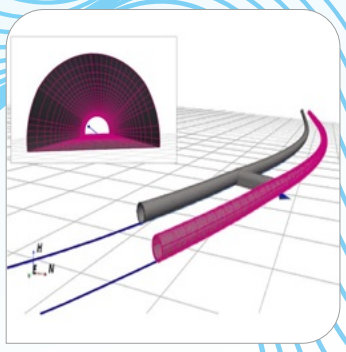
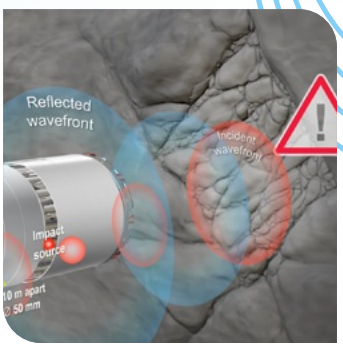
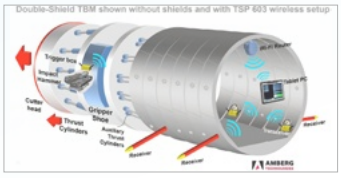
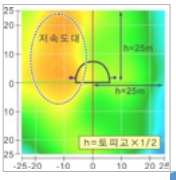
Registered
ISO 9001:2008 / ISO 14001:2004









3D 터널 탄성파탐사

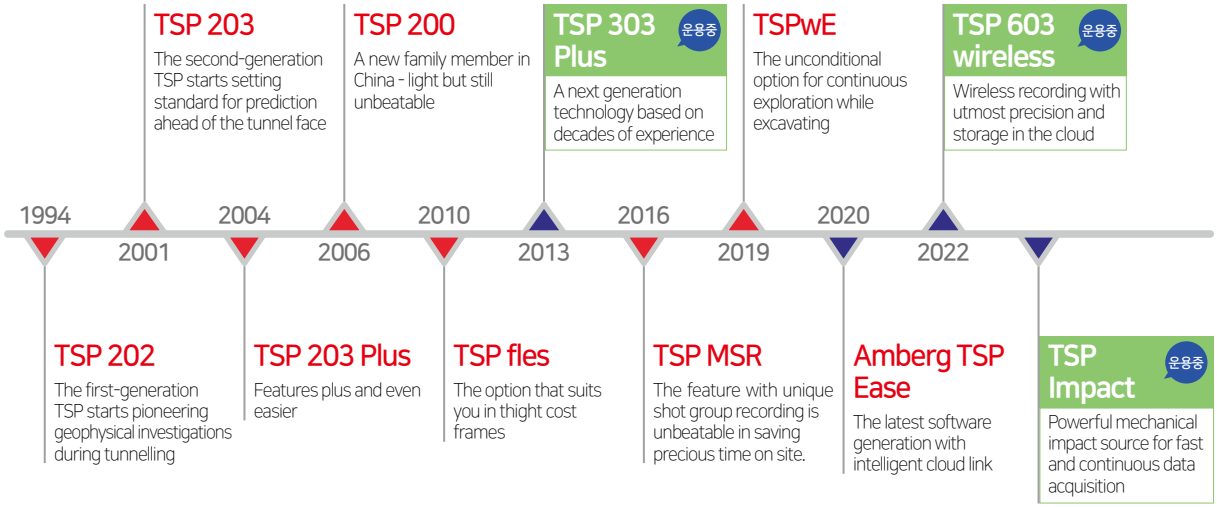
3D Tunnel Seismic Prediction (TSP 603 & Wireless system)

터널막장 전방 및 주변부 지질·용수대 예측탐사

- NATM 터널(발파식 송신원 적용)
- Shield TBM 터널(비발파식 송신원 적용)
- 대심도 터널 및 광산
- 고준위 방폐장 등 지하 저장시설
- 예측범위 : 터널 토피고(H)의 0.5H 주변과 전방

Geo Mecca Engineering
토질 · 지질 분야의 최신기술 선도기업

TSP탐사 장비 발전 과정



(주)지오메카이엔지 3D TSP탐사 주요 연혁

- 2014. 04 TSP 303 Plus 3D 장비 도입(국내 최초)
- 2014. 05 시험탐사 진행(수도권 고속철도 3-2공구)
- 2014 건설경제 선정 상반기 베스트상품 - 3차원 터널전방 탐사기법
- 2014. 10~2017. 12 국내 최대 NATM 해저터널(보령터널) 탐사 완료
- 2019. 01~2020. 10 Side TSP탐사 적용성 연구(한국철도연구원)
- 2023. 04 국내 30여개 현장에서 100여회 탐사 수행 실적 보유

전문 운용능력

교육 수료증	전문가 자격 인증서	업무협력(MoU) 증서

AMBERG TECHNOLOGIES

Certificate of Training

TSP 303
May 6 – 10, 2014
Yongin, Gyeonggi-do, Korea

This is to certify that

Chae Hwi Young

has successfully completed the above training course, thereby qualifying him to perform the full operation of the TSP 303 system including the measurement, processing and evaluation of TSP data within the Amberg TSP Plus system software.

May 10, 2014, for Amberg Technologies AG signed by

Dirk Krueger
Geophysicist

CERTIFICATE
OF EXPERTISE

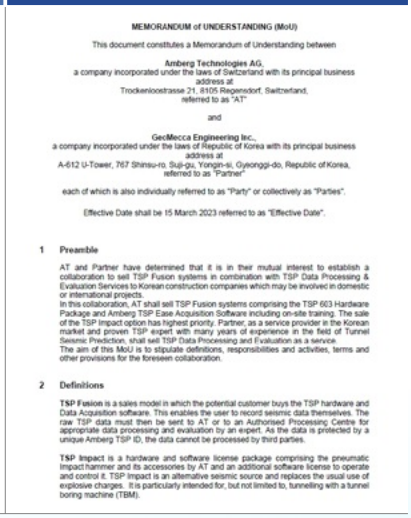
Certified thru 30 March 2023

Mr. Lim Kyoung-hak
GeoMecca Engineering Inc.,

has been certified by Amberg Technologies AG as a "TSP Expert" and authorized to perform Processing and Evaluation of TSP Data, which have been acquired by Korean third parties.

Dr. Thomas Dickmann
Head of Business Unit Geophysics

AMBERG TECHNOLOGIES


MEMORANDUM of UNDERSTANDING (MoU)

This document constitutes a Memorandum of Understanding between

Amberg Technologies AG,
a company incorporated under the laws of Switzerland with its principal business address at
Trockenloostrasse 21, 8105 Regensdorf, Switzerland,
referred to as "AT"

and

GeoMecca Engineering Inc.,
a company incorporated under the laws of Republic of Korea with its principal business address at
A-612 U-Tower, 767 Shinsu-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea,
referred to as "Partner"

each of which is also individually referred to as "Party" or collectively as "Parties".

Effective Date shall be 15 March 2023 referred to as "Effective Date".

1 Preamble

AT and Partner have determined that it is in their mutual interest to establish a collaboration to sell TSP Fusion systems in combination with TSP Data Processing & Evaluation Services to Korean construction companies which may be involved in domestic or international projects.
In this collaboration, AT shall sell TSP Fusion systems comprising the TSP 603 Hardware Package and Amberg TSP Ease Acquisition Software including on-site training. The sale of the TSP Impact option has highest priority. Partner, as a service provider in the Korean market and proven TSP expert with many years of experience in the field of Tunnel Seismic Prediction, shall sell TSP Data Processing and Evaluation as a service.
The aim of this MoU is to stipulate definitions, responsibilities and activities, terms and other provisions for the foreseen collaboration.

2 Definitions

TSP Fusion is a sales model in which the potential customer buys the TSP hardware and Data Acquisition software. This enables the user to record seismic data themselves. The raw TSP data must then be sent to AT or to an Authorised Processing Centre for appropriate data processing and evaluation by an expert. As the data is protected by a unique Amberg TSP ID, the data cannot be processed by third parties.

TSP Impact is a hardware and software license package comprising the pneumatic impact hammer and its accessories by AT and an additional software license to operate and control it. TSP Impact is an alternative seismic source and replaces the usual use of explosive charges. It is particularly intended for, but not limited to, tunnelling with a tunnel boring machine (TBM).

3D 터널 탄성파탐사(3D Tunnel Seismic Prediction)

정의

• 터널 막장 전방 및 터널 토피고 0.5H 상, 하, 좌, 우 주변부 지질상태 및 용수대 예측 탄성파탐사

필요성

• 터널 설계 시 지형적인 제약조건에 의해 지반조사가 제한적으로 수행될 경우 지반상태 파악에 한계

• 굴착 중 예상치 못한 불량한 지반(파쇄대, 용출수 등)에 적절히 대처하지 못할 경우 시간적, 경제적 손실 발생

• 터널 시공 중 막장 전방 및 주변부의 지반 상태를 정확히 예측하여 경제성, 안정성 및 굴착효용성 증대

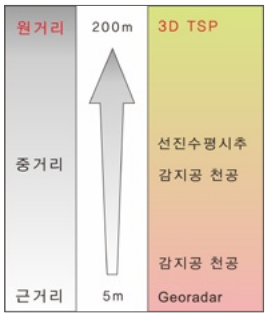
터널 전방 지질예측 방법별 경제성 비교

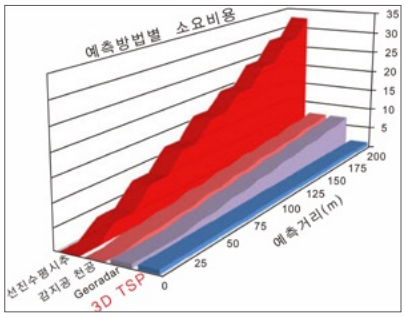
• 선진수평시추는 조사범위가 20~50m 내외로 제한적, 터널 시공 중 공기지연, 비용 증가 등의 시공성 저해 요인으로 작용

• 3D TSP탐사는 1회 탐사로 막장 전방 최대 200m 구간의 지질 공학적 변화 예측

• 굴착 사이클내에 수행이 가능하여 공기지연 최소화

구분	3D TSP	Georadar	감지공 천공	선진수평시추
예측거리	200m	20X10m	4X50m	4X50m
막장면 접근	X	O	O or X	O
자료획득 시간	1시간 내외	약 20시간	20시간 이상	100시간 이상
자료분석 시간	3~4 시간	30~60시간	1시간	8~12시간
암종 구분	X	X	제한적	O
암반물성 분석	O	X	제한적	O
공간적 해상도	O	X	X	제한적
				유리 / 불리



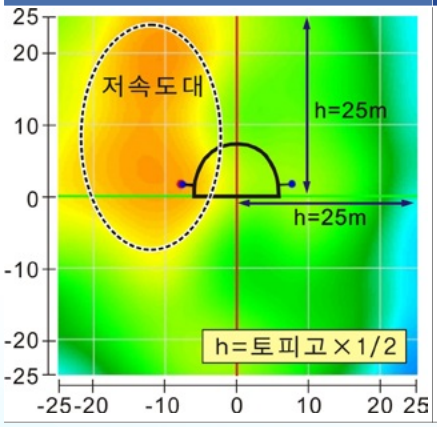


예측범위

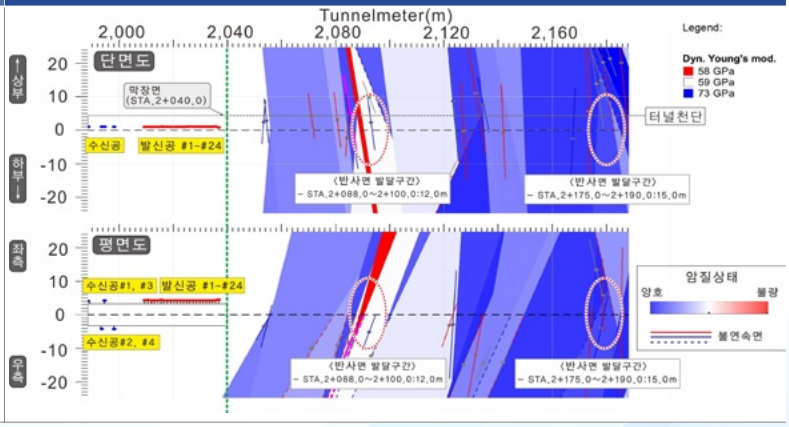
막장 전방 : 최대 200m(지반상태에 따라 달라짐)

주변부 : 터널 토피고(H) 1/2 구간(ex. 토피고 50m인 경우 상, 하, 좌·우 측벽부 25m 구간)

횡단 분석범위



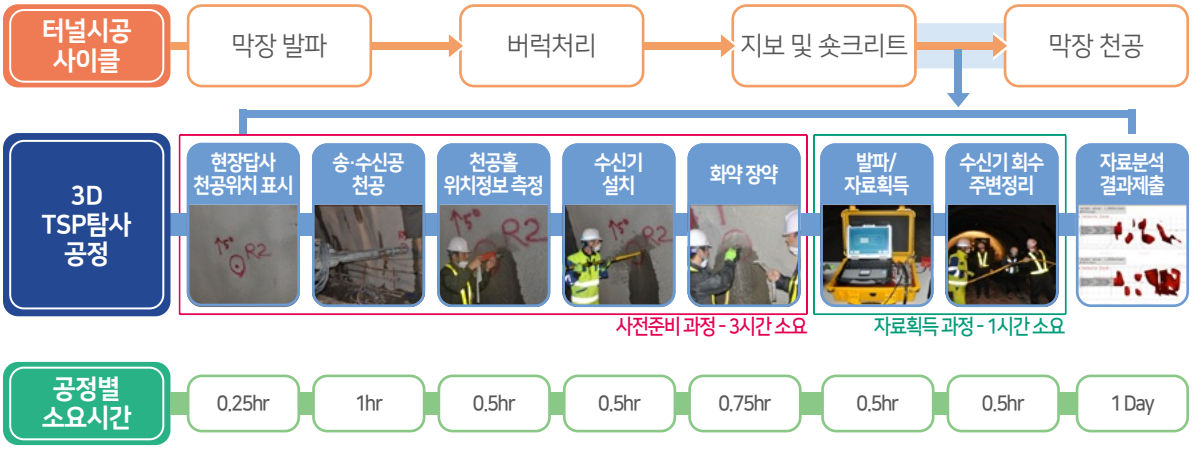
종단 및 평면 분석범위



NATM 터널(발파식 송신원 적용)

모식도

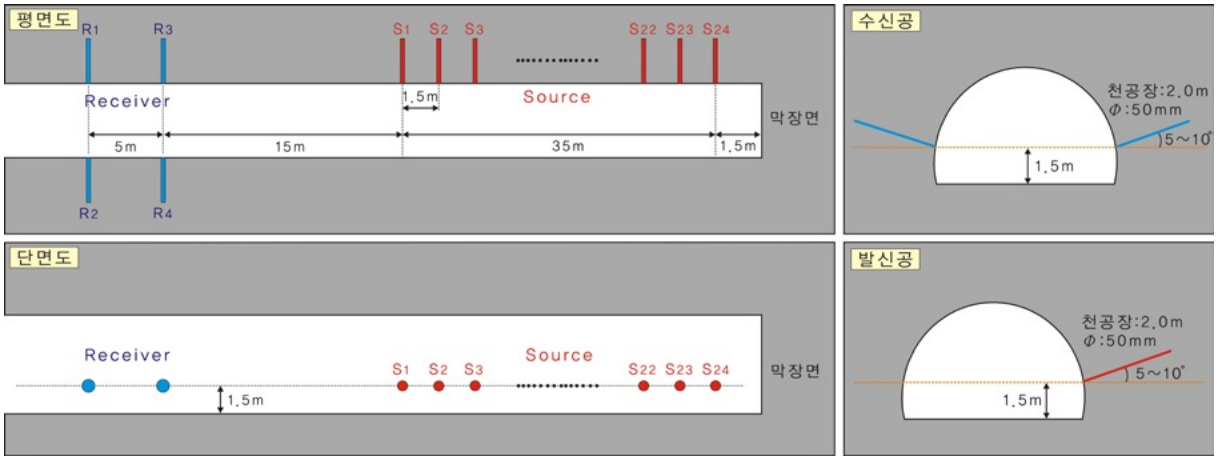
탐사 진행과정



탐사 장비(TSP 303 EASE)

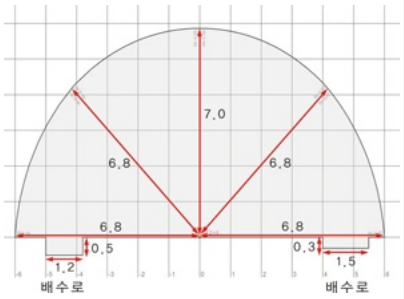
Recording unit	Receiver unit	Trigger unit		Accessories unit
·48KHz sample frequency ·8 receiver port ·Automatically seismic noise check	·일체형 고감도 3성분 센서 ·Sensitivity : 1,000mv/g ·Frequency range : 0.5~5,000Hz±5%	·화약 발파용 ·전기식 순발뇌관 사용 ·Zero Delay time	·화약 및 햄머 발진용 ·비전기식 뇌관 사용 가능 ·지발뇌관 사용 가능 ·기존 뇌관 수급 문제 해소	·공벽과 수신기의 완벽한 밀착 ·신호수신 강화 ·공기파 등 잡음기록 감소

탐사 설계

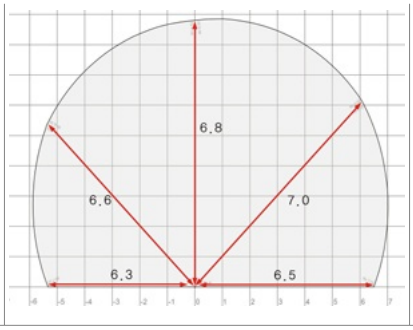


정밀한 터널 모델 구현

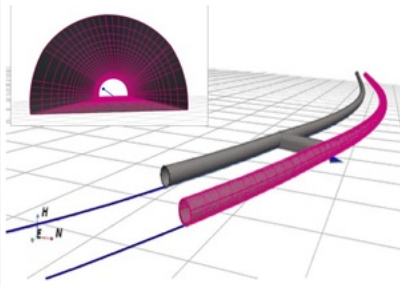
배수로



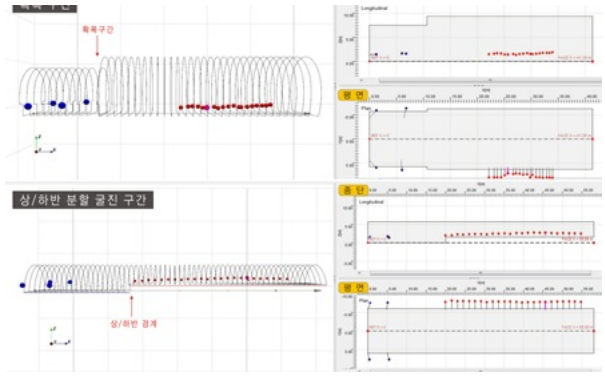
좌/우 비대칭



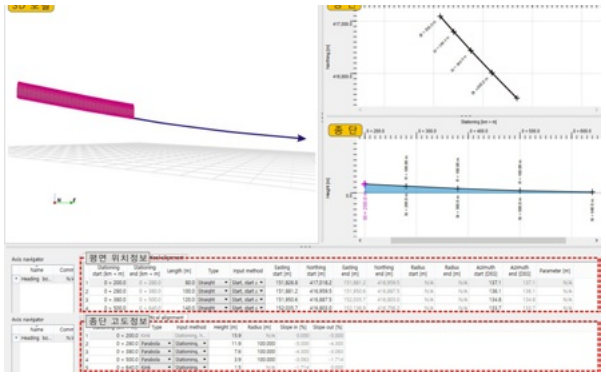
곡선 선형



터널 확폭 구간 및 상/하반 분할 굴진



경사 굴진

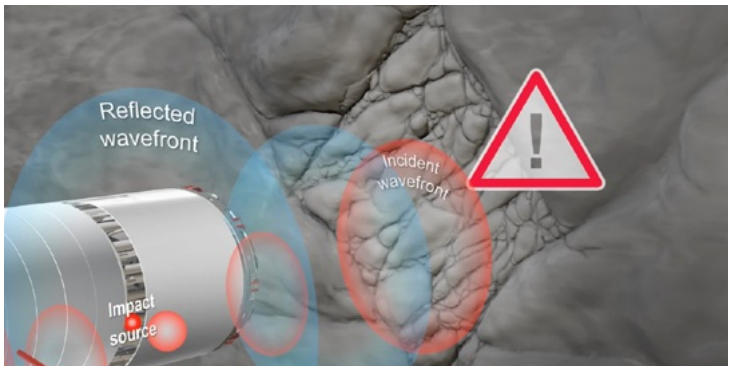


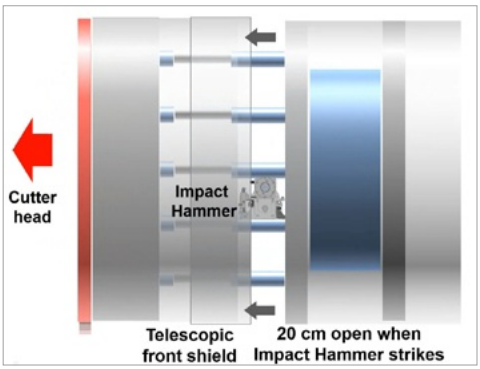
주요 특이사항

- 예측범위 : 최대 200m(지질특성 및 암질에 따라 달라짐)
- 발진공당 50~150g 화약 장약, 뇌관은 전기식 순발뇌관, 전기식 지발뇌관, 비전기식 뇌관 적용 가능
- 선형, 경사 등을 고려한 정밀한 터널 모델 구현으로 탐사 결과의 신뢰성 향상

Shield TBM 터널(비발파식 송신원 적용)

모식도



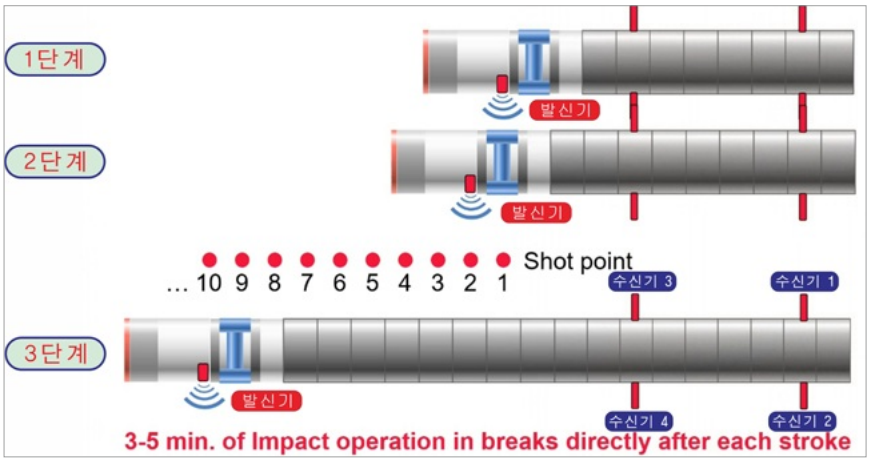


탐사 진행과정

① 수신기를 세그먼트 그라우트 주입홀에 설치

② Shield TBM 커터 헤드에 장착된 발신기(impact source)를 이용하여 굴진 span 마다 자료획득

③ 굴진 누적 span이 20회 이상(Shot point 20지점 이상)이면 자료취합 후 전방 지질특성 예측(약 100m 내외)



탐사 장비(TSP 603 Wireless & Impact Source)

Impact Hammer

- 압축공기 방식(7bar)
- 무선제어 시스템 적용
- 15회 이상/분 타격
- 110/230V 또는 12V 베터리
- 제원 : 65×27×30cm
- 무게 : 56kg(햄머 28kg)

Wireless System

Recording unit

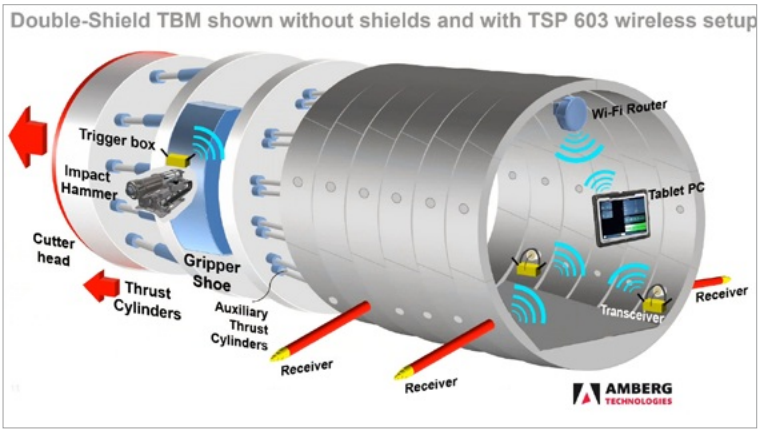
- 모든 구성요소에 대한 무선연결
- 자율 Wi-Fi 네트워크
- TBM 터널에 최적화

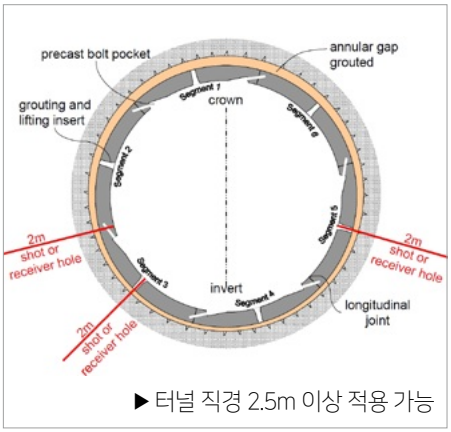
Receiver unit

- 시스템간 정확한 동기화(< 20μs)
- 30분 이내 간단한 설치
- 정기적이고 지속적인 자료획득 용이

Trigger unit

탐사 설계





▶ 터널 직경 2.5m 이상 적용 가능

발신기(Impact source)

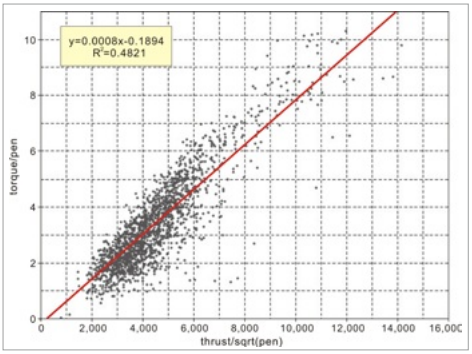
▶ Impact source는 커터 헤드 후방 콘솔에 장착
▶ 압축공기(7bar) 발생을 위한 전기 공급 필요
- 110/230V 또는 12V 베터리
▶ TBM이 정지상태 일 때 쉴드의 오픈구간으로 원지반 타격
▶ 동일지점에서 5~10회 타격 실시(1~2분 소요)
▶ 테블릿을 이용한 Impact source의 무선 제어

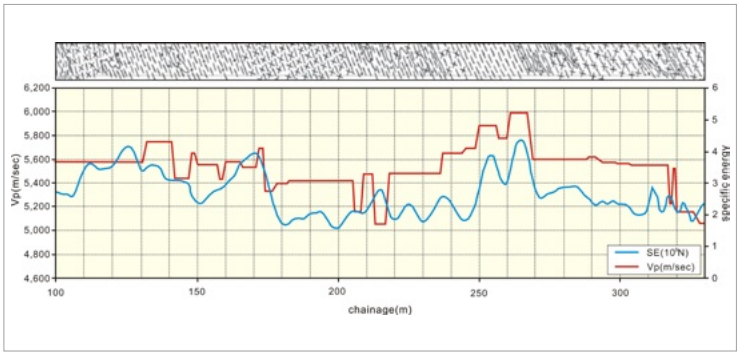
수신기(3-component receiver)

▶ 커터헤드 후방 세그먼트 그라우트 주입홀에 설치
- 수신기 : 4개(좌, 우 측벽부 각 2개)
- 간 격 : 8~10m
- 깊 이 : 약 1.5m
- 직 경 : Φ50mm
▶ 자료획득 종료시까지 고정 설치(약 20 span)

Shield TBM 헤드커터 에너지 효율 추정

▷ 3D TSP탐사 구간의 탄성파 속도와 Shield TBM 커터 헤드 에너지 효율 상관성 분석



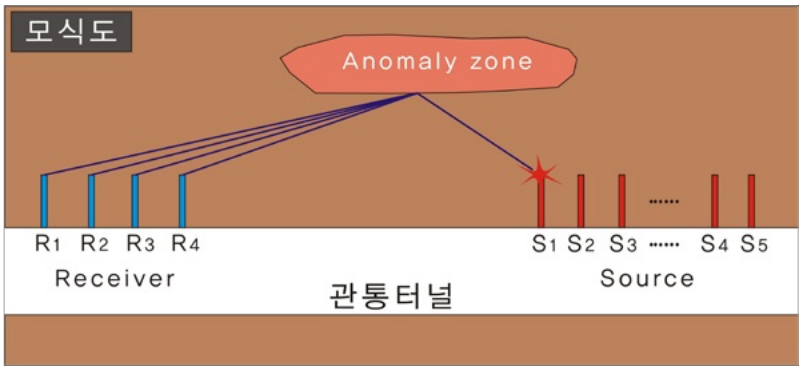


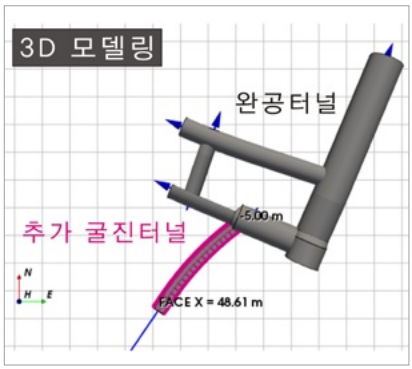
주요 특이사항

- 예측범위 : 막장 전방 100m 내외(Impect source 적용 시)
- Wireless system 적용으로 송신간격 및 횟수에 제약 없음
- 비발파식 송신원을 이용하여 발파에 의한 터널 손상 문제 및 화약 인허가 문제 해결
- 노출된 원지반에 직접 타격하여 세그먼트에 의한 신호감쇠 및 잡음 영향 최소화
- 동일지점의 송신점에서 여러번 타격하여 신호 중합, 획득 자료의 신호대잡음비(S/N ratio) 향상
- 자료획득 지점에 대한 제약이 없어 다수의 지점에서 자료획득 후 정밀한 분석 가능(최소 20지점 이상)

Side TSP탐사(기존 터널 확폭 설계, 시공시)

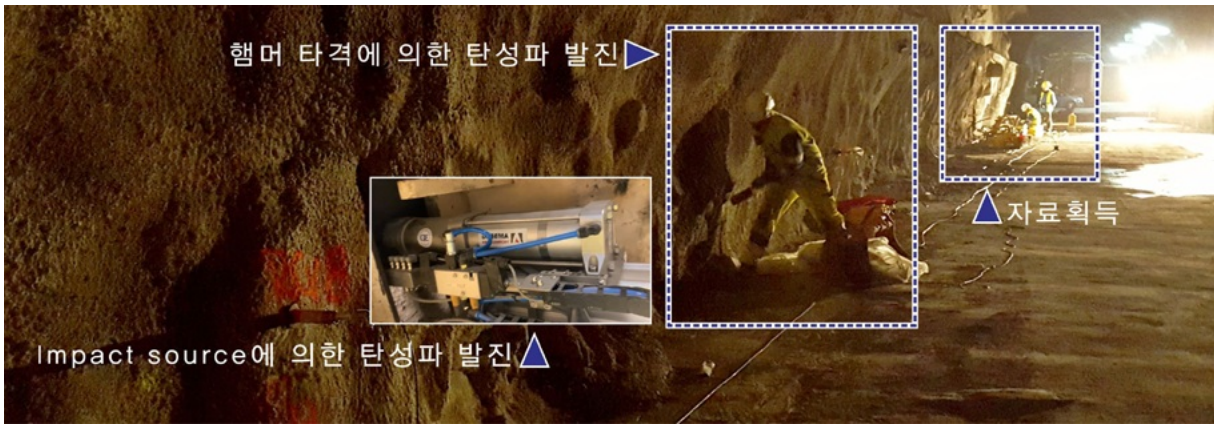
탐사 설계





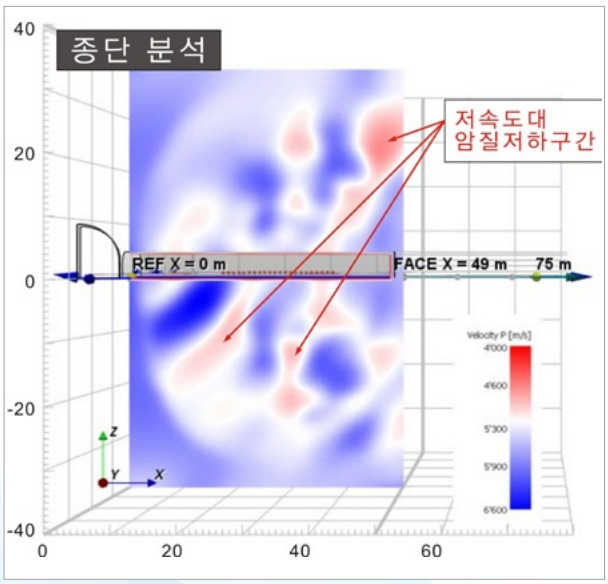
터널 안전을 고려한 현장자료 획득

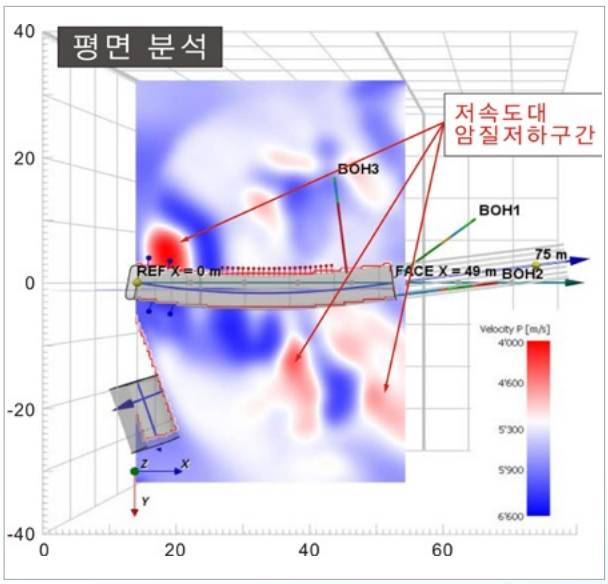
▷ 터널 안전상 발파가 불가능한 경우 햄머(또는 Impact source)를 이용한 현장자료 획득



결과 분석

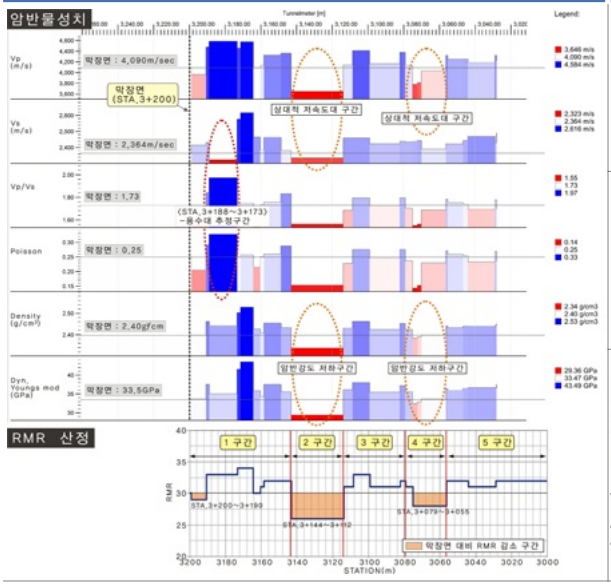
▷ 관통터널 종단 및 평면의 지질이상대(저속도대) 분포 및 연장성 분석



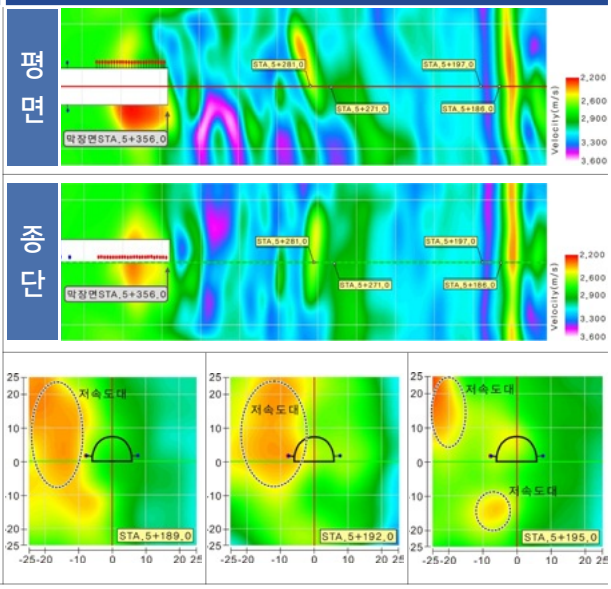


3D TSP 탐사 결과

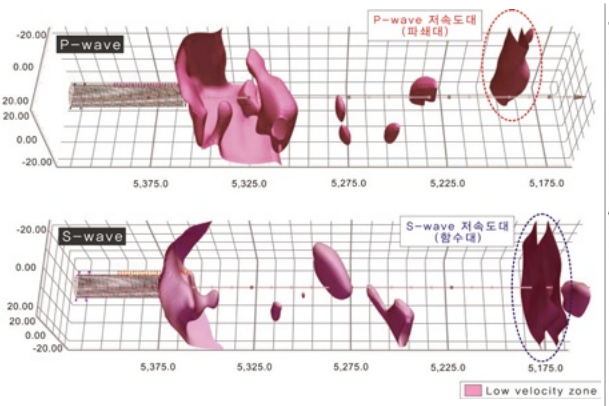
예측구간 암반의 물리적 특성 분석



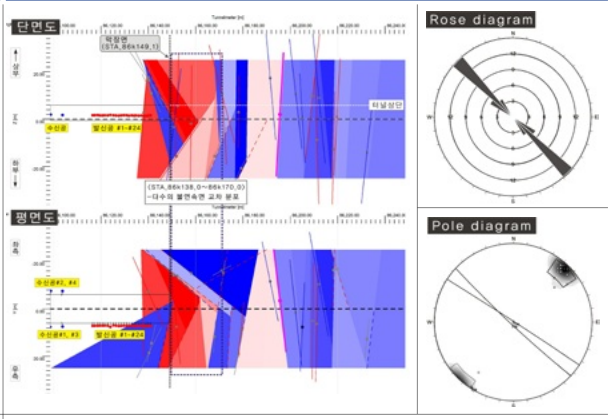
터널 통과구간 주변 지질, 용수대 특성 파악

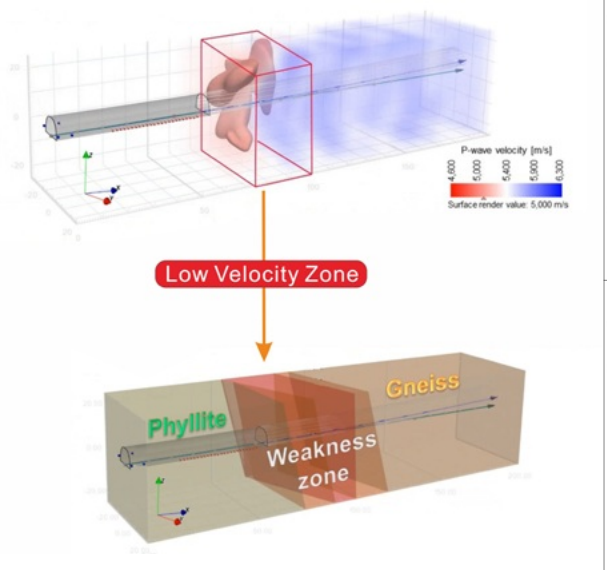


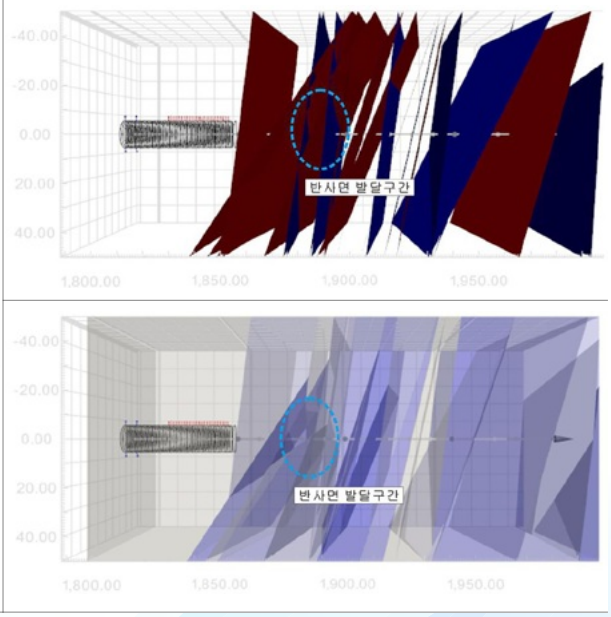
지질이상대 구간 3차원 분석



불연속면 방향성 분석







3D TSP탐사 수행 실적

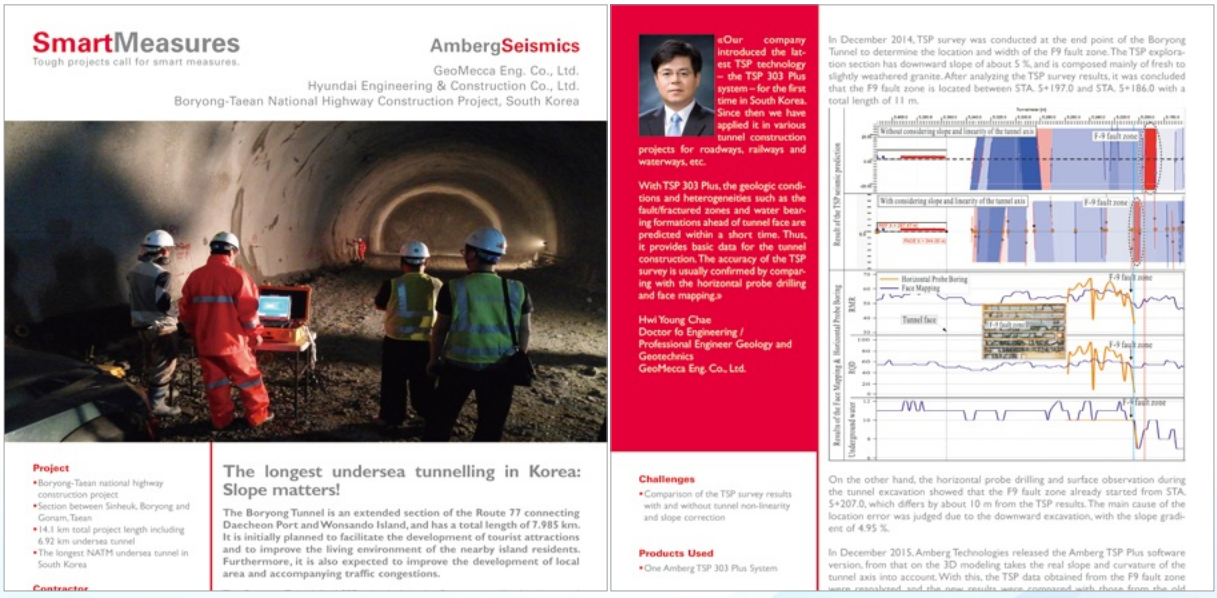
공 사 명	발주처	시공사	실적(회)	수행 기간	비고
수도권 고속철도(수서~평택) 3-2공구 노반 건설공사	한국철도시설공단	GS건설	1	2014.05	
운문댐 보조여수로 터널 건설공사	한국농어촌공사	계룡건설	2	2014.06	
보령-태안(제1공구) 도로건설공사_종점	대전지방국토관리청	현대건설	7	2014.10~2017.12	해저터널
보령-태안(제1공구) 도로건설공사_시점	대전지방국토관리청	현대건설	4	2015.08~2017.12	해저터널
울산-포항 복선전철(제2공구) 노반신설 기타공사	한국철도시설공단	대림산업	5	2014.06~2015.05	
원주-제천 복선전철(제3공구) 노반건설공사	한국철도시설공단	포스코건설	3	2015.03~2015.08	
부산-울산 복선전철 제5공구 노반건설공사	한국철도시설공단	동부건설	4	2015.05~2015.10	
국도6호선 둔내-무이2(제2공구) 도로건설공사	원주지방국토관리청	KR산업	4	2015.05~2016.05	
김포도시철도 제2공구 노반건설공사	한국철도시설공단	한라건설	8	2015.05~2016.07	
소사-원시 복선전철 제3공구 노반공사	한국철도시설공단	대우건설	2	2015.10	
평창동계올림픽 경기장 진입도로(농어촌 205)공사	강원도 평창군	토진종합건설	2	2015.11	
김포도시철도 제3공구 노반건설공사	한국철도시설공단	대림산업	2	2015.11~2015.12	
신월 빗물저류배수시설 등 방재시설 확충공사	서울시 도시기반 시설본부	현대건설	5	2015.12~2016.04	
장항선 개량2단계 제3공구 노반신설 기타공사	한국철도시설공단	한라건설	4	2016.04~2017.02	
지방도403호선 월명터널 도로 확포장공사	강원도	계룡건설	2	2016.11~2017.02	
중앙선 도담-영천 복선전철 제11공구 노반 건설공사	한국철도시설공단	포스코건설	1	2018.03	
대곡-소사 복선전철 4공구 노반건설공사	한국철도시설공단	대우건설	3	2018.10	
대곡-소사 복선전철 3공구 노반건설공사	한국철도시설공단	대우건설	3	2018.11	
고속국도 400호선 파주~양주 포천간 건설공사(4공구)	한국도로공사	태영건설	2	2019.05~2019.06	
행정 중심 복합도시 5생활권 외곽 순환도로(제1공구)	한국토지주택공사	현대건설	2	2019.06~2021.12	
측면탄성파탐사를 이용한 라이닝배면 지반조사	한국철도연구원	한국철도 연구원	4	2019.01	Side TSP
대곡-소사 복선전철 3공구 노반건설공사	한국철도시설공단	대우건설	1	2019.09	
고속국도 제14호선 함양~창녕간 건설공사(제6공구)	한국도로공사	한화건설	1	2020.01	
Side TSP를 활용한 터널 배면의 비파괴 지질탐상 최적화 및 터널현장 반사면 검증 용역	한국철도연구원	한국철도 연구원	8	2020.06	Side TSP
보령-성주 우회도로 건설공사	대전지방국토관리청	(유)명산건설	1	2020.06	
동서 녹색평화도로(양구고방산지구)개설공사	강원도	조원건설(주)	1	2020.08	
군도3호선(동서 녹색평화도로) 개설공사	강원도	동천건설(주)	1	2020.12	
세종-포천 고속도로 안성-구리 건설공사(제13공구)	한국도로공사	(주)태영건설	1	2021.05	Side TSP
신안산선 복선전철 민간투자사업 4-2공구	국가철도공단	포스코건설	2	2022.03~2022.05	
신안산선 복선전철 민간투자사업 4-1공구	국가철도공단	포스코건설	1	2022.06	
고속국도 제14호선 함양~창녕간 건설공사 제6공구	한국도로공사	한화건설	2	2021.12~2022.09	
만덕-센텀 도시고속화도로 민간투자사업 1공구	부산광역시	롯데건설	3	2023.03~2023.04	

총 103건 수행

연구논문 발표 실적

- 터널 막장면 전방의 지질학적 불확실성을 예측하는 탐사법(2014.9), 천병식·채휘영·임경학·박종태, 한국지반환경공학회 2014 학술발표회
- 3D TSP탐사를 이용한 터널 막장 전방의 지질상태 예측과 막장 관찰 결과와의 비교(2014.11), 채휘영·임경학, 한국터널지하공간학회 2014 가을학술발표회 및 학술포럼
- 3D TSP탐사를 이용한 서해 해저터널 막장 전방 지질상태 예측 및 선진수평시추, 막장 관찰 결과와의 비교 연구(2015.8), 채휘영·임경학, 한국지반공학회 2015 터널 및 암반지질 위원회 공동 기술세미나
- 3D TSP탐사를 이용한 서해 해저터널 막장 전방 예측 및 선진수평시추, 막장 관찰 결과와의 비교 연구(2015.10), 채휘영·임경학, 대한토목학회 2015 정기학술대회
- 해저터널 막장 전방의 지질특성 예측을 위한 3D TSP탐사 연구(2015.11), 채휘영·임경학, 대한지질공학회 2015 추계학술대회
- 터널축의 경사 및 곡선 선형을 고려한 3D TSP탐사 자료해석(2016.4), 채휘영·임경학, 한국터널지하공간학회 2016 봄 학술발표회
- 압출성 암반(Squezzing Rockmass)으로 이루어진 단층파쇄대 붕락구간에서의 3D TSP탐사 연구(2016.8), 채휘영·임경학, 한국지반공학회 2016 터널 및 암반지질위원회 공동 기술세미나
- 단층파쇄대 붕락구간에서의 3D TSP탐사 연구(2018.4), 임경학·채휘영·도경량, 한국터널지하공간학회 2018 봄 학술발표회
- 단층파쇄대 붕락구간에서의 3D TSP탐사(2018.5), 임경학·채휘영·도경량, 한국지구물리·물리탐사학회 2018 봄 학술대회
- Side TSP탐사 적용성 연구(2018.11), 임경학·채휘영·장현삼, 물리탐사학회 2018 추계학술대회
- 터널 측면 탄성파탐사(Side TSP)를 이용한 터널배면 지질특성 분석, 임경학·채휘영·이나현·채덕호,, 한국지구물리·물리탐사학회 2021 봄 학술대회

해외저널 소개

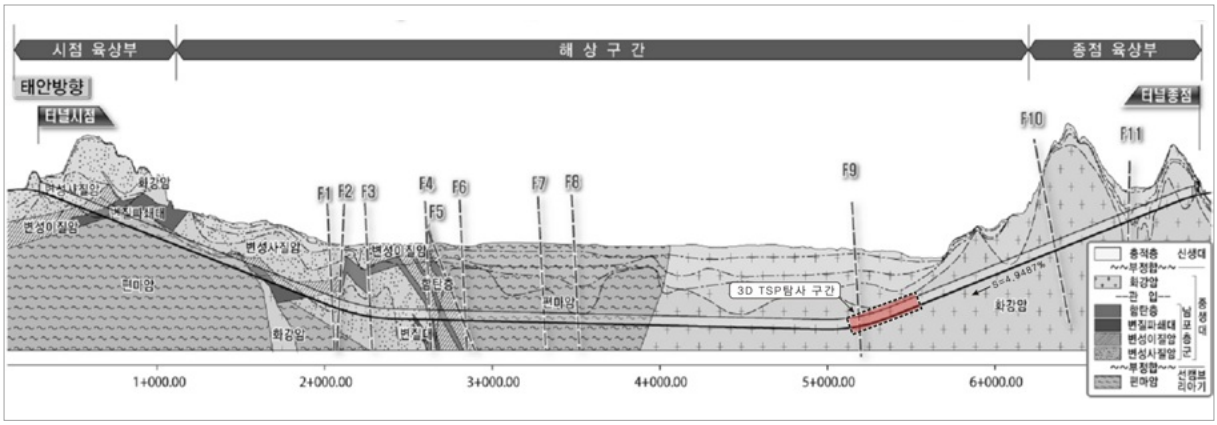

SmartMeasures
Tough projects call for smart measures.
AmbergSeismics
GeoMecca Eng. Co., Ltd.
Hyundai Engineering & Construction Co., Ltd.
Boryong-Taean National Highway Construction Project, South Korea
Project
Boryong-Taean national highway construction project
Section between Sinheuk, Boryong and Gonam, Taean
14.1 km total project length including 6.92 km undersea tunnel
The longest NATM undersea tunnel in South Korea
Contractor
The longest undersea tunnelling in Korea: Slope matters!
The Boryong Tunnel is an extended section of the Route 77 connecting Daecheon Port and Wonsando Island, and has a total length of 7.985 km. It is initially planned to facilitate the development of tourist attractions and to improve the living environment of the nearby island residents. Furthermore, it is also expected to improve the development of local area and accompanying traffic congestions.
«Our company introduced the latest TSP technology – the TSP 303 Plus system – for the first time in South Korea. Since then we have applied it in various tunnel construction projects for roadways, railways and waterways, etc.
With TSP 303 Plus, the geologic conditions and heterogeneities such as the fault/fractured zones and water bearing formations ahead of tunnel face are predicted within a short time. Thus, it provides basic data for the tunnel construction. The accuracy of the TSP survey is usually confirmed by comparing with the horizontal probe drilling and face mapping.»
Hwi Young Chae
Doctor fo Engineering /
Professional Engineer Geology and Geotechnics
GeoMecca Eng. Co., Ltd.
Challenges
Comparison of the TSP survey results with and without tunnel non-linearity and slope correction
Products Used
One Amberg TSP 303 Plus System
In December 2014, TSP survey was conducted at the end point of the Boryong Tunnel to determine the location and width of the F9 fault zone. The TSP exploration section has downward slope of about 5 %, and is composed mainly of fresh to slightly weathered granite. After analyzing the TSP survey results, it was concluded that the F9 fault zone is located between STA. 5+197.0 and STA. 5+186.0 with a total length of 11 m.
On the other hand, the horizontal probe drilling and surface observation during the tunnel excavation showed that the F9 fault zone already started from STA. 5+207.0, which differs by about 10 m from the TSP results. The main cause of the location error was judged due to the downward excavation, with the slope gradient of 4.95 %.
In December 2015, Amberg Technologies released the Amberg TSP Plus software version, from that on the 3D modeling takes the real slope and curvature of the tunnel axis into account. With this, the TSP data obtained from the F9 fault zone

3D TSP탐사 수행 사례

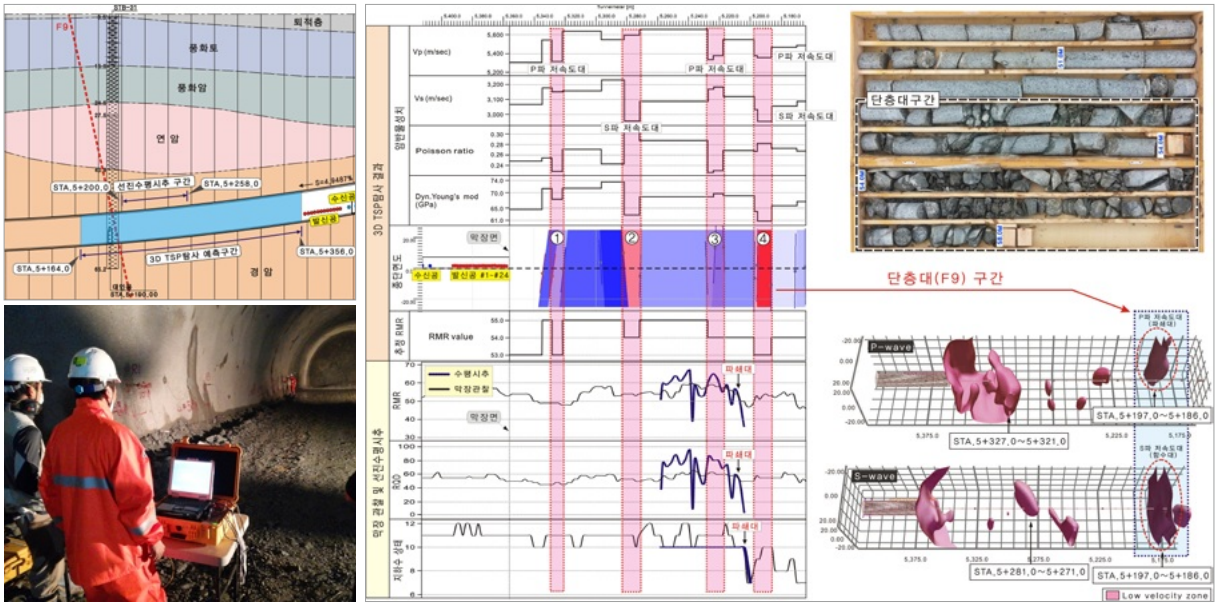
1. 해저터널 3D TSP탐사 적용

현장개요

- 국내 최초의 NATM 해저터널(연장 6.9km) : 보령시 신흑동에서 원산도를 연결하는 쌍굴 2차선 터널
- 해저구간 연장은 5.1km, 최대 수심은 37m, 최대 토피고는 55m 내외
- 터널설계시 교차할 것으로 분석된 단층대구간(F9)의 정확한 위치 및 분포범위를 파악하고자 3D TSP탐사 수행
- 선진수평시추 및 막장관찰 결과와 비교·분석하여 3D TSP탐사 결과의 정확성을 분석



분석결과

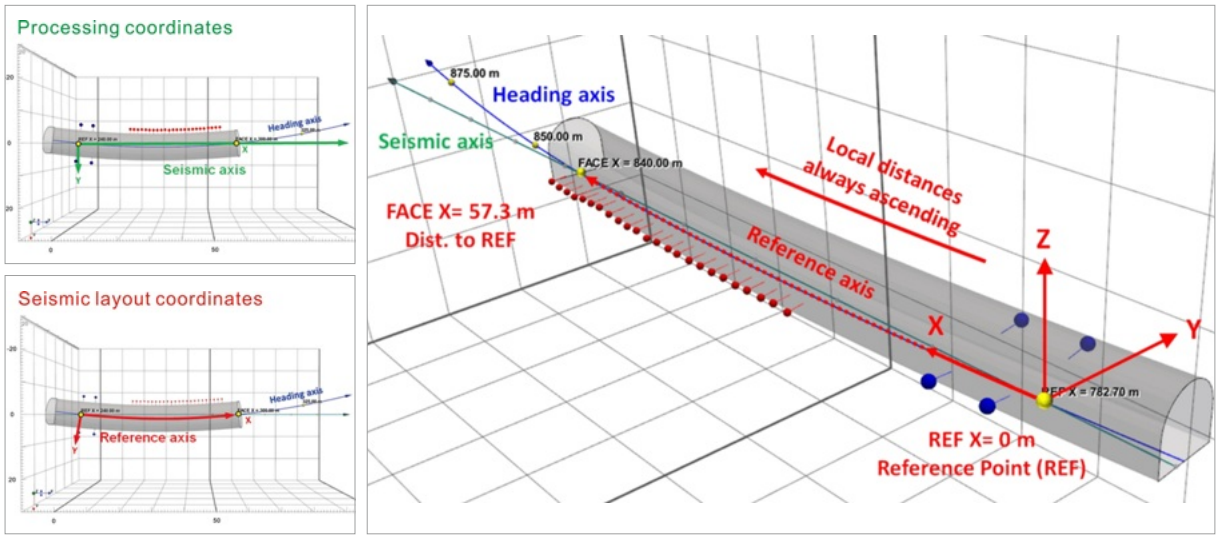


- 3D TSP탐사 결과 4개소(①~④)의 지질이상대 구간 예측. ④구간이 단층대(F9) 구간으로 분석
- 선진수평시추 및 막장관찰과 비교한 결과 지질이상대 추정구간은 비교적 잘 일치함
- 하향 경사로 시공중인 현장조건에 의해 단층대(F9) 구간과 약 5.0m의 오차 발생
- 터널축의 경사, 곡률 등을 고려한 자료 재분석 결과 오차율 감소 확인

2. 곡선선형 및 하향 굴착 구간 3D TSP탐사 적용

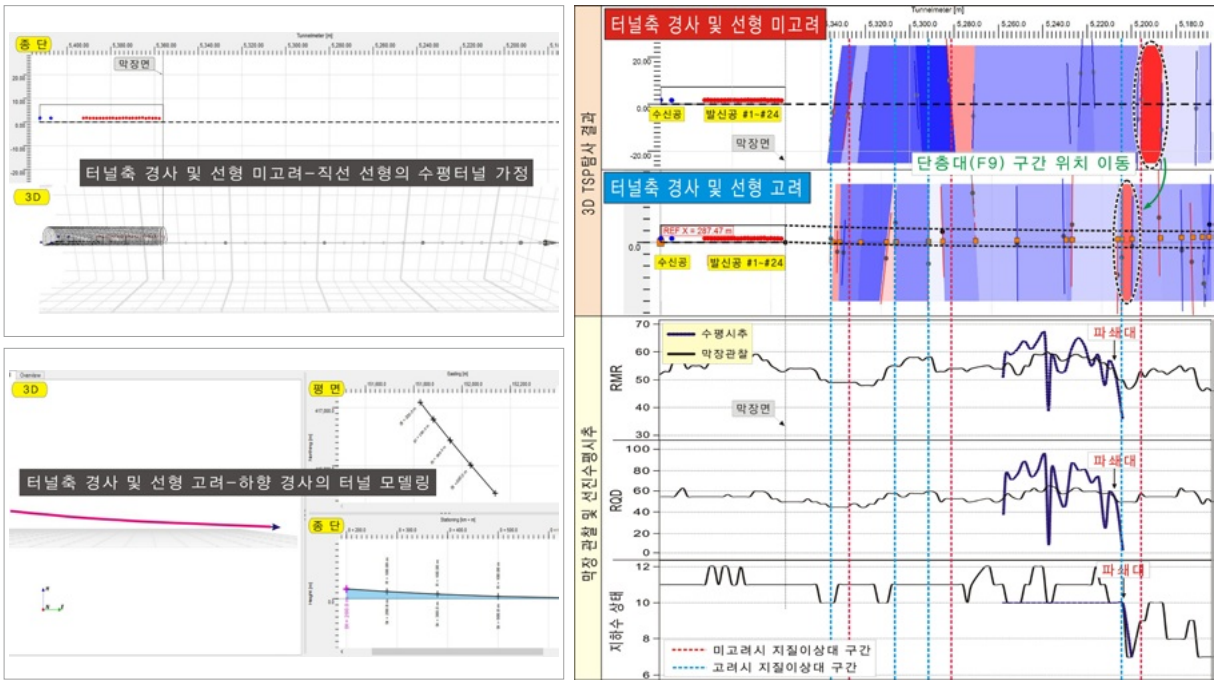
현장개요

- 하향 5%의 경사를 가지는 OO해저터널 건설현장에서 시행된 3D TSP탐사 결과와 굴착된 지질상태를 비교한 결과 5.0~7.0m의 오차 발생
- 오차의 원인으로 판단한 터널축의 경사와 선형을 고려하여 3차원 모델링을 통한 자료 재분석
- 터널축의 경사를 고려하지 않은 기존 자료와의 비교를 통하여 분석기술의 정확성을 검증



▲<3D 터널 모델링 모식도>

분석결과



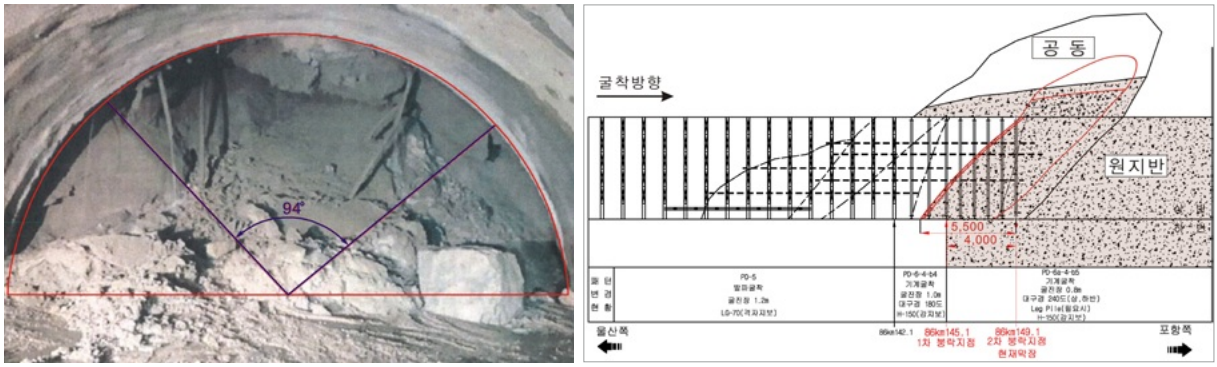
터널 선형 및 경사를 보정한 결과 오차가 3.0~5.0m 감소

상향 및 하향의 경사, 곡선의 선형을 보이는 터널에서 3D TSP탐사의 적용성과 탐사 결과의 정확성 확인

3. 단층대 붕락 구간 3D TSP탐사 적용

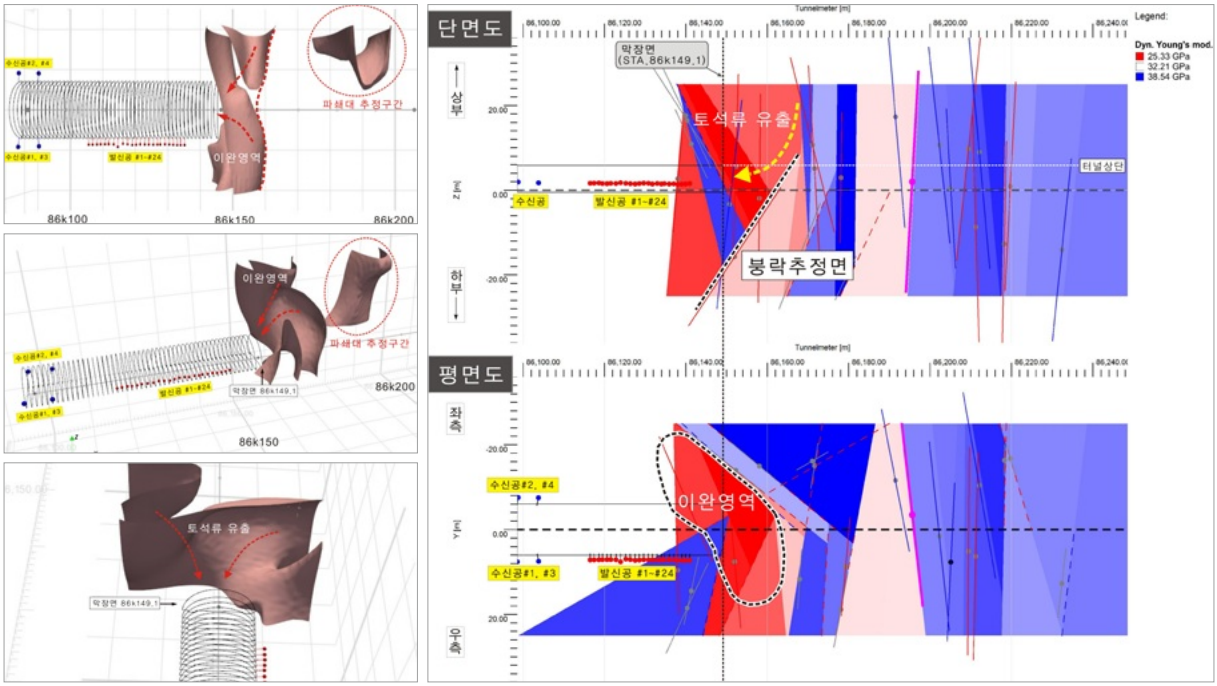
현장개요

- 터널 굴진공사 중 단층파쇄대 구간에서 붕락 발생, 막장면 후방 5.5m 구간까지 붕락 지반에 의해 자연 압성된 상황
- 막장면 중앙과 좌, 우측에서 20~125 ℓ /min의 지하수가 터널내로 유입, 추가 붕락 및 유실이 우려되는 불안정한 막장상태
- 터널 상부 붕락에 의한 이완영역 및 단층파쇄대의 범위 등 막장 전방의 지질상태를 예측하고자 3D TSP탐사 수행
- 예측구간 내에서 수행된 선진수평시추 및 막장면 관찰 결과와 비교·분석하여 3D TSP탐사 결과 검증



▲<터널 붕락 현황>

분석결과

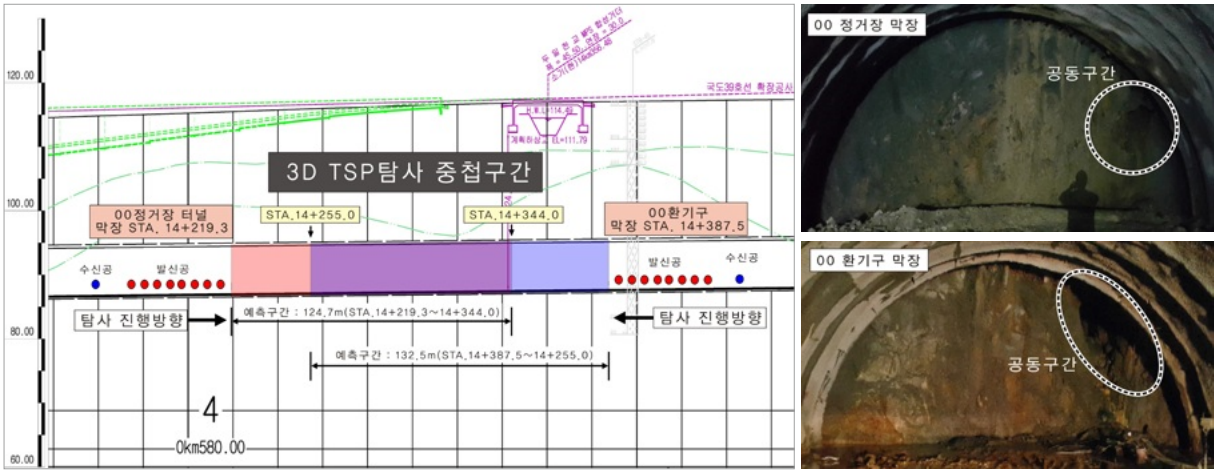


- 3D TSP탐사의 이완영역 예측결과와 선진수평시추 및 막장관찰과는 약 2.0~3.6m의 차이, 전반적으로 유사한 양상을 보임
- 단시간에 막장전방 지질상태를 비교적 정확하게 예측하여, 보강공법 및 보강구간 선정의 기초자료 제시

4. 석회 공동구간 3D TSP탐사 적용

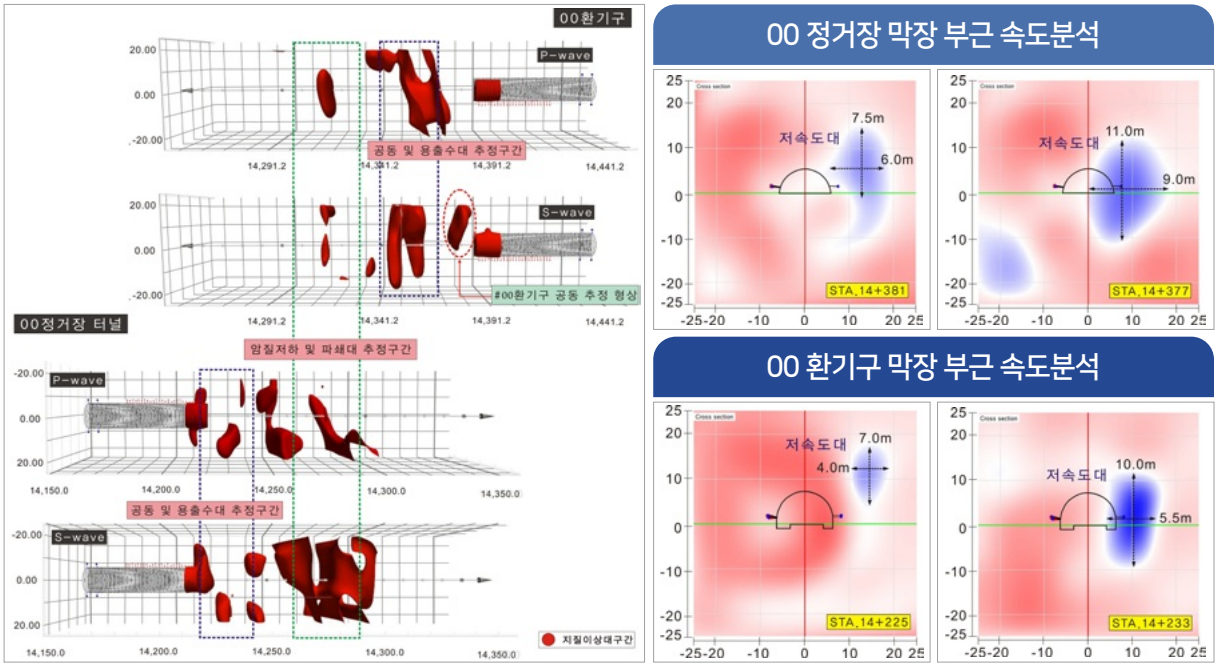
현장개요

- 00복선전철 0공구는 터널 양방향에서 동시에 굴착 진행중인 현장
- 터널 관통까지 약 170m 남겨둔 지점에서 석회공동 출현과 다량의 지하수 유출 및 토석류로 인해 굴착작업이 중단됨
- 양방향 막장에서 3D TSP탐사를 중첩 수행하여 석회 공동의 분포 및 규모, 용출수대 범위를 예측 분석



▲<3D TSP탐사 구간 및 막장 현황>

분석결과



- 시·종점 막장 전방의 파쇄대 및 지하수 유출구간 분석
- 막장 부근 공동 추정구간의 분포 범위를 분석하여 보강방안의 기초자료 제시
- 터널 통과구간 상, 하, 좌, 우 속도분석 결과를 이용하여 설계변경 기초자료로 활용

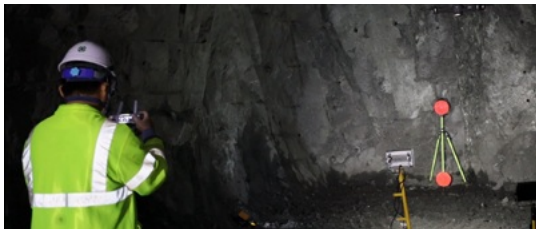
5. Side TSP탐사 적용

현장개요

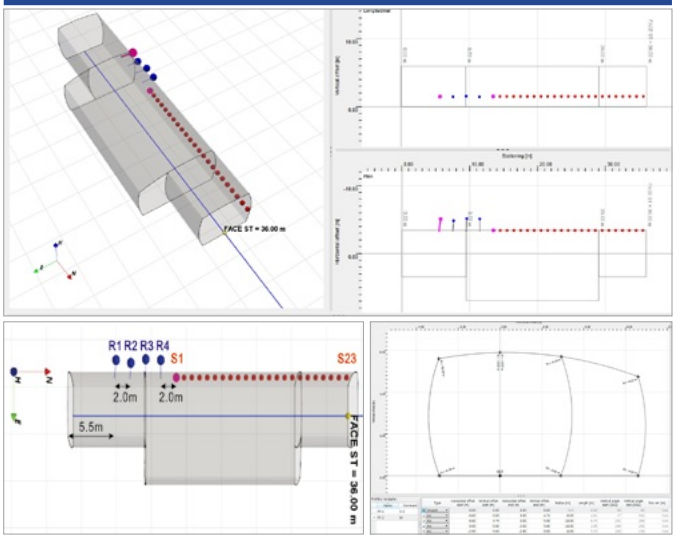
- 기존 터널 확폭 설계, 시공시 라이닝 배면의 지질 특성을 파악하기 위한 Side TSP탐사법 적용 검토
- 테스트베드 내에서 실제 확폭터널을 고려한 최적의 자료획득 변수 도출 및 암반의 물리적 특성 분석
- 확폭터널 구간의 불연속면 분포 특성 분석 및 3D face mapping 결과와 비교·분석

Side TSP탐사

3D Face mapping

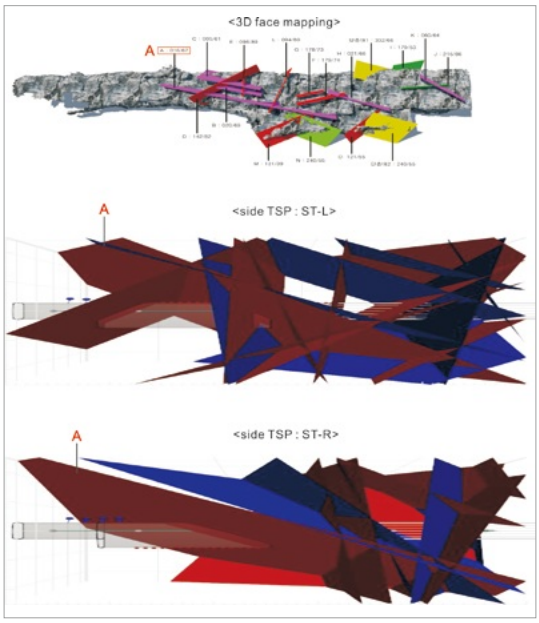


확폭터널 모델 작성

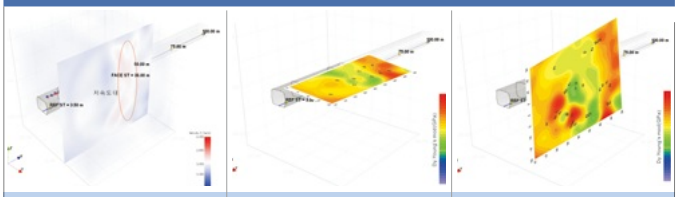


▲<현장조사 현황>

분석결과

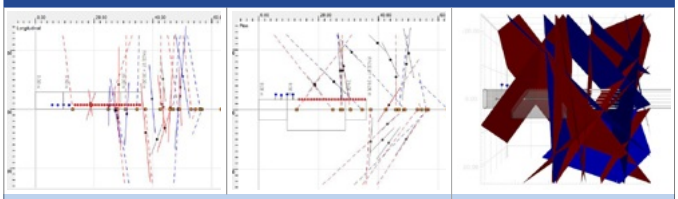


암반 물리적 특성 분석



저속도 구간 분석 | 천단부 물성 분석 | 측벽부 물성 분석

불연속면 분포 특성 분석



불연속면 종단 및 평면 분석 | 3차원 분포 분석

▶ 자료획득 변수 선정 및 확폭터널 라이닝 배면과 천단부의 암반 특성 분석

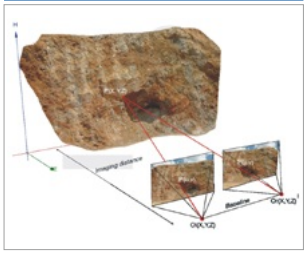
▶ 불연속면 분포 특성 분석 및 3D face mapping 결과와 비교 검증

디지털 터널 막장 관찰

개요

- 막장면 관찰은 주로 육안관찰로 수행, 관찰자의 주관적인 영향이 크고 지반상태에 대한 정량적인 평가에 한계
- 표준화된 막장면 관찰과 지반상태의 3차원적 표현, 미 굴착 구간의 지반상태 예측을 위하여 영상촬영 기법을 이용한 디지털 영상 분석기술이 최근 개발되어 적용

입체 사진 촬영 모식도

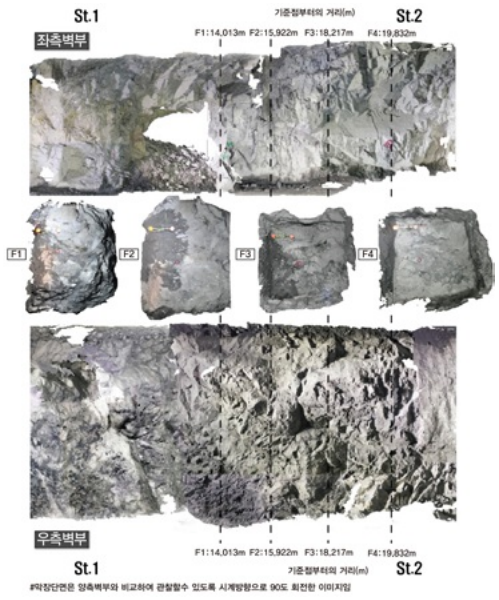


입체 사진 촬영 방법

조명 조도(200~400lux)

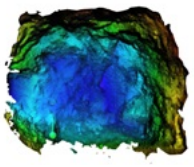
절리면 분석 결과

구간별 터널 전개도

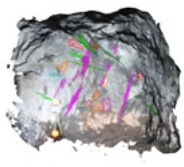


3D 이미지(막장면)

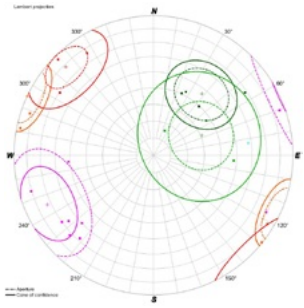
음영기복도



절리면 분석



평사투영(stereo net)

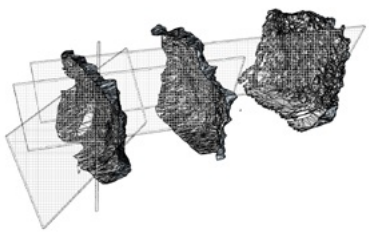


분석 결과

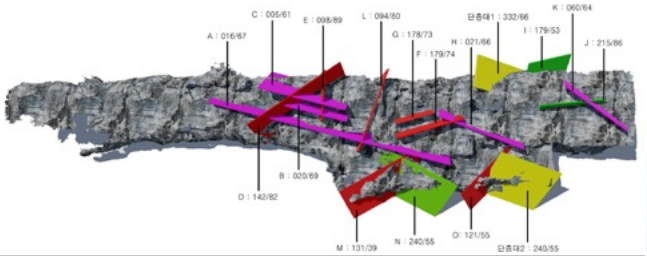
구분	J1	J2	J3
dip direction(°)	218	248	65.1
dip angle(°)	47	31	72.7
spherical aperture(°)	15.4	19.5	26.8
concentration parameter	21.2	11.9	8.7
cone of confidence(°)	20.4	37.3	18.5

3D 절리분포도

중합단면 작성



3차원 절리분포도 분석



Geo Mecca Engineering
토질 · 지질 분야의 최신기술 선도기업

경기도 용인시 수지구 신수로 767, 분당수지 U-TOWER 지식산업센터 612호
TEL 031.898.2400 | FAX 031.898.2492 | E-mail ihsgeo@naver.com
www.gmeng.co.kr