594 882
9	구조물 건식 절단장치	와이어에 의해 절단된 분진물을 제거하는 슬러지 및 분진 제거 장치가 구성된 절단장치			기존기술: 콘크리트 구조물 적용 신청기술: 암반에 적용	특허 10- 1052 840
10	다이아몬드 와이어링 해저지반 굴착을이용 한 해저앵커 시공방법	해저앵커를 고정하여 가이드 프레임을 연직삽입공에 삽입 후, 다이아몬드 와이어가 직진운동하면서 절삭하는 해저지반에서 시공			기존기술: 해저지반적용 앵커고정식 절단 신청기술: 육상지반적용 전진식 절단	특허 10- 1388 101
11	암벽굴착기 와 이를 이용한 굴착방법	암벽에 분할대 양단에 각각 절곡해 연결되는 한 쌍의 견인대를 구비한 암, 분할대에 연결되는 가이드레일 및 가이드레일 따라 이동하는 와이어소로 암벽을 절단하는 장치			기존기술: 거치대가 구동본체와 분리형 수평절단장치 신청기술: 거치대가 구동본체와 일체형 연직절단장치	특허 10- 1649 328
12	소형굴삭기 에장착되는 와이어소 머신	소형굴삭기에 와이어소 머신을 장착하여 최소의 작업공간에서 절단작업을 수행하는 방법			기존기술: 소형굴삭기에 와이어소 절단장치 부착 신청기술: 구동부와 와이어소 절단장치 일체화	출원 10- 2005 -003 2942

번호	기존 기술명	기술내용	기존기술도면	신청기술도면	신청기술과의 차별성	비고
13	감쌈방식 절단방법	대상암반을 감싸고서 장비를 이동하면서 절단			감쌈방식: 절단따라 장비이동이 방향천공 필요 신청기술 : 절단따라 장비정위치 일방향천공만 필요	상용 기술
14	LinkDrill	천공장비를 사용하여 암반상에 일정한 간격으로 중첩 천공하여 인접공의 양측면 이상호 연통되어 Slot이 형성되는 방법			Link Drill : 천공방식으로 암반절단 신규기술 : 와이어쏘 방식으로 암반절단	특허 10-1230482
15	성도건설 산업(주)	드라이뮴 건식절단장치를 이용한 콘크리트 조인트 철거공법				출원 10-2007-0140440

(2) 기존의 암반절단 방법

① 감쌈(잡아 당기기식)절단 방법

- 석산 현장에서 주로 사용하는 방법으로써 2개의 자유면이 확보된 조건에서만 적용이 가능한 방식으로 연직방향의 자유면(제 1자유면) 상에서는 중구경($\Phi 85 \sim \Phi 100\text{mm}$)의 진입공을 수평방향으로 1차 천공한 다음, 제 2 자유면에서는 소구경($\Phi 38 \sim \Phi 42\text{mm}$)의 진입공을 천공하여 선단부가 1차 천공된 수평방향의 진입공과 관통시킨다.
- 소구경의 진입공에 와이어쏘를 집어넣은 다음 중구경의 진입공으로 반출시킨다음 절단장비의 메인폴리에 거치하여 무한케도 형태로 회전시켜 암반을 절단하고 절단된 길이만큼 절단장비를 후진시킨다.

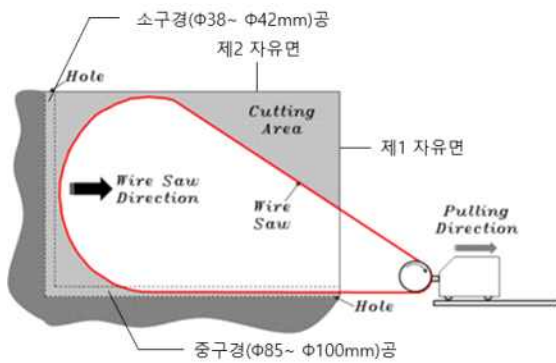


사진 71. 감쌈절단 방법

② Link drill 방법

- 천공 장비를 사용하여 암반상에 일정한 간격으로 중첩 천공하여 인접공의 양측면이 상호 연통되어 slot가 형성되는 방법으로써, 현재까지는 기술개발 단계에 있고, 실용화는 되어있지 않다.

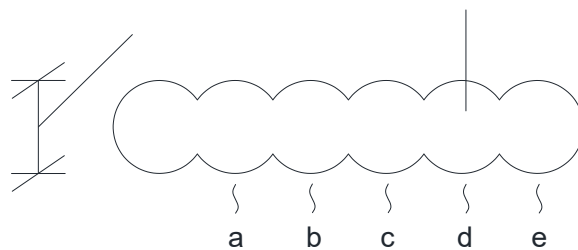
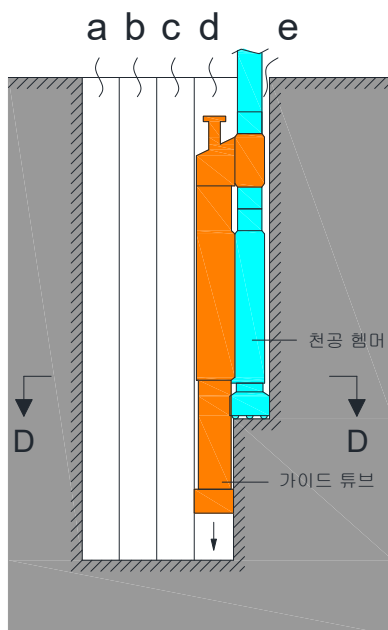


사진 72. 링크드릴에 의한 자유면 설치

③ 동종분야 기존 유사기술과의 비교 분석

㉔ 감쌈방식에 의한 와이어쏘 절단 방법과의 차별성

	대비항목	기존기술	신청기술
1	필수 소요 자유면	2면	1면
2	진입공 설치	양공 선단 교차 관통	양공평행
3	진입공내 설치물	와이어쏘	지지대
4	암반 절단 방법	감쌈(잡아당김)	전진식(밀어넣기)
5	절단시 장비 위치	절단깊이 만큼 후방 이동	장비위치고정
6	장비 구동 동력	디젤엔진	전기식 유압모터
7	진입공의 직경	38~42mm	200~400mm



사진 73. 기존기술



사진 74. 신청기술

㉕ Link drill 방법과의 차별성

	대비항목	기존기술(Link drill)	신청기술
1	진입공 설치	진입공 없음	진입공 설치
2	절단방법	DTH(Down the drill Hole) 또는 Core drill	다이아몬드 와이어쏘
3	절단면 두께(mm)	80~100	11~13
4	절단시 장비 위치	절단 진행방향으로 이동	위치고정(정위치)

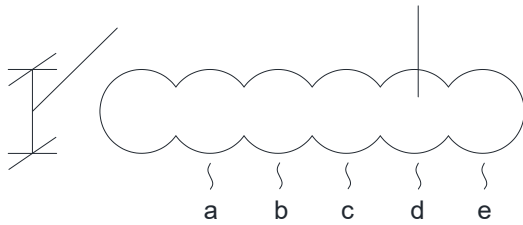


사진 75. Link drill

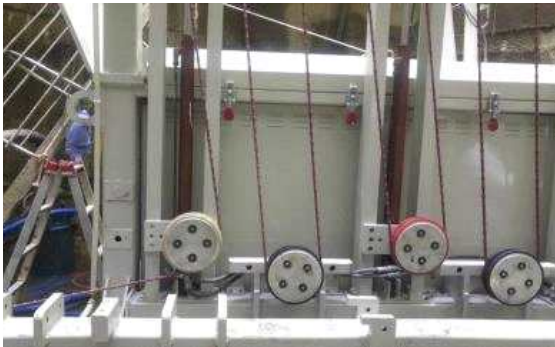


사진 76. 신청기술

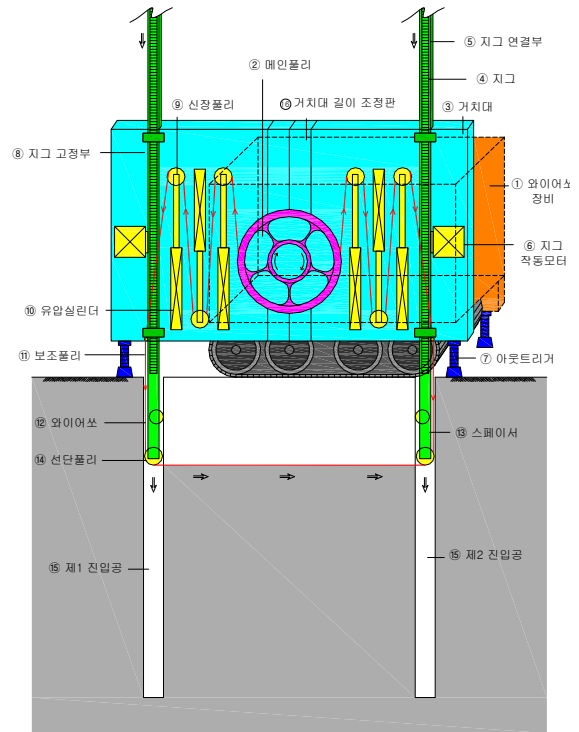


사진 77. 장심도 정위치 방식(신청기술)

④ 안전성

㉔ 안전관련 유해요소 및 대책

구분	유해요소	대책	참조사진
1	협소 또는 밀폐된 공간 내에서 디젤 엔진의 유해가스중독	절단 작업시는 유압모터구동, 장비 이동시는 소형디젤엔진을 사용하는 친환경적 복합 구동 방식 채택	① ⑦
2	협소 공간내의 작업조건에서 중량물 취급에 의한 안전사고	장비 자체에 오버헤드 크레인 설치	⑧
3	절단 작업시 하중 편심에 의한 장비 전도	장비4 모서리에 아웃트리거를 장착하여 하중균형	③
4	보조폴리 가열로 인한 화재 발생	장비에 냉각수용 용수공급선을 배선하고 폴리상단에 물분사 노즐 설치	④
5	와이어소에 무리한 장력이 가해질 경우 파단	와이어소에 장력에 발생시키는 기구는 신장폴리 작동 유압 측정기 설치	⑤
비고	사진 78. 참조		



사진 78. 안전성 확보 대책 사진

㉞ 유사기술에 비한 안전성 개선 내용

구분	유해요소	대책	참조사진
1	무진동 암파쇄가 요구되는 현장은 협소 또는 밀폐된 공간이므로 본 절단방식의 디젤엔진 구동 장비는 유해가스를 발생하여 작업원의 건강을 해치거나 장시간의 작업을 할 수가 없다.	2개의 구동력을 사용하는데 장시간 작업을 하는 절단 작업시에는 전기를 구동력으로 하는 유압모터를 사용하고 단거리 장비 이동시는 별도로 장착된 소형 디젤엔진을 사용한다.	①
2	협소공간에서는 절단작업에 필요한 중량물 취급시 크레인을 동원하기 어려우므로 인력에 의존하게 되어 안전사고의 원인으로 작용한다.	장비 자체에 200kg의 중량물을 매달고 360° 회전할 수 있는 오버헤드 크레인을 장치하였음	②
3	절단 장비에는 다수개의 보조폴리가 장착되어 와이어소의 운행에 맞추어 회전하면서 철제부와 우레탄부가 가열되어 화재발생 또는 화상사고가 발생할 수 있다.	장비자체에 용수 공급선이 설비되어 급수를 하면 폴리상단에 설치된 물분사노즐로부터 냉각 용수가 분출되어 보조폴리를 냉각시킨다.	③
4	와이어소에 무리한 장력이 가해질 경우 파단되어 휘둘러질 경우 작업원들에게 심한 상처를 줄 수 있음	와이어소의 장력을 증가시키는 기구는 신장폴리의 유압잭이므로 유압잭 신장 유압을 디지털 방식으로 표시하는 유압게이지의 유압이 와이어소 파단 임계압력에 이르지 않도록 하는 계측기 장치 및 무선 조정 장치 설치	④ ⑤
5		장비가 고정된 위치에서 작업을 하므로 작업반이 장비가동상태를 육안으로 식별할 수 있도록 비상 점멸등 설치	⑥
비고	사진 79 참조		

사
진
①



사
진
④



사
진
②



사
진
⑤



사
진
③



사
진
⑥

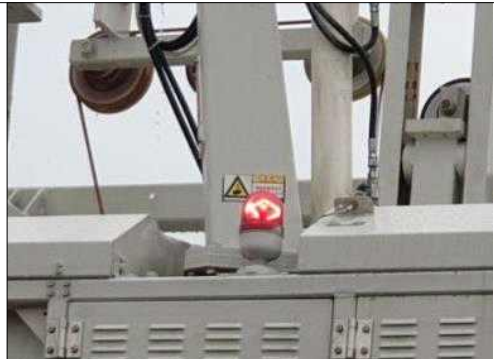


사진 79. 안전성 개선 내용

⑤ 독창성 및 자립성

㉔ 독창성 및 자립성

작업조건에 따른 영향 및 성능 발현

<작업장 조건에 따른 영향>

구분	감싼절단 방법	신청기술
작업장 조건	① 직교하고 있는 2개의 자유면	1개의 자유면으로 필요충분 (전진식)
	② 절단장비가 정속으로 후방 이동되어야 하므로 표면 수평 및 평면 유지 (레일설치)	정위치에서 작업하므로 표면 상황에 영향이 없음
	③ 절단깊이 만큼 장비가 이동되어야 하므로 작업장이 길어야 함(10M이상)	정위치 절단작업이므로 작업장 넓이에 구애받지 않음
	④ 제2 자유면 상단에서 진입공을 천공해야함으로 작업장 높이가 높아야함	제1자유면상에서 진입공 천공 및 절단작업이 이루어지므로 높이에 구애받지 않음
작업장 및 주변 환경여건	① 발생소음으로 민원발생	유압모터 구동장비이므로 소음이 없음
	② 디젤엔진 구동에 의한 유해가스 발생	유해가스가 발생치 않음
	③ 협소 또는 밀폐된 공간에서는 적용 못함	환경 친화적인 장비이므로 작업장 형태나 규모에 구애받지 않음
자체 평가	신청기술은 기존의 유사기술에 비해 적용성과 독창성이 뛰어난 기술임	



사진 80. 감싼 절단방법



사진 81. 신청기술

기술환경의 자립성

<신청기술의 자립성>

구분	검토항목	신청기술의 자립성
1	소모자재	1) 절단에 소모되는 다이아몬드 와이어쏘는 이와 다이아몬드를 포함한 여러 국내회사에서 생산하여 국산화 제품임 2) 보조폴리로 국산화되었고 규격에 따라 주문생산이 될 수 있음
2	인력	절단작업은 1명의 장비 운전원과 1명의 보통 인부로 구성된 작업반에 의해 이루어지며 장비 운전원은 3개월의 기능훈련으로 양성될 수 있음
3	기술의존도	1) 신청기술에서 사용하고 있는 전진식 암반 절단장비는 국내 최초로 국내산 자재와 기구들을 사용하여 제작하여 디자인 특허(제 30-1012728호)로 등록 2) 절단기술은 특허 제 10-1853303호로 등록됨과 동시 해외특허(PCT/KR 20181007129)로 등록 3) 따라서 외국기술에 의존하기 보다는 오히려 선도하고 있는 입장임

⑥ 개량정도

가 개량정도

번호	비교항목	분석결과			비고
		대비기술		신청기술	
1	1회절단면적(m²)	철도기술연구원 R&D	3.0	30	
		감쌈방식	30		
2	소요 작업장 면적(m²)	감쌈방식	40	20	
3	암파쇄량(m³/일)	제2 자유면이 없는 기존의 할암방법	7.5	20	
4	절단속도(m²/시간)	감쌈방식	2.97	2.73	감쌈방식에 대비 약 92% 도달
5	암파쇄량(m³/일)	제2자유면 없이 할암(기존방법)	7~8	18~20	비폭성 바쇄제 Rock burster

㉞ 국내외 동종 기술과 비교분석

번호	비교항목	능률			비고
		구분	유사기술	신청기술	
1	소음 dB(A)	50m 이격 지점	-	61.9	표20, 참조
2	진동 dB(V)	50m 이격 지점	-	33.3	상동
3	유해가스발생량 (CO ₂ , ppm)	디젤엔진 / 유압방식	1,000	167	표39 참조
4	자체중량물 취급능력(kg/회)	감쌈절단장비	-	250	
5	1개 자유면 확보 조건 적용성(%)	감쌈절단장비	-	100	
6	최소확보 작업장면적(m ²)	감쌈절단장비	40	20	

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 사업화 추진방안

(1) 국내 최고 수준의 와이어쏘 암반절단 기술 확보로 사업수주 및 기술 이전

(2) 신사업 창출 및 매출확대 기여

(가) 지하공간 프로젝트

- 도심지 지하공간 개발사업
- GTX-A , B ,C (수도권 광역급행철도)
- 경부고속도로/ 경인고속도로 지하화 등
- 대형철도사업 및 장대도로터널 등

(나) 활용분야

- 도심밀집구간의 암반굴착시 무진도암파쇄에 적용 터널
- 수직구, 터파기, 비개착등

나. 사업화전략

(1) 형태/규모

(가) 상용화 형태

- 장심도 와이어쏘 암반절단 시스템
- 주요기능 : 제한된 공간에서 구동장비 이동없이 정위치에서 운용가능한 장심도 와이어쏘 암반절단 시스템
- 사업형태 : 사업수주, 기술이전, 자체현장공사

(나) 수요처

- 발주처, 대형시공사, 암반절단 전문시공사

(다) 예상단가

- 현장시공 매출적용기준 : 7억원 / 1개 현장당

(2) 상용화 능력 및 자원보유

(가) 상용화 능력

- 그룹사(강릉건설) 다수의 암반굴착장비 (TBM) 보유 10여대
- 경기도 안성에 그룹사 공장보유
- 다수의 암반굴착 현장시공식적 보유
- 암반굴착 관련 다수의 특허 출원 및 등록 보유(30여건)

(나) 상용화 자원

- 다수의 암반굴착 전문가 보유
- 암반굴착장비 오퍼레이터 다수보유
- 그룹사 암반굴착장비 다수보유
- 암반굴착 시공현장 다수보유
- 산학협업 시스템 구축 및 홍보활동 적극추진

다. 사업화 모형

(1) 사업화 모형 수립(TBM) 배경

- 와이어쏘 암반굴착은 밀집된 도심지에서 환경성, 안정성 및 경제성 향상을 위한 대체공법으로 기대되고 있음
(예 : 영동대로 지하대공간 프로젝트/ GTX-A, B, C 등 수도권 광역급행철도/ 신안산선, 월곶판교 복선전철 등 대형철도사업/ 경부고속도로 지하화, 서울도심지하도로 등 초장대 지하도로사업)
- 기존의 발파 공법과 비교할 때 안전하고 굴착속도가 빠르며 소음·진동 등의 공사 중
- 환경피해를 최소화할 수 있어 국내외 수요가 증가할 것으로 기대되며, 기존의 발파 공법을 대체할것으로 예상함. 따라서 장심도 암반절단 시스템 개발시 내수시장 대응 뿐만 아니라 관련 세계시장진출 기반을 마련할 수 있음.
- 따라서, 기존 국내 기반산업을 대체하여 새로운 부가가치 및 신시장(블루오션)을 창출할 수 있는 사업화 모형 수립

(2) 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(가) 사업화 모형의 목표

- 와이어쏘를 이용한 장심도 암반굴착(무진동 암파쇄) 기술 개발
- 제한된 공간(수직구등)에 적합한 정위치 암반절단 시스템 개발

(나) 핵심 경쟁 요인

- 국내 상용화된 관련 기술이 전무함
(현재는 석산채취, 건물 및 구조물해체 등에 주로 적용)
- 좁은 공간 및 정위치에서 운용 가능한 최적의 암반절단 시스템 구축
- 당 기술의 이론적, 역학적 근거를 마련하는 암반절단 모델정립 및 시뮬레이션 검증
- 기존 기술대비 20% 이상 원가절감이 가능한 장비 개발로 세계 시장 진출

(3) 목표 시장 구조

(가) 경쟁 기업 현황

- ◎ 국내 암반굴착 전문시공사
 - 기존에 무진동 암파쇄 수행 시 시공능률 저하로 공사기간 장기화 따른 공사비 대폭 증가 (유압 할암기, 금속썰기, 비폭성 파쇄제 등)
 - 현재 와이어쏘를 이용한 1회 암반 절단면적은 4~5m² 수준임
(당 연구기관은 1회 암반 절단면적 40m² 목표)
 - 국내에서 와이어쏘를 이용한 암반굴착(터널, 비개착, 수직구, 터파기) 시장은 거의 전무한 상태임

(나) 시장 진입장벽

- ◎ 현재 와이어쏘 활용 암반굴착 시장은 거의 없으므로 새로운 신시장(블루오션) 창출 기회
- ◎ 국내 와이어쏘 암반절단 기술도 일부 시장(건물해체, 석산채취)에 국한됨
- ◎ 따라서, 와이어쏘를 이용한 장심도 암반절단 기술개발시 경쟁력 및 시장성이 매우 클 것으로 기대

(4). 수익 확보 전략

(가) 주요 고객군

- ◎ 발주처(주요공공기관, 한국철도시설공단, 한국전력공사, LH, 한국도로공사 등)
- ◎ 대형 건설사(현대건설, 삼성물산, 대우건설, SK건설, GS건설, 롯데건설, 한화건설 등)
- ◎ 암반굴착(터널 및 지하구조물) 전문시공사

(나) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

- ◎ 무소음무진동 공법으로 환경성 우수하여 기존 발파공법 대체로 신시장 창출
- ◎ 기존 무진동 암파쇄 효율의 대폭 향상으로 비용절감 및 경쟁력 우수
- ◎ 암반굴착 사업수주 및 기술이전을 통한 이익창출
- ◎ 당사 시공현장 적용으로 매출증대
- ◎ 설계사에 본 기술을 적용한 설계적용 (암반절단 모델정립 및 시뮬레이션 검증으로 이론적, 역학적 근거제시)
- ◎ 밀집된 도심지 내 발파공법 전면 대체 및 무진동 암파쇄 능률 대폭향상으로 경쟁력 확보

(5) 연도별 마케팅 전략

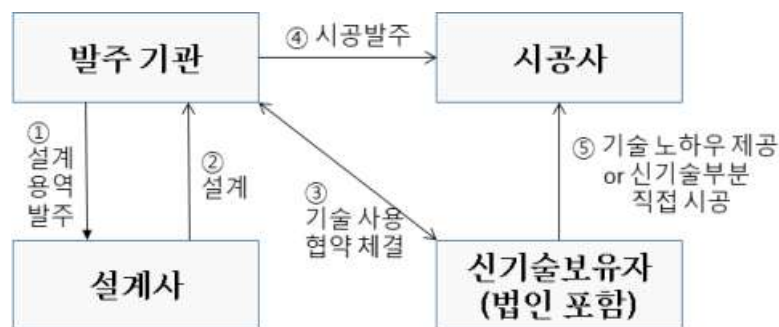
연도별	4P	Product	Price	Place	Promotion
'17~' 19 (개발기간중)		필요한 자유면을 최소화하기 위하여 기존 와이어쏘에 역폴리 방식을 접목하여 개발	국내 km당 평균 터널 공사비용(약34억원)을 기준으로 가격경쟁력 확보	기존 공공 수주 Channel 이외 민간 건설 수주 channel 연구	관련특허 출원으로 기술 독점력 확보
'20~' 21		건설민영화에 대비하여 민간투자고객을 대상으로 기획/제안/Financing 역량 강화	타 공법과의 진공저감율을 기준으로 최대 가격 형성 (Skimming 전략)	국내 기존 Channel 적극활용	SCI급 논문 및 국제 학술지 기술등록을 통해 국제공인력 확보
'22~' 23		공동구, 지하대공간 등 수직구 터널 굴착이 필요한 응용시장에 대응하기 위한 설비 개발	후발 유사 공법 및 경쟁사에 맞춰 가격을 인하하여 시장 내 가격경쟁력 유지	해외는 직접 진출보다는 국내 대형건설사와의 토목관련 컨소시엄을 통한 진출 모색	
향후		시장환경에 맞는 기술 및 제품 Upgrade (신제품개발전략)		개도국으로의 기술 이전 및 기술협업을 통한 해외시장 확보	

(6) 주요 고객군별 마케팅 전략

① 채널분석

(주)경도는 개발 기술인 '와이어쏘에 의한 장심도 암반절단 기술'에 대해 건설신기술 (NET) 인증을 사업의 목표로 하고 있으며, 건설신기술 인증은 사업화의 핵심요인으로 작용함.

* 건설신기술 활용 채널



* 출처 : 건설신기술 매뉴얼, 국토교통부, 2015

건설 신기술을 인증받게 되면 발주기관은 건설공사에 있어 신기술 등을 설계에 포함하고자 하는 경우에는 입찰공고전에 기술보유자와 기술사용 협약을 체결하여야 함.

발주청은 지정·고시된 신기술을 특별한 사유가 없는 한 그가 시행하는 건설공사의 설계에 반영하여야 하며, 건설공사를 발주하는 경우에 이를 공사계약서에 명시하여 신기술개발자로 하여금 당해 건설 공사중 신기술과 관련되는 공정에 참여하게 할 수 있음.

발주청에서 전문 업자에게 설계를 용역한 경우 설계용역업자는 설계도서 작성시 설계보고서에 지정·고시된 신기술과 기존 공법에 대하여 시공성, 경제성, 안전성, 유지관리성, 환경성 등을 종합적으로 비교·분석하여 해당 건설공사에 적용할 수 있는지를 검토한 내용을 포함해야 함.

신기술보유자가 기술사용료를 지급받고 계약상대자(시공사)의 계약이행에 필요한 기술적 노하우를 제공하는 방법으로 공사에 적용되거나 기술보유자가 보유한 특별한 장비 등을 사용하여야만 시공 및 품질확보가 가능한 경우 신기술부분의 공사를 직접 시공하는 방법으로 적용됨.

다만, 기술 사용협약이 이루어지지 않은 경우에는 분리발주 또는 다른 기술 등을 사용할 수 있음.

계약담당자는 동 협약 내용을 입찰공고에 명시하여야 하며, 낙찰자 결정 후 낙찰자에게 그 사본을 제공하여 낙찰자가 기술보유자로부터 기술사용 협약을 원활히 이행할 수 있도록 하여야 함.

② 수요처 분석(고객군별 전략)

주요 고객군	주요 업무	비고
발주기관	지정, 고시된 신기술을 시행하는 건설공사의 설계에 반영하여야 하며, 시공사에게 건설공사를 발주하는 경우 신기술을 공사계약서에 명시	
설계업체	발주기관으로부터 설계를 수주받아 설계 용역을 수행하며, 설계 보고서에 지정, 고시된 신기술에 대해 비교분석하여 설계에 반영, 또한 의뢰서에 지정되어 있지 않더라도 설계내용에 건설신기술에 대한 우선 반영 의무를 가지고 있음	
시공사	발주청과의 공사계약서에 명시된 건설신기술에 대한 노하우를 전수받아 공사에 반영	
한국건설교통신기술협회	건설교통신기술 지정 심사시 기술검토를 진행. 신기술 활용시 관리, 홍보, 자문을 적극활용	
대한전문건설협회	2017년 07월 한국건설교통신기술협회와 건설신기술 활용 및 기술경쟁력 향상을 위한 업무협약(MOU) 체결 신기술에 대한 정보교류등 적극 활용	

③ 주요 수요처별 마케팅 전략

구 분	발주처 (한국전력공사)	건설사 (시공사)	설계사	한국건설교통 신기술협회
2020년	신공법 기술홍보 주무처 방문설명 전력구 적용협의	신공법 기술홍보 무진동압파쇄 대안시공/설계변경 터키/민자 특정공법적용	신공법 기술홍보 무진동압파쇄 설계적용협의 터키/민자/일반설계 공법적용	건설신기술(NET) 인증
2021년	전력구 현장적용 전력구 현장시공(3개소)	건설사 현장적용 건설사 현장시공(2개소)	설계내역 반영(5건) (수직구, 터널, 굴착)	건설신기술 박람회 지자체 신기술 홍보 참관 신기술 실시계약 및 매출실적
2022년	전력구현장시공 (5개소)	건설사 현장시공(5개소)	설계내역반영(10건) (수직구, 터널, 굴착)	신기술 실시계약 매출실적

붙임. 참고문헌

무진동 급속 터널 굴착기술 개발, 한국철도기술연구원 주요사업 보고서, KRRI 연구 2016-138, 한국철도기술연구원, 2017. [1]

RZT Bieniawski, B Celada, I Tardaguila, and A Rodrigues. Specific energy of excavation in detecting tunnelling conditions ahead of tbms. *Tunnels & Tunnelling International*, February, 1:65-68, 2012. [2]

Nils Gustafsson. Wire cutting as a complement to drill and blast in vibration sensitive environments. Master's thesis, Chalmers University of Technology, 2011.

Jin-ho Lee, Sung-Kwon Ahn, Kyoung-Chan Lee, Choon-Seok Bang, Jin-Hyung Cho, and Myung Sagong. Wire saw cutting model development and performance investigation for vibration reduced tunnel excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 63:144-153, 2017.

Jun S Lee, Sung K Ahn, and Myung Sagong. Attenuation of blast vibration in tunneling using a pre-cut discontinuity. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 52:30-37, 2016.

다이아몬드 와이어쏘에 의한 정위치 암반 절단 장비 및 방법, 주식회사 경도, 대한민국 특허, 10-2017-0127904 (2017-09-29), 10-1853303 (2018-04-24).

S Turchetta, L Sorrentino, and C Bellini. A method to optimize the diamond wire cutting process. *Diamond and Related Materials*, 71:90-97, 2017.

E Yilmazkaya, G Dagdelenler, Y Ozcelik, and H Sonmez. Prediction of mono-wire cutting machine performance parameters using artificial neural network and regression models. *Engineering Geology*, 239:96-108, 2018.

A Bidiville, K Wasmer, M Van der Meer, and C Ballif. Wire-sawing process: parametrical study and modeling. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 132:392-402, 2015.

Egemen Teomete. Mechanics of wire saw machining process: Experimental analyses and modeling. Iowa State University, 2008.

Hao Wu. Wire sawing technology. A state-of-the-art review. Precision engineering, 43:1-9, 2016.

Hans Jochim Moller. Basic mechanisms and models of multi-wire sawing. Advanced Engineering Materials, 6(7):501-513, 2004.

Mohammad Javad Rahimdel and Raheb Bagherpour. Optimization of diamond wire cutting performance in travertine quarrying. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Pages 1-9, 2017.

Sandro Turchetta, Wilma Polini, Giorgio Gelfusa, and Enrico Venafro. A new sawing machine by diamond wire. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 70(1-4):73-78, 2014.

BC Liu, ZP Zhang, and YH Sun. Sawing trajectory and mechanism of diamond wire saw. In Key Engineering Materials, 259:395-400, Trans Tech Publ, 2004.

Emre Yilmazkaya and Yilmaz Ozcelik. The effects of operational parameters on a mono-wire cutting system: efficiency in marble processing. Rock Mechanics and Rock Engineering, 49(2):523-539, 2016.

S Najmedin Almasi, Raheb Bagherpour, Reza Mikaeil, Yilmaz Ozcelik, and Hamid Kalhori. Predicting the building stone cutting rate based on rock properties and device pullback amperage in quarries using m5p model tree. Geotechnical and Geological Engineering, 35(4):1311-1326, 2017.

S Najmedin Almasi, Raheb Bagherpour, Reza Mikaeil, and Yilmaz Ozcelik. Analysis of bead wear in diamond wire sawing considering the rock properties and production rate. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 76(4):1593-1607, 2017.

Reza Mikaeil, Sina Shaffiee Haghshenas, Yilmaz Ozcelik, and Hojjat Hossinzadeh Gharehgheshlagh. Performance evaluation of adaptive neuro-fuzzy inference system and group method of data handling-type neural network for estimating wear rate of diamond wire saw. Geotechnical and Geological Engineering, pages 1-13, 2018.

무진동 급속 터널 굴착기술 개발, 한국철도기술연구원 주요사업 보고서, KRRI 연구 2016-138, 한국철도기술연구원, 2017.

윤현수. 포천-의정부지역 화강암류 석재자원의 암석학적 특성연구. 한국암석학회지, 6(1):34-44, 1997.

Viten DynaTension Inc. Operating instructions for DynaTension Meter, Model P1000. www.vitendynatension.com.

주행하는 와이어 쏘의 비접촉식 장력측정장치 및 비접촉식 장력측정방법, 한국철도기술연구원, 대한민국 특허, 10-2015-0070896 (2015-05-21), 10-1611819 (2016-04-06).

RZT Bieniawski, B Celada, I Tardaguila, and A Rodrigues. Specific energy of excavation in detecting tunnelling conditions ahead of tbms. Tunnels & Tunnelling International, February, 1:65-68, 2012.

Mohammed Ruhul Kabir, Myung Sagong, and Sung-Kwon Ahn. A study of diamond wire rock cutting process analysis by fem. Journal of Korea Tunnelling and Underground Space Association, 17(6):615-621, 2015.

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 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.