비매품/무료
93530
9 791187 770145
ISBN 979-11-87770-14-5

보안 과제( ), 일반 과제(v) / 공개(v), 비공개( )
건설기술연구사업 제3차 연도 최종보고서

발간등록번호
11-1613000-001952-01

Land, Infrastructure and Transport R&D Report

R&D /
15SCIP-C069312-03

터널시공 중 디지털 맵핑을 통한 온라인 암판정 기술 및 운영모델 개발 최종보고서(부록)

2017. 10. 18.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

공동연구기관 / 충북대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

〈 목 차 〉

부록 1 온라인 암판정 통합운영시스템 사용자 매뉴얼 ····· A-1

부록 2 모바일 장비를 위한 화상회의 어플리케이션 사용자 매뉴얼 ····· B-1

부록 3 터널시공현장 실시간 영상전송 및 음성 공유시스템 사용설명서 ····· C-1

부록 4 통합 3D 터널분석 시스템 사용자 매뉴얼 ····· D-1

부록 5 위험지반 지반정수 DB 적용 매뉴얼 ····· E-1

부록 6 위험지반 암판정 매뉴얼 ····· F-1

부록 7 위험지반 최적지보산정 매뉴얼 ····· G-1

부록 8 온라인 암판정 센터 운영 매뉴얼(안) ····· H-1

부록 9 온라인 암판정 지침(안) ····· I-1

부록 10 디지털 페이스 맵핑 시스템 사용자 매뉴얼 ····· J-1

온라인 암판정 통합운영시스템 사용자 매뉴얼

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport
KAIA 국토교통 과학기술진흥원
KICT 한국건설기술연구원

목 차

제1장 온라인 암판정 통합운영시스템 ---- A-1

1.1 시스템 개요 ---- A-1

1.2 기능 정의 ---- A-2

1.3 프로세스 흐름도 ---- A-3

(1) 터널시공현황 정보 프로세스 흐름도 ---- A-3

(2) 암판정사례 정보 조회 프로세스 흐름도 ---- A-3

(3) 붕괴사례 정보 조회 프로세스 흐름도 ---- A-4

(4) 지반물성조사 정보 조회 프로세스 흐름도 ---- A-4

(5) 암판정회의 정보 조회 프로세스 흐름도 ---- A-5

(6) 공지사항 조회 프로세스 흐름도 ---- A-5

(7) 자료실 조회 프로세스 흐름도 ---- A-6

(8) 자유게시판 프로세스 흐름도 ---- A-6

(9) 회원관리 프로세스 흐름도 ---- A-7

(10) 암판정요청 프로세스 흐름도 ---- A-7

(11) 사업관리 프로세스 흐름도 ---- A-8

(12) 공구관리 프로세스 흐름도 ---- A-8

제2장 시스템 사용 프로세스에 따른 각 기능의 사용법 ---- A-9

2.1 이용자의 활용에 따른 관련자료 ---- A-9

(1) 시스템 메인 화면 ---- A-10

(2) 시스템 이용을 위한 트리 및 현장 상세 정보 ---- A-11

(3) “통합 3D 터널분석시스템” Web 버전 ---- A-12

(4) 시공사례 검색 및 조회 ---- A-13

2.2 온라인 암판정 소집 및 암판정 참여 ---- A-16

(1) 암판정 소집 ---- A-16

(2) 암판정 참여 ---- A-17

제1장 온라인 암판정 통합운영시스템

1.1 시스템 개요

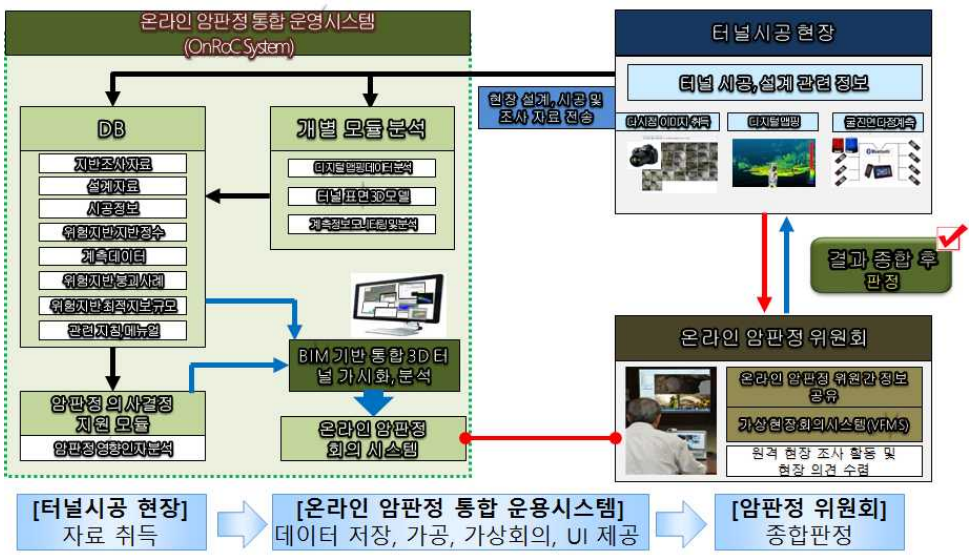
○ 터널은 구조물의 특성 상 시공 전 지반조사에 한계가 있으므로 정확한 지질 및 지반특성을 파악하는데 어려움이 있으며 지반조건에 대한 불확실성은 시공 중 붕괴사고 및 공사비와 밀접한 관련이 있다.

○ 설계조건과 상이한 지반조건이 나타날 경우에는 신속한 피드백 및 적극적 대응을 통해 시공 중 발생 가능한 리스크(Risk)를 최소화 할 필요가 있다.

○ 따라서 시공 중에 노출되는 굴진면(막장)의 관찰 조사 및 평가, 터널 암판정을 통한 의사결정(적정 굴착공법, 최적 보강방법 선정) 및 신속한 대처는 매우 중요한 절차이지만 현행 프로세스에서는 즉각적인 암판정 및 의사결정에 어려움이 있다.

○ 본 시스템은 시스템 구성을 위한 주요 핵심기술(디지털 맵핑 고도화와 암판정 의사결정 기술, 지반정보를 활용한 통합 3D 터널 분석 기술, 위험지반 암 판정과 지보규모 산정 기술, 계측 데이터를 활용한 안정성 모니터링 기술)을 통합하여 구축된 것으로 신속하고 객관적인 암판정이 가능하도록 패키지화된 시스템이다.

○ 시스템 개발을 위해 필요한 다양한 요구조건을 고려하여 건설(터널)–IT 융합기술과 선진화된 위험도 관리 기술이 접목된 시스템을 구축하였으며 본 매뉴얼에서는 시스템 사용자를 위한 자세한 사용 방법을 설명하고자 한다.



[그림 1.1] 온라인 암판정 통합운영시스템 개요도

1.2 기능 정의

○ 온라인암판정 통합운영시스템은 시스템소개, 터널시공현황, 시공사례, 커뮤니티, 관리자 등의 기능으로 구분되어 있으며, 각 기능들의 세부적인 사항은 아래의 표와 같이 정의된다.

[표 1.1] 온라인 암판정 통합운영시스템(Web) 기능 정의

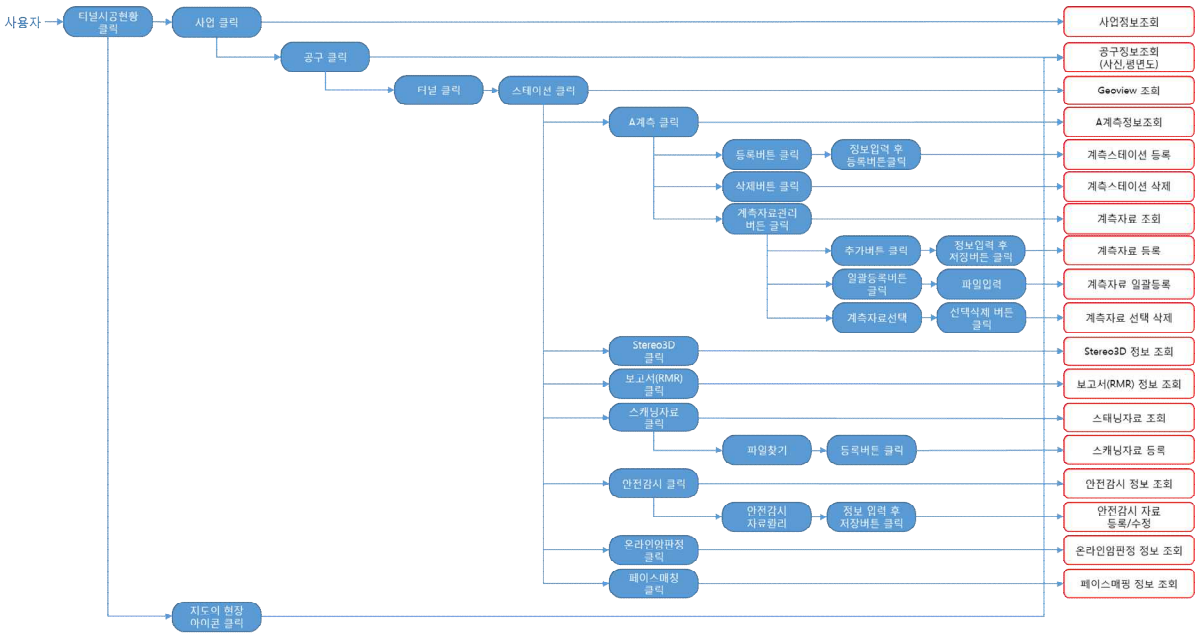
기능정의서	온라인암판정 통합운영시스템(Web)		
번호	기능	세부기능	서비스 내용
1	시스템소개	센터소개	
2		시스템소개	
3		의사결정지침	
4		찾아오시는길	
5	터널시공현황	사업정보조회	사업정보 조회
6		공구정보조회	공구정보 조회
7		터널정보조회	터널정보 조회
8		A계측	A계측 스테이션 조회/입력/삭제 A계측 자료 조회/입력/수정/삭제/일괄입력
9		페이스매핑	페이스매핑 자료 조회
10		보고서(RMR)	보고서 pdf 파일 조회
11		굴진면안전감시	굴진면안전감시 조회/입력/수정/삭제
12		스캐닝자료	스캐닝데이터조회
13		굴진면이미지3D모델	
14		온라인 암판정	온라인암판정 결과 조회
15	시공사례	암판정사례	암판정사례 목록/조회
16		붕괴사례	붕괴사례 목록/조회/입력/수정/삭제
17		지반물성조사	지반물성조사 목록/조회/입력/수정/삭제
18	커뮤니티	암판정회의	암판정회의 일정 목록/조회/입력/수정/삭제
19		공지사항	공지사항 목록/조회/입력/수정/삭제
20		자료실	자료실 목록/조회/입력/수정/삭제
21		자유게시판	자유게시판 목록/조회/입력/수정/삭제
22	관리자	회원관리	회원정보 목록/조회/입력/수정/삭제
23		암판정요청	암판정요청 내역 목록/조회/입력/수정/삭제
24		사업관리	사업정보 목록/조회/입력/수정/삭제
25		공구관리	공구정보 목록/조회/입력/수정/삭제

1.3 프로세스 흐름도

○ 온라인 암판정 통합운영시스템의 정의된 기능을 구현하기 위한 기능별 프로세스 흐름도는 각 기능별로 다음과 같이 정의되어 있다.

(1) 터널시공현황 정보 프로세스 흐름도

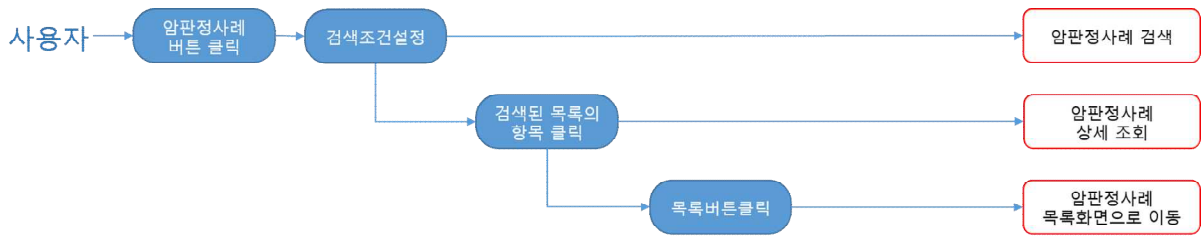
터널시공현황에 대한 전반적인 정보(사업, 공구, 터널, 스테이션등)를 조회한다.



[그림 1.2] 터널시공현황 정보 프로세스 흐름도

(2) 암판정사례 정보 조회 프로세스 흐름도

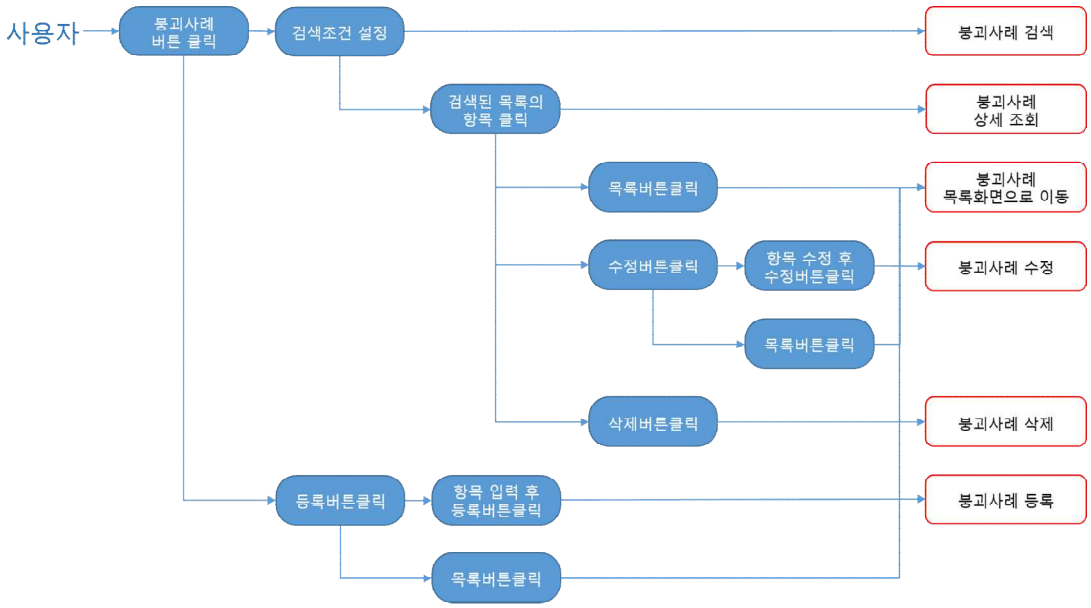
○ 암판정사례 조회기능은 검색조건을 설정하여 암판정사례를 검색하거나 상세내용을 조회한다.



[그림 1.3] 암판정사례 정보 조회 프로세스 흐름도

(3) 붕괴사례 정보 조회 프로세스 흐름도

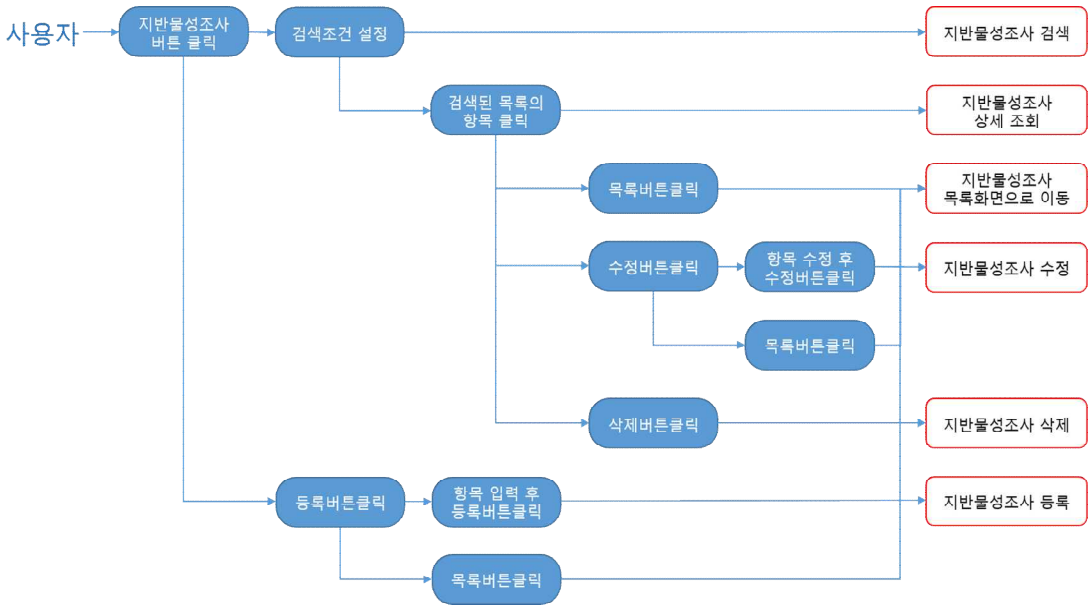
○ 붕괴사례 조회 기능은 검색조건을 설정하여 붕괴사례를 검색하거나 새로운 붕괴사례 정보를 입력하거나 수정, 삭제 한다.



[그림 1.4] 붕괴사례 정보 조회 프로세스 흐름도

(4) 지반물성조사 정보 조회 프로세스 흐름도

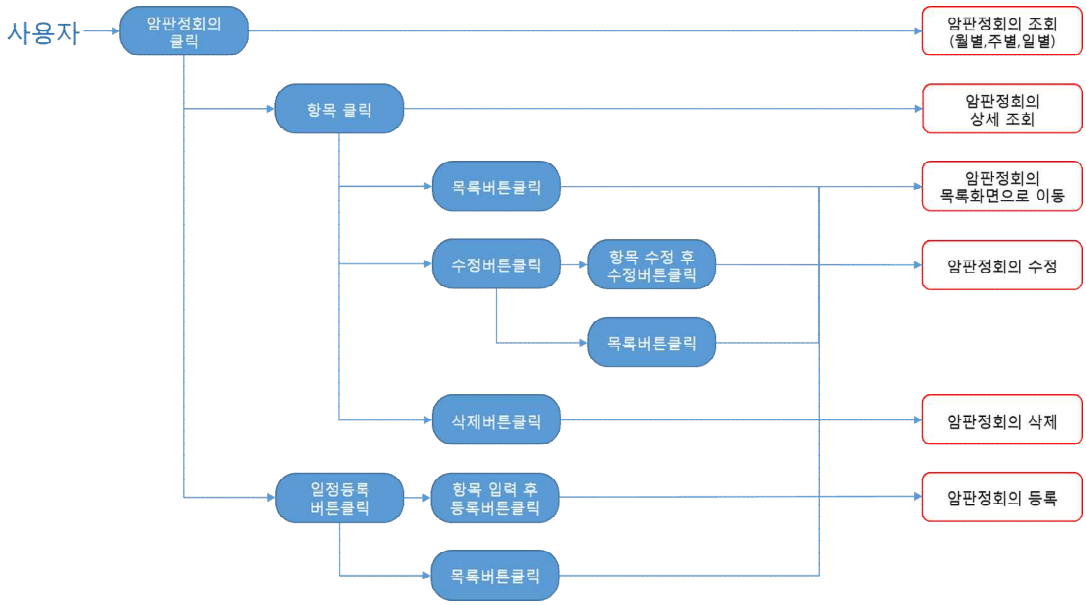
○ 지반물성조사 정보 조회 기능은 검색조건을 설정하여 지반물성조사 정보를 검색하거나 새로운 붕괴사례 정보를 입력하거나 수정, 삭제 한다.



[그림 1.5] 지반물성조사 정보 조회 프로세스 흐름도

(5) 암판정회의 정보 조회 프로세스 흐름도

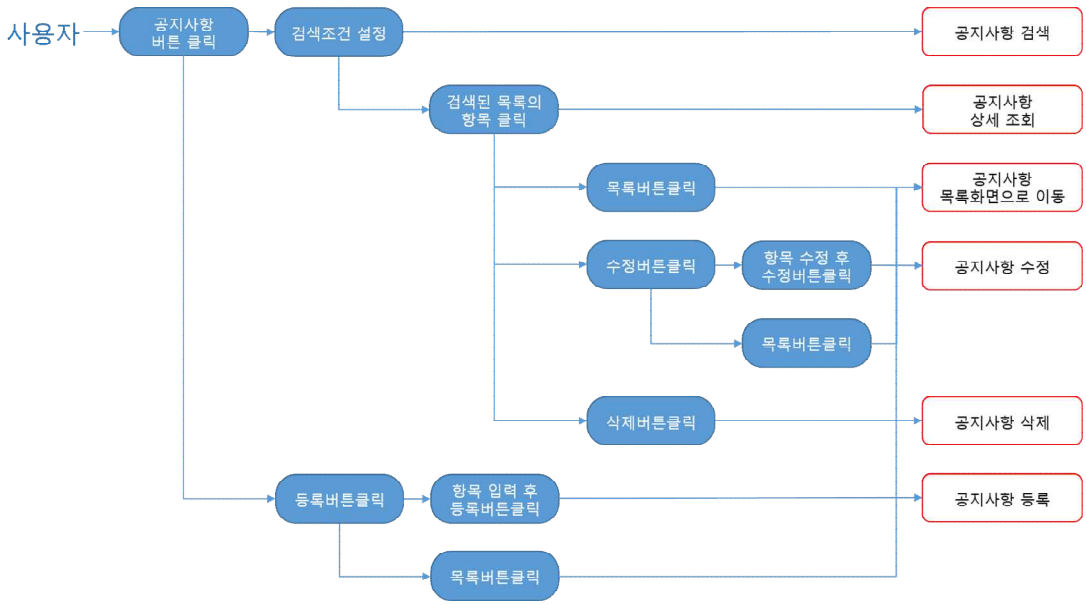
○ 암판정회의 정보 조회 기능은 월별, 주별, 일별 일정을 조회하거나 새로운 암판정 회의일정을 등록하거나 수정, 삭제 한다.



[그림 1.6] 암판정 회의 정보 조회 프로세스 흐름도

(6) 공지사항 조회 프로세스 흐름도

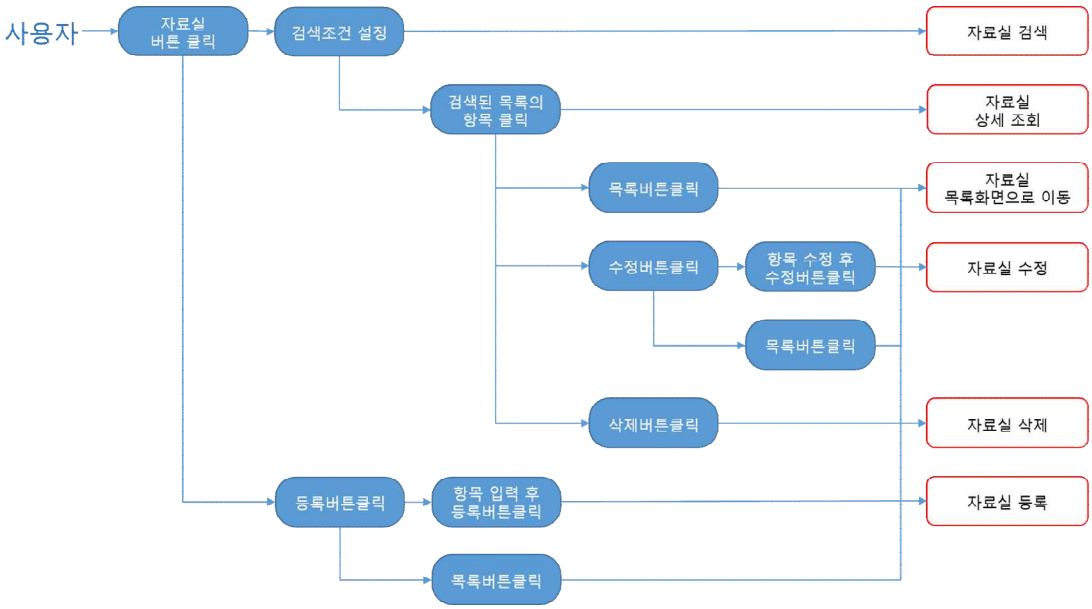
○ 공지사항 조회 기능은 검색조건을 설정하여 공지사항 정보를 검색하거나 새로운 공지사항 정보를 입력하거나 수정, 삭제 한다.



[그림 1.7] 공지사항 조회 프로세스 흐름도

(7) 자료실 조회 프로세스 흐름도

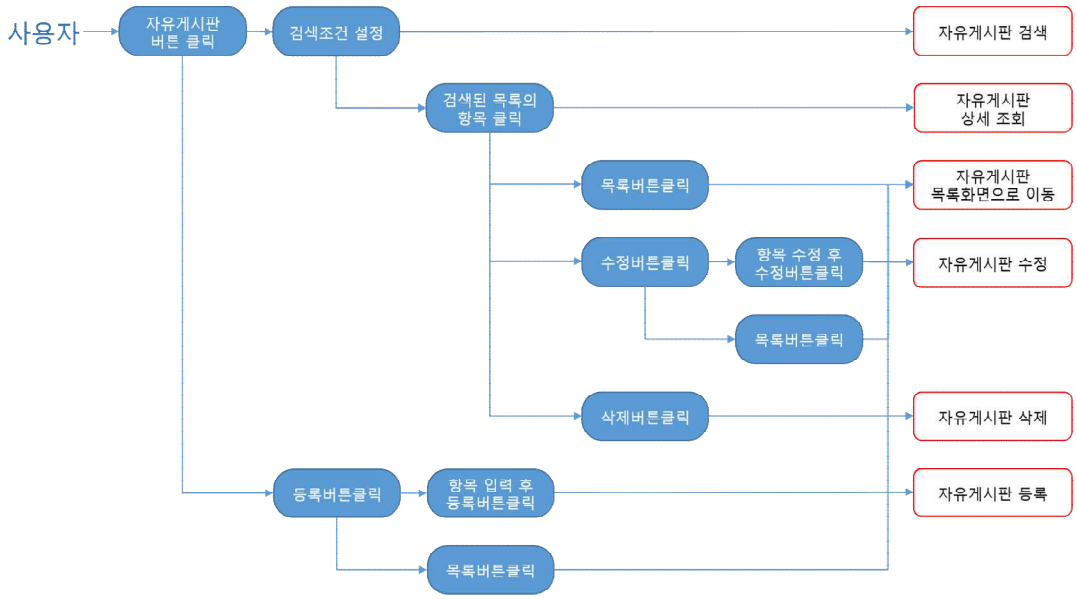
○ 자료실 조회 기능은 검색조건을 설정하여 자료실 정보를 검색하거나 새로운 자료실 정보를 입력하거나 수정, 삭제 한다.



[그림 1.8] 자료실 조회 프로세스 흐름도

(8) 자유게시판 프로세스 흐름도

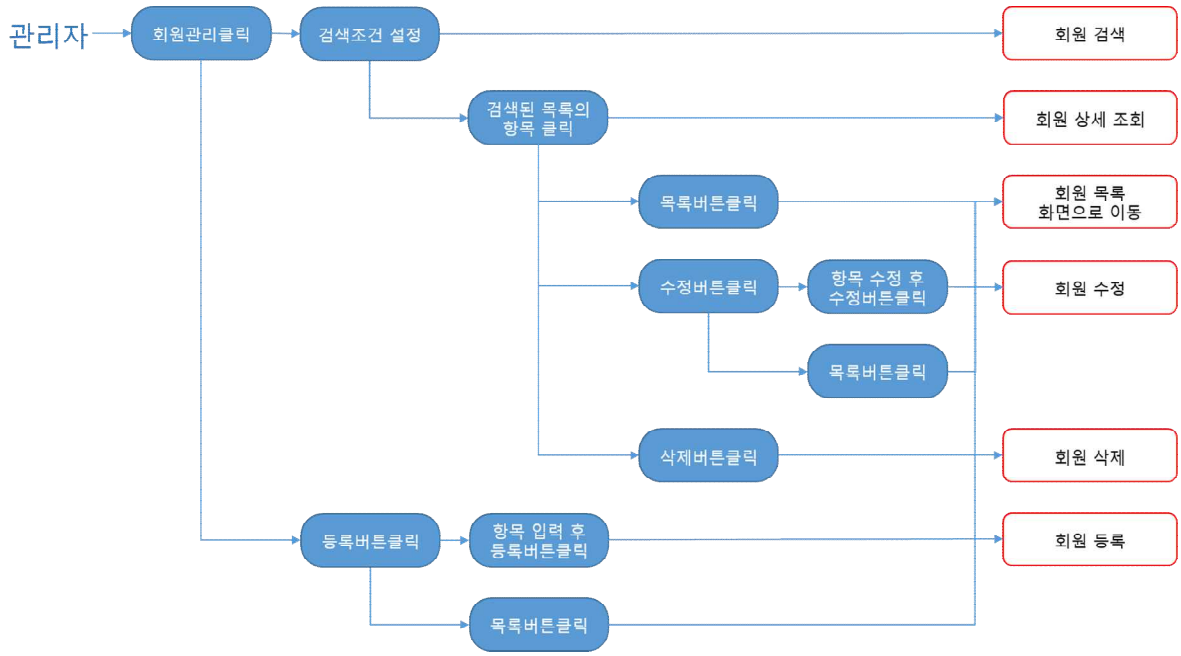
○ 자유게시판 조회 기능은 검색조건을 설정하여 자유게시판 정보를 검색하거나 새로운 자유게시판 정보를 입력하거나 수정, 삭제 한다.



[그림 1.9] 자유게시판 프로세스 흐름도

(9) 회원관리 프로세스 흐름도

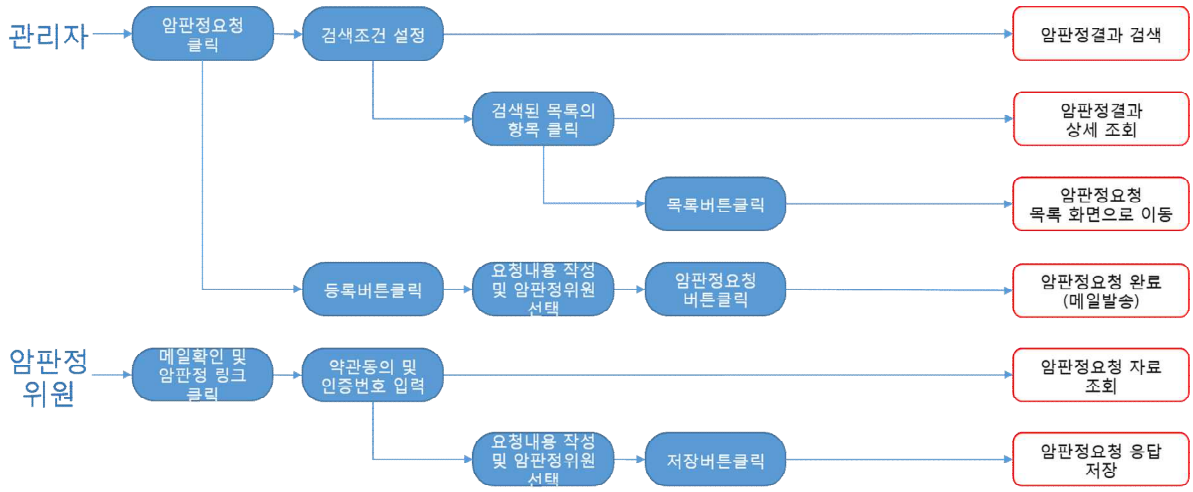
○ 회원관리 기능은 검색조건을 설정하여 회원 정보를 검색하거나 새로운 회원 정보를 입력하거나 수정, 삭제 한다.



[그림 1.10] 회원관리 프로세스 흐름도

(10) 암판정요청 프로세스 흐름도

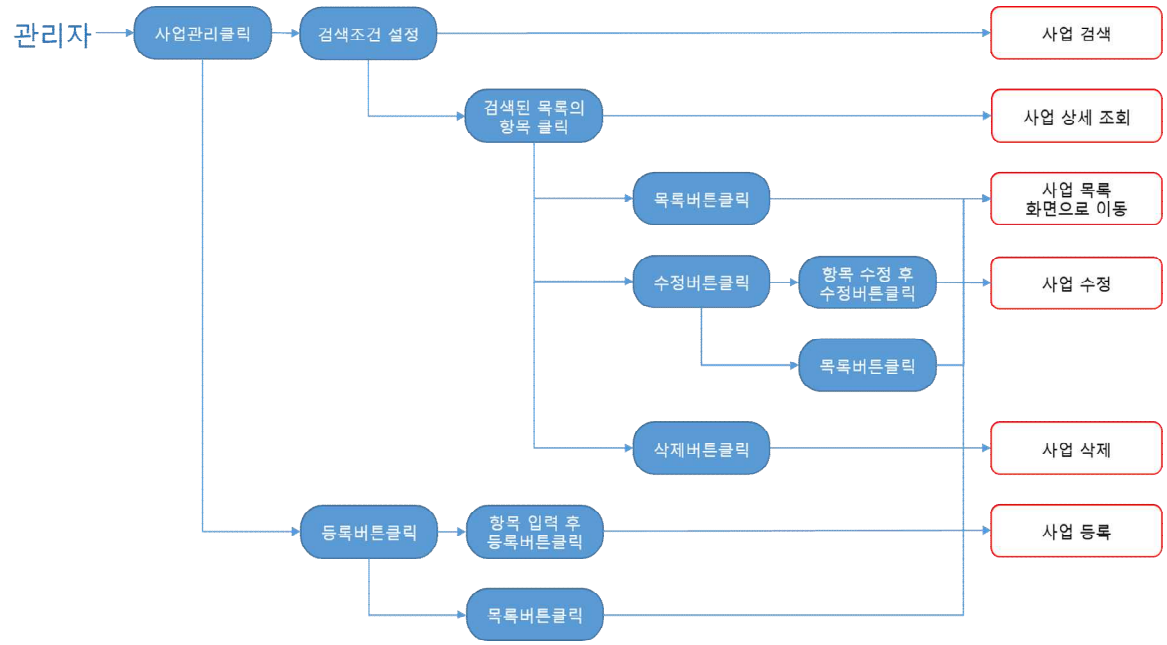
○ 회원관리 기능은 검색조건을 설정하여 회원 정보를 검색하거나 새로운 회원 정보를 입력하거나 수정, 삭제 한다.



[그림 1.11] 암판정요청 프로세스 흐름도

(11) 사업관리 프로세스 흐름도

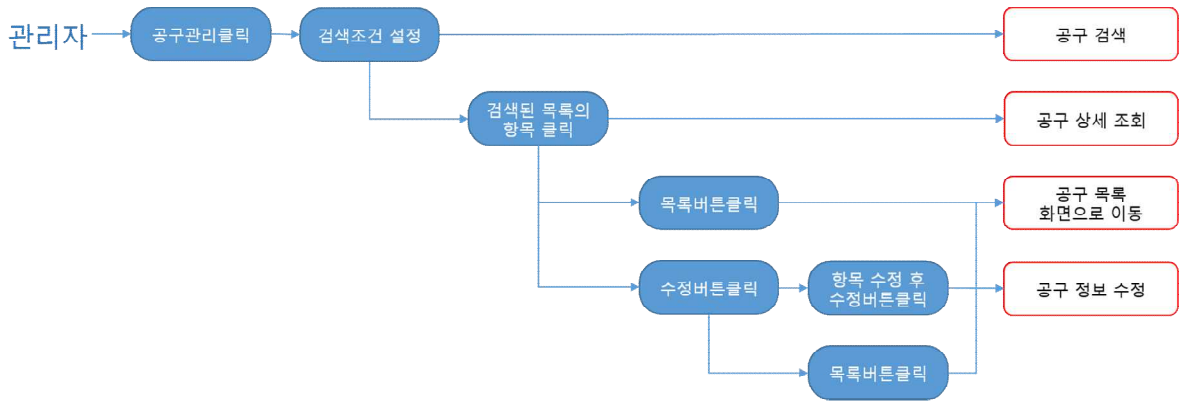
○ 사업관리 기능은 검색조건을 설정하여 사업 정보를 검색하거나 새로운 사업 정보를 입력하거나 수정, 삭제 한다.



[그림 1.12] 사업관리 프로세스 흐름도

(12) 공구관리 프로세스 흐름도

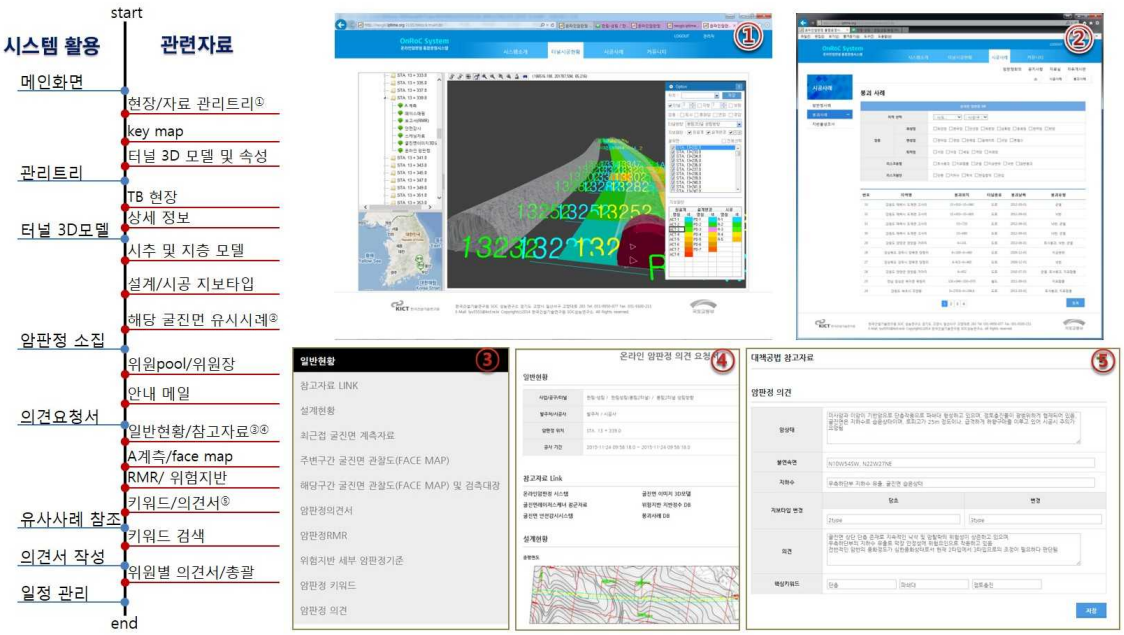
○ 공구관리 기능은 검색조건을 설정하여 공구 정보를 검색하거나 공구의 사진 정보를 수정한다.



[그림 1.13] 공구관리 프로세스 흐름도

제2장 시스템 사용 프로세스에 따른 각 기능의 사용법

2.1 이용자의 활용에 따른 관련자료



[그림 2.1] 사용자의 이용 흐름에 따른 관련 기능 및 자료

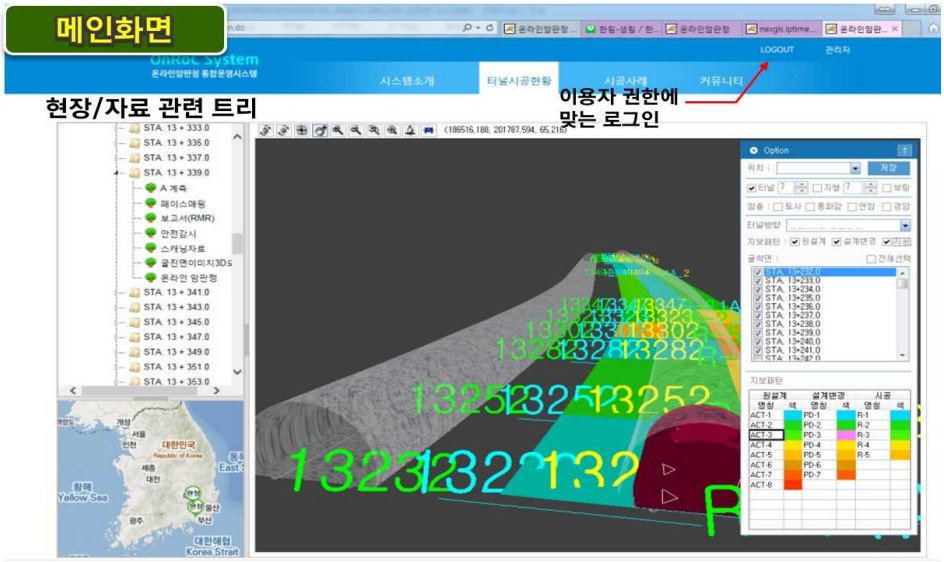
○ 온라인 암판정 통합운영시스템 이용자는 시스템 사용을 위해서 시스템 DB의 관련 자료를 검토하는 형태로 시스템을 이용하게 되므로 활용 프로세스에 따라서 각 기능의 사용법을 정리할 수 있다.

○ [그림 2.1]의 좌측에는 온라인 암판정을 수행하는 프로세스에 따라서 시스템 내 이용 가능한 또는 이용해야 하는 기능 및 정보를 나타냈다.

○ 온라인 암판정을 이용한 암판정을 수행할 경우에는 주로 [그림 2.1] 좌측 “시스템 활용”에 따라서 필요한 정보 확인 후 암판정 수행을 실시하게 된다.

○ 시스템에 구축되는 각 관련 자료는 터널 설계 또는 시공 중 수집되는 자료 및 암판정을 위해서 필요한 막장관찰도(디지털), 자료 획득 시 추가적으로 구축되는 DB 자료 등이며 각 자료의 취득, 시스템 등록, 관리 방법은 보고서 본 “부록”의 매뉴얼 또는 지침 편을 참고 할 수 있다.

(1) 시스템 메인 화면



[그림 2.2] 온라인 암판정 통합운영시스템 메인화면

○ 시스템의 메인 화면은 [그림 2.2]와 같다. 화면 좌측에서는 현장의 선택, 각 현장에서의 스테이션 선택, 스테이션별 관련자료 조회의 기능을 사용할 수 있다.

○ 시스템은 화면 상단 오른쪽 LOGIN / LOGOUT 버튼을 이용하여 접속하거나 접속을 종료할 수 있으며 LOGIN을 위한 각 아이디에는 관리 권한을 다르게 부여하여 관리자, 암판정 위원, 현장 관리자(현장 시공사, 감리사 등)가 접속 할 때 사용 목적에 맞는 정보 표출이 가능하도록 구성하였다.

○ 예를 들어, 시공사 직원이 시공사의 관리 권한이 부여된 ID를 이용하여 LOGIN을 하게 된다면, 이용자가 담당하는 해당 현장의 목록만 리스트에서 확인이 가능하고 리스트에 있는 현장으로만 접속이 가능하다.

○ 메인화면의 좌측 하단에는 대한민국 지도를 표출하고 시스템 등록되어 있는 현장들이 지도상에 표시되도록 구성하였다.

(2) 시스템 이용을 위한 트리 및 현장 상세 정보



[그림 2.3] 온라인 암판정 통합운영시스템 관련 트리



[그림 2.4] 현장 상세 정보 조회

○ 시스템 화면 좌측에서는 현장의 선택, 각 현장에서의 스테이션 선택, 스테이션별 관련자료 조회의 기능을 사용할 수 있다. 트리에 나타나는 현장 목록은 시스템에 LOGIN하는 이용자의 관리 권한에 따라서 리스트가 다르게 나타날 수 있음을 참고해야 한다.

○ 시스템 중앙 “터널시공현황” 탭에서는 해당 현장의 공구명, 발주처, 사진, 평면도 도면 등을 조회할 수 있도록 구성하여 암판정 자료의 검토 전 현장에 대한 개요 및 이해를 돕도록 시스템이 구성되어 있다.

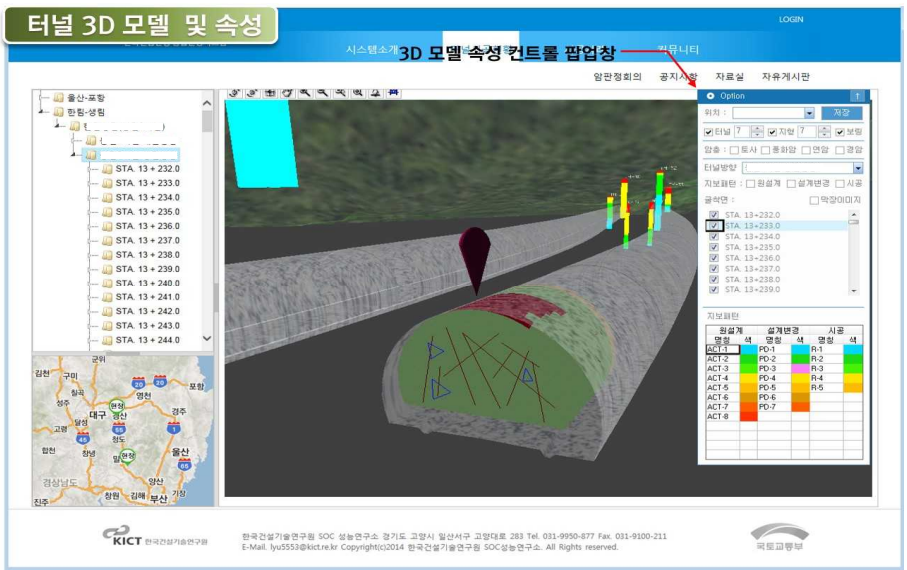
(3) “통합 3D 터널분석시스템” Web 버전



[그림 2.5] 현장 상세 정보 조회

○ 메인화면 좌측의 트리에서 해당 공구–대상 터널–Station No. 순으로 따라가게 되면 시스템 중앙에서는 “통합 3D 터널분석시스템” Web 버전이 연동되어 나타난다.

○ 시스템 화면 중앙에 해당 현장의 지형모델 및 지층정보, 터널구조물 모델 등이 나타나며 시스템 내 나타나는 모든 객체는 사용자의 필요에 따라서 On/Off 할 수 있다.



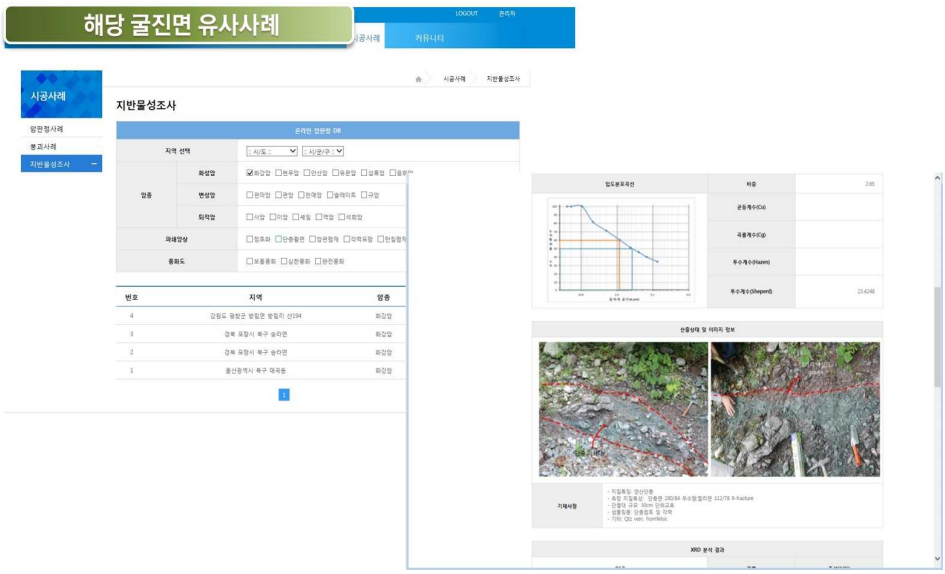
[그림 2.6] 3D 모델 속성 컨트롤 팝업창



[그림 2.7] 3D 모델 상 설계/시공 중 지보패턴 가시화

○ “통합 3D 터널분석시스템” Web 버전은 다양한 정보를 터널모델과 연계하여 표출할 수 있으며 해당 기능에 대한 자세한 사용방법은 본 부록에 같이 포함된 “통합 3D 터널분석 시스템 사용자 매뉴얼”을 통해서 확인이 가능하다.

(4) 시공사례 검색 및 조회

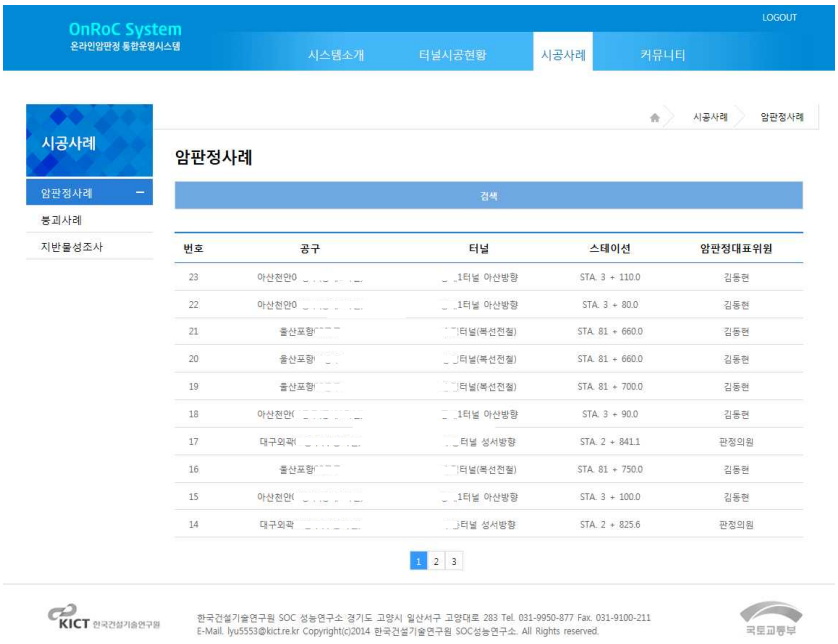


[그림 2.8] 위험지반 지반정수 DB 조회를 통한 유사사례 참조 예

○ 본 시스템 구축의 목적은 온라인 시스템 상에서 원활한 암판정이 진행될 수 있는 플랫폼을 제공하는 것이다. 암판정 수행 중 위험지반 지반정수에 대한 공학적 특성 검토 및 산

정, 유사한 붕괴사례 검토 및 원인 파악, 유사한 지반조건에서의 암판정사례 등은 시스템에 구축된 시공사례 탭을 이용하여 검색이 가능하다.

○ 유사 사례 DB 검색은 DB를 구축할 때 입력된 주요 키워드 검색을 통해서 리스트업 된 자료를 선택하여 조회할 수 있다.



[그림 2.9] 암판정 사례 DB 목록



[그림 2.10] 붕괴사례 DB



[그림 2.11] 위험지반 지반정수 DB

○ 암판정 DB는 온라인 암판정 통합운영시스템을 이용하여 수행되는 모든 암판정 사례에 대해서 자동적으로 DB가 시스템 내에 구축된다.

○ “통합 3D 터널분석시스템” Web 버전에서 굴진면 맵핑도 검토 중 유사 사례의 검토가 필요할 경우에는 우클릭 목록에서 “유사사례 검색”을 선택하여 주요 키워드를 선택하면 유사한 조건에서의 암판정 사례 목록 확인이 가능하다.

○ 본 시스템에 구축된 위험지반 지반정수 DB는 실내 및 실외 실험에서 실증적으로 얻어진 지반정수 파라미터이다. 파쇄대, 단층대 등 위험지반 조건에서 지반정수를 검토하고 적용할 때 유용하게 사용할 수 있다.

○ 위험지반 지반정수 DB와 관련된 상세한 내용은 “위험지반 지반정수 DB 매뉴얼”을 이용하여 확인이 가능하다.

2.2 온라인 암판정 소집 및 암판정 참여

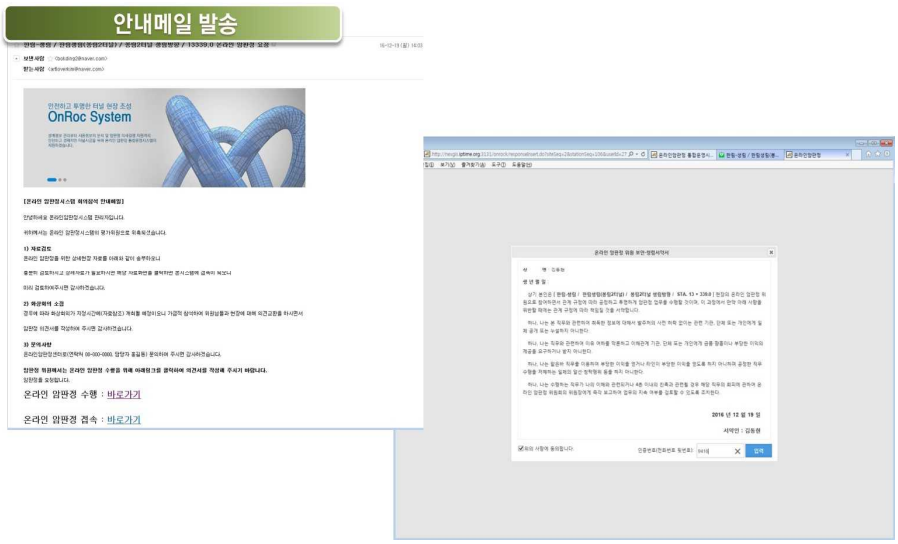
(1) 암판정 소집

○ 온라인 암판정 위원들을 통한 암판정 수행이 필요할 때에는 시스템 관리자가 “관리자–암판정요청” 화면에서 암판정 요청 내용에 대한 개요와 함께 리스트된 암판정 위원 중 체크하여 온라인 암판정 소집을 요청한다.

○ 소집요청 직후 시스템에서 선택된 암판정 위원에게 암판정 위원 참여를 요청하는 메일을 발송한다.



[그림 2.12] 암판정 요청 및 암판정 위원 선정 화면

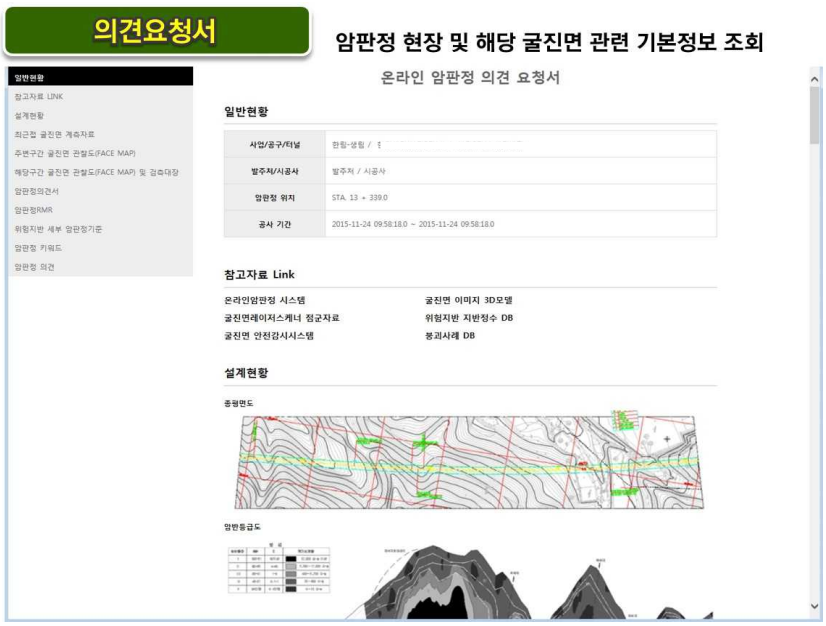


[그림 2.13] 암판정 요청 및 암판정 위원 선정 화면

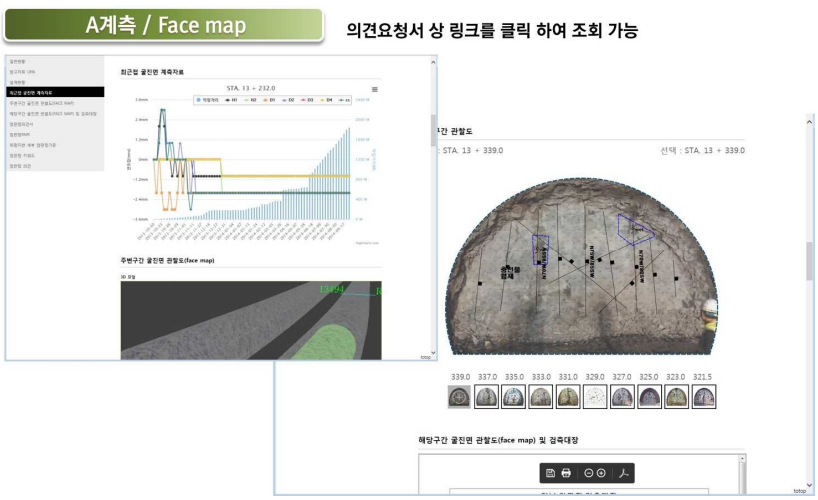
(2) 암판정 참여

○ 이메일을 이용하여 암판정 위원에게 전송되는 “암판정 의견요청서” 는 좌측에 위치한 링크 매뉴를 선택하여 암판정에 필요한 기본정보, 굴진면 정보, 유사사례 검토를 조회하고 암판정 의견서를 작성하는 기능을 제공한다.

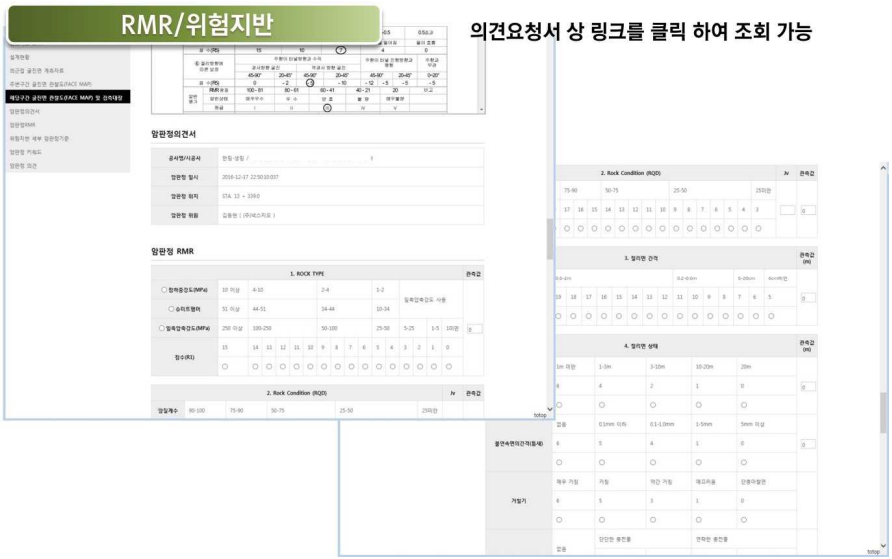
○ 다음의 [그림 2.14]는 온라인 암판정 의견요청서의 예이며 양식의 좌측 링크 뿐만 아니라 메인 화면에서 확인하고자 하는 정보를 클릭하는 경우에도 시스템 접속을 통해 관련 정보를 확인할 수 있는 기능을 제공한다.



[그림 2.14] 암판정 의견요청서



[그림 2.15] 암판정 의견 요청서 링크를 이용한 계측 및 디지털 맵핑자료 검토 예



[그림 2.16] 암판정 의견 요청서 링크를 이용한 RMR 평가서 열람 및 지반정수 DB 열람

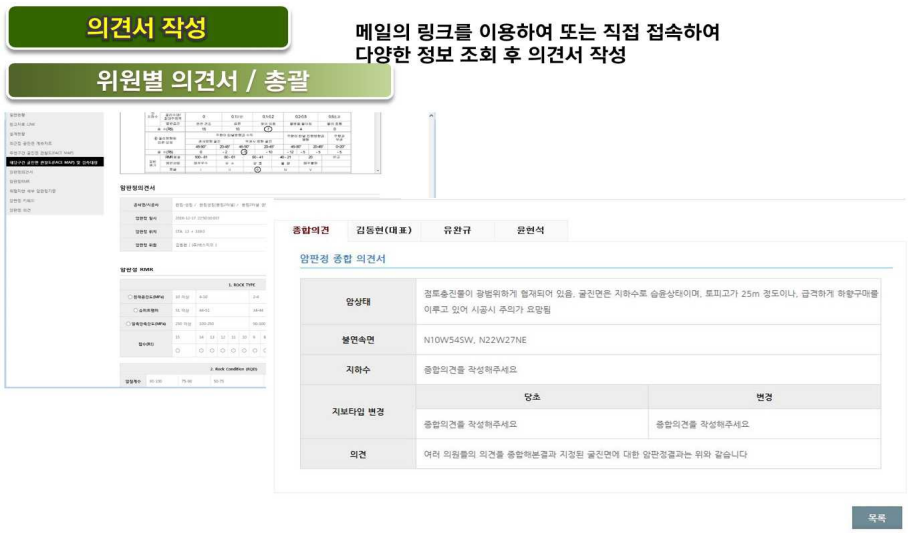
○ 온라인 암판정 위원은 시스템에 구축된 암판정 관련 정보의 열람 및 비교·검토, 암판정 요청 굴진면 맵핑자료 및 RMR 평가자료 등 다양한 자료의 검토를 통해 의견을 결정한다.

○ 암판정 위원이 의견서를 작성할 때에는 암판정 실시 굴진면의 주요 특징을 나타내는 키워드를 선택하고 암판정 의견 작성을 진행 할 수 있다. 의견서를 작성할 때 체크된 키워드와 함께 저장되는 암판정 결과는 시스템의 유사사례 DB로 구축되어 활용된다.



[그림 2.17] 암판정 의견서 작성 예

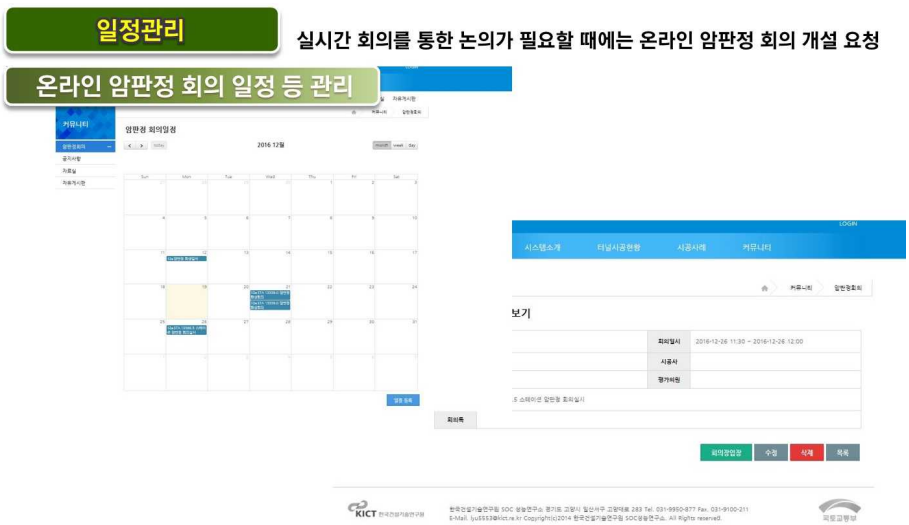
○ 위원별로 작성 후 저장된 의견서는 온라인 암판정 시스템에서 위원별 결과로 검색이 가능하며 해당 암판정 위원의 대표는 다른 위원들의 의견을 검토한 후 전반적인 판정결과가 유사하게 얻어졌다면 종합의견을 작성하여 의사결정을 마무리 한다.



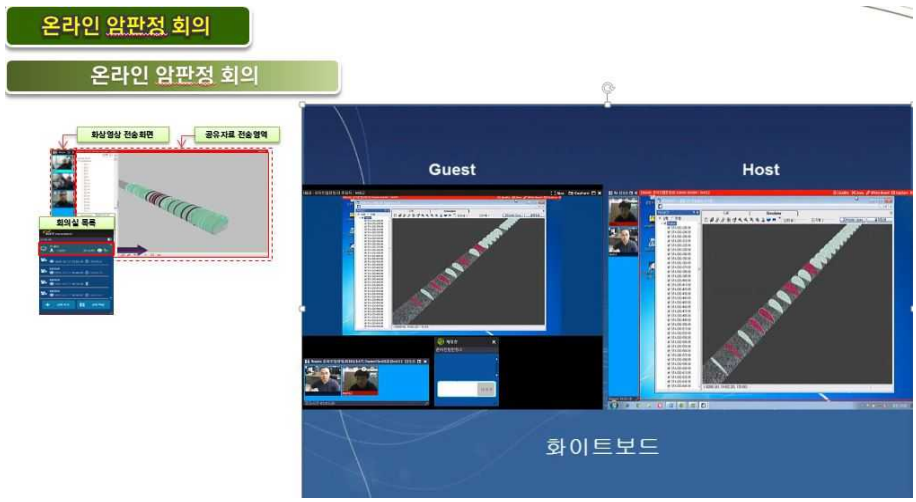
[그림 2.18] 암판정 위원 전체 결과 조회 및 종합의견 작성

○ 암판정 위원별로 판정결과가 매우 상이한 결과가 나온 굴진면 또는 시급성, 위험성 등이 높아 충분한 논의를 바탕으로 한 암판정 수행이 요구되는 굴진면에 대해서는 실시간 온라인 암판정 회의를 개최하여 암판정을 진행한다.

○ 온라인에서 암판정 회의 소집은 커뮤니티 탭의 암판정 회의일정 화면에서 해당 날짜에 일정을 등록한 후 온라인 암판정 회의장 개설 시 “회의장 입장” 버튼을 누르고 참여한다.



[그림 2.19] 온라인 암판정 회의 개설 및 회의 일정 확인 창



[그림 2.20] 온라인 암판정 회의 진행 예

○ 온라인에서 암판정 회의는 [그림 2.20]의 예와 같이 화면상에서 암판정 관련 정보를 공유, 검토할 수 있도록 하였다.

○ 필요한 경우에는 굴진면 내에 위치한 현장 기술자를 통한 굴진면 검토 수행 등의 과정을 진행할 수 있으며 위원들 간의 의견수렴을 통해 최종 판정결과를 시스템에 등록한다.

모바일 장비를 위한 화상회의 어플리케이션 사용자 매뉴얼

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport
KAIA 국토교통 과학기술진흥원
KICT 한국건설기술연구원

목 차

제1장 매뉴얼 개요 및 시스템 구성 ---- B-1

1.1 개요 ---- B-1

1.2 시스템 구성 ---- B-1

(1) 모바일 화상/음성 회의 ---- B-1

(2) 통합운영 시스템과의 사용자 DB 설정 연계 ---- B-1

(3) 통합운영 시스템상의 회의 스케줄과 연계 ---- B-2

(4) 화면정보 공유 설정 ---- B-2

제2장 모바일용 온라인 암판정 화상회의 어플리케이션 설치 및 실행 ---- B-3

2.1 어플리케이션 설치파일 다운로드 ---- B-3

2.2 어플리케이션 실행 ---- B-5

제3장 어플리케이션 환경설정 ---- B-7

3.1. 접속정보 설정 ---- B-7

3.2. 회의 생성 ---- B-9

3.3. 회의실 접속 ---- B-11

제4장 모바일용 온라인 암판정 화상회의 어플리케이션 기능 ---- B-13

4.1 회의실 접속화면 설정 ---- B-13

4.2 회의실 화상회의 기능 ---- B-17

4.3 자료화면 공유 ---- B-18

제1장 개요

1.1 개요

○본 사용자 매뉴얼은 온라인 암판정을 위한 화상회의가 개설되는 상황에서 데스크탑을 기준으로 회의가 진행됨과 동시에 일부 현장이나 불특정 장소에서 모바일 상으로 화상회의에 참석이 가능한 모바일 화상회의 어플리케이션에 대한 사용방법을 설명한다.

○ 사용자는 본 사용자 매뉴얼을 통해 모바일 화상회의 어플리케이션의 설치 방법 및 모바일 상에서 화상화의를 접근하여 어플리케이션을 사용하는 방법을 확인할 수 있다.

1.2 시스템 구성

○ 본 시스템은 모바일을 통해서 회의에 참석이 가능하도록 모바일 기기를 통한 영상과 음성 전송을 하기 위한 화상회의 어플리케이션이며 그에 따라 온라인 암판정 통합 운용 시스템의 사용자 정보와 연계되어 사용자 권한설정에 따른 회의실 참석이 가능하다.

(1) 모바일 화상/음성 회의

○ 화상회의 기본기능으로 기본적으로 모바일상에서 화상회의가 진행될 수 있도록 다자간 쌍방향 화상/음성 전달 시스템이 구축되어야 한다. 음성과 영상 송수신시 모바일의 경우 전후 카메라에 대한 선택적 설정이 가능해야 하며, 참석자 간의 영상이 개별로 송수신 되어야 한다. 제한적인 창의 크기로 인해 화면사이즈 설정에 따른 선택적 화면 확대가 가능하여야 하며, 사이즈 제한으로 인한 다수의 인원수에 대한 화면 수신의 경우 분할창으로 정렬되는 방식을 적용한다.

(2) 통합운영 시스템과의 사용자 DB 설정 연계

○ 온라인 암판정 통합 운영 시스템과의 사용자 등록 DB 설정 연계를 통해 접속정보를 공유하며, 회의 참석 요청 메일을 통해 회의 참석을 유도하게 되며, 로그인 정보에 따라 회의실 입장이 가능하도록 설정하게 된다. 사용자 계정은 화상회의 데스크탑 버전과 호환되며, 온라인 암판정 통합시스템 서버에서 확인과정을 거치고 일치할 경우 회의실입장이 가능하게 된다.

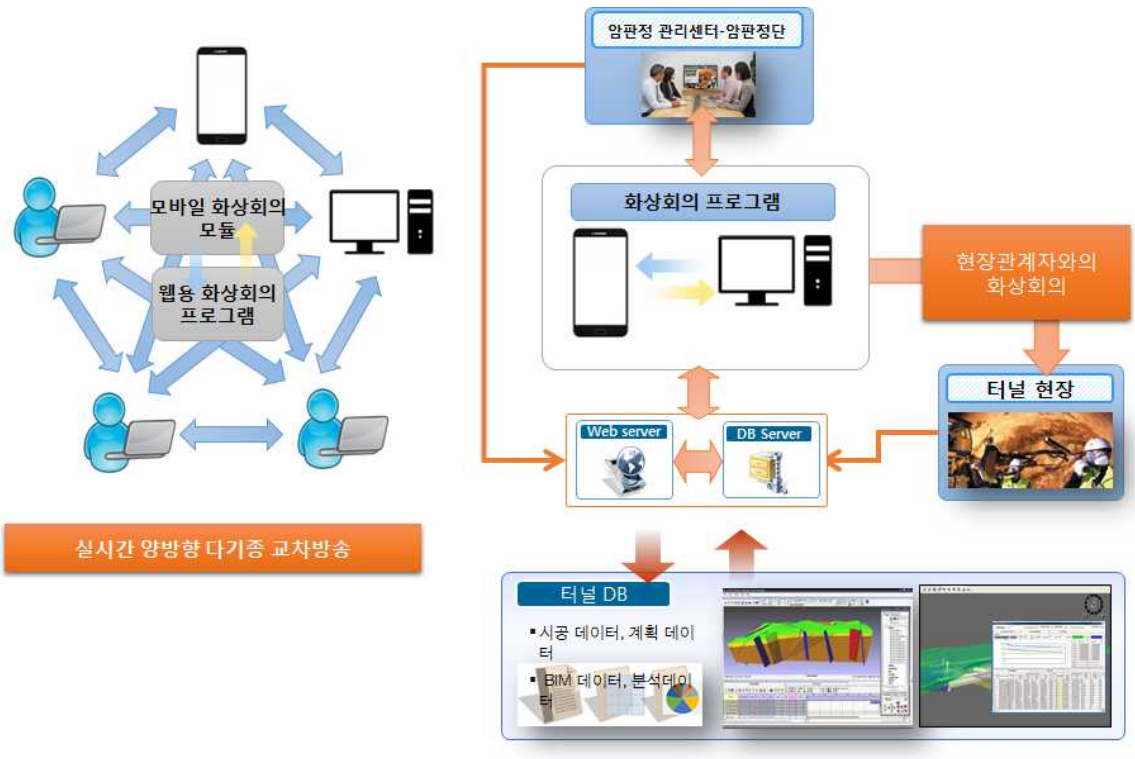
(3) 통합운영 시스템상의 회의 스케줄과 연계

○ 연계 되어있는 사용자 DB에 따라 온라인 암판정을 요청받은 암판정위원들의 아이디로 접근하게 되면 온라인 암판정 통합운영시스템에서 생성되어진 회의실에 입장하게 된다.

○ 입장하는 방법은 온라인 암판정 요청 메일상으로 온라인 암판정을 요청받은 암판정위원의 스마트폰(안드로이드기반)으로 설치가 가능한 설치파일이 전송되고 설치 후 접속시 사용자 DB를 통해 요청된 등록자에 대해서 회의실에 입장이 가능하도록 하게 된다.

(4) 화면정보 공유 설정

○ 온라인 암판정시 데스크탑용 화상회의 시스템과 모바일 화상회의 시스템의 참석자 간에 동일한 문서를 화면상에서 공유할 수 있도록 해야 하며, 화면공유시 화상기능을 설정하는 경우 한정된 화면상에서 호스트로 설정되는 화면의 경우 개별적으로 확인할 수 있는 화면 분할이 이루어져야 한다.

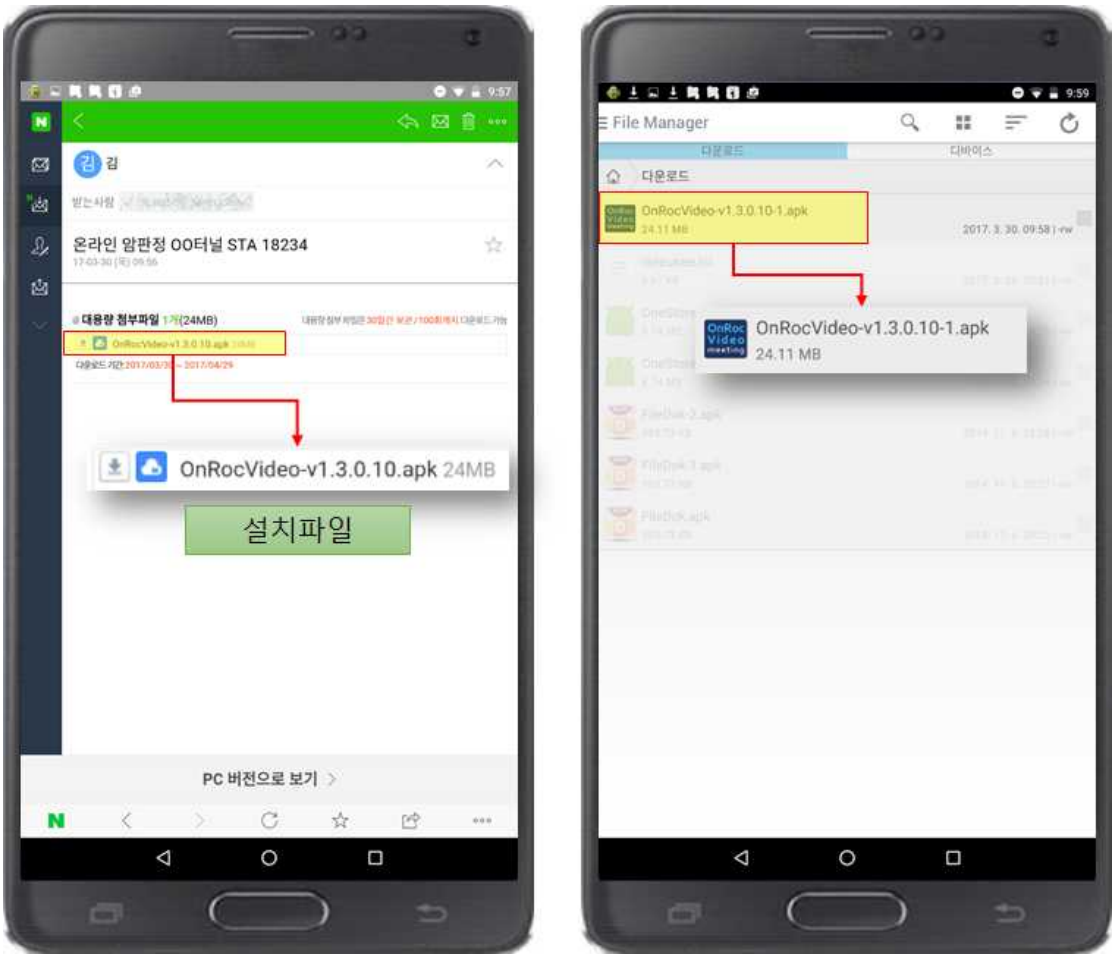


[모바일 장비를 위한 정보공유형 온라인 암판정 화상회의 모듈 정보공유 구성도]

제2장 모바일용 온라인 암판정 화상회의 어플리케이션 설치 및 실행

2.1 어플리케이션 설치파일 다운로드

○ 온라인 암판정 요청에 따른 각 암판정위원들에게 전달되는 암판정 요청 메일에 안드로이드기반으로 개발된 어플리케이션 설치 파일을 첨부하여 전달하게 된다. 전달된 어플리케이션을 다운받게 되면 스마트폰의 파일관리 어플리케이션으로 OnRocVideo(현재 버전 1.3.0.10-1)라는 어플리케이션 설치파일인 apk 파일이 다운받아진다.



[모바일용 온라인 암판정 화상회의 어플리케이션 설치(1)]

○ 파일을 선택하여 설치하게 되면 온라인 암판정 화상회의 시스템이라는 아이콘이 생성되게 된다.



[모바일용 온라인 암판정 화상회의 어플리케이션 설치(2)]

2.2 어플리케이션 실행

○ 어플리케이션을 싱행하게 되면 메인화면에는 메뉴 버튼과 함께 회의실관련 기능버튼들이 있다. 온라인 암판정 프로세스상 암판정센터에서 관리자가 주로 데스크탑용 화상회의 시스템으로 회의를 생성하게 되지만 모바일상에서도 회의실을 임의로 생성할 수 있도록 하였다. 모바일상에서 생성된 회의실 또한 데스크탑용 화상회의 시스템과 연계되게 된다.



[실행 메인화면]

○ 메뉴버튼의 경우, 어플리케이션의 버전 업데이트 기능 항목과 어플리케이션 접속정보세팅(서버접속도메인명, 사용자ID, 비밀번호, 대화명) 기능, 그리고 사용자 비밀번호 변경 기능 항목이 있다.



[기본설정 메뉴 기능구성]

제3장 어플리케이션 환경설정

3.1 접속정보 설정

○ 메뉴기능 항목 중, Setting 항목은 접속정보(어플리케이션세팅) 세팅으로 모바일용 화상회의 어플리케이션으로 접속할 접속 서버 설정과 함께 사용자가 등록되어있는 접속 ID 정보를 입력하게 되며 회의실에서 사용할 대화명 설정을 하게 된다.

○ 사용자의 데이터 사용량에 따라 업데이트 기능은 WIFI 접속에서만 가능하도록 설정할 수 있으며 각 사용자마다 부여된 아이디로 접속했을 때 온라인 암판정 서버에서는 접속아이디 정보를 수신받아 온라인 암판정 통합운영시스템에 등록된 아이디와 접속 권한을 검토하여 접속 권한을 부여하게 된다.



[접속 정보 세팅 화면 구현]

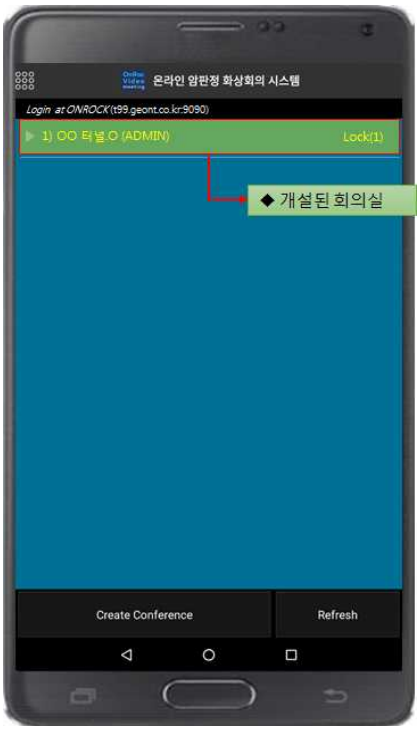
○ 도메인 정보와 사용자 정보(ID, Password)를 입력하면 로그인 된다. WiFi 상태에서만 업로드를 하려면 Upload Only WiFi를 선택한다.



[사용자 접속비밀번호 설정]

○ Password Change 는 사용중인 비밀번호를 바꿀 수 있다. 사용중인 비밀번호를 입력하고 변경할 비밀번호를 입력한 후 변경할 비밀번호를 다시 한번 입력한 후 'OK' 버튼을 클릭하면 비밀번호가 바뀌게 된다.

3.2 회의 생성



[회의실 생성 화면 (1)]

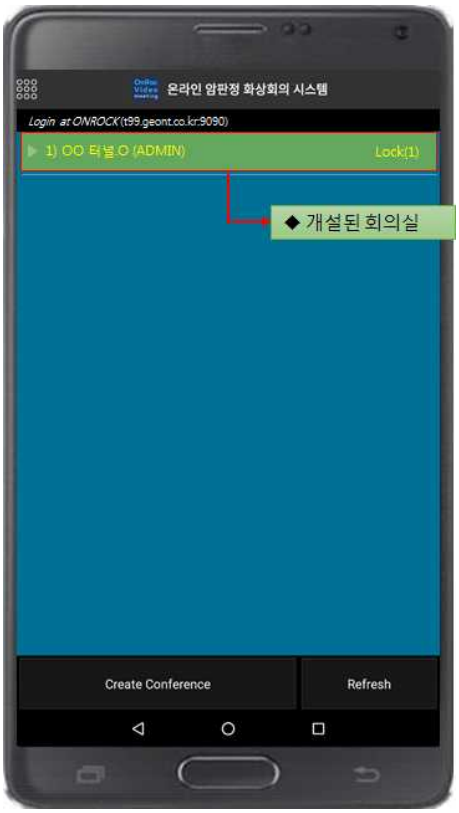
○ 모바일 어플리케이션 상에서도 회의실 생성이 가능하다. 접속된 사용자 아이디를 통해 회의실 생성시 회의실명, 회의실 접속 비밀번호, 그리고 사용자 대화명을 설정할 수 있다.



[회의실 생성 화면 (1)]

○ 다음과 같은 화의실 정보를 입력한다.

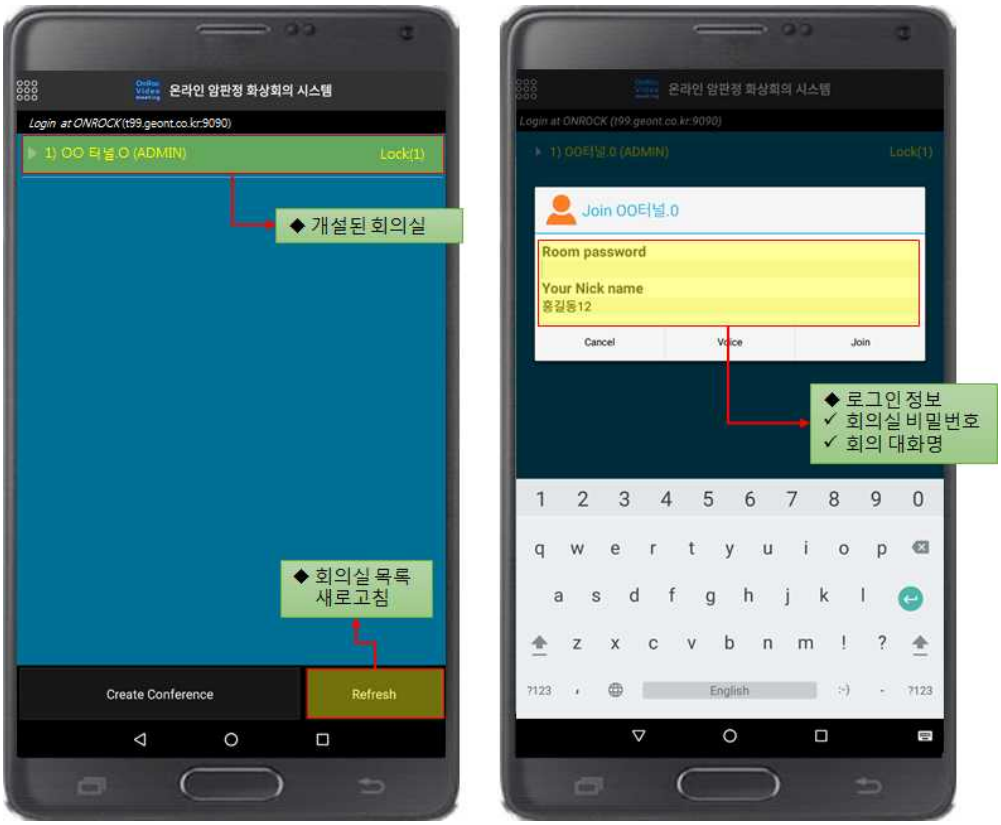
- Room Name : 방이름
- Room Password : 방비밀번호
- Nick Name : 닉네임 - 입력필수
- Presentation mode : 모바일에서 영상 공유시 PC 로 접속한 참여자 화면에 전체 화면으로 표시가능



[회의실 생성 화면 (1)]

○ 회의실 개설명과 함께 개설자의 아이디가 표시되며, 접속된 접속자의 인원수가 표시된다.

3.3 회의실 접속



[회의실 접속 화면 구현]

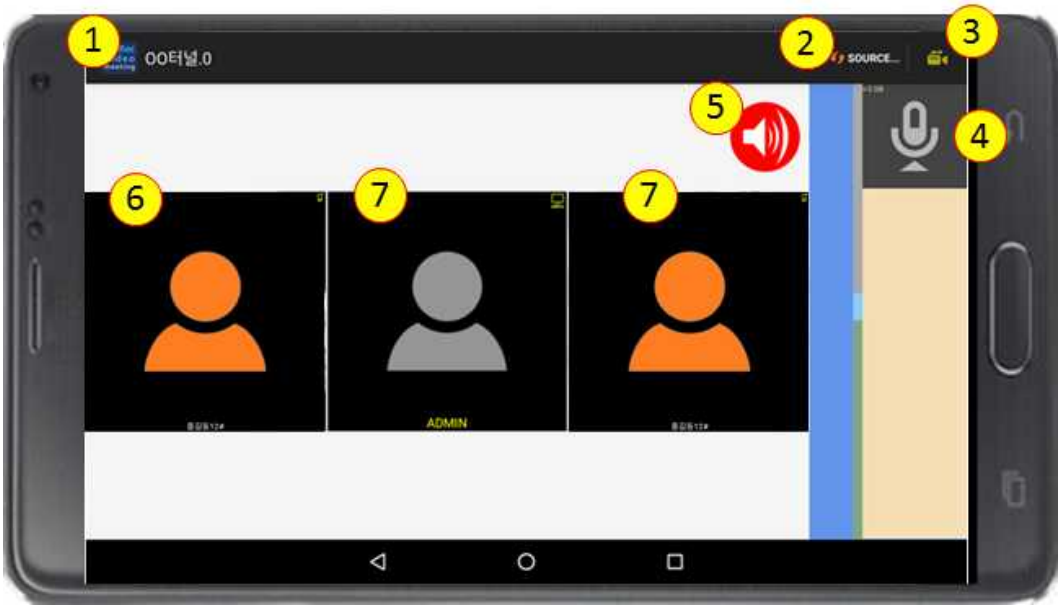
○ 온라인 암판정 프로세스상 온라인 암판정 센터에서 암판정을 현장의 암판정 요청에 따라 센터에서 회의실을 생성하게 된다. 생성된 회의는 설정된 비밀번호에 따라 접속할 수 있게 된다.

○ 회의실 접속안내는 온라인 암판정 프로세스상 메일로 요청받게 되며 회의시간에 맞추어 모바일 상에서 접속하게 되면 회의목록에 접속 가능한 회의실을 확인할 수 있다.

○ 암판정 요청된 굴진면 스테이션 위치에 따른 회의실 목록이 없을 경우 회의실 목록을 새로고침할 수 있다.

제4장 모바일용 온라인 암판정 화상회의 어플리케이션 기능

4.1 회의실 접속화면 설정



1 **회의방 설정 아이콘**

회의방 설정메뉴를 불러옴

2 **소스선택 아이콘**

촬영 카메라를 선택하고 로컬 동영상과 이미지를 불러옴

3 **동영상 촬영 아이콘**

후면카메라를 통해 영상을 촬영합니다. 참여자에게 실시간으로 전송(공유)됨

4 **마이크 아이콘**

마이크를 켜거나 끔

5 **스피커폰 아이콘**

스피커폰을 켜거나 끔

6 **로컬 참여자 화상**

자신의 화상을 표출–참여시 가장왼쪽에 위치

7 **원격 참여자 화상**

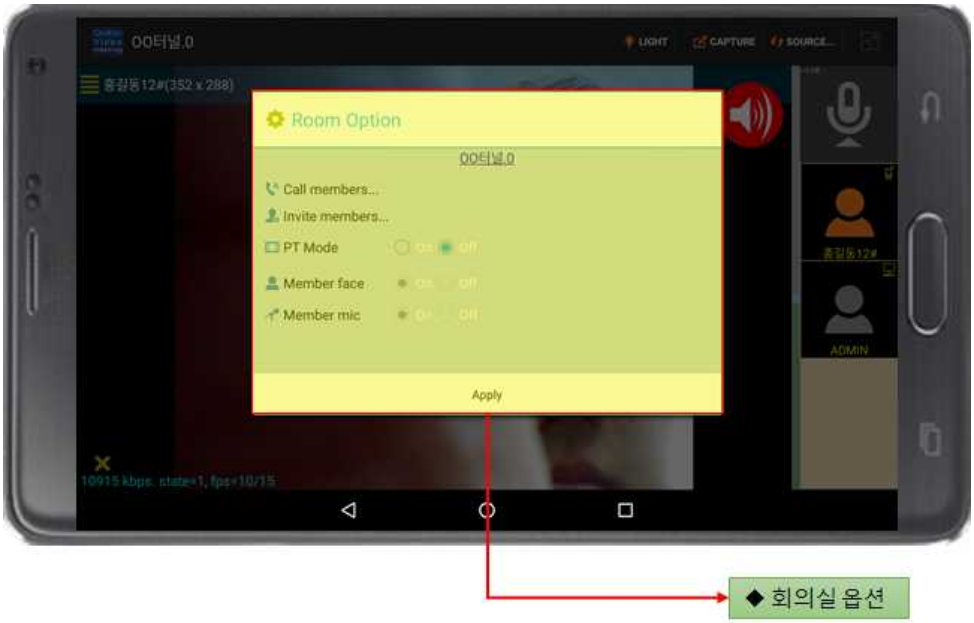
원격 참여자의 화상이 표출됨– 화상회의 호스트는 회색으로 표시

○ 회의실에 접속하게 되면 접속자들의 영상 화면이 먼저 제공되게 되고, 회의실 접속 인원수에 따라 화면 분할이 이루어지게 된다.



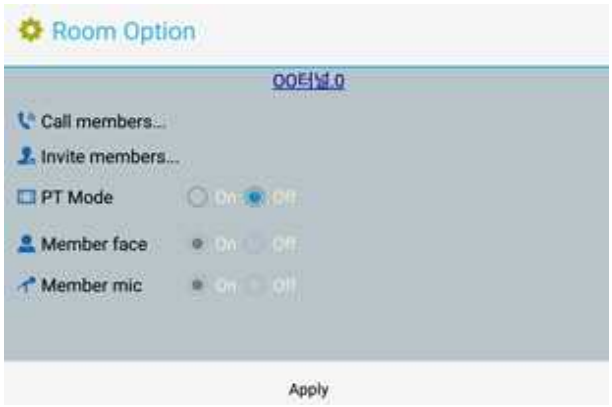
[회의실 접속화면]

○ 화면은 화면상의 왼쪽으로 메인 영상수신 화면이 자리잡고 있고, 오른쪽으로 보조 영상 수신화면이 분할되어 배치되어 있다. 영상수신의 경우 한정된 모바일 화면상에서 분할되어 배치되게 되는데 메인화면 에 영상 수신화면이 배치될 수 있으며 화면을 좌우로 슬라이드 시킬 경우 그 배치구성이 바뀌게 된다.



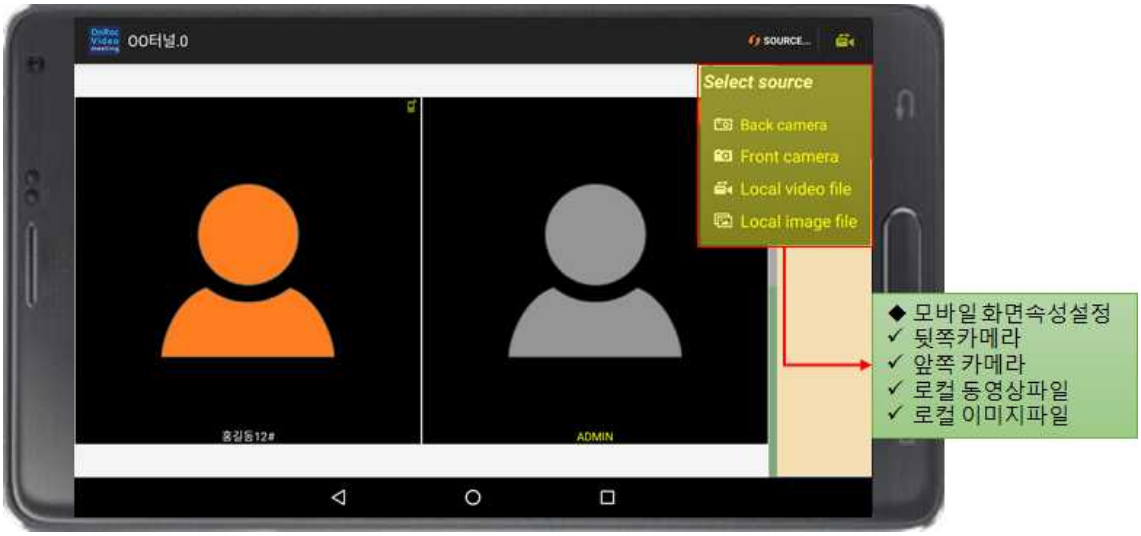
[회의실 옵션 세팅 화면]

○ 회의실 옵션설정의 경우, 사용자가 원하는 암판정 위원과 직접 음성통화를 할 수 있는 기능항목과 추가 멤버 초대가 가능하도록 하고, 프레젠테이션 모드로 변환이 가능하며 모바일 접속자의 영상정보와 음성정보의 송신 우뮤를 선택적으로 기능설정을 할 수 있도록 하였다.



- Call members : 앱이 설치되어 있는 사용자 에게 PUSH 알림으로 초대메세지를 발송
- Invite menbers : 앱을 설치할 수 있는 URL을 SMS 와 이메일로 발송
- PT Mode : 로컬 모바일에서 영상 공유 시 원격 참여자 화면에 로컬 모바일에서 촬영하는 동영상이 전체화면으로 표출
- Menber mic : 참여자 마이크를 켜거나 끔

○ 모바일 기기의 특성을 고려해 개발된 추가기능에는 모바일 기기 전 후면에 달린 카메라를 선택적으로 영상전송이 가능하도록 하였고, 모바일 기기로 촬영된 사진이나 동영상 촬영영상을 공유하기 기능이 추가되어 있다.



[추가 기능 메뉴]

○ 모바일용 화상회의의 경우 실제로 스마트폰이나 타블렛을 이용하여 wifi 또는 모바일 이동통신을 통해 스마트폰에 장착되어 있는 기존의 카메라를 통해 영상공유가 가능하다. 영상의 경우 기기의 앞과 뒤에 장착된 카메라를 선택적으로 연결이 가능하다.

4.2 회의실 화상회의 기능

- 다자간 화상회의 시 자신의 모바일 화상이 가장 왼쪽에 위치함
- 회의가 개설되어도 바로 영상이 노출되지 않음
- 자신의 아바타를 1초 이상 터치하면 전면카메라가 켜지고 화상이 표출됨
- 마이크 아이콘을 누르면 음성이 전송

 마이크가 꺼진상태  마이크가 켜진 상태

- 이어콘이 없을 경우 스피커폰 기능을 이용하여 소리를 증폭시킬 수 있음

 스피커폰이 꺼진상태  스피커폰이 켜진상태

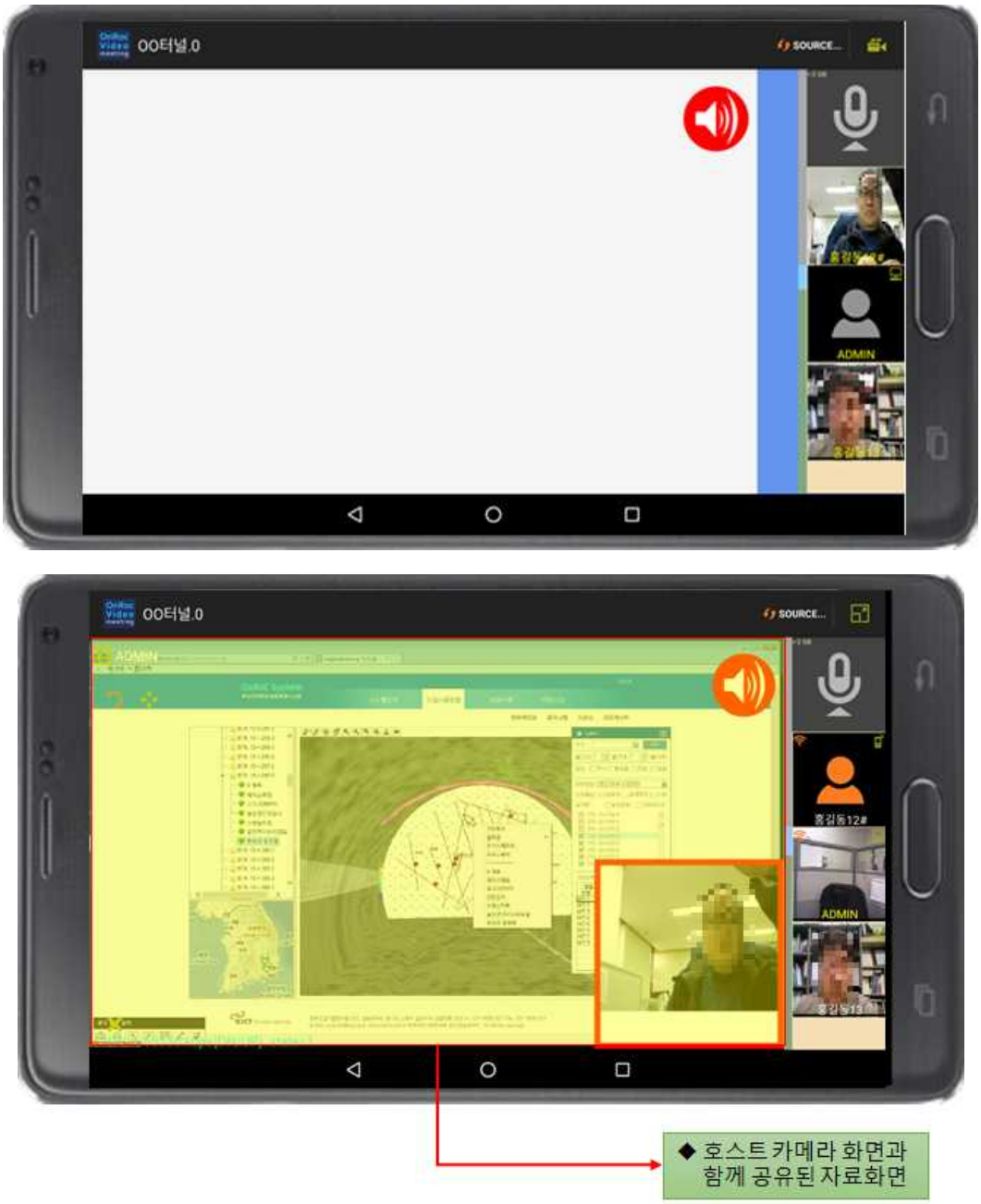
- 우측으로 화면을 터치해 밀면 작은 화면으로 정렬됨



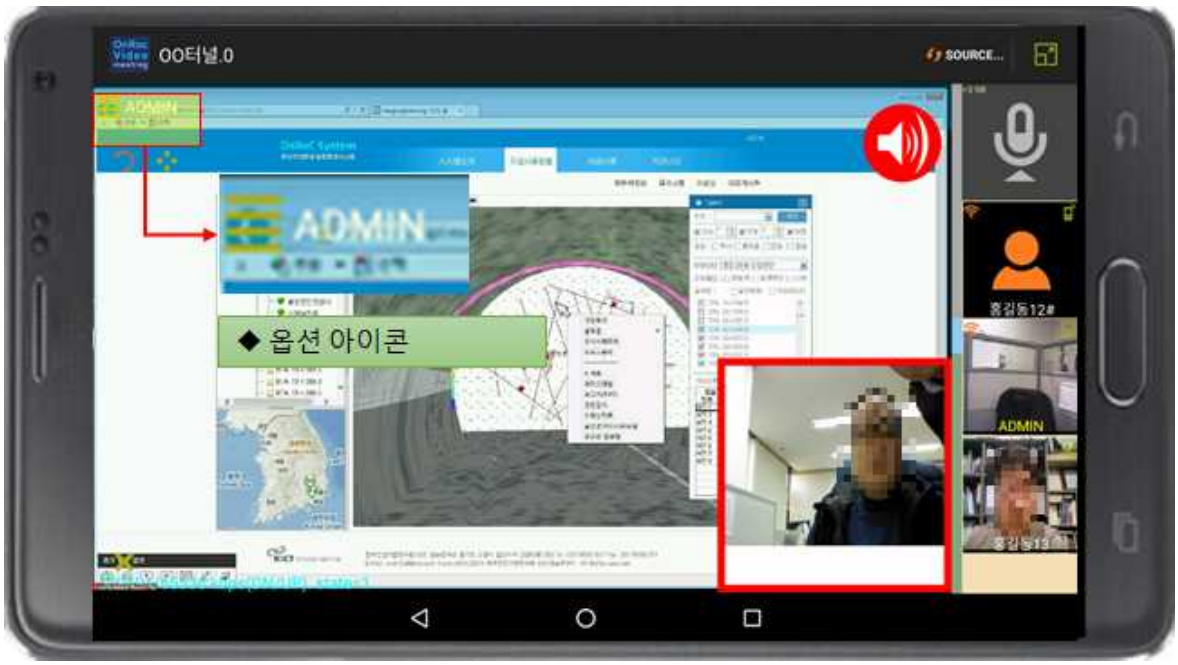
4.3 자료화면 공유

○ 불특정 장소에서 접속하게 되는 모바일용 화상회의 모듈을 통해서도 온라인 암판정 회의상에서 공유되는 자료공유 화면이 호환되어야 한다.

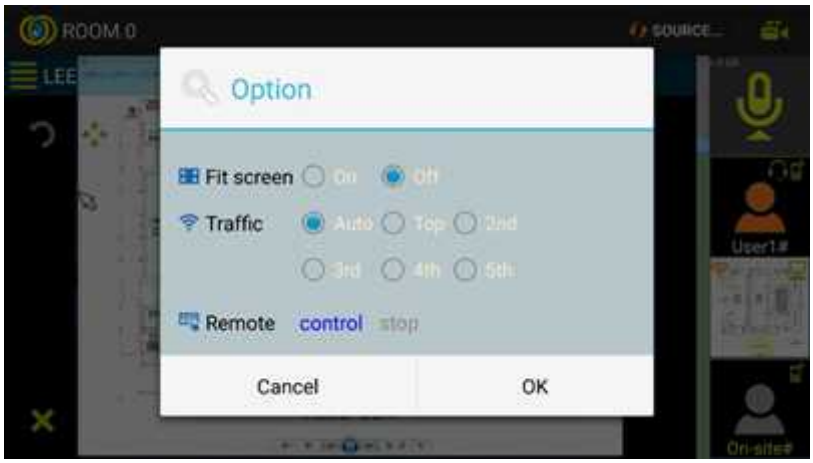
○ 호스트에서 공유 자료를 송신할 경우 개발 창을 통해 공유된 화면이 보여지며 스마트폰 또는 타블렛의 한정된 화면상에서 적절한 화면 분할이 되도록 회의에 참석한 각 암판정 위원들의 송신 화면과 함께 배치되어 모바일 기기를 통해서도 자료를 공유할 수 있도록 기능구현을 하였다.



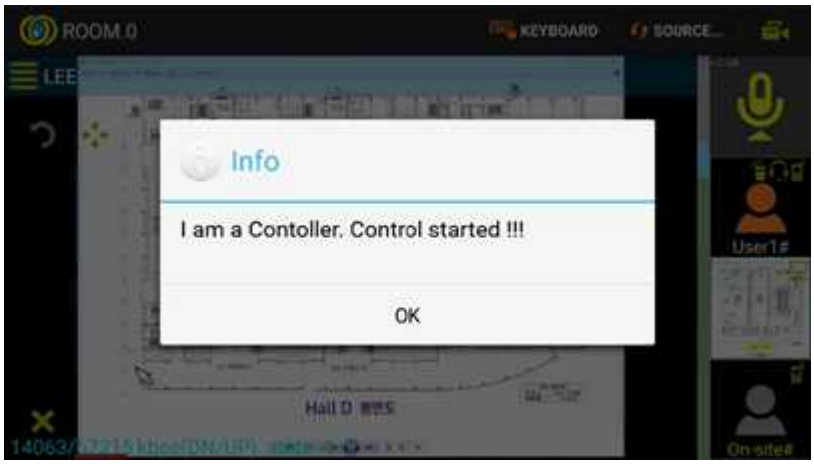
○ 원격 참여자가 PC 화면을 공유하고 자동제어를 설정하면 모바일 참여자가 원격으로 PC를 제어할 수 있다.



○ 원격제어를 설정하는 옵션으로 옵션아이콘을 클릭하면 옵션 화면이 뜨게 된다.

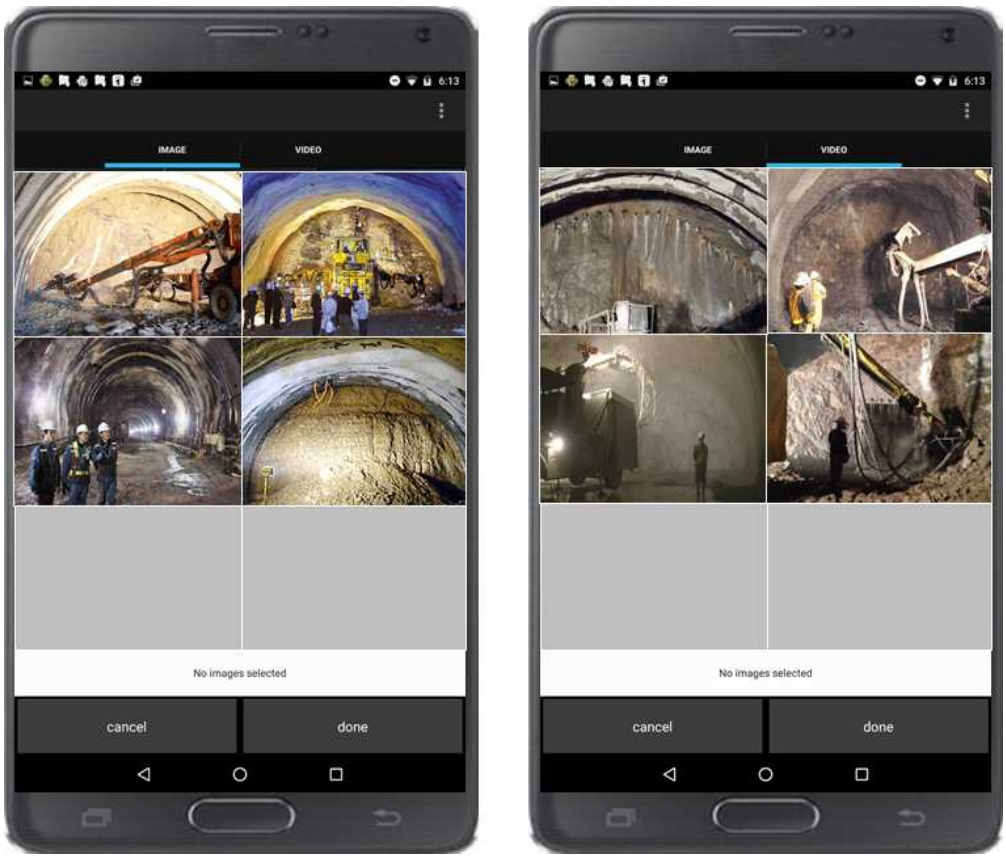


■ Remote 옵션에서 control을 터치하여 활성화 킴



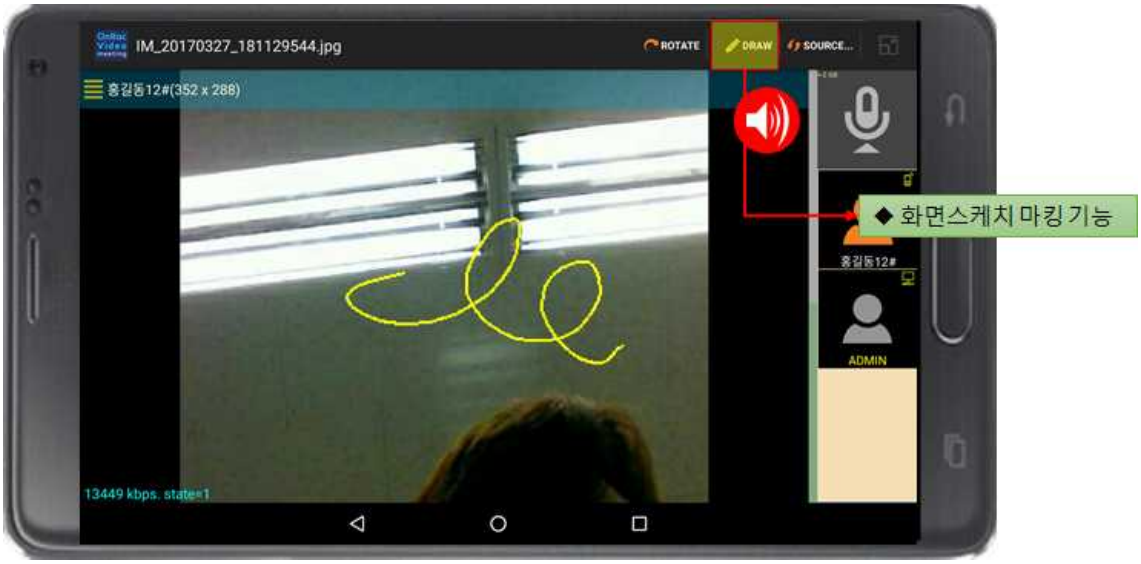
■ 원격제어가 시작된다는 팝업 메시지가 표출됨

○ 모바일 기기 상에 저장되어있는 현장사진 또는 현장촬영영상을 화의에서 공유할 수 있다. 공유가 필요한 자료에 대해 각각의 항목별로 선택적으로 공유가 가능하며 모바일용 화상회의 어플리케이션으로 회의에 접속한 현장관계자가 회의도중 촬영한 후 현장 모습을 암판정 위원에게 공유할 수 있다.



[영상 및 이미지 공유]

○ 영상전송 도중 캡쳐기능을 사용할 수 있으며, 이미지 상에서 회의중에 설명이 필요한 부분에 대한 마킹이 가능하도록 기능이 탑재 되어있다.



터널시공현장 실시간 영상전송 및 음성 공유시스템 사용설명서

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport
KAIA 국토교통 과학기술진흥원
KICT 한국건설기술연구원

목 차

제1장 매뉴얼 개요 및 시스템 구성 ---- C-1

1.1 개요 ---- C-1

1.2 시스템 구성 ---- C-1

1) 터널 내부 ---- C-2

2) 터널 외부 ---- C-2

3) 온라인 암판정 센터 ---- C-2

제2장 CUBE-205(송신기) ---- C-3

2.1 CUBE-205(송신기)의 특징 ---- C-3

1) 제품 규격 ---- C-3

2) 각부의 명칭과 기능 ---- C-3

3) 시스템 모드 및 연결 구성 ---- C-4

2.2 CUBE-205(송신기) 설치하기 ---- C-4

1) 원격 설정 로그인 방법 ---- C-4

2) 매뉴 주요 설정 ---- C-5

3) 영상과 오디오 입력 설정 관련 매뉴 ---- C-6

4) 영상과 오디오의 세부 설정 결정 ---- C-6

5) 영상 송출 방법의 변경 ---- C-7

6) 주의 사항 ---- C-8

제3장 CUBE-405(수신기)의 특징 ---- C-9

3.1. CUBE-405(수신기)의 특징 ---- C-9

1) 제품 규격 ---- C-9

2) 각부의 명칭과 기능 ---- C-9

3) 시스템 모드 및 연결 구성 ---- C-10

3.2. Cube-405 (수신기) 설치하기 ---- C-10
1) 로그인 방법 ---- C-10
2) 주요 셋팅 항목 ---- C-10
3) Info 매뉴 ---- C-11
4) Video Setup -> Decoder Settings ---- C-12
5) 주의 사항 ---- C-13

제4장 BOND (LTE 전송시스템) ---- C-15

4.1 개요 ---- C-15

4.2 각부 구성 및 명칭 ---- C-15
1) 구성 ---- C-15
2) 명칭 ---- C-15

4.3 연결하기 ---- C-16
1) 연결순서 ---- C-16
2) BOND 전면 상태 표시 (LED 표시등) ---- C-17

제5장 SPUTNIK SERVER ---- C-19

5.1 개요 ---- C-19

5.2 SPUTNIK SERVER 설정 ---- C-19
1) 프로그램 실행 ---- C-19
2) 프로그램 셋팅 ---- C-19

제6장 터널 내부-터널 입구 간 무선 중계기(5Ghz Wi-Fi HD Transmitter) ---- C-21
1) 설치전 주의 사항 ---- C-21
2) 터널내 모뎀(NVS5) 외부명칭과 사용법 ---- C-21
3) 터널 외부 수신기 (N5S MIMO Sector antenna) 사용법 ---- C-22

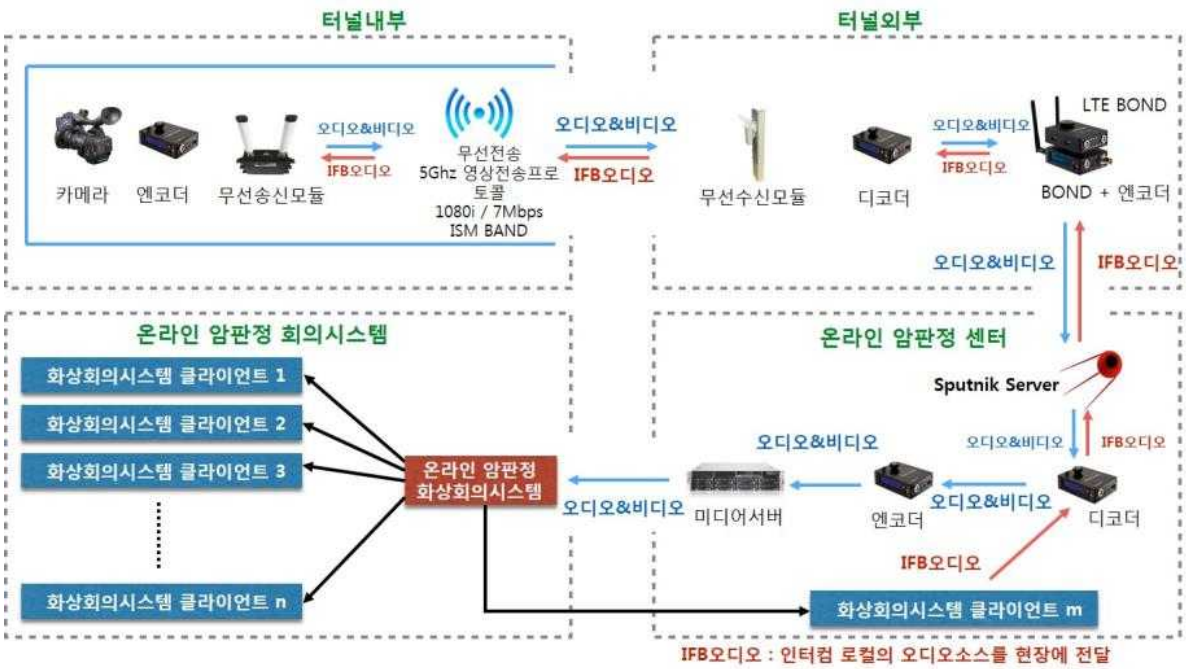
제1장 매뉴얼 개요 및 시스템 구성

1.1 개요

○ 본 사용 설명서는 터널 시공현장 실시간 영상전송 및 음성 공유 시스템을 운용하기 위하여 각 시스템에 대한 사용 방법을 설명합니다. 이 설명서를 통해서 사용자는 터널 시공현장 실시간 영상전송 및 음성 공유 시스템의 각 구성모듈인 cube-205(송신기), cube-405(수신기), 본드(lte 전송시스템), wifi 전송시스템, sputnik server의 설치 방법, 사용 중 사용 환경의 변화에 따른 설정 변경 방법 그리고 장애발생시 장애의 원인을 파악하여 조치하기 위한 진단방법을 확인할 수 있습니다.

1.2 시스템 구성

○ 본 시스템은 터널시공 중 터널시공 현장과 온라인 암판정센터(또는 암판정 위원)간 실시간 의견교류 및 현장상태 파악을 위하여 운용하기 위한 것으로 전체 시스템은 터널내부, 터널외부, 관리센터로 구분하여 설명할 수 있습니다. 각 시스템의 구성 및 주요 내용은 다음과 같습니다.



[전체 시스템 구성도]

1) 터널 내부



① 카메라의 HDMI Port와 cube-205 HDMI input Port를 케이블로 연결한다.
② cube-205의 이더넷 포트와 모뎀의 이더넷포트 간에 RJ45 케이블을 연결한다.

2) 터널 외부



① 안테나로부터 수신된 데이터는 CUBE-405 이더넷포트에 RJ45케이블로 연결된다.
② CUBE-405와 CUBE-205는 LTE망을 접속하기 위해 서로 HDMI INPUT/OUTOUT 포트에 HDMI케이블로 연결 되며 CUBE-205는 BOND와 USB 케이블로 연결 접속 한다.
BOND에는 각각의 USB 모뎀을 연결하여 인터넷에 접속한다. (MPEG-TS 프로토콜)

3) 온라인 암판정 센터



① SPUTNIK 서버를 통해 영상 신호가 조합되어 MEDIA SERVER CODEC을 통해 영상 재현된다.

제2장 CUBE-205(송신기)

2.1 CUBE-205(송신기)의 특징

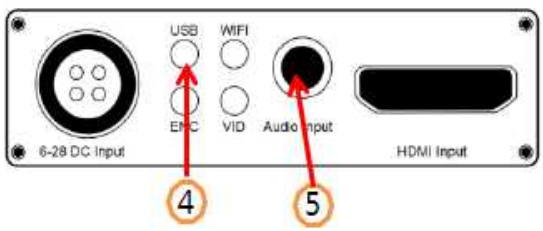
○ CUBE-205은 LAN, WIRELESS LAN, LTE 등 다양한 IP네트워크를 기반으로 원격 영상 및 음성 감시 기능과 제어 기능을 제공하는 영상/음성 전송시스템입니다. CUBE-205는 ENCODER 시스템(이하 ENCODER) 모드로 동작되며 영상을 압축하여 송신하는 시스템입니다.

1) 제품 규격

Video Input:	HDMI
WiFi:	None
Video Output:	None
Mount:	Hot Shoe Mount
Display:	OLED Display
Battery:	None
Power Input:	2 Pin Lemo Power
Power Output:	None
Storage :	microSD
Ethernet :	10/100BASE-T
USB:	USB 2.0 host port
Audio:	Analog Line or Mic in,Headphone output

2) 각부의 명칭과 기능





①	DISPLAY	OLED DISPLAY
②	POWER	2 Pin Lemo Power
③	HDMI IN	HDMI 비디오 입력 단자입니다.
④	USB	USB LED RAMP
⑤	AUDIO OUT	오디오 출력 단자입니다.

3) 시스템 모드 및 연결 구성

○ CUBE-205은 Encoder 모드로만 사용 됩니다. 카메라 입력 영상을 압축하여 송신하는 사이트에 encoder를 설치하고, 영상을 수신하여 복원하는 Decoder를 센터에 설치하여 서로 연결하는 1:1 연결 구성을 합니다.

■ 연결 구성 (topology)

일반적으로 encoder와 decoder가 1:1 로 연결하는 형태 사용 됩니다.



2.2 CUBE-205(송신기) 설치하기

1) 원격 설정 로그인 방법

○ 웹브라우저를 이용한 원격 설정이 제공 됩니다. 인터넷 주소창에 Cube에 설정되어 있는 아이피를 적용후 연결시 로그인 페이지 활성화 됩니다. Username과 Password를 입력하여 로그인 합니다.



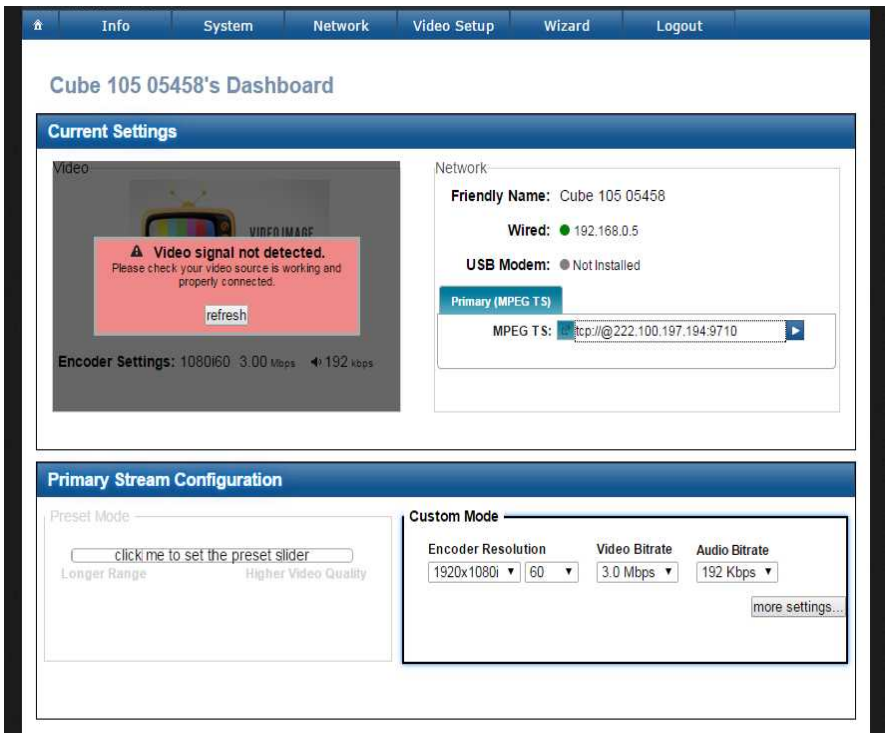


2) 매뉴 주요 설정

○ 메뉴중 주요 설정은 Custom Mode 와 Video Setup의 3가지 메뉴를 사용할 수 있습니다.

- Encoder Resolution : 영상의 해상도와 프레임
- Video Bitrate : 영상의 품질을 결정
- Audio Bitrate : 오디오의 품질을 결정

○ 네트워크 환경 및 영상 품질에 맞춰 비트레이트를 설정하여 사용하게 됩니다 (예 : Full HD 영상을 사용 시 1920x1080i 사용시 Video Bitrate = 6Mbps, Audio Bitrate 192 Kbps).

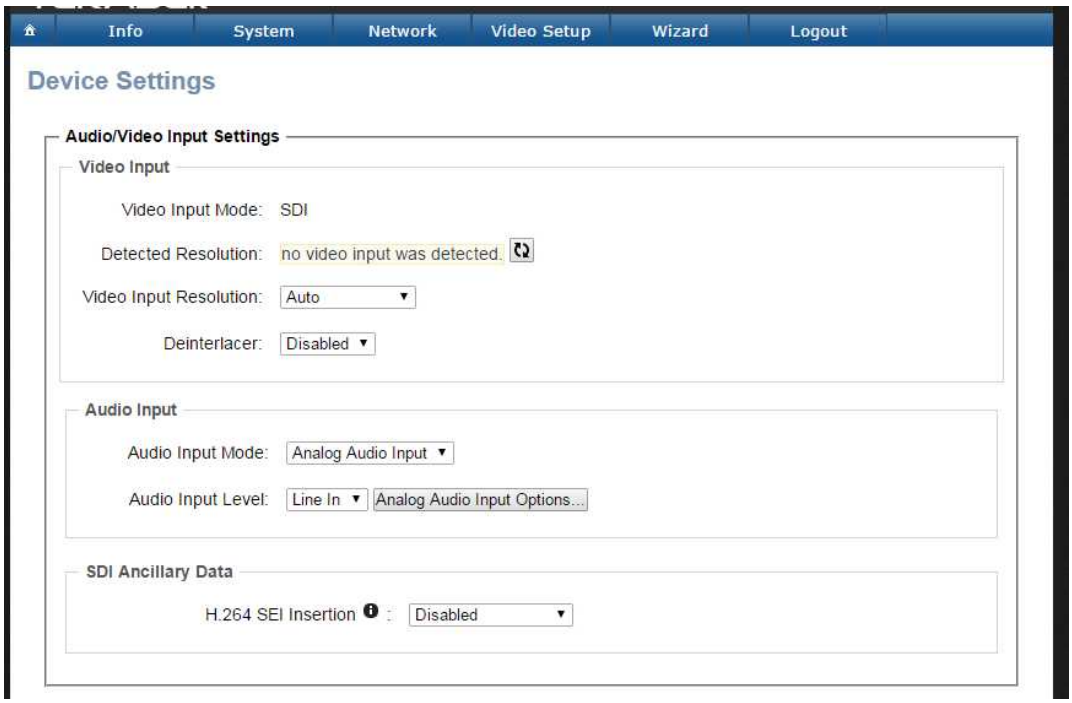


[Full HD 영상을 사용 시 Custom Mode 설정 화면 예]

3) 영상과 오디오 입력 설정 관련 매뉴

○ 영상과 오디오 입력 설정 관련 매뉴는 “Video Setup–〉Device Settings” 클릭

- Video Input Mode : HDMI (입력 단자)
- Detected Resolution : 현재 입력되는 해상도
- Video Input Resolution : Auto (자동으로 설정하면 입력되는 해상도를 알아서 찾음)
- Deinterlacer : Disabled (Enabled = P해상도, Disabled = I해상도)
- Audio Input Mode : Analog Audio Input (3.5잭으로 오디오를 따로 입력시킬 경우)
- Audio Input Level : Line in (우측의 Analog Audio Input Options을 클릭하여 입력되는 오디오 세기를 조절가능)



[영상과 오디오 입력 설정 매뉴 실행 예]

4) 영상과 오디오의 세부 설정 결정

○ 영상과 오디오의 세부 설정을 결정하는 메뉴는 “Video Setup –〉 Encoder Settings” (대부분의 영상과 오디오의 세부 설정은 엔코더 세팅의 메뉴에서 설정)

- Key Frame Interval : 2 sec

※ 영상의 딜레이 관련 설정 항목으로 네크워크의 상황에 따라서 끊김 현상이 일어날 경우 값을 늘려서(버퍼를 더 사용) 영상의 끊김을 방지할 때 사용함, 반대로 통신상황이 양호한 경우에는 키

프레임을 줄여서 딜레이 감소 가능

– Title Text : Channel 1

※ 스위쳐의 로고와 같은 기능, 대부분 사용하지 않음

– Aspect Ratio : 화면의 4:3, 16:9를 설정하는 메뉴,

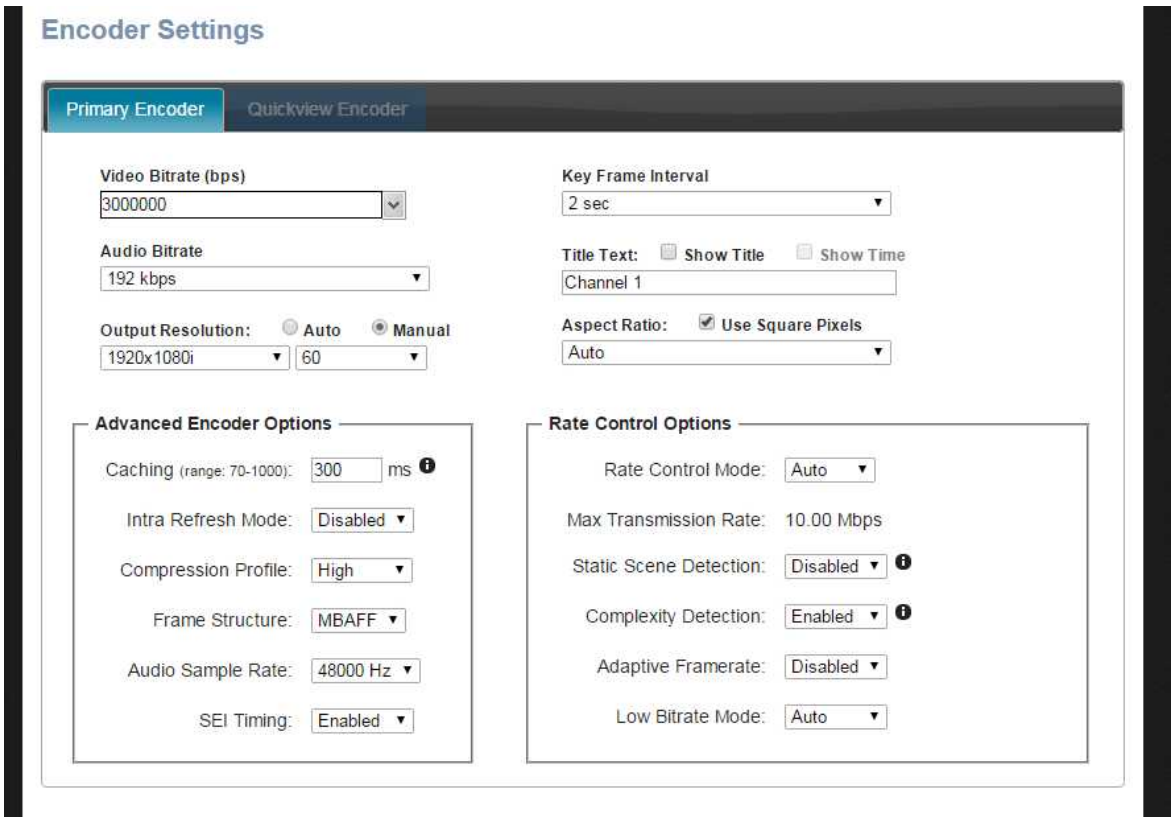
※ Auto로 사용하고 스케일러를 사용하는 경우가 더 많음, 4:3으로 변경 시 화면이 작아지는 경우가 생김

– Caching (range : 70–1000) : 300 ms

※ 버퍼를 결정하는 메뉴로 키 프레임과 맞춰서 설정을 해야 함. 2초의 경우 300ms, 1초의 경우 150ms로 설정, 반대로 키프레임을 늘리면 Caching를 늘려서 사용

– Compression Profile : High

※ 영상 출력시 영상의 화질 선택, 주로 인터넷 방송에서 영상 기본 화질을 결정할 때 사용



[영상과 오디오 세부 설정 매뉴 실행 예]

5) 영상 송출 방법의 변경

○ 영상 송출 방법을 변경하는 메뉴의 경로는 “Video Setup –〉 Stream Settings”

– Stream Application : 영상 송출의 Stream을 변경하여 사용

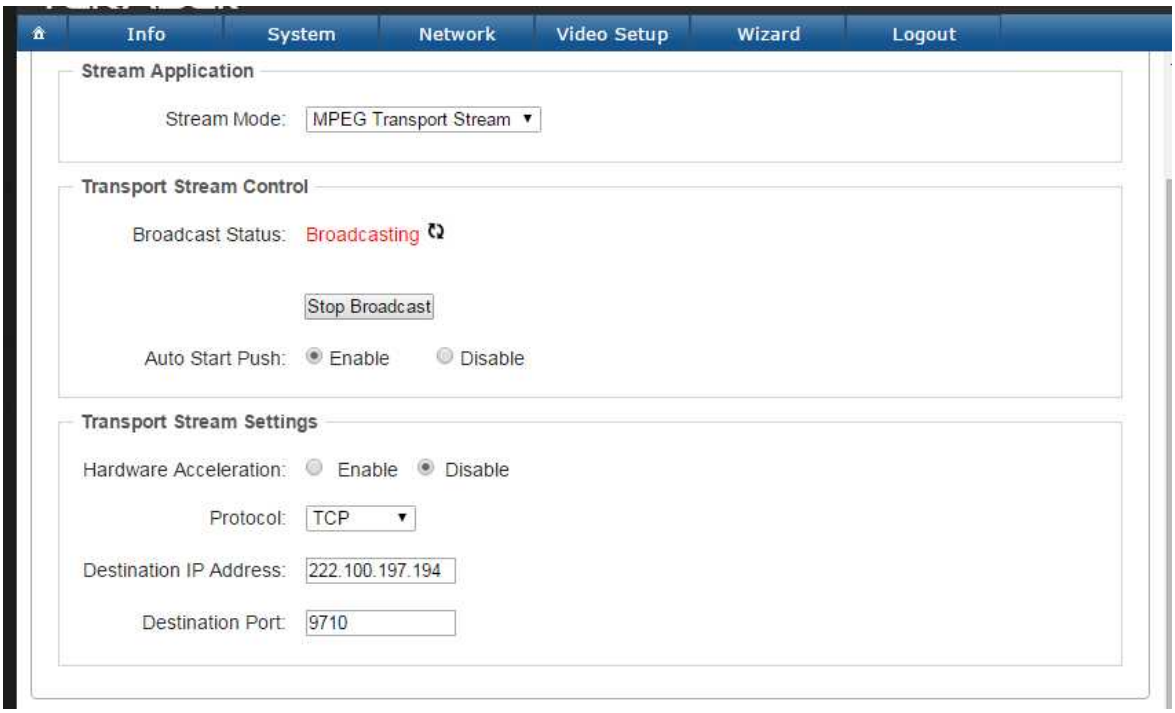
※ 1:1 연결시 MPEG Transport Stream, 인터넷 방송 사용시 RTMP Stream

– Stream Mode : MPEG Transport Stream

※ 다른 스트림 사용시 송, 수신기의 설정을 재확인하고 인터넷 방송 사용시 RTMP 스트림이 지원하는 여부와 주소, 스트림 키를 확인하여 작성후 사용[대소문자 구분])

○ 본 시스템에서 주로 설정해야 할 부분은 Transport Stream Settings의 “Destination IP Address”의 아이피 작성부분과 “Port” 부분입니다.

※ 아이피는 수신기의 아이피를 작성, 포트는 주로 사용하는 MPEG 포트의 9710사용. 다른포트 사용시 송신기와 수신기의 포트를 동일하게 맞춰야 함. 단거리 네트워크 사용시 UDP모드로 사용하고 장거리로 갈 경우 TCP모드를 사용하는게 좋음



[영상 송출방법 매뉴 실행 예]

6) 주의 사항

○ 본 시스템에서 송신기의 설정은 본 매뉴얼에 설명된 부분만 확인 하면 됩니다. 그리고 영상 송수신 중 큐브에 접속하여 설정을 바꾸면 영상이 끊기는 상황이 발생하게 되므로 가능한 영상 송ㆍ수신 중에는 접속하여 설정을 변경하지 말고 영상 송출 전 테스트를 실시하여 미리 셋팅한 값을 유지하는 것을 권장합니다.

제3장 CUBE-405(수신기)의 특징

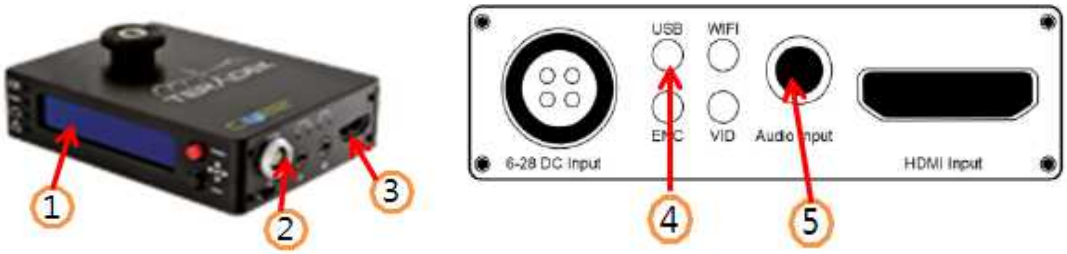
3.1. CUBE-405(수신기)의 특징

○ CUBE-405은 LAN, WIRELESS LAN, LTE 등 다양한 IP네트워크를 기반으로 원격 영상 및 음성 감시 기능과 제어 기능을 제공하는 영상/음성 전송시스템입니다. CUBE-405는 DECODER 시스템(이하 DECODER) 모드로 동작되며 시스템의 주요 특징은 다음과 같습니다.

1) 제품 규격

Video Input:	None
WiFi:	None
Video Output:	HDMI
Mount:	Hot Shoe Mount
Display:	OLED Display
Battery:	None
Power Input:	2 Pin Lemo Power
Power Output:	None
Storage :	microSD
Ethernet :	10/100BASE-T
USB:	USB 2.0 host port
Audio:	Analog Line or Mic in,Headphone output

2) 각부의 명칭과 기능



①	DISPLAY	OLED DISPLAY
②	POWER	2 Pin Lemo Power
③	HDMI OUT	HDMI 비디오 출력 단자입니다.
④	USB	USB LED RAMP
⑤	AUDIO OUT	오디오 출력 단자입니다.

3) 시스템 모드 및 연결 구성

○ CUBE-405은 Decoder 모드로만 사용 됩니다. 카메라 입력 영상을 압축하여 송신하는 사이트에 encoder를 설치하고 영상을 수신하여 복원하는 dercoder를 센터에 설치하여 서로 연결하는 1:1 연결 구성을 합니다.

■ 연결 구성 (topology)

일반적으로 encoder와 decoder가 1:1 로 연결하는 형태로 사용됩니다.



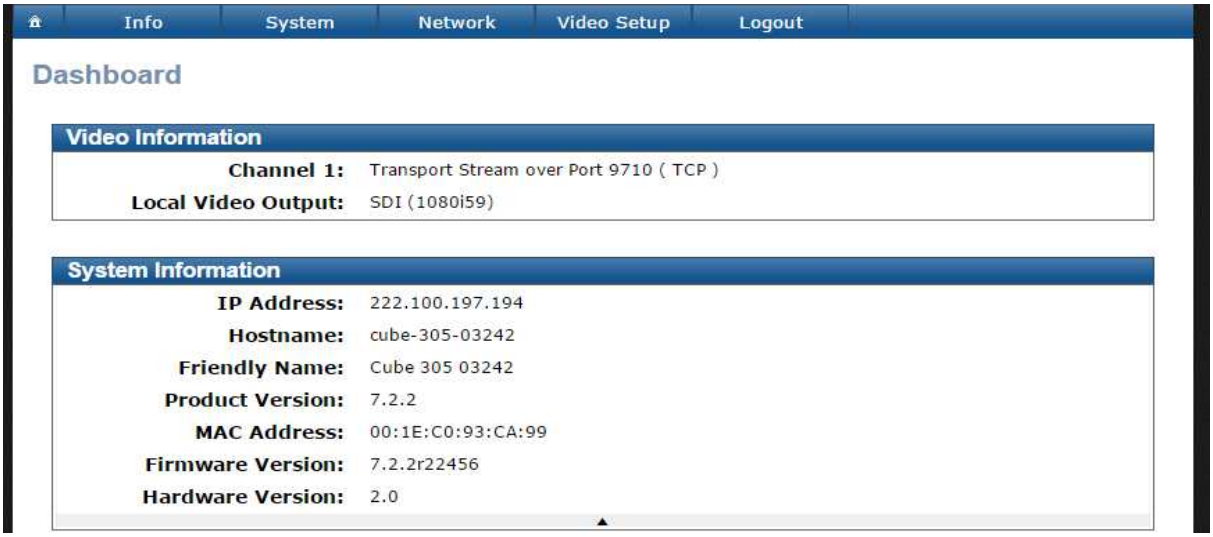
3.2. Cube-405 (수신기) 설치하기

1) 로그인 방법

○ 인터넷 주소창에 Cube에 설정되어 있는 아이피를 적용 후 연결시 로그인 페이지가 활성화 됩니다.

2) 주요 셋팅 항목

○ 본 시스템에서 주로 확인할 부분은 “Info –〉 Decoder Information” 부분과 “Video Setup –〉 Decoder Settings” 입니다.

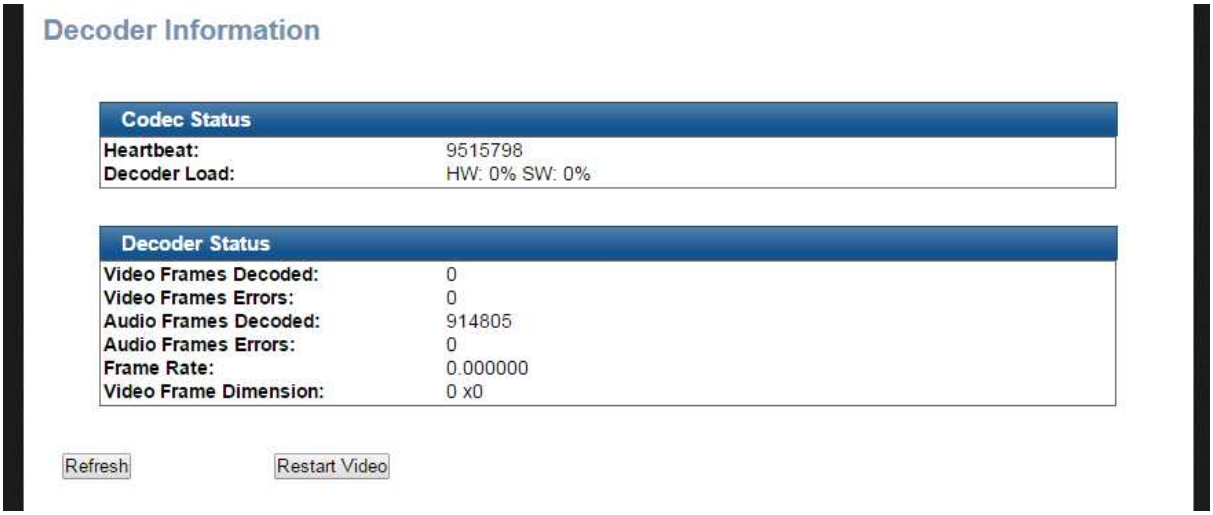


[Dashboard 실행 예]

3) Info 매뉴

○ “Info – Decoder Information”에 접속하여 Decoder Status 확인

- Video Frames Decoded : 영상의 전송상태 확인
- Video Frames Errors : 영상 전송 중 장비 또는 스위쳐에서 오는 영상의 프레임이 끊겨서 들어올 경우 에러 프레임 증가
- Audio Frames Decoded : 오디오의 전송상태 확인
- Audio Frames Errors : 오디오 전송중 장비, 또는 오디오믹서에서 오는 오디오의 프레임이 끊길 경우 에러 프레임 증가
- Frame Rate : 현재 전송 중인 프레임의 수치를 나타냄
- Video Frame Dimension : 전송중인 해상도를 나타냄
- Refresh : 버튼을 누르면 상태창이 리로드되어 나타남 (상태창이 제대로 나오지 않을 경우 클릭)
- Restart Video : 누르면 영상을 재접속하여 보여주기 때문에 영상의 출력이 멈췄다가 다시 재접속(누르면 영상이 끊기고 그 후 새로 영상을 받아오게 됨)

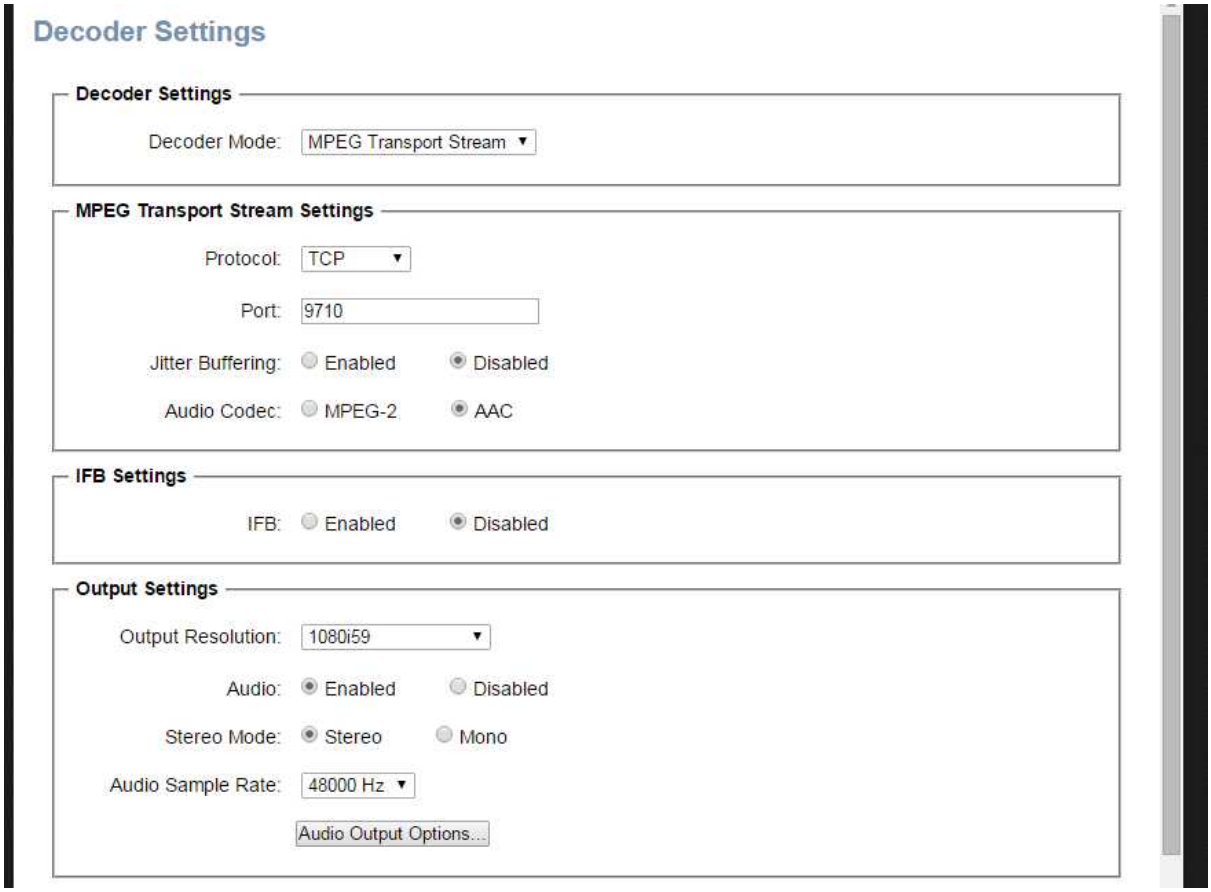


[Decoder Information 실행 예]

4) Video Setup –〉 Decoder Settings

○ 현재 영상을 받는 Stream 방법과 포트, 프로토콜, 출력 영상의 해상도, 오디오 출력방식 등을 보여주는 메뉴입니다.

- Protocol : TCP (송신기와 수신기의 프로토콜 역시 동일하게 맞춰야함)
- Port : 9710 (마찬가지로 송신기와 동일하게 맞춤)
- Jitter Buffering : 추가로 버퍼를 사용하여 영상의 딜레이를 줌
- Audio Codec : AAC (오디오 코덱은 AAC코덱 사용)
- Output Resolution : 1080i 59 (출력되는 해상도와 프레임레이트를 설정)
- Audio : 오디오 출력을 설정하는 메뉴 (Enabled O, Disabled X)
- Stereo Mode : 오디오 모드를 설정
- Audio Sample Rate : 출력되는 오디오의 레이트 설정
- Audio Output Options : 오디오의 출력 세기 조절가능



[Decoder Settings 화면 실행 예]

5) 주의 사항

○ 영상 송수신중에 설정을 변경하면 영상이 끊긴 후 다시 재접속하기 때문에 영상이 끊어집니다. 설정은 언제나 미리 확인 하시고 방송 전 설정을 완료해야 합니다.

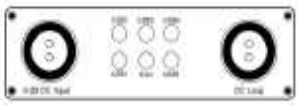
제4장 BOND (LTE 전송시스템)

4.1 개요

○ CUBE ENCODER에 의해 압축된 영상을 모바일 NETWORKING 시스템을 통해 전송하는 시스템입니다.

4.2 각부 구성 및 명칭

1) 구성

BOND 시스템	BOND 앞면	BOND 뒷면
	Bond front plate: 	Bond back plate: 
	. DC POWER . LED RAMPS	. USB Port . Mini USB Port

2) 명칭

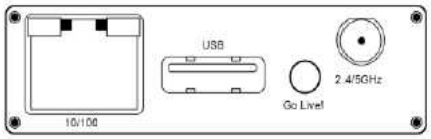
■ 전면부/후면부

Power	DC 6 ~ 28V IMPUT 2PIN
LEDs	USB MODEM (5EA) , SPUTNIK 서버 (1EA)
USB	USB / MINI USB INPUT 단자.

4.3 연결하기

1) 연결순서

Cube back plate:



(ENCODER 뒷면)

Bond back plate:



(BOND 뒷면)

① ENCODER 뒷면에 USB PORT 와 본드 뒷면에 USB Port 연결

② 전원 연결

③ USB LTE모뎀 옆면에 USB PORT 입력 (자동 인식됨)

※ 본 시스템에 적용된 통신사별 USB MODEM 종류 :

- SK텔레콤 : LG SD711
- KT텔레콤 : TELSTRA USB 4G
- LG텔레콤(U+) : HiveMotion HS2300

④ SPUTNIK 서버 설정 (“5. SPUTNIK SERVER” 내용 참조)



[ENCODER와 BOND, LTE모뎀 결합 예]

2) BOND 전면 상태 표시 (LED 표시등)



① Host LED

- 꺼짐 : 전원 공급 안됨
- 주황색불 켜짐 : 부팅 중
- 주황색불 깜박임 : 시스템 업그레이드 중
- 빨간색불 켜짐 : 큐브와 연결 안됨
- 녹색불 켜짐 : 준비완료(큐브와 연결됨)

② USB LED

- 꺼짐 : USB 모뎀 연결 안됨
- 주황색불 켜짐 : 인터넷에 연결 중
- 녹색불 켜짐 : 인터넷 연결 완료
- 빨간색불 켜짐 : Sputnik 서버와 연결 끊어짐

제5장 SPUTNIK SERVER

5.1 개요

○ Sputnik은 BOND에서 다수 통신사 USB 모뎀을 이용하여 다수 Network를 통해 분산 전송된 영상 패킷들을 재조합하여 영상 전송 목적지까지 전송하는 소프트웨어를 설치한 sever 입니다. Sputnik은 공인 지정 TCP Port (공인 IP)에 연결된 로컬 서버나 인터넷 데이타 센터와 같은 클라우드서비스 상의 리눅스 OS에서 가동되며 재조합된 영상을 Decoder 또는 MEDIA SERVER 으로 전송합니다.



[SPUTNIK SERVER 실행화면 예]

5.2 SPUTNIK SERVER 설정

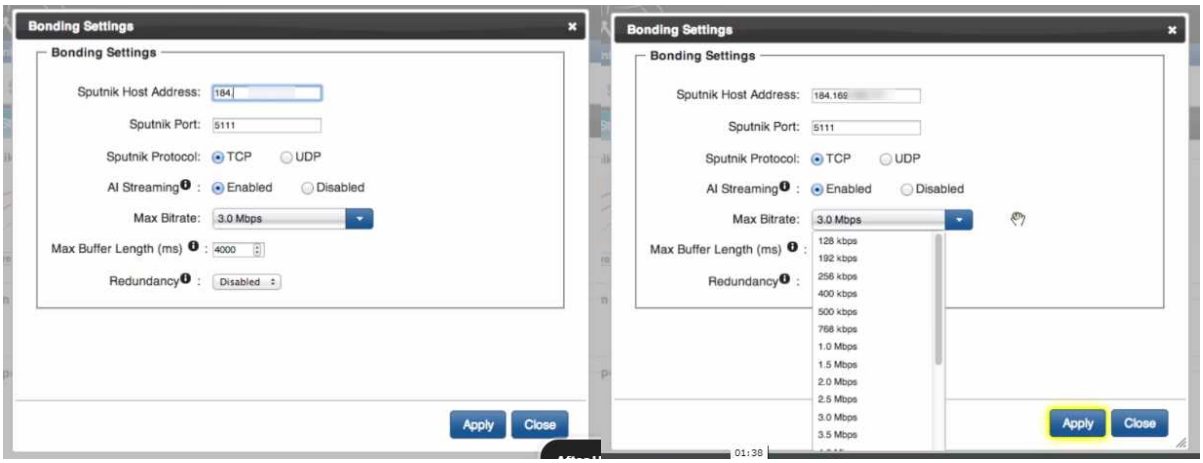
1) 프로그램 실행

○ TeraCentral (included on the USB drive)을 PC에서 실행시킨 후 Configuration Settings 버튼을 누르면 bond 로그인 화면 이 나옵니다.

2) 프로그램 셋팅

– Sputnik Host Address : xxx.xxx.xxx.xxx (인터넷상에 리얼 고정 IP주소 입력)

- Sputnik Port : Sputnik 서버 서비스 포트 (5111)
- Sputnilk Protocol : TCP 로 설정
- Max Bitrate : 우측의 버튼을 눌러 숫자를 클릭 한다 (권장 3.0Mbps).
- 나머지 항목은 자동 설정 권장 파라메터 사용



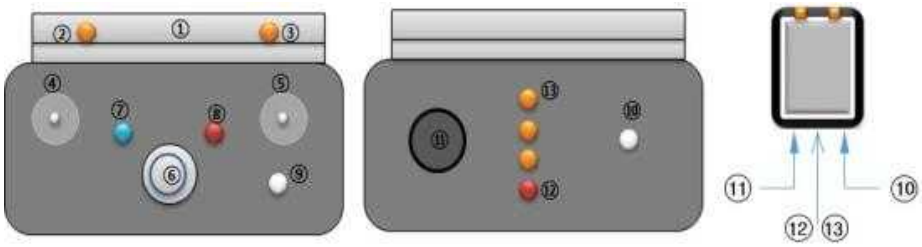
[SPUTNIK SERVER 설정화면 예]

제6장 터널 내부-터널 입구 간 무선 중계기 (5Ghz Wi-Fi HD Transmitter)

1) 설치전 주의 사항

- 주파수 설정 방법은 추후 업데이트 예정(GUI 설명서)
- 지향성 안테나가 설치되어 있으므로 설치시 안테나와 모뎀은 항상 서로 마주보고 중간에 장애물이 없는 곳에 설치해야 합니다.

2) 터널내 모뎀(NVS5) 외부명칭과 사용법

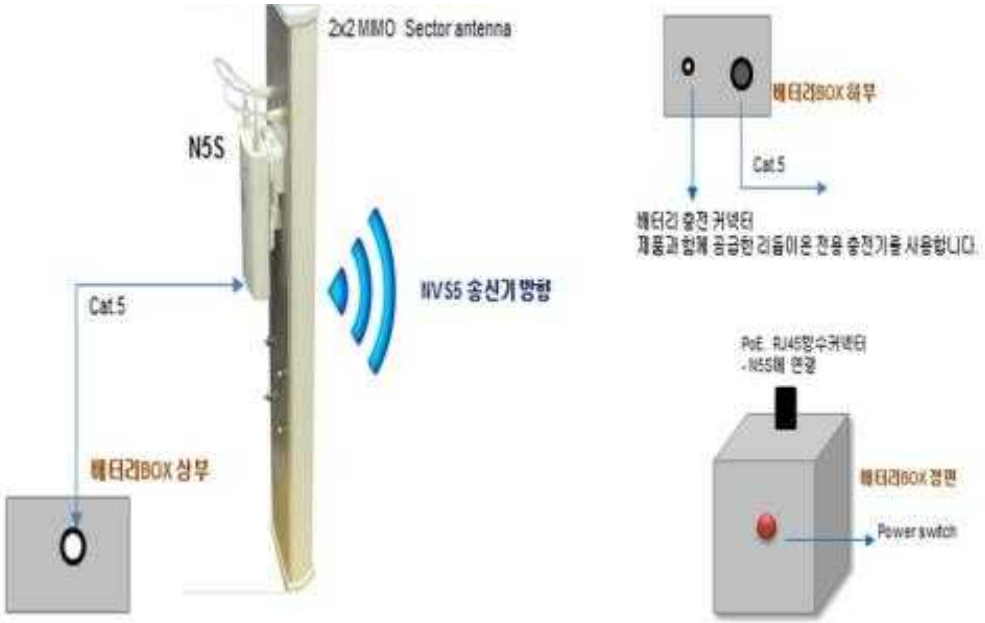


1	지향성 MiMO 안테나 BOX 16dBi 2x2	HI-BOX내부에 5GHz Dual beam 안테나 내장 NVS5와 통신할 N5S에 지향(다관절 브라케트를 조정하여 N5S수신기 방향으로 조정하여 시그널 LED가 최고가 되도록 해야 함)
2	A안테나 SMA커넥터	NVS5는 MIMO방식 300Mbps로 통신하므로 2개의 안테나를 사용하여 안테나 커넥터를 NVS5와 연결하며 케이블 단선에 주의해야 함
3	B안테나 SMA커넥터	
4	NVS5안테나 A출력 커넥터	2개의 커넥터를 안테나와 연결함
5	NVS5안테나 B출력 커넥터	
6	전원 스위치	NVS5를 구동하기 위해 스위치를 누르면 청색램프가 점등되면서 장치가 “ON” 되며 이때 다시 스위치를 누르면 램프가 꺼지며 “OFF” 상태가 됨
7	이더넷 LED 램프	“ON” 상태에서 이더넷 장치가 연결되면 청색 LED 램프가 점등됨
8	전원 LED 램프	“ON” 되면 적색 LED 램프가 점등됨
9	DC12V 출력	외부 장치에 전원을 공급하며 출력전압은 DC12V이고 카메라에 전원을 공급할 수 있음
10	DC12V 충전 커넥터	제품과 함께 공급된 리듐이온 충전기 사용
11	RJ45 이더넷 방수커넥터	Video sever, Encoder, Network camera, Switching HUB 등과 연결
12	WAN LED 램프	NVS5의 통신모드는 Station이며 원격지 AP를 scan하기 위해서 적색 LED 램프가 점멸함
13	시그널 LED 램프	WAN LED가 먼저 점등되며 AP와 연결되면 3개의 황색램프가 점등됨. 이때 안테나 방향이 일치하지 않으면 점등되지 않으며 최소한 1개 이상 점등되어야 AP와 통신이 가능함



[터널내 모뎀 (NVS5)]

3) 터널 외부 수신기 (N5S MIMO Sector antenna) 사용법



(1) N5S를 거치대에 설치하고 안테나를 NVS5송신기 방향으로 지향합니다.

(2) N5S를 손잡이를 이용하여 거치하고 배터리박스 상부의 RJ45커넥터에 UTP를 삽입합니다.

(3) 배터리박스와 연결된 UTP 반대쪽을 N5S와 연결한 후 배터리박스의 파워스위치를 눌러 장비를 켭니다 (적색램프 점등 시 “ON”).

(4) 배터리박스 하부의 LAN포트 RJ45커넥터 커버를 열어 UTP를 삽입하고 UTP반대쪽은 네트워크 장치에 연결합니다.

(5) 하부 DC Jack은 충전커넥터이며 함께 제공된 전용 충전기를 사용합니다.

(6) N5S전용 배터리는 약 8시간 연속 운용이 가능하며 사용 후에는 반드시 전용 충전기로 충전합니다 (충전 중 적색램프 점등 / 완충 시 녹색램프 점등).

통합 3D 터널분석 시스템 사용자 매뉴얼

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport

KAIA 국토교통 과학기술진흥원

KICT 한국건설기술연구원

목 차

통합 3D 터널분석 시스템 사용자 매뉴얼

제1장 시스템 소개 및 모델링 준비 ---- D-1

1.1 시스템 개요 및 모델링 필요 자료 ---- D-1

1.2 화면설명 ---- D-2

1.3 라이센스 관련 주의사항 ---- D-4

제2장 3D 모델 생성 ---- D-5

2.1 지형모델 생성 ---- D-5

2.1.1 지형모델 및 Boring 생성 ---- D-5

2.1.2 지형모델 Draw 및 검토 ---- D-8

2.2 계획모델 생성 ---- D-9

2.2.1 중심선 생성 ---- D-9

2.2.2 지보패턴 생성 ---- D-13

제3장 시뮬레이터(Simulator) 및 맵핑자료 확인 ---- D-21

3.1 시뮬레이터의 주요 기능 ---- D-21

3.1.1 시점이동 및 시작뷰 저장 ---- D-22

3.1.2 굴착정보 확인 ---- D-23

3.1.3 토피고 산정 ---- D-27

3.2 디지털 맵핑자료 업데이트 ---- D-28

3.2.1 업데이트 프로그램 개요 ---- D-28

3.2.2 업데이트 방법 ---- D-28

부록 시스템 등록 자료 준비 ---- D-31

통합 3D 터널분석 시스템[웹버전] 사용자 매뉴얼

제1장 시스템 소개 및 화면구성 ---------- D-37

1.1 시스템 개요 ---------- D-37

1.2 화면구성 ---------- D-39

제2장 통합 3D 터널 분석 시스템 (웹버전) ---------- D-41

2.1 통합 3D 터널 분석 시스템 (웹버전 뷰어) ---------- D-41

2.1.1 터널 현장 터널 3D 모델 활성화 실행 – 웹버전 뷰어 실행 ---------- D-41

2.1.2 뷰어 기본 기능 설명 ---------- D-45

2.1.3 터널 3D 웹뷰어 Option 기능 ---------- D-48

2.2 추가 연계 기능 항목 ---------- D-60

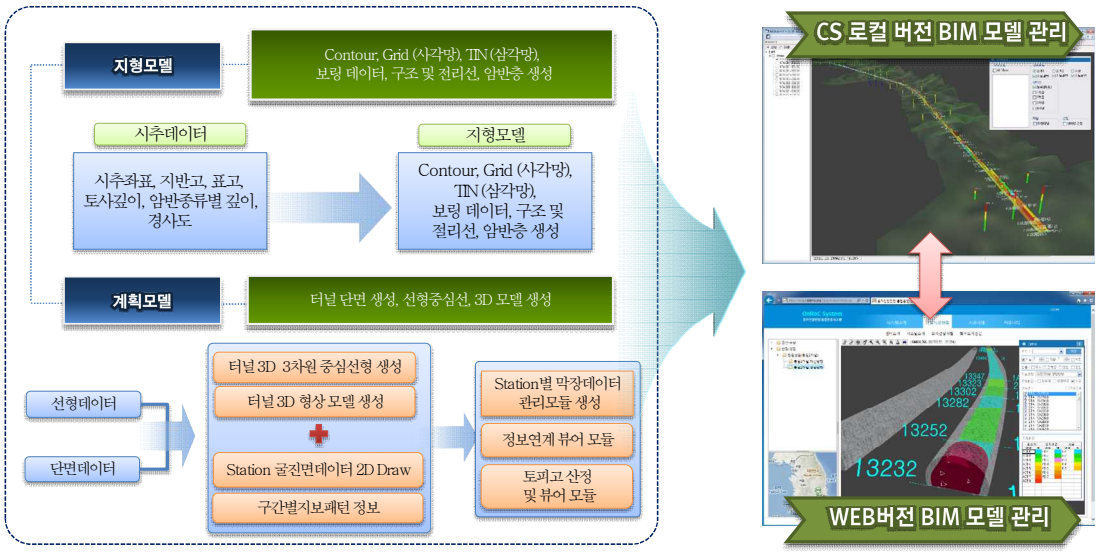
제1장 시스템 소개 및 모델링 준비

1.1 시스템 개요 및 모델링 필요 자료

○ 「통합 3D 터널분석 시스템」은 터널 시공 정보 및 지질 정보 객체의 물리적 특성 값을 BIM 기반 기술을 활용하여 종합적으로 관리하는 기술을 포함하였으며 시공 중 발생되는 다양한 정보를 연계하여 표출할 수 있도록 개발하였다.

○ BIM과 연계한 터널 모델 적용으로 다양하고 정확한 정보를 사용자에게 제공하며 다양한 정보를 쉽게 열람할 수 있다.

○ 디지털화된 굴진면 맵핑자료의 DB를 실시간으로 3D 모델 상에 가시화하고 현장의 다양한 설계 및 시공정보의 DB구축을 통해 체계적 관리가 가능한 장점이 있다.



○ 「통합 3D 터널분석 시스템」은 지형모델→계획모델→시뮬레이션의 순서로 모델링 및 활용이 가능하며 모델링을 위한 필요자료는 다음과 같다(시스템 등록 자료 준비에 관련된 상세 내용은 부록 참조).

■ 지형모델 생성 :

– 지형 3D 데이터(dwg 형식) : Contour 또는 3D point 등

– 시추주상도 정보 : 시추공 No., 시추위치(x, y 좌표), 표고(m) 및 각 지층(토사, 풍화암, 연암, 경암) 두께(m)

– 지형 바운더리(Boundary)(dwg 형식) : 모델링에 사용된 지형도의 범위 내부에 한 개의 폐합된 폴리선으로 생성

■ 계획모델 생성 :

– 터널 평면도 상 터널 중심선 정보(dwg 형식)

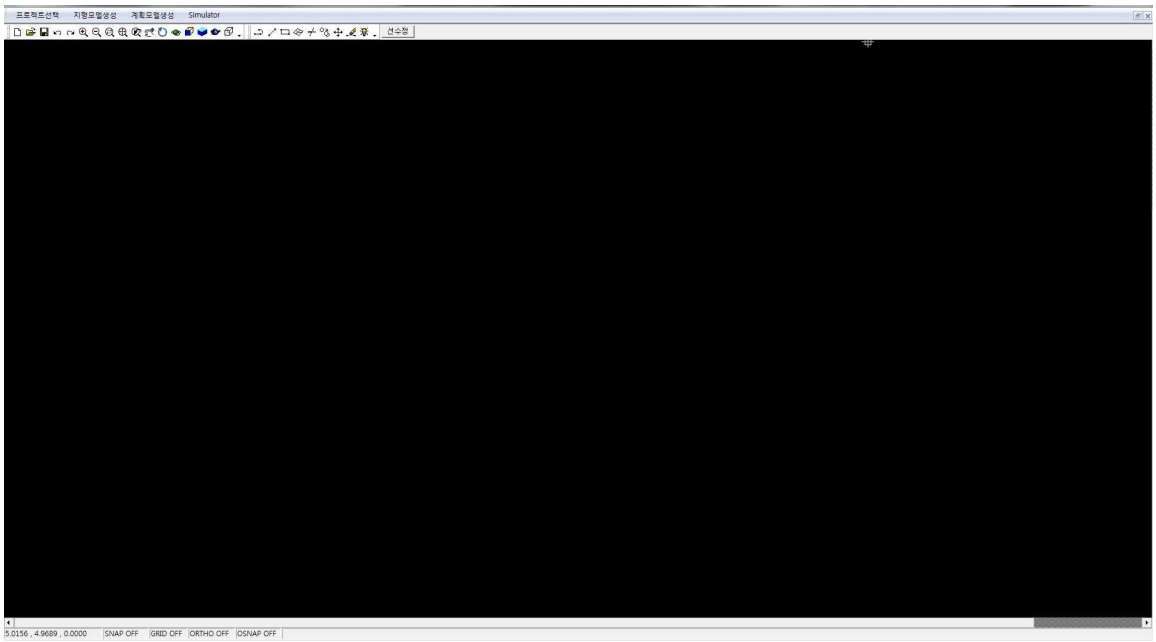
– 종단면도 상 터널 계획고(스테이션–계획고(m) 정리 파일)

– 지보패턴 정보(dwg 형식) : 각 지보패턴의 터널굴착선에 대한 한 개의 폐합된 폴리선 및 중심선 위치 표시

– 스테이션별 지보패턴 정보 : 설계 및 시공 중 적용된 지보패턴 정보(스테이션 시작점, 종료점, 해당 연장에 대한 지보패턴)의 정리파일

1.2 화면설명

○ 프로그램 구동 후 다음과 같은 메인화면이 표출된다.



○ 메인화면 상단에 위치한 매뉴바의 항목은 아래 그림과 같고 각 항목에 대한 설명은 다음과 같다.



- 프로젝트선택 : 관리자가 운영 중인 전체 프로젝트 현황목록 중 작업을 위한 현장(프로젝트)을 선택하는 항목. 관리자 PC에만 설치되는 항목으로 개별 현장에서는 해당 항목이 나타나지 않음.
- 지형모델생성 : 터널시공 현장의 지형모델을 생성하는 항목으로 지형모델생성 항목의 세부 구성 및 생성 방법은 본 매뉴얼 "2.1 지형모델 생성(5페이지)" 참고.
- 계획모델생성 : 터널구조물 모델을 생성하는 항목으로 계획모델생성 항목의 세부 구성 및 생성 방법은 본 매뉴얼 "2.2 계획모델 생성(9페이지)" 참고.
- Simulator : 지형모델생성과 계획모델생성 과정을 통해서 생성된 3D모델 및 입력정보(지층정보, 지보패턴 계획 및 시공 현황, 디지털 맵핑 자료 및 굴진면 이미지 등)를 확인할 수 있는 항목으로 Simulator의 세부 구성 및 사용 방법은 본 매뉴얼 "제3장 시뮬레이터(Simulator) 및 맵핑자료 확인(20페이지)" 참고.
- NEW : 프로그램 화면의 초기화 실행
- OPEN : 파일 불러오기(지형정보, 선형정보 등을 기존의 파일에서 읽어 들이기 위해서 파일을 불러오는 기능이며 dwg, dxf, dgn, xml, vdf 등의 파일 형식을 열어 볼 수 있음)
- SAVE : 프로그램 내에서 생성한 그림, 모델 등을 dwg 파일형식으로 저장
- UNDO 및 REDO : 실행 취소 및 재실행
- Zoom In 및 Zoom Out : 화면 확대 및 축소
- Zoom Window : 사용자가 지정하는 특정 부분(선택 범위)을 확대
- Zoom Extents : 전체 객체 확대(화면 상에 생성된 오브젝트(모델)를 화면에 꽉차게 확대 또는 축소
- Zoom Previous : 바로 이전의 줌 화면으로 이동
- Pan : 화면 초점 이동하기
- ROTATE : 객체 2D 회전
- 3D Orbit : 3D환경에서 생성된 객체(모델)를 원하는 각도, 모든 방향으로 회전
- PLAN : 3D 객체 또는 2D 객체의 관찰 시점을 평면뷰 시점으로 이동
- SHADE : 모델 뷰 상태를 그림자 처리로 정의

- REND : 모델 뷰 상태를 랜더처리 상태로 정의
- WIRE : 모델 뷰 상태를 와이어 상태로 정의
- PLINE : 폴리라인(Pline) 그리기
- Line : 라인 그리기
- RECT : 사각형 객체 그리기
- 3DFace : 3차원 면 그리기
- Trim : 자르기(기준 객체 선택 후 우클릭 → 잘라낼 객체 선택)
- COPY : 객체 복사하기(복사 대상 객체 선택 후 우클릭 → 원하는 위치로 복사)
- MOVE : 객체 이동하기(이동 대상 객체 선택 후 우클릭 → 원하는 위치로 복사)
- ERASE : 객체 삭제(삭제 대상 객체 선택 후 우클릭)
- Layer : 레이어(Layer) 설정창 실행

1.3 라이센스 관련 주의사항

○ 본 시스템은 시스템 설치 시 제공되는 USB 락키(lock key)를 컴퓨터에 꽂은 상태에서만 실행이 가능하다.

○ 제공되는 USB 락키(lock key)를 포맷하거나 파일의 위치를 변경할 경우 프로그램 실행이 불가하므로 USB 락키 사용시 주의가 필요하다.

제2장 3D 모델 생성

2.1 지형모델 생성

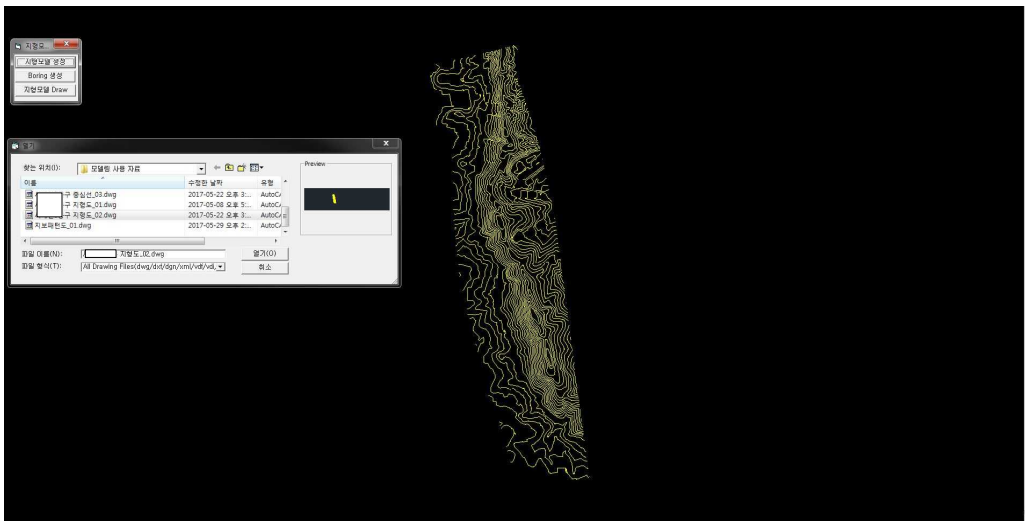
○ 시공될 터널의 주변 지형 및 지층을 모델링 하는 단계이며 지표면의 지형데이터, 설계 시 또는 시공 중 지반조사를 통하여 취득된 시추정보(Boring data) 등을 종합하여 지형 및 지층을 모델링 한다.

○ 생성된 지형모형은 3차원 모델로 시스템 내에서 구현이 가능하며 지형모델 생성을 위한 절차는 '지형모델 생성' – 'Boring 생성' – '지형모델 Draw' 순으로 크게 구분할 수 있으며 각 절차를 진행하는 방법은 다음과 같다.

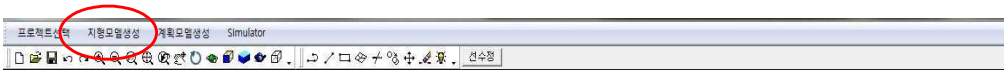
2.1.1 지형모델 및 Boring 생성

1) Contour 데이터를 이용한 지형모델 생성은 다음과 같은 순서로 진행한다.

① 메인화면 상단에 위치한 매뉴바의 매뉴 중 "OPEN" 클릭 후 팝업창에서 모델링에 사용할 현장 지형모델 Contour 파일 불러오기



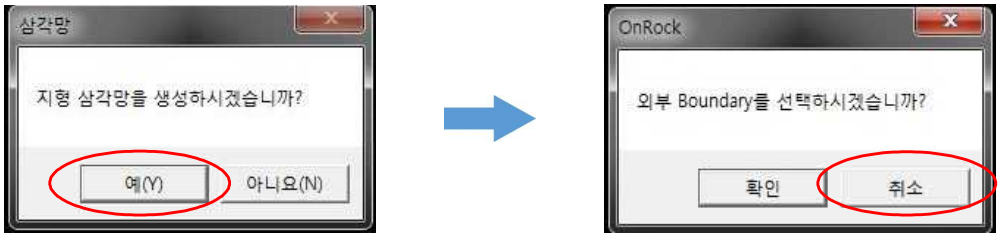
② 메인화면 상단에 위치한 매뉴바의 매뉴 중 "지형모델생성" 클릭



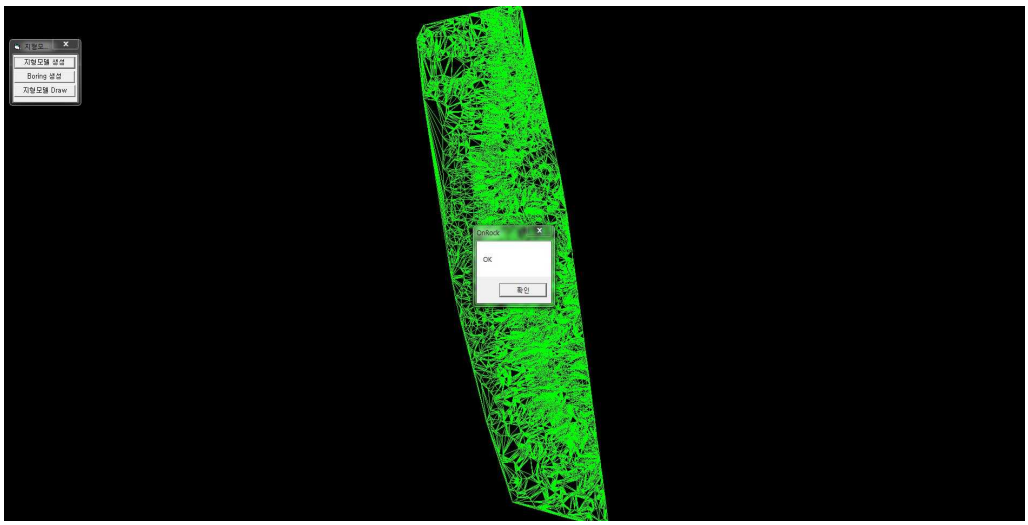
③ 지형모델생성 팝업창에서 “지형모델 생성” 클릭



④ 삼각망 팝업창에서 “예(Y)”클릭 후 외부 Boundary “취소” 클릭



⑤ 모델링에 사용할 지형모델 Contour 전체 영역을 선택 → 지형모델 Contour 선이 실선에서 점선으로 변경 → 우클릭(OK 또는 Enter 키 역할) → 3번(CAD 색상표 상 녹색) 확인 → 지형삼각망 생성 확인 및 팝업창의 “OK” 버튼 클릭

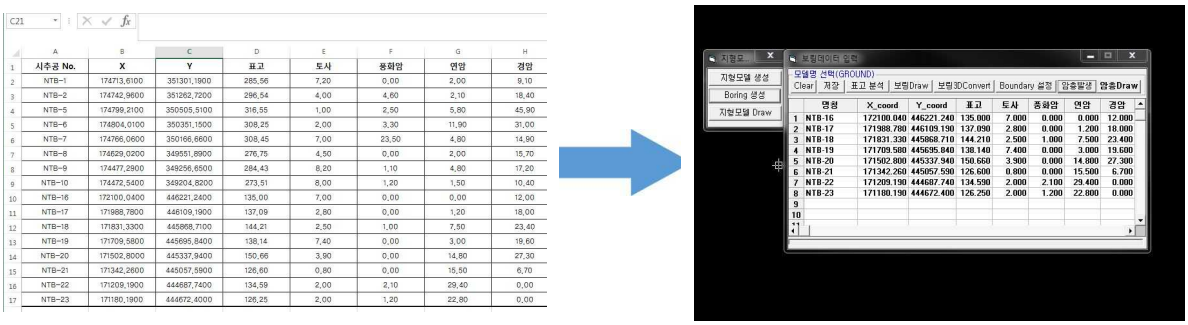


2) 지층(암층)구분을 위한 보링(시추공) 정보 입력 및 보링생성은 다음과 같은 순서로 진행한다.

① 지형모델생성 팝업창에서 “Boring 생성” 클릭



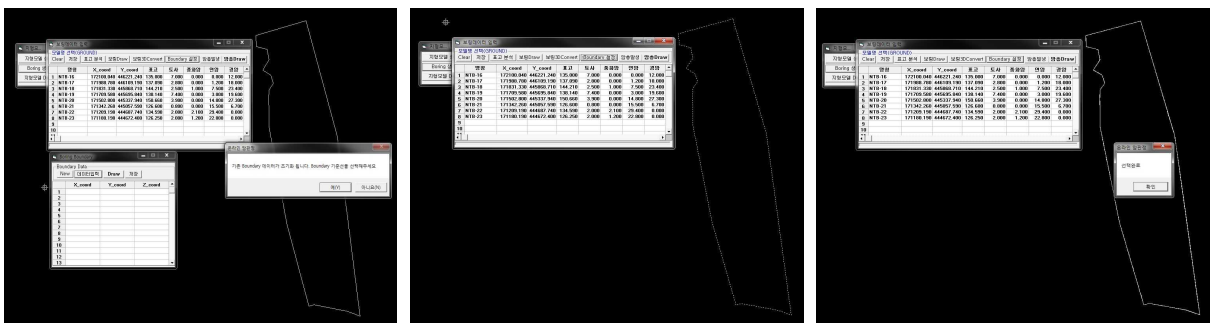
② “보링데이터 입력” 팝업창에 지반조사 결과를 통해서 얻은 시추공별 보링데이터를 개별 입력하거나 미리 준비된 시추주상도 정보의 정리파일(엑셀형식)을 이용하여 복사 및 붙여넣기로 입력 후 “저장” 클릭



	시추공 No.	X	Y	표고	토사	풍화암	연암	경암
2	NTB-1	174713,6100	351301,1900	285,56	7,20	0,00	2,00	9,10
3	NTB-2	174742,9600	351262,7200	296,54	4,00	4,60	2,10	18,40
4	NTB-5	174799,2100	350505,5100	316,55	1,00	2,50	5,80	45,90
5	NTB-6	174804,0100	350351,1500	308,25	2,00	3,30	11,90	31,00
6	NTB-7	174766,0600	350166,6600	308,45	7,00	23,50	4,80	14,90
7	NTB-8	174629,0200	349551,8900	276,75	4,50	0,00	2,00	15,70
8	NTB-9	174477,2900	349256,6500	284,43	8,20	1,10	4,80	17,20
9	NTB-10	174472,5400	349204,8200	273,51	8,00	1,20	1,50	10,40
10	NTB-16	172100,0400	446221,2400	135,00	7,00	0,00	0,00	12,00
11	NTB-17	171988,7800	446109,1900	137,09	2,80	0,00	1,20	18,00
12	NTB-18	171831,3300	445868,7100	144,21	2,50	1,00	7,50	23,40
13	NTB-19	171709,5800	445695,8400	138,14	7,40	0,00	3,00	19,60
14	NTB-20	171502,8000	445337,9400	150,66	3,90	0,00	14,80	27,30
15	NTB-21	171342,2600	445057,5900	126,60	0,80	0,00	15,50	6,70
16	NTB-22	171209,1900	444687,7400	134,59	2,00	2,10	29,40	0,00
17	NTB-23	171180,1900	444672,4000	126,25	2,00	1,20	22,80	0,00

③ 보링데이터 저장 후 보링 Draw 클릭 : 생성된 보링데이터(시추주상도 정보) 위치 등 검토

④ 미리 준비된 Boundary 라인 파일(dwg 형식)을 열기(주의, 한 개의 폐합된 폴리선으로 생성) → “Boundary 설정” 클릭 → “Boring Boundary”팝업창에서 “데이터 입력” 클릭 → 팝업창(Boundary 기준선을 선택해 주세요)에서 “예(Y)”클릭 → Boundary 라인 선택 시 점선으로 변환 → 우클릭하여 정보 입력 → “선택완료” 팝업창 확인 후 “확인”클릭



2.1.2 지형모델 Draw 및 검토

1) 지형모델 Draw

① “2.1.1 지형모델 및 Boring 생성” 과정을 통해서 입력된 지형정보 및 지층(암층) 정보를 이용하여 지층이 구분된 3차원 지형모델을 생성하는 단계이다.

② “암층발생”은 다음과 같은 순서로 진행한다.

③ “보링데이터 입력” 팝업창에서 “암층발생” 클릭 후 각 암층 생성 메시지(토사 → 풍화암 → 연암 → 경암 순서) 확인

④ 모든 암층 생성 후 팝업창 “OK” 팝업창 확인 후 “확인” 클릭



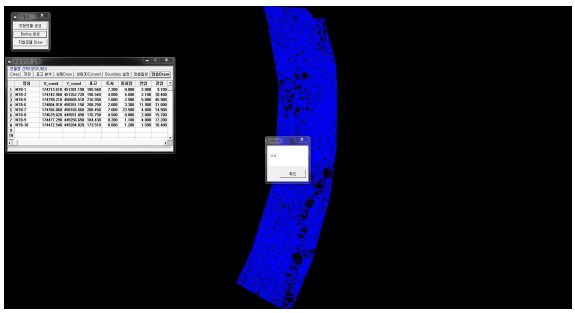


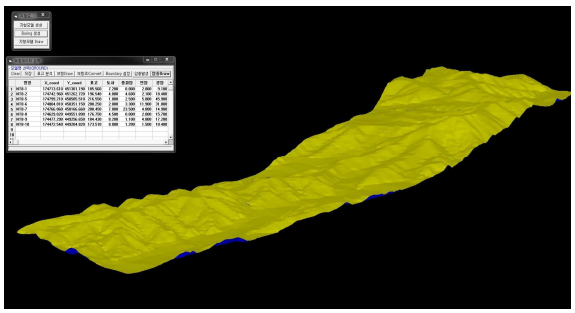
2) 지형모델 검토

① “암층발생”을 통해서 생성된 3차원 지형모델, 지층 구분 등을 확인하는 단계이다.

② 지형모델 검토는 다음과 같은 순서로 진행한다.

③ 암층 Draw를 통해 생성 암층(지층) 확인 : 상단 매뉴 아이콘 중 (3D Orbit)를 이용하여 3차원 객체 회전, (REND)를 이용하여 렌더링된 지형정보를 확인할 수 있음(아래 우측 그림 참조)





2.2 계획모델 생성

○ 터널의 평면선형데이터와 종단선형데이터를 입력한 후에 두 정보를 합성하여 3차원 형태의 선형데이터를 생성하고 설계 시 계획된 구간별 지보패턴(터널 굴착 단면 형태)을 입력하여 3차원 형태의 터널모형을 생성하는 단계이다.

○ 생성된 터널모형은 설계 시 계획된 지보패턴이 입력되며 시공 중에 적용된 실제 지보패턴을 입력하여 “설계 시-시공 중” 지보패턴의 변화를 비교할 수 있도록 시스템이 구성되어 있다.

○ 계획모델 생성을 위한 절차는 ‘선형데이터 입력’ – ‘종단데이터 입력’ – ‘평면+종단 합성’ – ‘선형 Draw’ 순으로 구분할 수 있으며 각 절차를 진행하는 방법은 다음과 같다.

2.2.1 중심선 생성

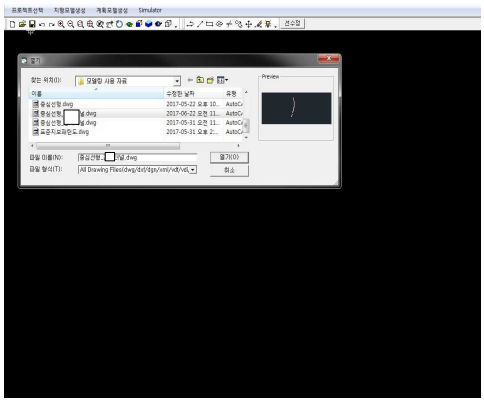
1) 선형데이터 입력 : 터널의 계획모델 생성을 위해서 평면선형데이터를 입력하는 단계로 다음과 같은 순서로 진행한다.

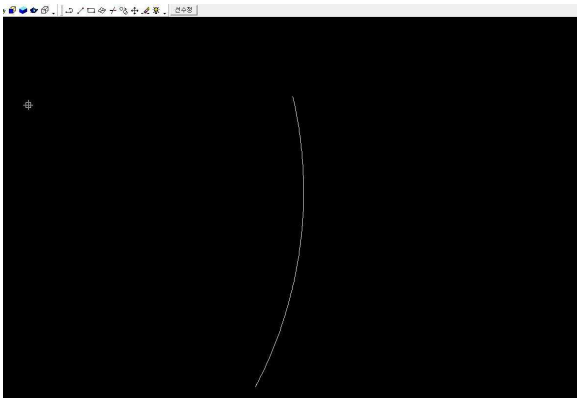
① 입력 필요자료 및 터널 평면도 자료(DWG 형식) 준비 : 터널구간에 대한 각 Station별 X 및 Y 좌표, 계획고 정보의 정리파일(엑셀형식)과 터널 시점부터 종점까지 하나의 폴리라인(PLINE)으로 생성된 평면도 자료를 준비하고 터널의 시점 Station을 확인

※ 정리파일(엑셀형식) 양식 및 작성 예

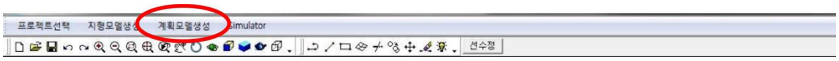
Station	Station 번호	좌표(X)	좌표(Y)	Sta. 간 거리(m)	계획고(m)
232+370.00	*232370.00*	174728.5388	471287.7214	0	174.21
232+380.00	232380.00	174730.6520	451277.9511	10.00	174.13
≀	≀	≀	≀	≀	≀
234+480.00	234480.00	174476.9049	449236.3758	20.00	159.97
234+500.00	234500.00	174467.7232	449218.6090	20.00	159.89

② 메인화면 상단에 위치한 매뉴바의 매뉴 중 “OPEN” 클릭 후 팝업창에서 모델링에 사용할 터널 평면도 자료 파일(DWG) 불러오기

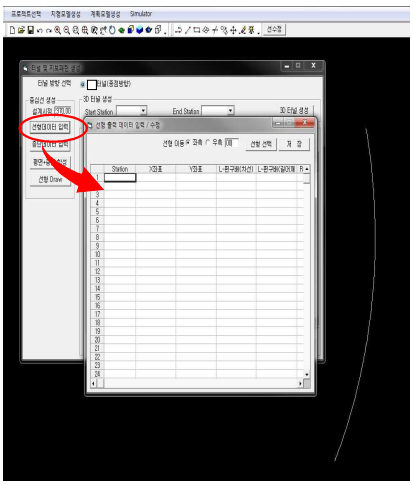


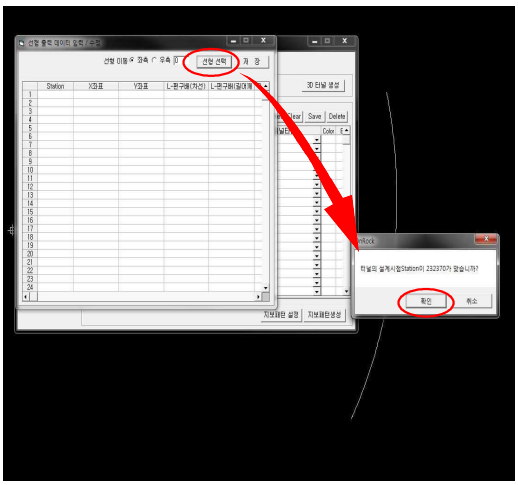


③ 메인화면 상단에 위치한 매뉴바의 매뉴 중 “계획모델생성” 클릭 → “터널 및 지보패턴 생성” 팝업창 생성



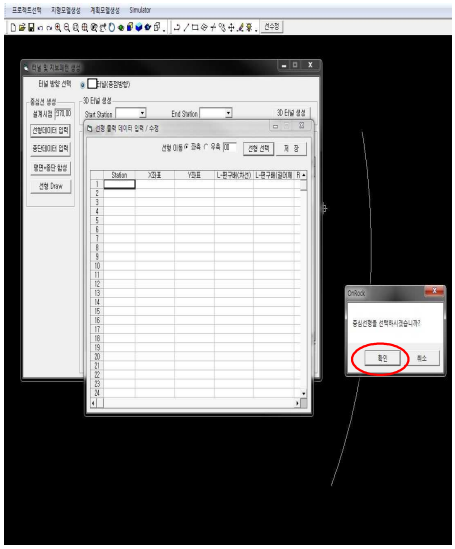
④ “터널 및 지보패턴 생성” 팝업창에서 “설계시점”의 스테이션 정보 입력 후 “선형데이터 입력” 버튼 클릭 → “선형 출력 데이터 입력/수정” 팝업창 생성 → “선형 선택”클릭 → “터널의 설계시점 Station이 ○○○○○가 맞습니까?”팝업창 생성 → 입력한 설계시점과 동일 여부 체크 후 확인 클릭

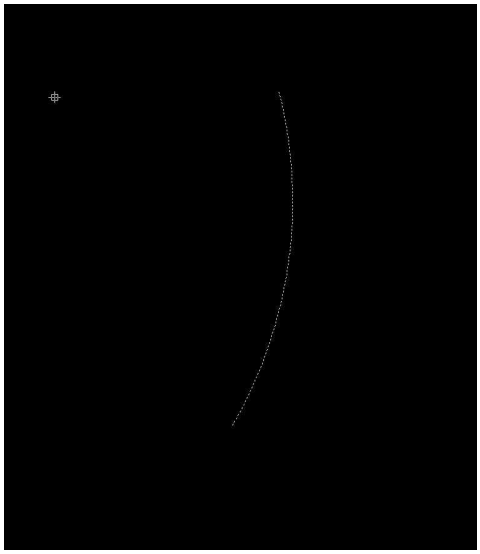




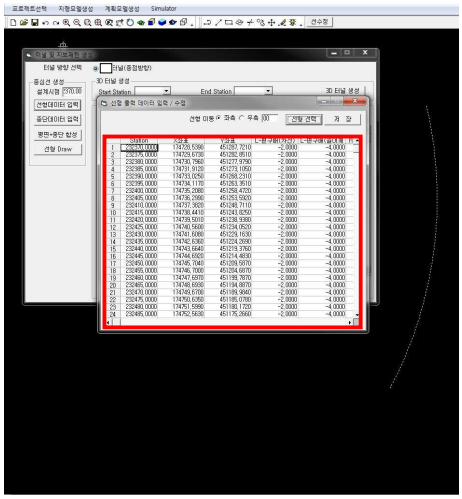
※ 주의 : “선형 출력 데이터 입력/수정” 팝업창에서 선형 이동” 좌측, 우측 클릭 버튼이 있으며 이동하려는 값을 입력할 수 있는 칸이 있음. 터널 평면도 자료(DWG 형식) 상의 중심선이 터널단면(지보패턴도 터널 외곽선)의 중심선과 일치할 경우에는 ‘0’을 입력하도록 한다.

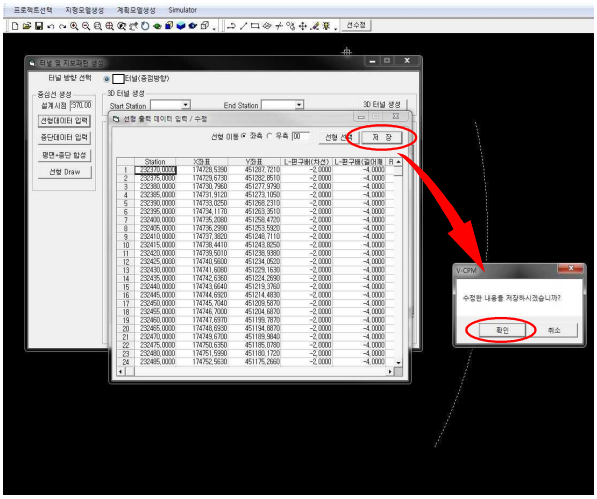
⑤ “중심선형을 선택하시겠습니까?” 팝업창이 생성되면 “확인” 클릭 → 중심선을 마우스 왼쪽버튼 클릭하여 선택 → 중심선 점선으로 변경 → 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하여 “OK” 명령 실행





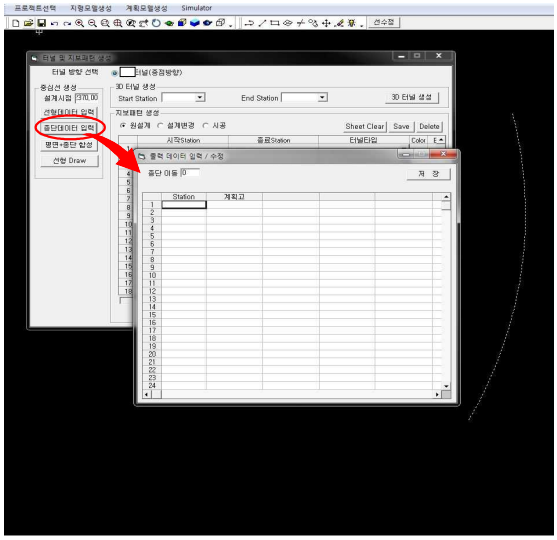
⑥ “선형 출력 데이터 입력/수정” 창에서 중심선 정보로부터 입력된 Station, X좌표, Y좌표 등 정보 확인 → “선형 출력 데이터 입력/수정” 창의 저장 버튼 클릭





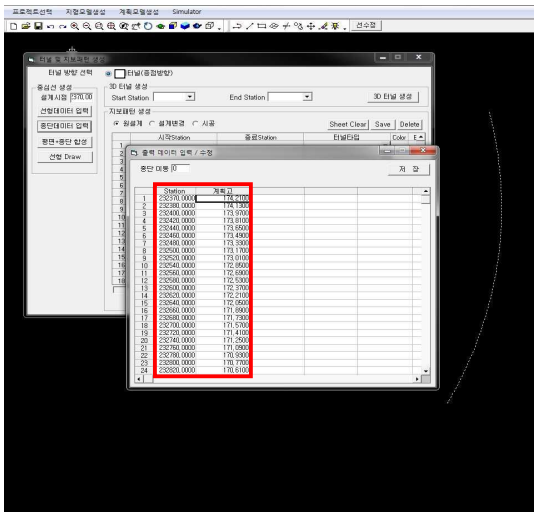
2) 종단데이터 입력 : 터널의 계획모델 생성을 위해서 터널 중심선의 종단데이터(정보)를 입력하는 단계로 다음과 같은 순서로 진행한다.

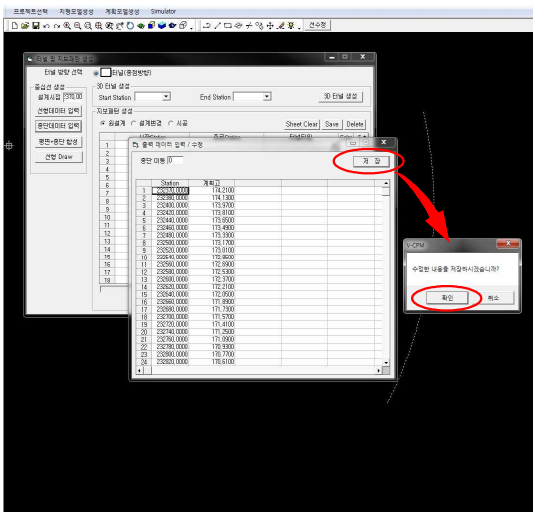
① “터널 및 지보패턴 생성” 팝업창에서 “종단데이터 입력” 버튼 클릭 → “출력 데이터 입력/수정” 팝업창 생성 → Station별 X 및 Y 좌표, 계획고 정보의 정리파일(엑셀형식)에서 Station 정보와 계획고 정보 복사



	A	B	C	D	E	F
1	STA.	STA. 번호	좌표 X	좌표 Y	STA. 간 거리	계획고
2	232+370.00	232370.00	174728.5388	451287.7214	0	174.21
3	232+380.00	232380.00	174730.6520	451277.9511	10.00	174.13
4	232+400.00	232400.00	174735.0751	451258.4474	20.00	173.97
5	232+420.00	232420.00	174739.3681	451238.9146	20.00	173.81
6	232+440.00	232440.00	174743.5307	451219.3537	20.00	173.65
7	232+460.00	232460.00	174747.5629	451199.7654	20.00	173.49
8	232+480.00	232480.00	174751.4644	451180.1507	20.00	173.33
9	232+500.00	232500.00	174755.2351	451160.5104	20.00	173.17
10	232+520.00	232520.00	174758.8747	451140.8454	20.00	173.01
11	232+540.00	232540.00	174762.3832	451121.1566	20.00	172.85
12	232+560.00	232560.00	174765.7603	451101.4448	20.00	172.69
13	232+580.00	232580.00	174769.0059	451081.7110	20.00	172.53
14	232+600.00	232600.00	174772.1199	451061.9560	20.00	172.37
15	232+620.00	232620.00	174775.1021	451042.1806	20.00	172.21
16	232+640.00	232640.00	174777.9525	451022.3858	20.00	172.05
17	232+660.00	232660.00	174780.6708	451002.5724	20.00	171.89
18	232+680.00	232680.00	174783.2569	450982.7414	20.00	171.73
19	232+700.00	232700.00	174785.7108	450962.8936	20.00	171.57
20	232+720.00	232720.00	174788.0323	450943.0298	20.00	171.41
21	232+740.00	232740.00	174790.2214	450923.1510	20.00	171.25
22	232+760.00	232760.00	174792.2779	450903.2580	20.00	171.09
23	232+780.00	232780.00	174794.2017	450883.3518	20.00	170.93
24	232+800.00	232800.00	174795.9927	450863.4332	20.00	170.77
25	232+820.00	232820.00	174797.6509	450843.5031	20.00	170.61
26	232+840.00	232840.00	174799.1763	450823.5624	20.00	170.45
27	232+860.00	232860.00	174800.5686	450803.6120	20.00	170.29
28	232+880.00	232880.00	174801.8279	450783.6527	20.00	170.13
29	232+900.00	232900.00	174802.9542	450763.6855	20.00	169.97

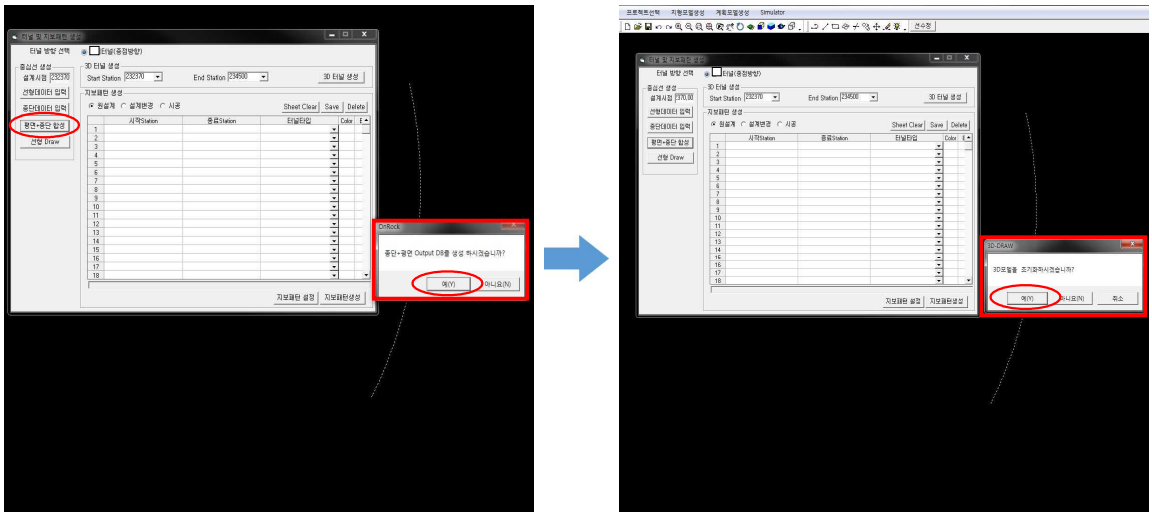
② 정리파일(엑셀형식)에서 복사한 Station 정보와 계획고 정보를 “출력 데이터 입력/수정” 팝업창에 붙여넣기 한 후 생성정보 확인 및 저장버튼 클릭 → “수정한 내용을 저장하시겠습니까?” 팝업창 생성 시 “확인” 클릭



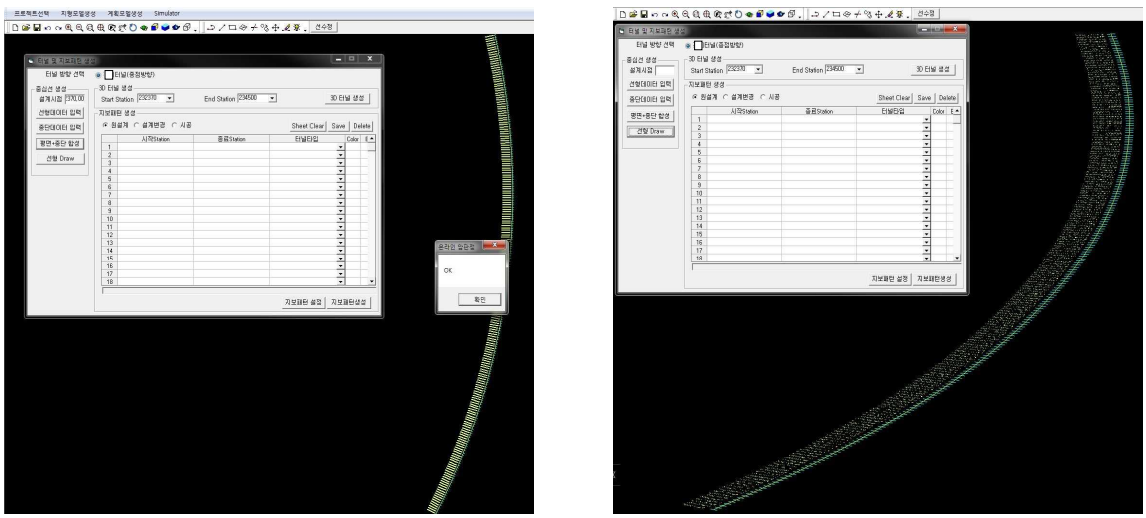


3) 평면+종단 합성 및 선형 Draw : 앞에서 입력된 중심선의 평면정보와 종단정보를 합성하여 3차원 중심선 모델을 생성하는 단계이며 생성된 중심선은 선형 Draw 기능을 이용하여 확인할 수 있다. 평면+종단 합성 및 선형 Draw 는 다음과 같은 순서로 진행한다.

① “터널 및 지보패턴 생성” 팝업창에서 “평면+종단 합성” 버튼 클릭 → “종단+평면 Output DB를 생성하시겠습니까?” 팝업창 생성 → “예” 클릭 → “3D모델을 초기화하시겠습니까?” 팝업창 생성 클릭 → “예” 클릭

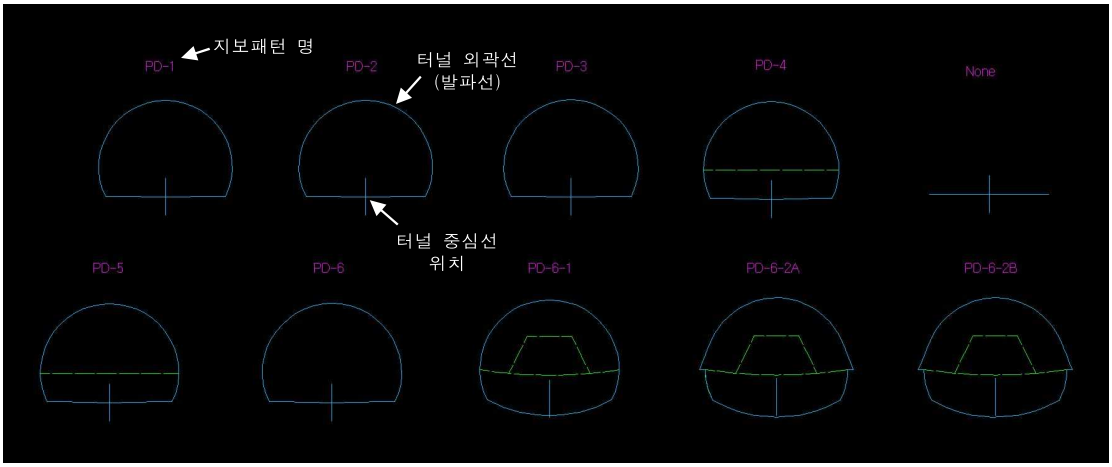


② “예” 버튼을 클릭한 후 “OK” 메세지의 팝업창이 뜨고 스테이션 정보가 포함된 터널 중심선이 화면에 생성 → “선형 Draw 버튼 클릭” → 상단 매뉴 아이콘 중 (3D Orbit)를 이용하여 3차원 객체 회전을 하여 생성된 3차원 터널 중심선 검토(아래 우측 그림 참조)



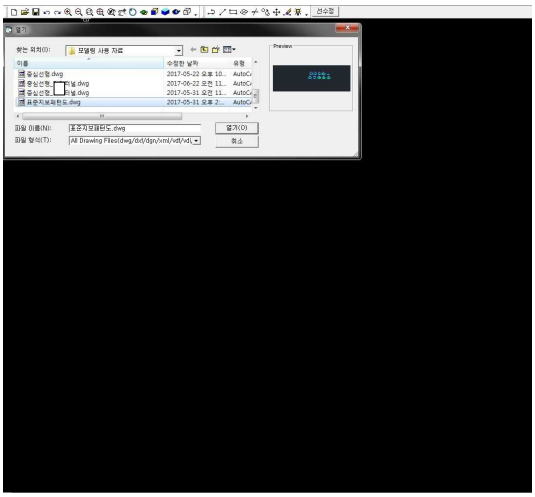
2.2.2 지보패턴 생성

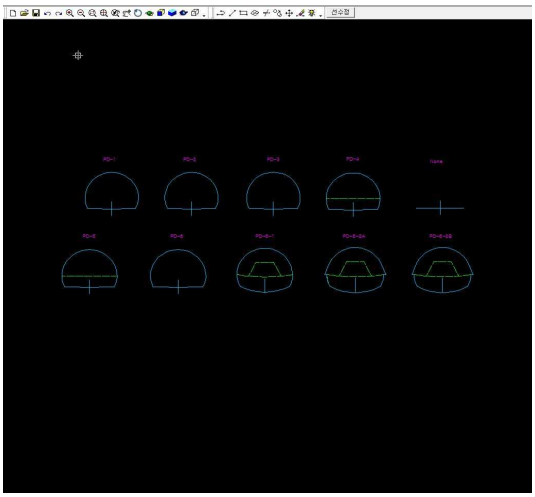
1) 입력 자료 준비 : “지보패턴 생성” 은 “중심선 생성” 단계를 통해서 생성된 3차원 터널 중심선에 터널 굴착 단면을 합성하여 3차원 터널 모델을 생성하는 단계이다. 3차원 터널 모델 생성을 위해서는 각 지보패턴에 따라서 계획된 터널 굴착단면에 대한 정보가 필요하다. 설계 시 작성된 “표준지보패턴도(DWG 파일)”를 수정하여 아래 그림의 예시와 같이 터널 외곽선(발파선) 및 중심선 정보가 표시된 DWG 형식의 파일을 준비한다.



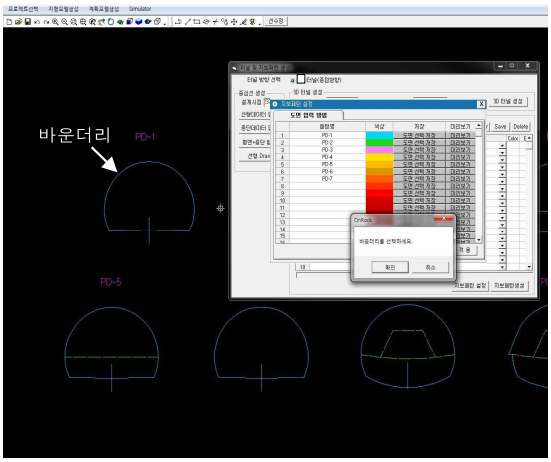
2) 지보패턴 설정 : 1)에서 준비된 터널 패턴별 터널 단면을 시스템에 DB화하는 작업으로 해당 현장(프로젝트)에 필요한 지보패턴명과 터널외곽선(발파선), 중심선 정보를 입력하는 단계이며 다음과 같은 순서로 진행한다.

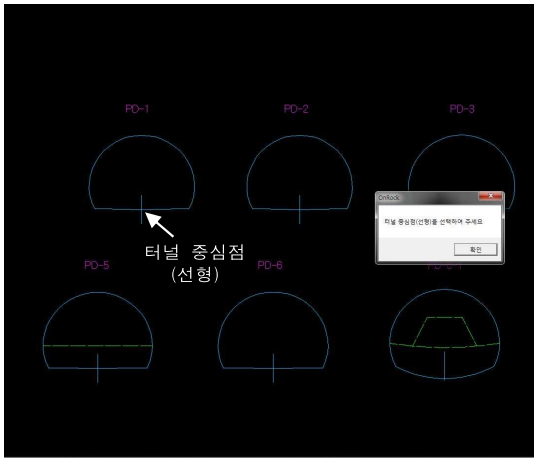
① 메인화면 상단에 위치한 매뉴바의 매뉴 중 "OPEN" 클릭 후 팝업창에서 모델링에 사용할 터널 지보패턴도 정리 파일(DWG) 불러오기



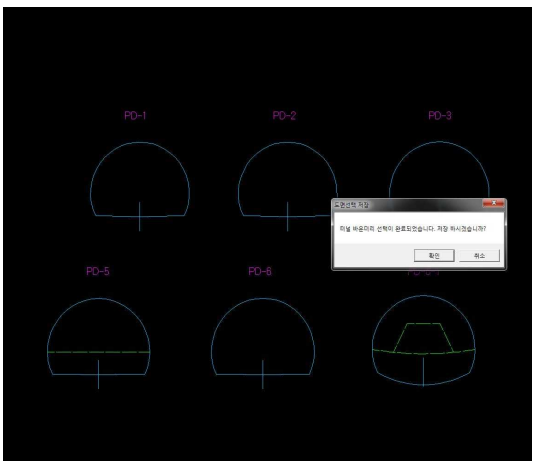


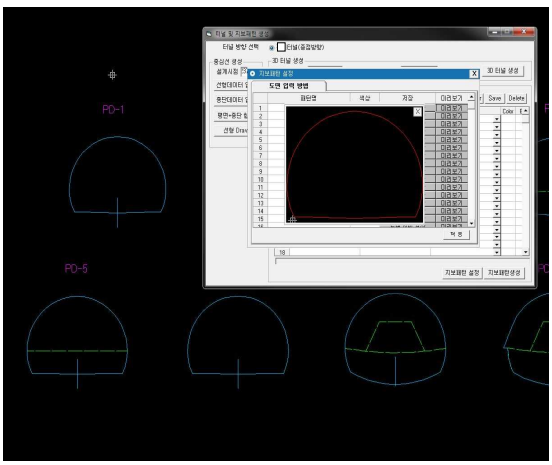
② "터널 및 지보패턴 생성" 팝업창 하단의 "지보패턴 설정"버튼(우측 하단)을 클릭 → "지보패턴 설정" 팝업창 생성 → 패턴명에 각 해당 패턴명 기입 → 각 패턴에 해당하는 "도면 선택 저장"버튼 클릭 → "바운더리를 선택하세요" 팝업창 생성 → "확인"버튼 클릭 → 도면에서 해당 패턴의 바운더리(외곽선)를 왼쪽 마우스버튼으로 선택 → 오른쪽 마우스버튼 클릭 → "터널 중심점(선형)을 선택하여 주세요" 팝업창 생성 → "확인"버튼 클릭 → 도면에서 해당 패턴의 터널 중심을 왼쪽 마우스버튼으로 선택





③ “터널 바운더리 선택이 완료되었습니다. 저장하시겠습니까?” 팝업창 생성 → “확인” 버튼 클릭 → “정상적으로 저장되었습니다.” 팝업창 생성 → “확인” 버튼 클릭 → “지보패턴 설정” 팝업창의 “미리보기” 버튼을 클릭하여 생성된 지보패턴 단면도 체크





④ ②~③ 단계를 반복적으로 진행하여 설정이 필요한 지보패턴 수에 맞게 지보패턴을 설정한 후 입력이 완료되면 “지보패턴 설정” 팝업창 하단의 “적용” 버튼을 클릭하여 마무리 한다.

3) 지보패턴 생성 및 3D 터널 생성 : 2)에서 입력된 “지보패턴명–터널단면” 정보를 바탕으로 터널 설계를 통해 계획된 터널의 각 구간별(Station) 지보패턴 정보를 입력하여 터널 전체 구간에 대한 3차원 터널 모델을 생성하는 단계이며 다음과 같은 순서로 진행한다.

① 입력 필요자료 준비 : 터널구간에 대해서 설계 시 계획된 지보패턴을 Station 구간별로 정리한 파일(엑셀형식)을 준비하여 지보패턴 생성시 입력 자료로 사용한다.

※ 정리파일(엑셀형식) 양식 및 작성 예

– 설계(계획) : 전체 터널구간에 대한 구간별 적용 지보패턴 정리

해당 지보패턴 시작 Station 번호	해당 지보패턴 종료 Station 번호	적용 지보패턴	구간 연장 (길이, m)
232370.00	232405.00	PD-6	35.0
232405.00	232410.00	PD-5	5.0
≀	≀	≀	≀
233115.00	233125.00	PD-2	10.0
233125.00	233143.00	PD-3	18.0

– 시공 중 : 터널 굴착후 실제 지반조건에 따라서 결정된 적용 지보패턴 정리

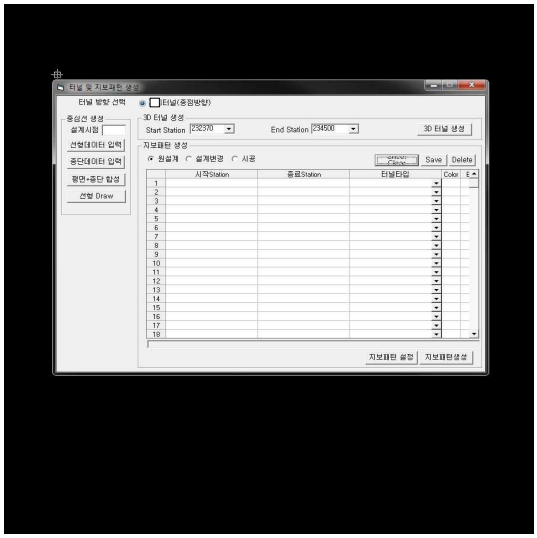
해당 지보패턴 시작 Station 번호	해당 지보패턴 종료 Station 번호	적용 지보패턴	구간 연장 (길이, m)
232370.00	232400.00	PD-6	30.0
232400.00	232408.40	PD-5	8.4
232408.40	232463.90	PD-4	55.5
232463.90	232511.90	PD-3	48.0
시공 중	시공 중		

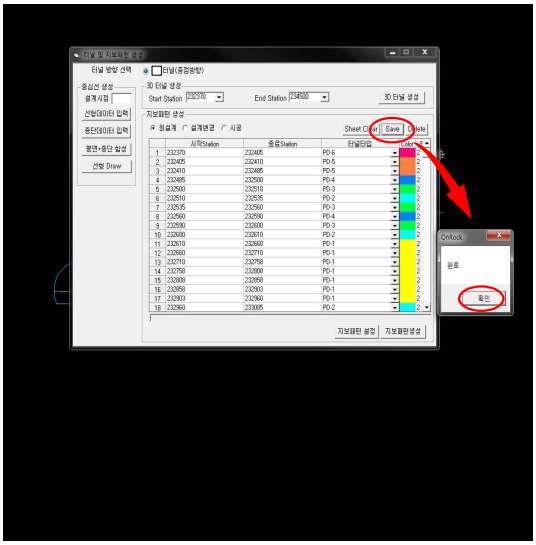
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	설계(당초)					시공 중			
2	해당 지보패턴 시작 STA. 번호	해당 지보패턴 종료 STA. 번호	적용 지보패턴	구간 연장(길이)		해당 지보패턴 시작 STA. 번호	해당 지보패턴 종료 STA. 번호	적용 지보패턴	구간 연장(길이)
3	232370	232405	PD-6	35		232370	232400	PD-6	30
4	232405	232410	PD-5	5		232400	232408.4	PD-5	8.4
5	232410	232485	PD-5	75		232408.4	232463.9	PD-4	55.5
6	232485	232500	PD-4	15		232463.9	232511.9	PD-3	48
7	232500	232510	PD-3	10		232511.9	232541.9	PD-2	30
8	232510	232535	PD-2	25		232541.9	232561.4	PD-4	19.5
9	232535	232560	PD-3	25		232561.4	232613.4	PD-3	52
10	232560	232590	PD-4	30		232613.4	232646.4	PD-1	33
11	232590	232600	PD-3	10		232646.4	232679.4	PD-1	33
12	232600	232610	PD-2	10		232679.4	232711.4	PD-1	32
13	232610	232660	PD-1	50		232711.4	232760.4	PD-1	49
14	232660	232710	PD-1	50		232760.4	232790.4	PD-2	30
15	232710	232758	PD-1	48		232790.4	232820.4	PD-2	30
16	232758	232808	PD-1	50		232820.4	232845.4	PD-2	25
17	232808	232858	PD-1	50		232845.4	232895.4	PD-1	50
18	232858	232903	PD-1	45		232895.4	232945.4	PD-1	50
19	232903	232960	PD-1	57		232945.4	232995.4	PD-1	50
20	232960	233005	PD-2	45		232995.4	233044.9	PD-1	49.5
21	233005	233050	PD-2	45		233044.9	233060.9	PD-2	16
22	233050	233061	PD-1	11		233060.9	233110.9	PD-1	50
23	233061	233115	PD-1	54		233110.9	233160.9	PD-1	50
24	233115	233125	PD-2	10		233160.9	233211.9	PD-1	51
25	233125	233143	PD-3	18		233211.9	233233.9	PD-2	22

※ 시공시 결정되는 구간별 지보패턴은 터널 굴착이 진행됨에 따라서 시스템에 등록하고 DB를 업데이트한다. 이렇게 생성된 DB자료를 통해서 “설계”와 “시공”중 결정된 지보패턴을 3차원 모델상에서 비교·검토할 수 있다(자세한 내용은 본 매뉴얼 “3.1.2 굴착정보 확인(22p)” 참조).

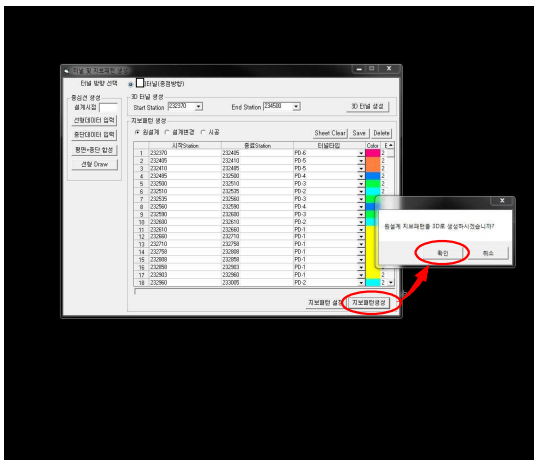
② “터널 및 지보패턴 생성” 팝업창의 “원설계” 체크 → 설계 시 계획된 구간별 지보패턴 정리

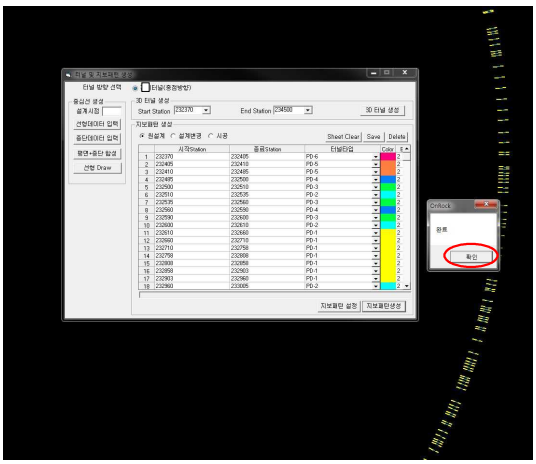
파일을 복사하여 팝업창에 붙여넣기 → “Save” 버튼 클릭 → “완료” 팝업창 생성 → “확인” 버튼 클릭



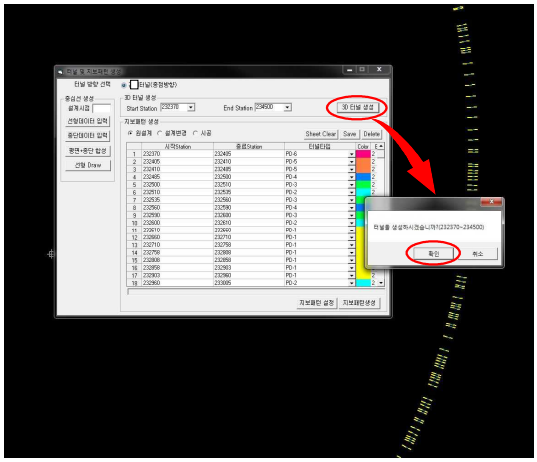


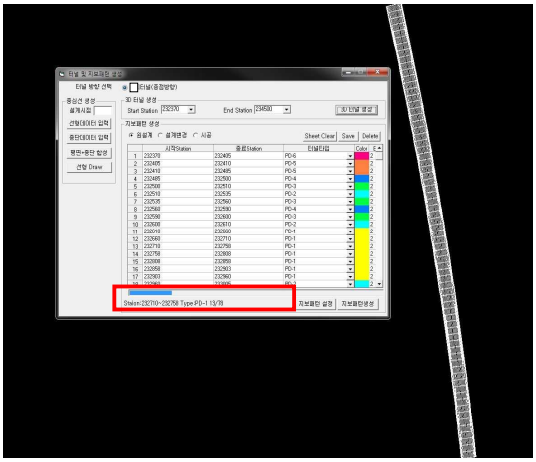
③ “터널 및 지보패턴 생성” 팝업창의 “지보패턴 생성” 버튼(우측 하단) 클릭 → “원설계 지보패턴을 3D로 생성하시겠습니까?” 팝업창 생성 → “확인” 버튼 클릭 → “완료” 팝업창 생성 → “확인” 버튼 클릭 → 구간별로 생성된 지보패턴 모델 확인

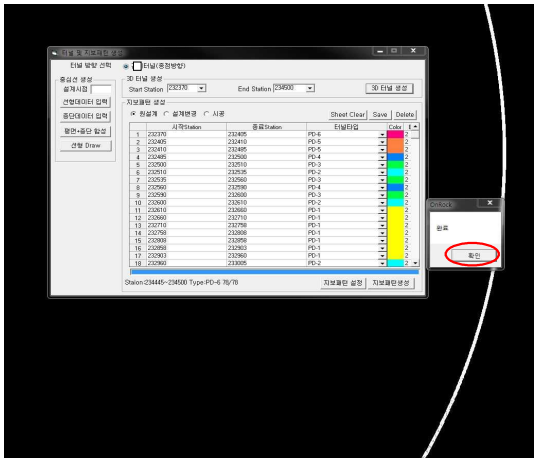


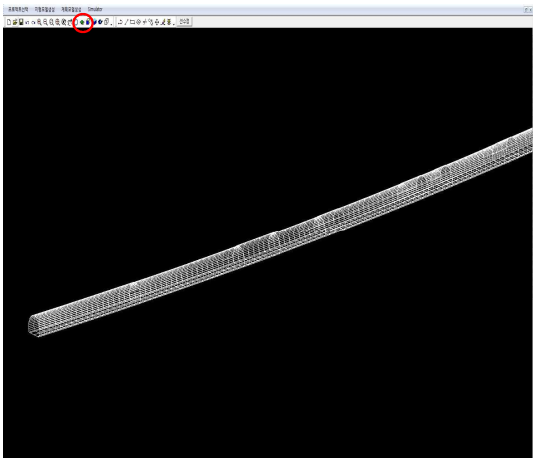


④ “터널 및 지보패턴 생성” 팝업창의 3D 터널 생성 항목 중 “3D 터널 생성” 버튼 클릭 → “터널을 생성하시겠습니까?” 팝업창 생성 → 스테이션 정보 확인 후 “확인” 버튼 클릭 → “터널 및 지보패턴 생성” 팝업창 하단에 진행상황 표시와 함께 화면에 3D 터널 모델 생성 → “완료” 팝업창 생성 후 “확인” 버튼 클릭 → 3차원 객체 회전(3D Orbit)을 이용하여 생성된 3D 터널 모델 검토









4) 터널 시공 시 결정된 지보패턴 입력 및 업데이트 : 시공 시 확정 또는 변경된 표준지보패턴, 구간별 지보패턴 정보를 입력하여 실제 시공현황을 시스템에 업데이트 하는 단계이다.

① 설계 시 작성된 "표준지보패턴도(DWG 파일)"과 같은 방법으로 시공 중 적용되는 "표준지보패턴도(DWG 파일)"을 준비한다(시공 중 지보패턴 추가 등 변경사항이 있을 경우).

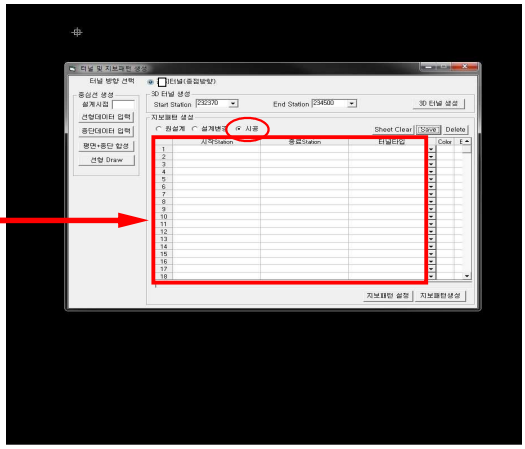
② "원설계"에 대한 지보패턴 설정 방법인 "2.2.2 지보패턴 생성" 내용에 따라서 "터널 및 지보패턴 설정" 팝업창의 "시공"을 클릭한 후 시공 중 조건에 대한 지보패턴 정보(패턴명, 터널외곽선(발파선), 중심선 정보)를 DB화 한다.

※ "원설계"와 "시공" 지보패턴 설정은 각각 별도로 진행하여야 한다. 따라서 "원설계"와 "시공"의 지보패턴명은 다르게 입력이 가능하고 같은 지보패턴명을 사용하더라도 다른 단면모양을 적용할 수 있다.

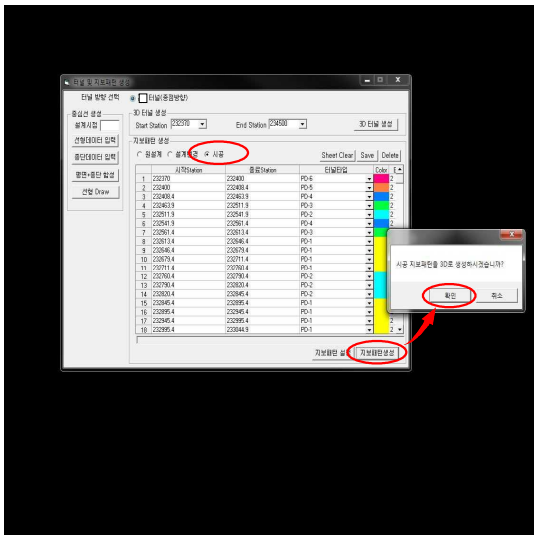
③ "터널 및 지보패턴 생성" 팝업창의 "시공" 체크 → 시공 중 결정되는 구간별 지보패턴 정리 파일을 복사하여 팝업창에 붙여넣기 또는 각 항에 직접 입력 → "Save" 버튼 클릭 → "완료" 팝업창 생성 → "확인" 버튼 클릭

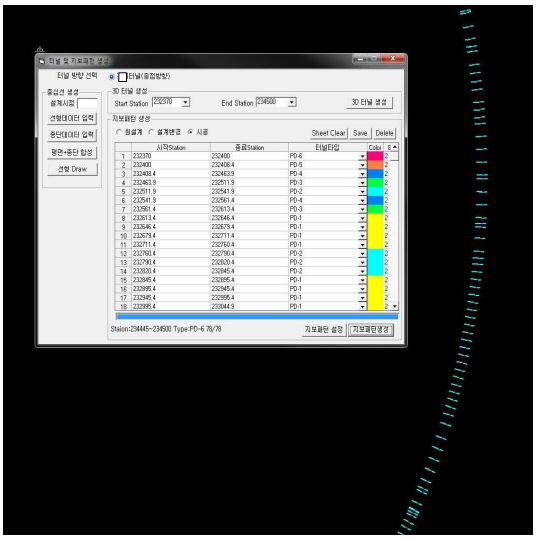
F	G	H	I
시공 중			
해당 지보패턴 시작 STA. 번호	해당 지보패턴 종료 STA. 번호	적용 지보패턴	구간 연장(길이)
232370	232400	PD-6	30
232400	232408.4	PD-5	8.4
232408.4	232463.9	PD-4	55.5
232463.9	232511.9	PD-3	48
232511.9	232541.9	PD-2	30
232541.9	232561.4	PD-4	19.5
232561.4	232613.4	PD-3	52
232613.4	232646.4	PD-1	33
232646.4	232679.4	PD-1	33
232679.4	232711.4	PD-1	32
232711.4	232760.4	PD-1	49
232760.4	232790.4	PD-2	30

[시공 중 결정되는 지보패턴 정보]



④ “터널 및 지보패턴 생성” 팝업창의 “지보패턴 생성”버튼(우측 하단) 클릭 → “원설계 지보패턴을 3D로 생성하시겠습니까?” 팝업창 생성 → “확인”버튼 클릭 → “완료”팝업창 생성 → “확인”버튼 클릭 → 구간별로 생성된 지보패턴 모델 확인



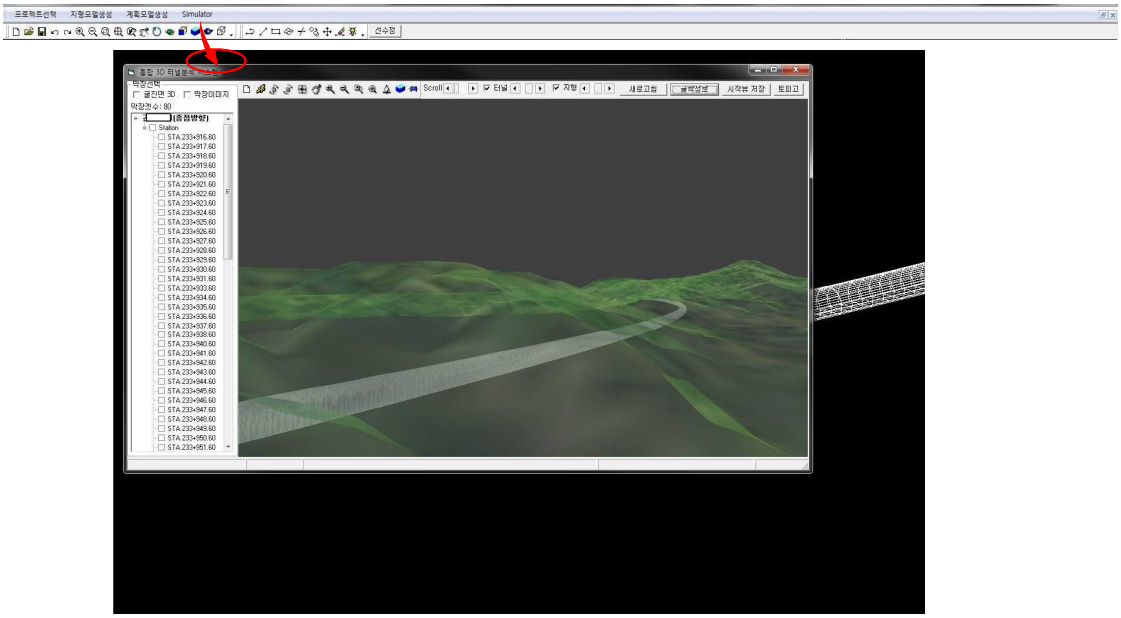


⑤ 터널 굴착이 진행됨에 따라서 굴진면 암반평가에 따른 시공 지보패턴은 지속적으로 발생하므로 새로운 자료가 생성될 때마다 ③~④ 단계를 반복하여 DB 및 지보패턴 모델을 업데이트 하도록 한다.

제3장 시뮬레이터(Simulator) 및 맵핑자료 확인

3.1 시뮬레이터의 주요 기능

○ “시뮬레이터(Simulator)”는 “제2장 3D 모델 생성” 단계에서 3차원 지형모델과 터널모델을 생성한 후 생성된 모델, 지보패턴 정보(설계, 설계변경, 시공), 토피고 확인, 맵핑자료 연계 등을 통하여 사용자에게 가시화된 정보를 표출하는 기능이다. 메인화면 상단에 위치한 매뉴바의 항목 중 Simulator를 클릭하여 새롭게 팝업되는 창을 통해서 이용할 수 있다.



○ “시뮬레이터”의 메인화면 상단에 위치한 매뉴바의 항목은 아래 그림과 같고 각 항목에 대한 설명은 다음과 같다.



- NEW : 프로그램 화면의 초기화 실행
- : WRZ 포맷 파일로 저장
- Target Rotate : 객체를 회전하여 뷰(View)방향 이동
- Eye Roate : 카메라를 회전하여 뷰(View)방향 이동
- Move Zoom In/Out : 카메라 시점 이동

- Pan : 화면 초점 이동하기
- Zoom In 및 Zoom Out : 화면 확대 및 축소
- Zoom Previous : 바로 이전의 줌 화면으로 이동
- Zoom Extents : 전체 객체 보기
- Plan Motion : 선택 시점까지 이동
- 뷰(View)방향 설정 : 하위매뉴(TOP, FRONT, BACK, LEFT, RIGHT)를 클릭하여 뷰(View)방향 이동
- Switch mode : 시각화설정변경(맵핑 상태, 맵핑이 안된 상태, 와이어 상태)
- Scroll : 마우스 스크롤 설정
- 터널 : 터널모델 On/Off 및 투명도 설정
- 지형 : 지형모델 On/Off 및 투명도 설정
- 새로고침 : 화면 새로고침(클릭시 시작뷰로 변경)
- 굴착정보 : “굴착정보 확인” 팝업창 실행
- 시작뷰 저장 : 유저가 시뮬레이터 구동시 또는 “새로고침” 클릭시 나타내고자 하는 화면 상태 저장
- 토피고 : 토피고 산출 모듈(“토피고 분석결과” 팝업창 실행)

3.1.1 시점이동 및 시작뷰 저장

1) 시점이동 : 사용자는 시뮬레이터에 표출된 지형 및 터널모델을 사용자가 원하는 시점에서 관찰할 수 있으며 시점이동을 위한 방법에는 Target Rotate, Eye Roate, Pan 기능 등이 있다.

① Target Rotate 기능을 이용하면 객체를 회전하여 뷰(View)방향을 이동할 수 있으며 Eye Roate 기능을 이용할 경우에는 카메라를 회전하는 것과 같은 효과로 뷰(View)방향을 이동하게 된다. Pan 기능을 이용하면 모델 객체의 초점을 이동할 수 있다.

② ① 단계를 통해서 사용자가 원하는 시점 및 화면 중심에 객체를 위치시킨 후에는 줌(Zoom) 기능을 이용하여 객체를 확대, 축소하여 이용자가 원하는 정보를 확인할 수 있다.

2) 시작뷰 저장 : “시뮬레이션”의 실행시 첫화면 또는 이용 중 이용자가 원하는 시점으로 변경하고자 할 때에는 원하는 시점에서 “시작뷰 저장” 버튼을 클릭하여 시작뷰를 저장한다. “시뮬레이션”이용중 저장된 시작뷰로 이동을 원할 때에는 “새로고침” 버튼을 클릭하면 시작뷰로 화면이 변경된다.



3.1.2 굴착정보 확인

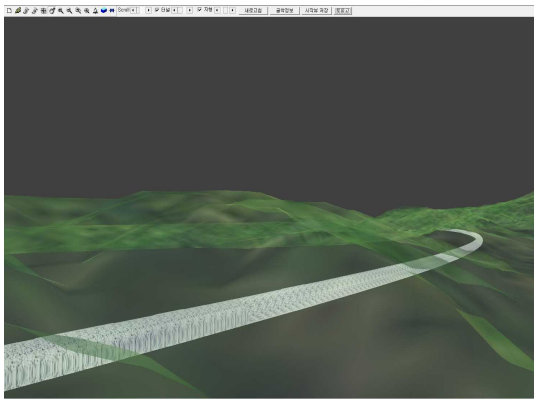
○ “시뮬레이터”의 메인화면 상단에 위치한 매뉴바의 항목 중 굴착정보를 클릭하면 “굴착정보 확인” 팝업창(아래 그림 참조)이 생성된다.

○ “굴착정보 확인” 팝업창을 이용해서 원설계, 설계변경, 시공시 적용된 지보패턴, 스테이션 정보, 지반정보(시추공 위치 및 지층, 암층구분), 지보패턴 범례 및 디지털 맵핑자료의 암질 및 암종 범례 등을 확인할 수 있다.

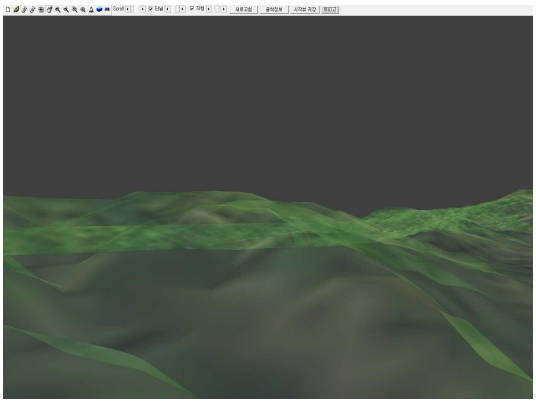


1) 터널 및 지형모델 확인

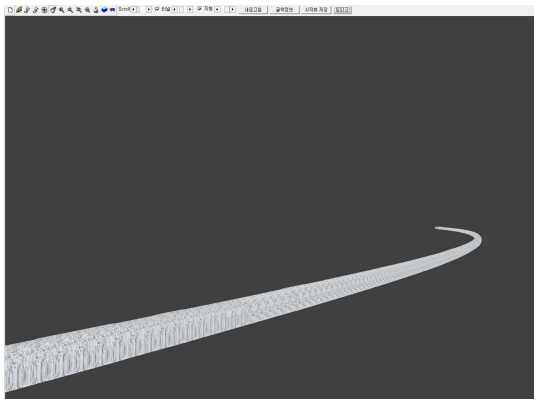
① 터널 및 지형모델은 시뮬레이션 상단 매뉴바 “  ” 버튼, “  ” 버튼을 이용하여 각 객체를 On/Off 할 수 있으며 각 객체 투명도를 조절할 수 있다.



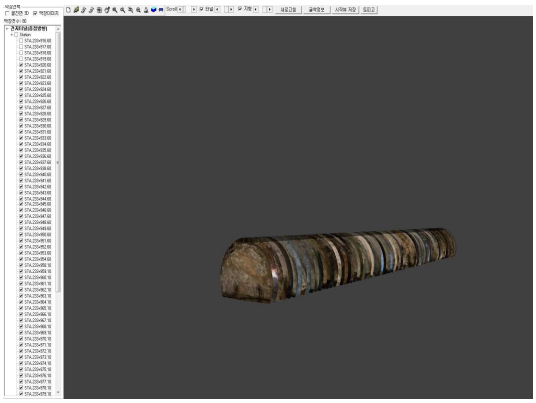
[지형모델 및 터널 모델 “On” 상태]



[지형모델 “On”, 터널모델 “Off” 상태]

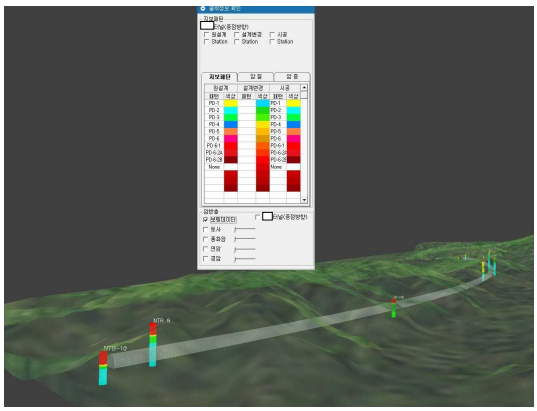


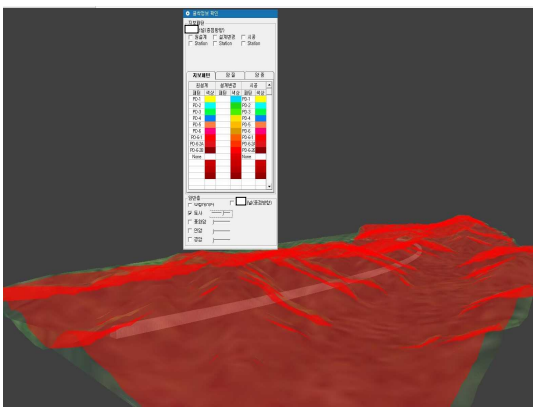
[터널모델 “On”, 지형모델 “Off” 상태]



[터널모델 및 지형모델 “Off” 상태]

② “굴착정보 확인” 팝업 창의 “보링데이터” 항목 클릭 → 지형모델 모델링에 사용된 시추공 정보가 3차원 모델상에 표출된다. 시추공 정보를 이용하여 생성된 각 암층(지층) 구성은 “굴착정보 확인” 팝업 창의 토사, 풍화암, 연암 및 경암 항목을 클릭하여 확인할 수 있다.

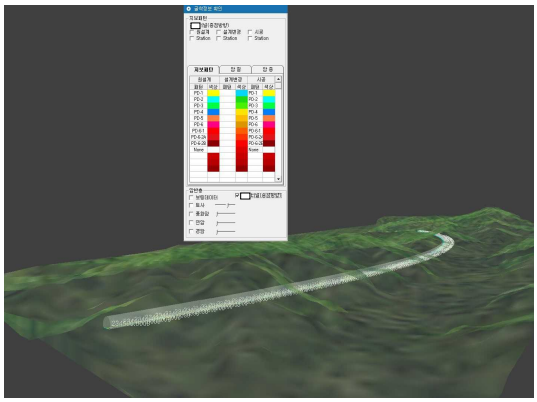


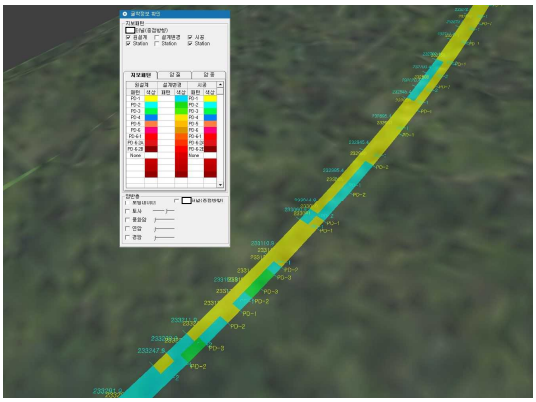


2) 지보패턴 확인

① 터널 전체 연장에 대해서 모델 생성시 구분된 스테이션(Station) 정보는 “굴착정보 확인” 팝업 창 하단의 “○○터널” 항목을 클릭하면 모델상에 표출된다(아래 좌측 그림 참조).

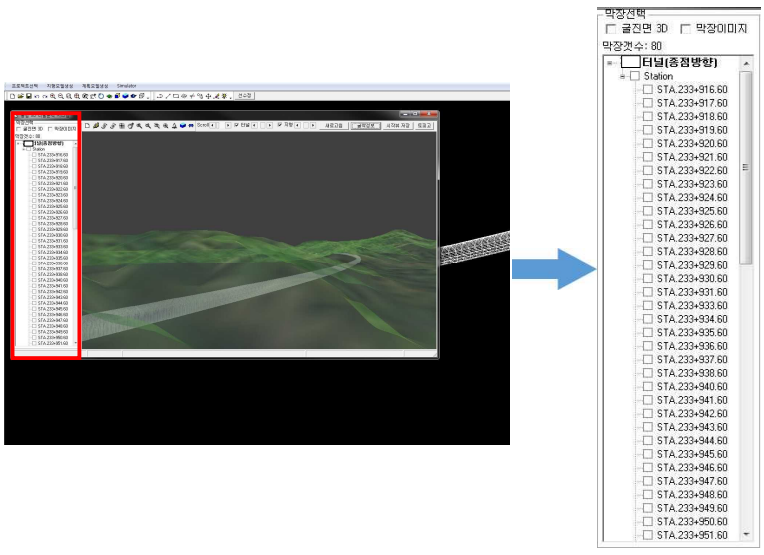
② “굴착정보 확인” 팝업 창 상단의 “원설계, 설계변경, 시공”을 각각 체크하면 각 조건에 대하여 각 구간별로 설정된 지보패턴의 색상이 터널 바닥면에 표출된다. 원설계, 설계변경, 시공에 해당하는 “Station”을 체크하면 지보패턴이 설정된 구간의 지보패턴 명칭과 스테이션 정보가 바닥면에 표출되어 이용자는 설계 또는 설계변경시 결정된 지보패턴과 시공 중 결정된 지보패턴의 변화를 시각적으로 쉽게 비교·검토할 수 있다(아래 우측 그림 참조).





3) 굴진면 맵핑 데이터 및 이미지 확인

① 터널시공 중 디지털 맵핑을 통해서 생성된 맵핑자료와 굴진면 이미지자료는 해당 스테이션 정보와 함께 서버로 업로드 되며 해당 자료는 본 시스템의 업데이트 프로그램(“3.2 디지털 맵핑자료 업데이트” 참조)을 통해서 파일 포맷 변환 후 DB화 된다. DB화된 자료는 각 스테이션 정보에 매칭 되어 시뮬레이터 화면 좌측의 “막장선택” 창에 리스트 업 된다.



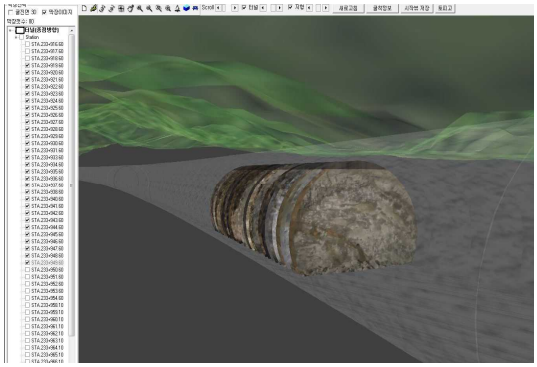
② “막장선택” 창에서 “굴진면 3D” 항목은 터널 다시점 이미지를 이용하여 생성된 터널 굴진면 3D 모델을 확인할 때 체크한다.

※ 해당 스테이션에 대해서 굴진면 3D 모델을 생성한 후 DB로 저장한 경우에만 표출됨

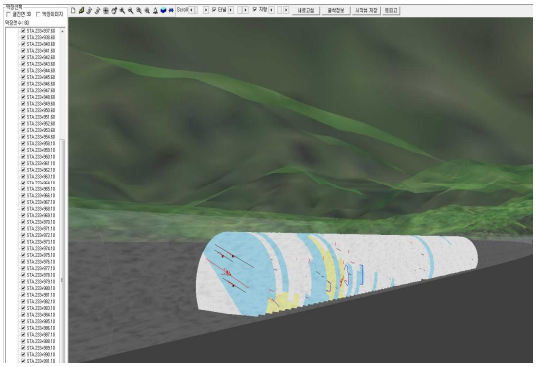
③ “막장이미지” 항목은 터널 맵핑 수행 중 촬영한 굴진면 2D 이미지를 확인하고자 할 때 체크하며 아래 그림과 같이 시뮬레이터에서 가시화 된다. 사용자가 확인하고자 하는 스테이션을 클릭하여 한꺼번에 가시화가 가능하며 동시에 최대 100개 굴진면(막장)이미지를 나타낼 수 있다.

④ 굴진면 디지털 맵핑 데이터는 이용자가 확인하고자 하는 해당 스테이션을 우클릭한 후 “막장켜기” 선택 또는 다수의 스테이션을 선택한 후 “막장켜기”를 선택하여 단일 맵핑 데이터 또는 다중 맵핑 데이터를 시뮬레이터 상에서 가시화할 수 있다.

※ 막장선택” 창 상단의 “굴진면 3D” 및 “막장이미지” 체크가 모두 해제된 상태에서 실행

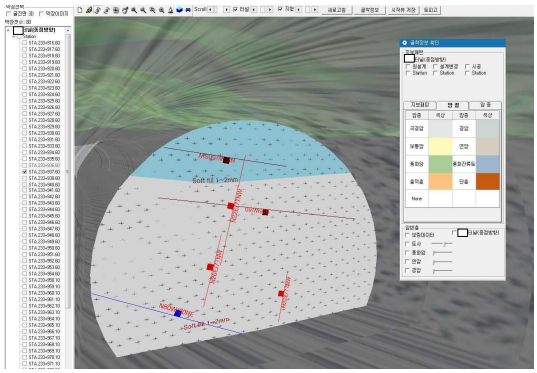


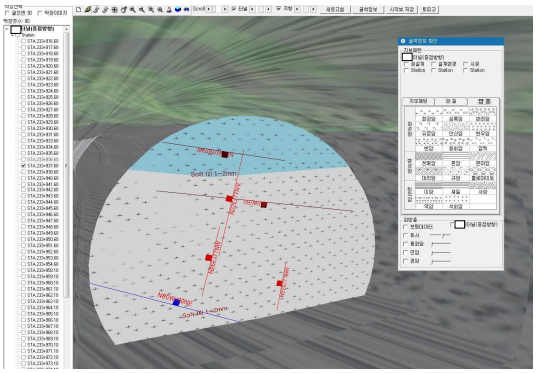
[굴진면(막장)이미지 가시화]



[디지털 맵핑 자료 가시화]

⑤ “막장선택” 창에서 이용자가 검토를 원하는 스테이션을 선택하여 우클릭한 후 “막장 위치확인” 을 선택하면 시뮬레이터의 시점은 해당 굴진면(Station)으로 이동하게 된다. 이후 시뮬레이터에 가시화된 디지털 맵핑 자료는 “굴착정보 확인” 팝업 창의 중간에 위치한 “암질” 범례(아래 좌측 그림), “암종” 범례(아래 우측 그림) 탭을 선택하여 검토한다.



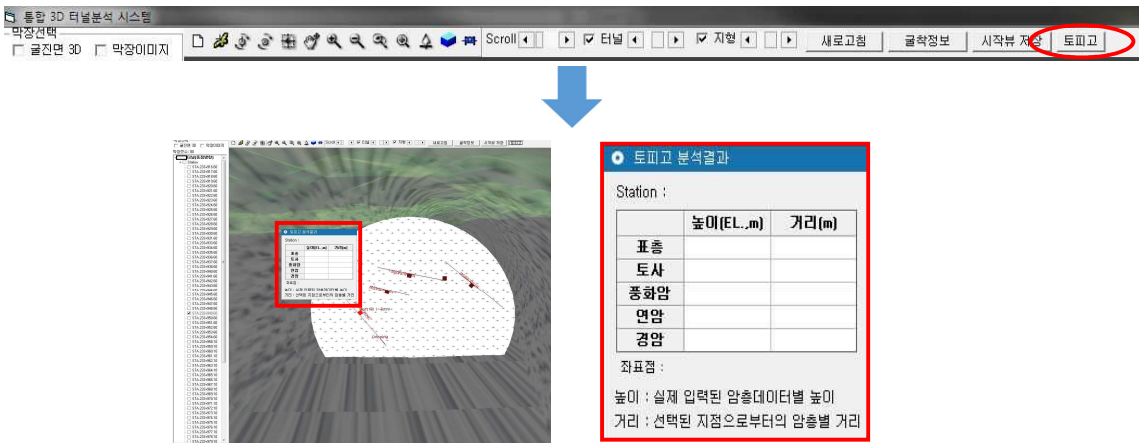


3.1.3 토피고 산정

1) 토피고 산정 모듈 개요 : 굴진면 천단부로부터 지층까지의 거리(토피고) 정보는 터널 암판정을 수행할 때에 필요한 정보 중 하나이다. 본 시스템에는 3차원 터널 모델상의 굴진면 객체(디지털 맵핑 자료)의 사용자가 선택한 임의의 지점으로부터 각 지층(암층)까지의 거리를 산출하는 기능을 포함하고 있다.

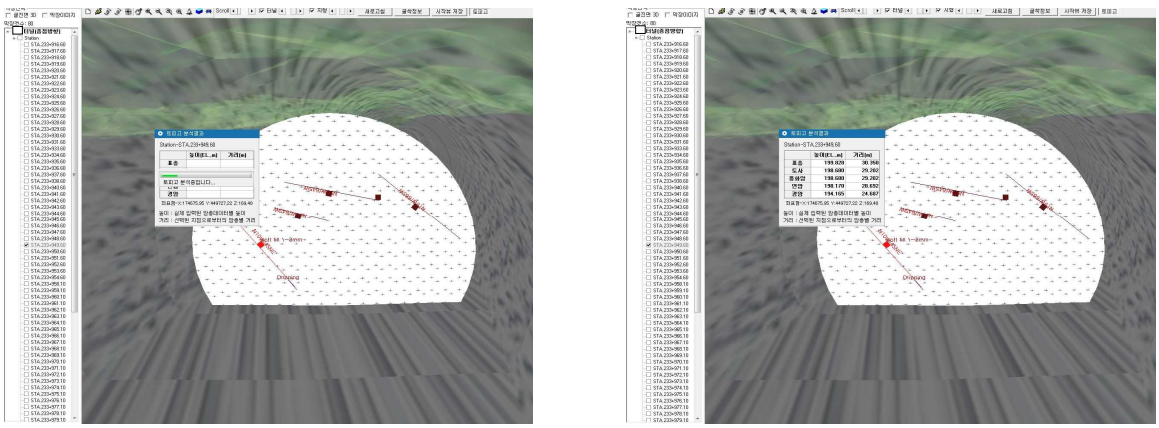
2) 토피고 산정 : 토피고 산정 모듈을 이용한 토피고 분석은 다음과 같은 순서로 진행한다.

① "시뮬레이션" 창 상단 매뉴의 가장 오른쪽에 위치한 "토피고" 버튼을 클릭하면 "토피고 분석결과" 팝업창이 생성된다.



② 토피고를 확인하고자 하는 스테이션의 굴진면 디지털 맵핑 자료에서 터널 천단부 위치를 클릭하면 "토피고 분석중입니다..." 라는 메시지와 함께 진행상황이 표시된다(아래 좌측 그림 참조).

③ 토피고 분석이 종료되면 각 지층(암층)별 높이와 거리(m)가 산출되며 터널 천단부로부터 지표층까지의 거리를 확인할 수 있다.



3.2 디지털 맵핑자료 업데이트

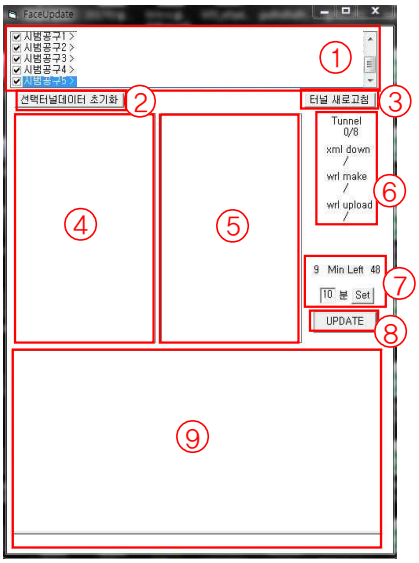
3.2.1 업데이트 프로그램 개요

1) 프로그램 개요 : 웹(Web)시스템 서버(맵핑자료 DB)에 신규로 등록된 굴진면 맵핑 데이터를 본 시스템의 터널 3D 모델에 누적된 맵핑 데이터 정보와 비교, 분석하여 터널 3D 모델 상에 시뮬레이션 할 신규 맵핑 데이터를 지속적으로 업데이트하는 연계 프로그램이다.

2) 프로그램 매뉴 및 기능 설명

① 디지털 맵핑자료 업데이트 프로그램을 실행하면 “FaceUpdate” 라는 명칭의 팝업 형태 프로그램이 실행된다.

② 프로그램 화면은 아래 그림과 같이 구성되어 있으며 각 부분, 매뉴 및 기능에 대한 설명은 다음과 같다.



[맵핑 자료 업데이트 프로그램]

- ① 웹(Web)시스템 서버에 등록된 터널리스트
- ② 선택한 터널의 맵핑 자료(시뮬레이션 용) 초기화
- ③ 웹(Web)시스템 서버에 등록된 터널목록 새로고침
- ④ 웹(Web)시스템 서버(맵핑자료 DB)에 등록된 디지털 맵핑자료 리스트
- ⑤ 통합 3D 터널분석 시스템에 업로드된 디지털 맵핑자료 리스트
- ⑥ 전체 터널 리스트 중 진행 상황, xml(디지털 맵핑자료 포맷) 데이터 다운로드 현황, wrl(맵핑자료 시뮬레이션 포맷) 생성 및 시스템 업로드 현황
- ⑦ 자동 업데이트 기능 설정을 위한 시간 설정 기능
- ⑧ 수동 업데이트를 위한 업데이트 버튼
- ⑨ 자료 업데이트 성공 또는 오류 메시지 표출 창

3.2.2 업데이트 방법

1) 프로그램을 이용한 디지털 맵핑자료 업데이트는 자동, 수동 두 가지 방법을 이용하여 실시할 수 있다.

2) 자동 업데이트

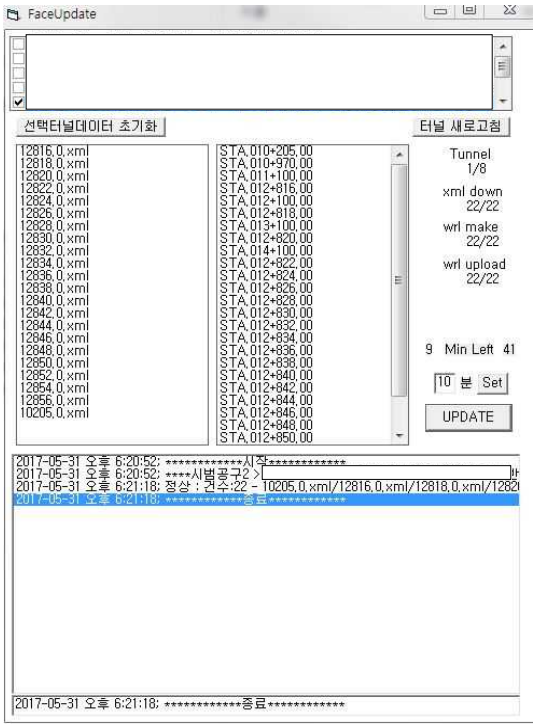
① 맵핑 자료 업데이트 프로그램의 ⑦번에 해당하는 기능(위 그림 참조)으로 자동 업데이트 주기를 “분” 단위로 설정한 후 “Set” 버튼을 클릭한다.

② 프로그램을 실행 시켜 놓으면 사용자가 설정한 주기에 맞춰 프로그램이 자동으로 실행되며 웹시스템 서버의 맵핑데이터 DB 테이블에 발생한 변화를 확인하고 변화가 확인된 신규데이터(xml 포맷)는 자동으로 “다운 → 변환 → 업로드” 과정을 거쳐 터널 3D 모델 상에서 시뮬레이션이 가능한 상태로 준비된다.

3) 수동 업데이트

① 맵핑 자료 업데이트 프로그램의 ⑧번에 해당하는 기능(위 그림 참조)으로 사용자가 원하는 때에 필요로 하는 현장을 선택하고 “Update”버튼을 클릭하여 웹시스템 서버의 맵핑데이터 DB 테이블에 발생한 변화를 확인한다.

② 변화가 확인된 자료(신규데이터(xml 포맷))는 “2) 자동 업데이트”의 ②번 절차와 같이 “다운 → 변환 → 업로드” 과정을 거쳐 터널 3D 모델 상에서 시뮬레이션이 가능한 상태로 준비된다.



[업데이트 프로그램 실행 화면 예]

4) 생성 자료의 시뮬레이션

① 맵핑 자료 업데이트 프로그램을 통해서 생성 및 업로드된 맵핑자료(wrl 포맷)는 “통합 3D 터널분석 시스템 시뮬레이터”에 맵핑자료가 생성된 스테이션과 함께 신규 등록된다.

② 신규 등록된 자료는 본 매뉴얼 24페이지의 “3) 굴진면 맵핑 데이터 및 이미지 확인”을 참조하여 확인 및 검토할 수 있다.

부 록 시스템 등록 자료 준비

1. 터널 평면도, 종단면도, 표준지보패턴(표준단면), 지반조사 결과를 확인하여 아래의 양식을 엑셀파일 형태로 작성하여 준비한다.

○ 작성양식

– 계획모델 생성 : 본문 9쪽 참고

STA.	STA 번호	X 좌표(TM)	Y 좌표(TM)	거리(m)	계획고(m)	표준 지보패턴

– 지형모델 생성(Boring 생성) : 본문 7쪽 참고

시추공 No.	X 좌표	Y 좌표	지층(암층) 두께(m)				
			표고	토사	풍화암	연암	경암

– 지보패턴 생성 : 본문 13쪽 참고

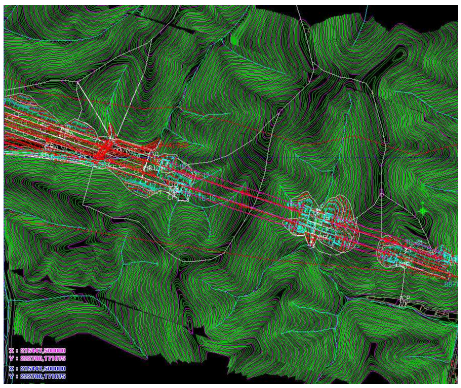
해당 지보패턴의 시작 Station 번호	해당 지보패턴의 종료 Station 번호	적용 지보패턴	구간 연장(길이, m)

※ 설계(계획)에 대한 자료와 시공 중 생성되는 자료를 각각 준비한다.

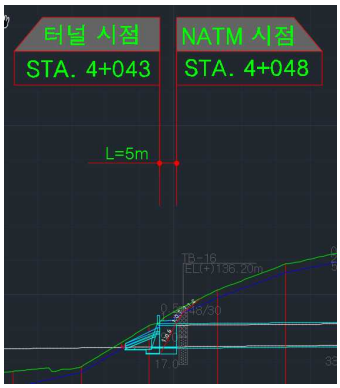
○ 작성 방법(예시)

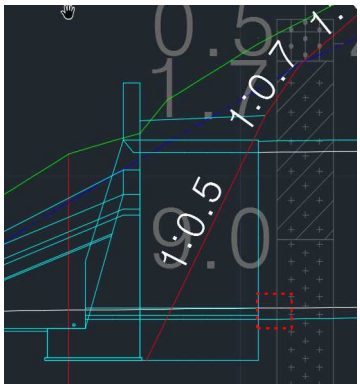
■ 평면도 좌표 추출

– 현장 전체 평면도 파일 준비

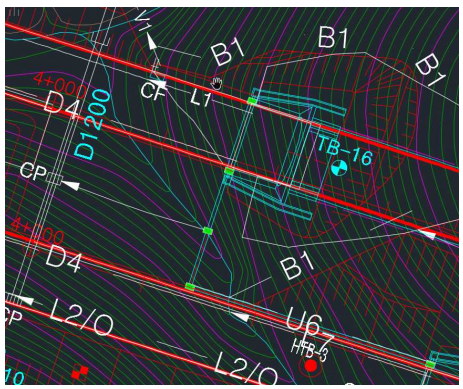


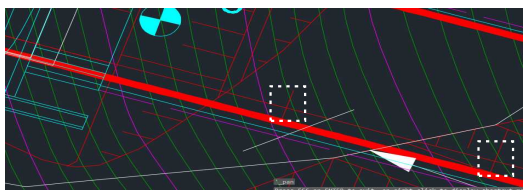
– 종단면도에서 NATM 시점 확인





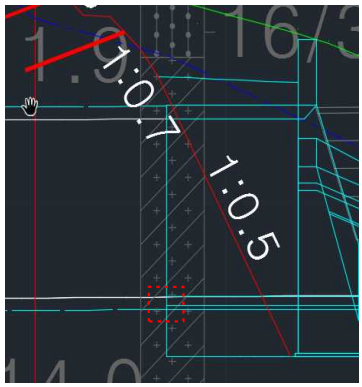
– 종단면도의 점선으로 표시된 부분의 중심점이 시작점이며 이 부분을 평면도에서 확인





– 차례로 시작점, 그 다음 선택 지점, 그 다음 선택지점을 일정간격으로 선택해 나간다(예, 20m 간격). NATM 종점이 나올 때까지 작업을 반복(아래 그림의 점선 부분이 NATM 종점)





- 시작점 좌표 X : 6217.75244, Y : 6803.16699
- NATM 시점 : 4048 (NATM 시점은 도면에서 확인한 4+048을 기입)
- STA. 번호 : 4048.0 (STA. 4+048.0 => 4048.0, STA. 4+079.5 => 4079.5)

STA.	STA 번호	X 좌표(TM)	Y 좌표(TM)	거리(m)	계획고(m)	표준 지보패턴
4+048	4048.0	6217.75244	6803.16699	0	123.970	6A
4+059.4	4059.4	6228.44336	6795.44140	11.5	124.174	3
4+079.5	4079.5	6244.36279	6783.30664	20.0	124.353	5A
4+099.5	4099.5	6260.30859	6771.07422	20.0	124.505	4
4+325.0	4325.0	6547.09423	6521.17207	25	126.187	4

시추공 No.	X 좌표	Y 좌표	지층(암층) 두께(m)				
			표고	토사	풍화암	연암	경암
TH-30	186874.26	202019.98	79.6	3.5	0	0	31.5
TH-31	186914.78	202061.29	62.6	0.8	5.9	15.3	11
TH-32	186887.69	201995.83	87.1	2.3	2	17	32

해당 지보패턴의 시작 Station 번호	해당 지보패턴의 종료 Station 번호	적용 지보패턴	구간 연장(길이, m)
13232	13252	6A	20
13252	13282	3	30
13282	13302	5A	20
13302	13323	4	21

※ 설계(계획)에 대한 자료와 시공 중 생성되는 자료를 각각 준비한다.

2. 시스템에서 모델링 시 필요한 정보(지형, 선형, 터널단면)를 불러들일 수 있는 dwg 형식의 도면파일을 준비한다.

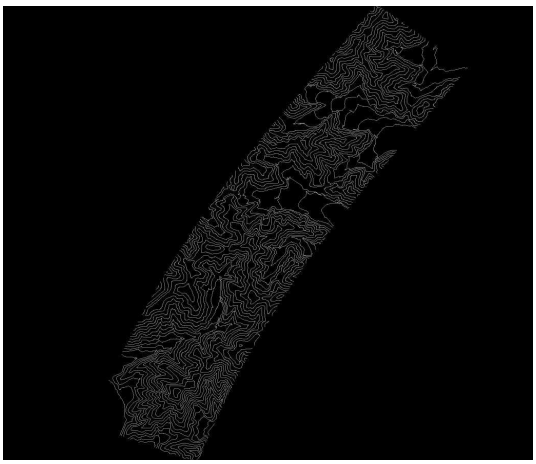
○ 필요 자료 리스트

– 지형도

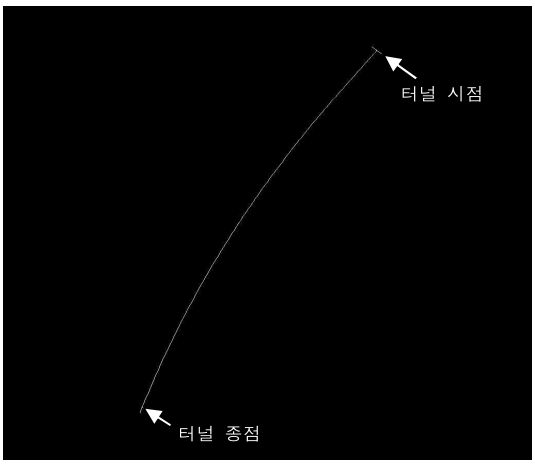
– 터널 평면도(중심선) : 터널 전체 구간에 대해서 1개의 파일(합쳐진 파일)로 준비

※ 중심선은 시점부터 종점 방향으로 도면을 그리고 한 개의 폴리라인으로 생성하여야 함.

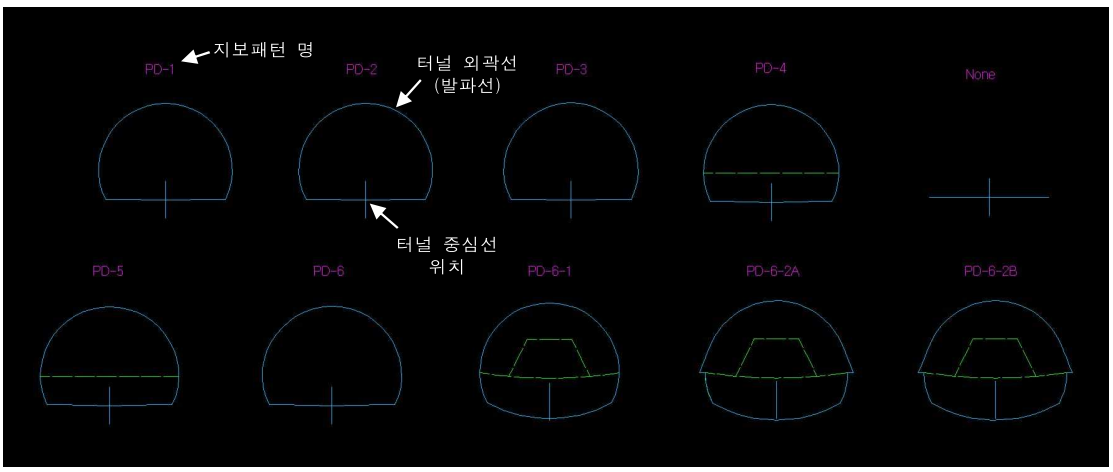
– 표준지보패턴 : 터널 굴착라인(외곽선 라인) 및 터널 중심선을 표시하여 정리



[지형도 dwg파일 작성 예]



[터널평면도(중심선) dwg파일 작성 예]



[표준지보패턴의 dwg파일 작성 예]

통합 3D 터널분석 시스템(웹버전) 사용자 매뉴얼

2017. 07.

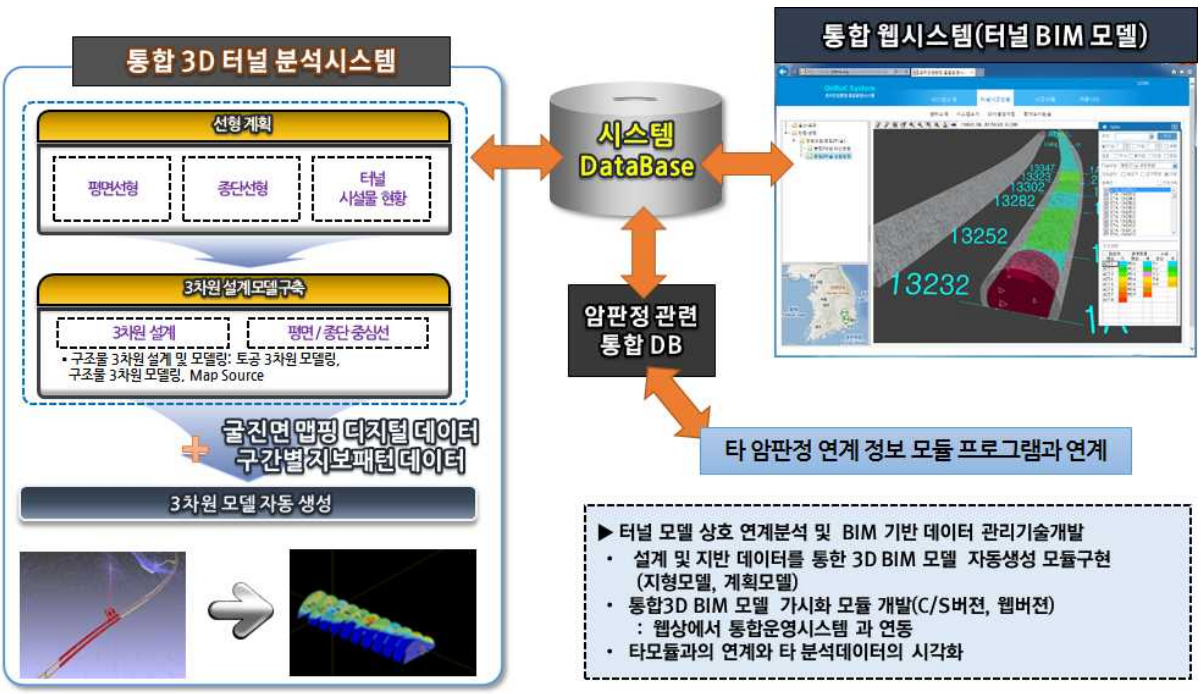
국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport
KAIA 국토교통 과학기술진흥원
KICT 한국건설기술연구원

제1장 시스템 소개 및 화면구성

1.1 시스템 개요

○ 온라인 암판정 통합운영 시스템상의「통합 3D 터널분석 시스템(웹버전)」은 온라인 암판정 센터에서 통합 3D 터널 분석 시스템을 통해 생성된 3D 모델을 통해 웹기반의 통합운영 시스템에서 타 모듈들에서의 분석정보를 시각적으로 3D 터널 모델 상에서 연계하기 위함이다.

○ 터널의 설계 및 시공, 유지관리 단계에서 산출되는 자료 또는 정보를 손쉽게 입출력할 수 있고, 온라인 암판정 수행 시 이러한 정보를 효율적으로 색인 할 수 있는 기능을 구현하여야 한다. 이러한 이유로 각 개별 타 단위 시스템과의 연계를 통해 온라인 암판정 의사결정 프로세스 상에서 필요한 현장데이터를 통합 운영시스템을 통해 확인하는데 의사결정 프로세스와 시스템 프로세스 간의 효용성을 고려하여 터널 3D 터널 모델을 매개체로 보다 직관적인 방식으로 웹상에서 확인해줄 수 있도록 위치정보기반의 3D 모델을 통해 현장정보를 연계하고 있다.



○ 웹상에서 온라인 암판정 위원들에게 암판정에 필요한 분석데이터들을 온라인 암판정 센터의 통합 3D 터널 분석 시스템 C/S버전에서 생성 관리되는 BIM 기반의 터널

3D 모델을 통해 온라인암판정 통합운영시스템상의 웹버전으로 공유되어 열람이 가능하다.

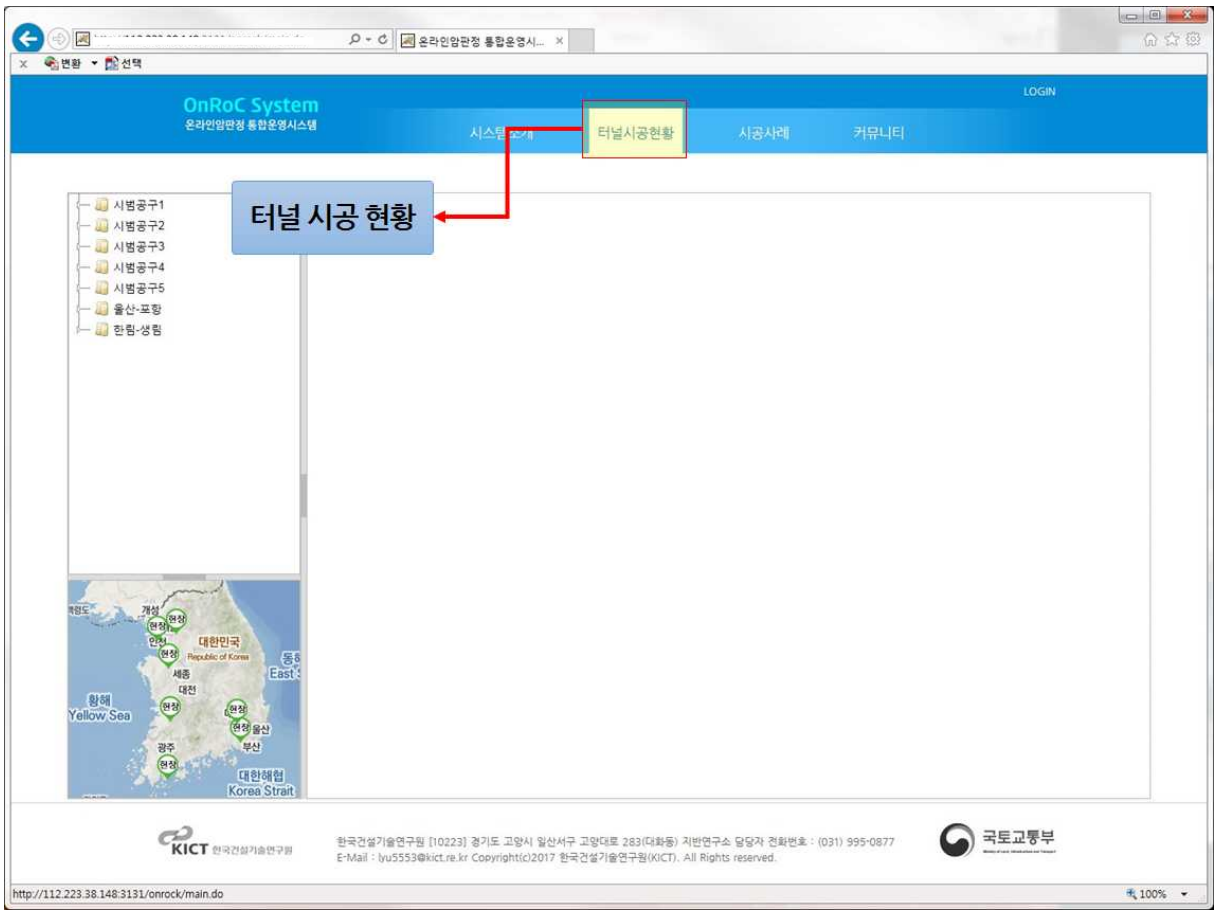
○ 디지털화된 굴진면 맵핑자료의 DB를 실시간으로 3D 모델 상에 가시화하고 현장의 다양한 설계 및 시공정보의 DB구축을 통해 체계적 관리가 가능한 장점이 있다.

○ 온라인 암판정 통합 웹 터널 3D 모듈의 목적은 온라인 암판정을 위해 운영되는 웹 기반의 통합운영 시스템에서 타 모듈들에서의 분석정보를 시각적으로 3D 터널 모델 상에서 연계하기 위함이다. 또한 터널의 설계 및 시공, 유지관리 단계에서 산출되는 자료 또는 정보를 손쉽게 입출력 할 수 있고, 온라인 암판정 수행 시 이러한 정보를 효율적으로 색인 할 수 있는 기능을 구현하였다.



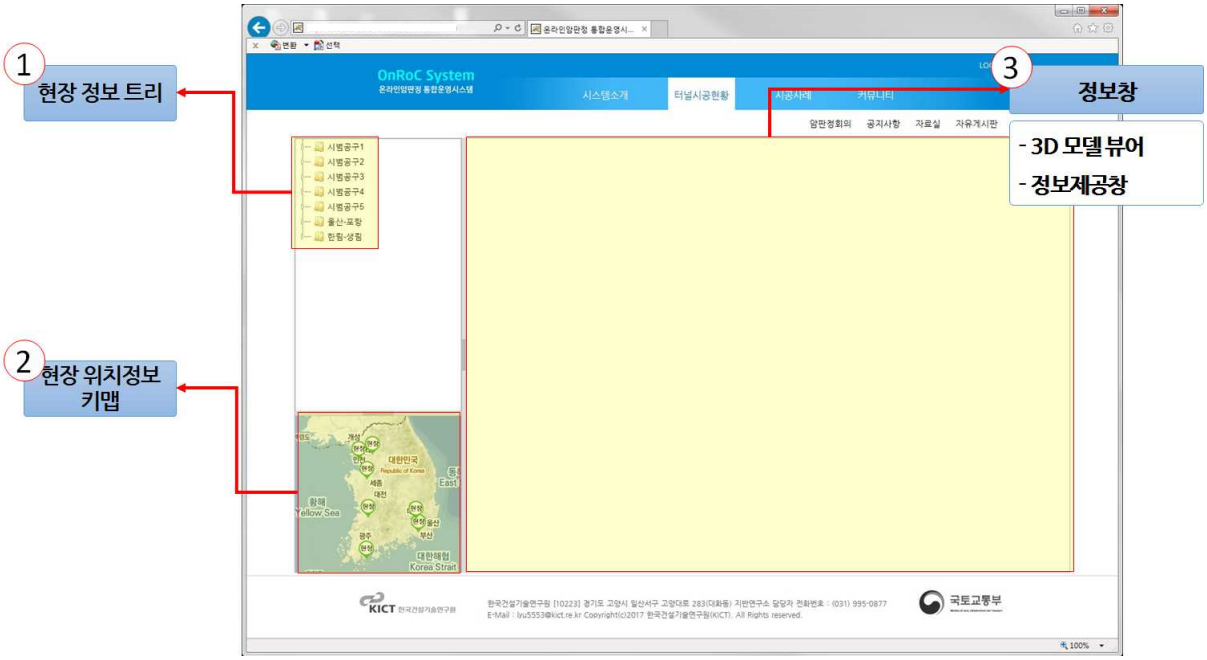
1.2 화면구성

○ 통합 3D 터널 분석 시스템의 웹버전은 웹으로 구성된 온라인 암판정 통합운영시스템 상의 터널 시공 현황 카테고리에서 실행이 된다.



○ 실행시 등록된 현장에 따라 현장정보와 관련 분석정보들을 확인할 수 있는 화면을 제공하게 된다.

○ 터널 시공현황 접속시 다음과 같은 화면이 뜨게 된다.



○ 온라인 암판정 DB서버를 통해 국내 각 현장의 DB 구축을 목적으로 현장 위치정보를 통해 체계화 된 DB를 현장 정보 트리를 통해 확인할 수 있다.

① 현장정보 트리 : 온라인 암판정 DB 서버에 구축된 현장정보들을 현장별, 상하행별, 스케이션 별 위치정보를 통해 연계된 암판정 관련 분석데이터를 열람할 수 있는 정보트리

② 현장 위치정보 키맵 : 국내 지도상에서 DB 화된 현장의 위치정보를 표시해주는 키맵

③ 정보창 : 터널 3D 모델의 시뮬레이션 3D 뷰어창, 현장의 요약정보를 알려주는 정보 제공

제2장 통합 3D 터널 분석 시스템 (웹버전)

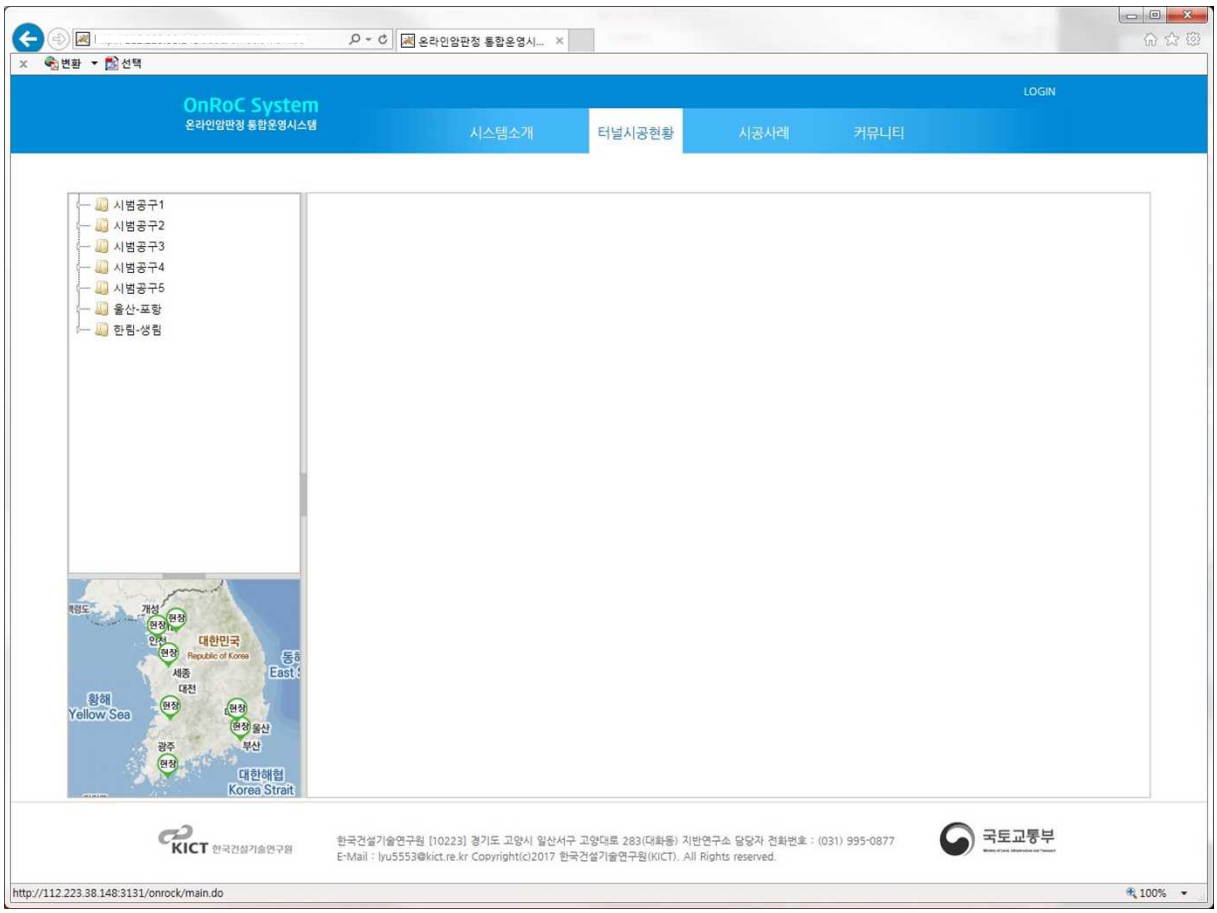
2.1 통합 3D 터널 분석 시스템 (웹버전 뷰어)

○ 통합 3D 터널 분석 시스템의 웹버전은 온라인 암판정위원들에게 터널 현장관련 정보와 함께 암판정시 필요한 굴진면의 암판정 관련 분석정보를 통합 3D 터널 분석 시스템 C/S 버전에서 생성된 터널 모델을 통해 제공하기 위한 뷰어이다.

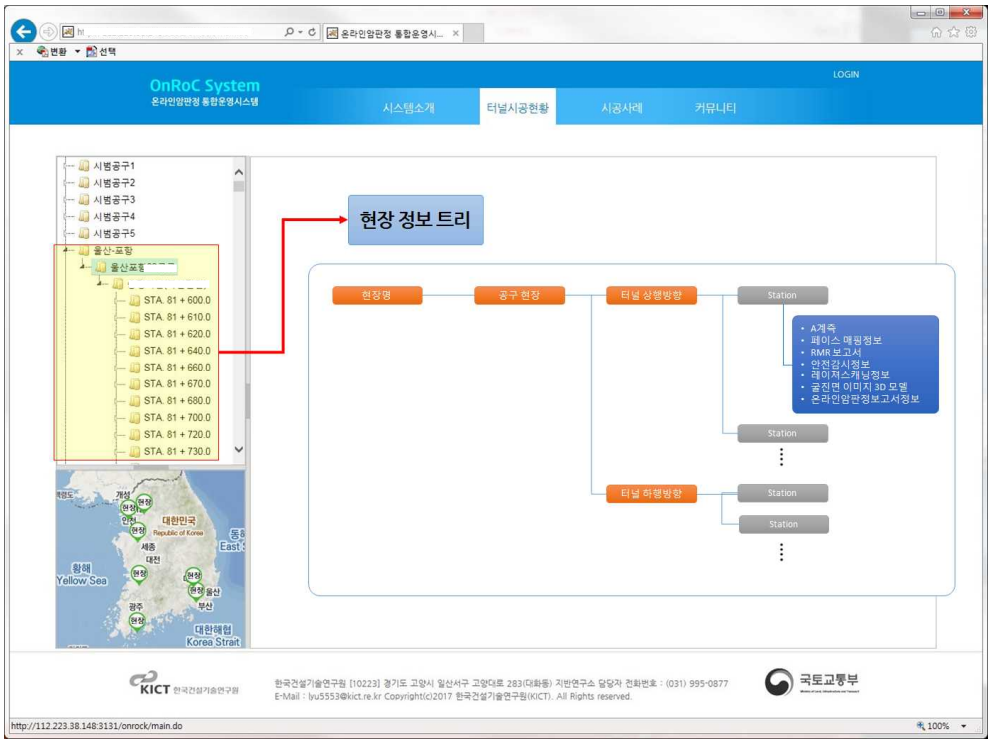
○ 웹을 통해 시뮬레이션 3D 뷰어를 실행하여 각 현장별, 상하행별(터널방향별), 스테이션별로 구분된 분석 정보를 웹상에서 확인할 수 있다.

2.1.1 터널 현장 터널 3D 모델 활성화 실행 – 웹버전 뷰어 실행

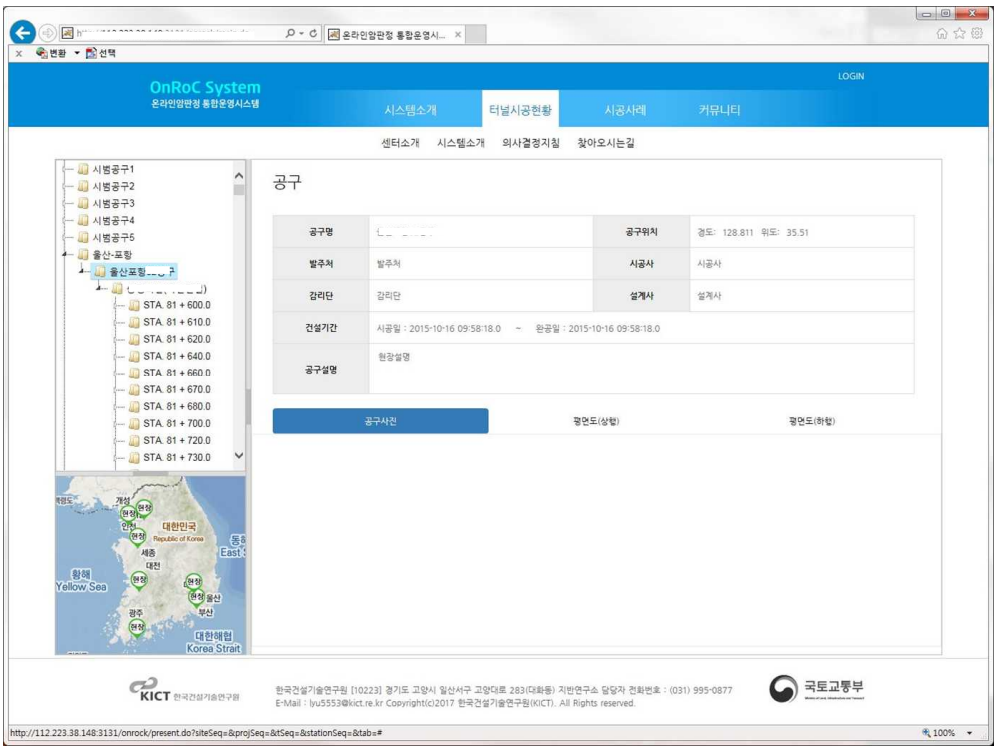
1) 통합 3D 터널 분석 시스템의 웹버전은 웹으로 구성된 온라인 암판정 통합운영시스템 상의 터널 시공 현황 카테고리에서 실행이 된다.



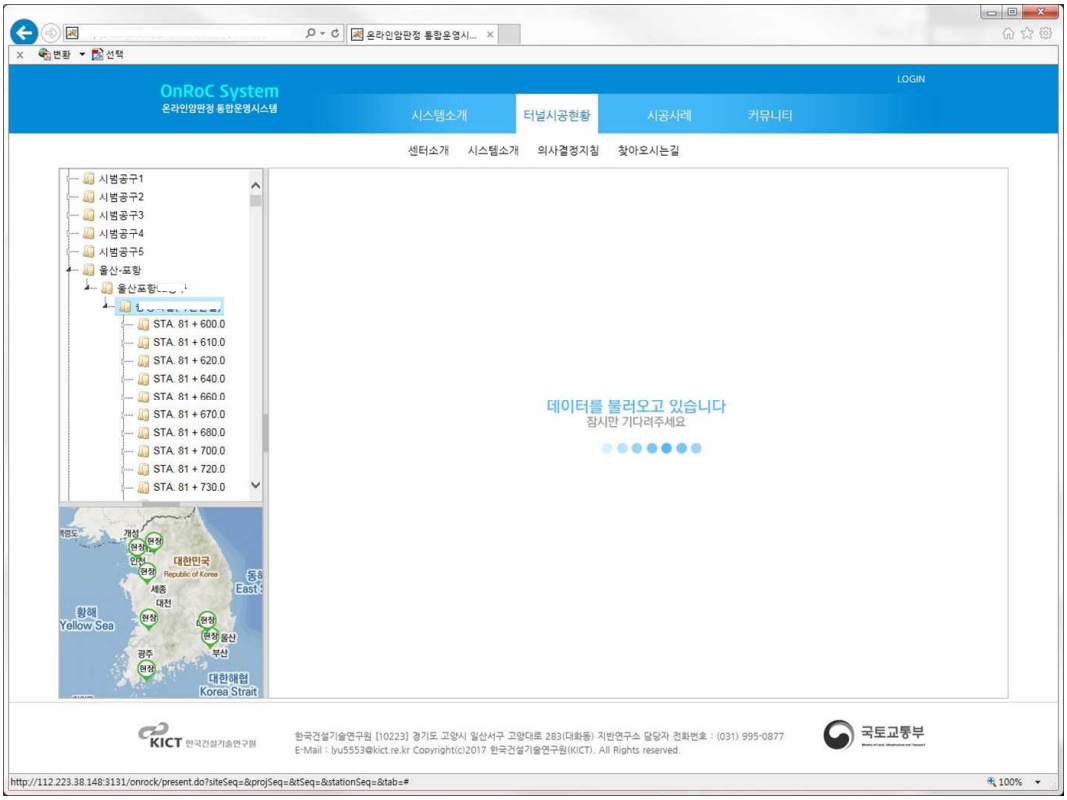
① 웹페이지상의 상단 메뉴바에서 “터널시공현황” 카테고리를 클릭할 경우 현장별 정보를 확인할 수 있게 구분되어 있으며, 현장정보 트리의 경우 공구별, 터널 상/하행별, 스테이션별로 구분되어 정보가 구분되어 있다.

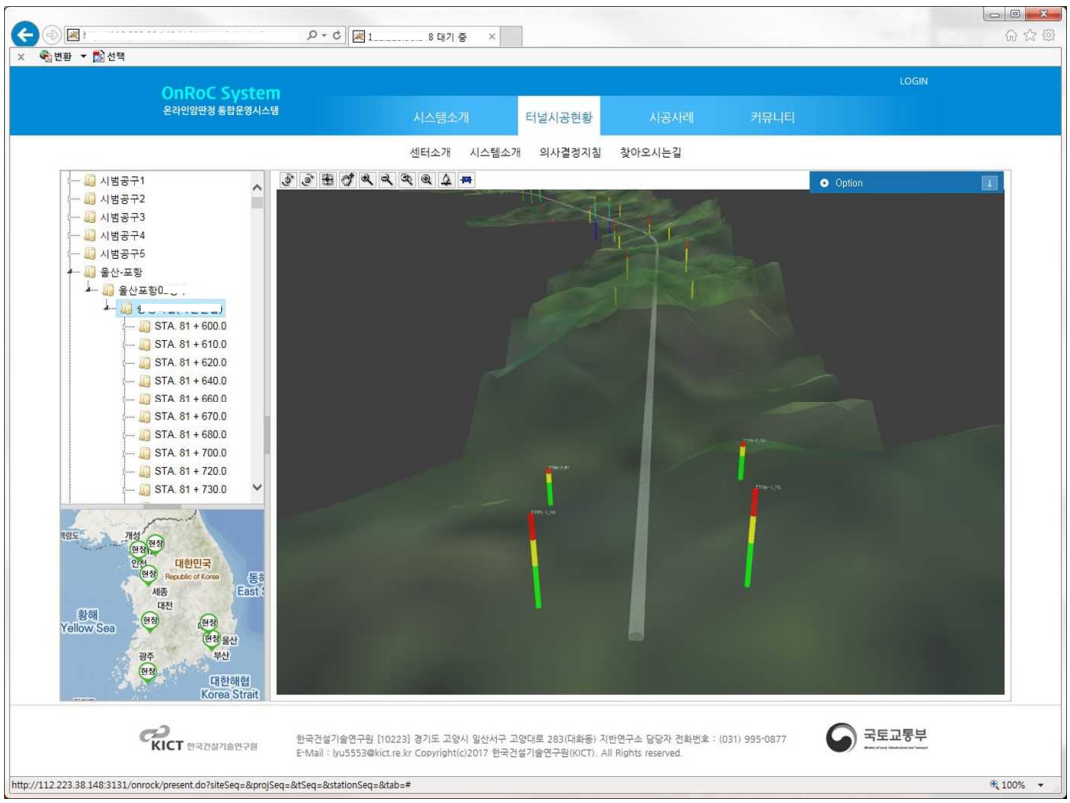


② 현장명 하단의 공구명을 클릭할 경우, 해당 공구의 요약정보를 확인할 수 있다.

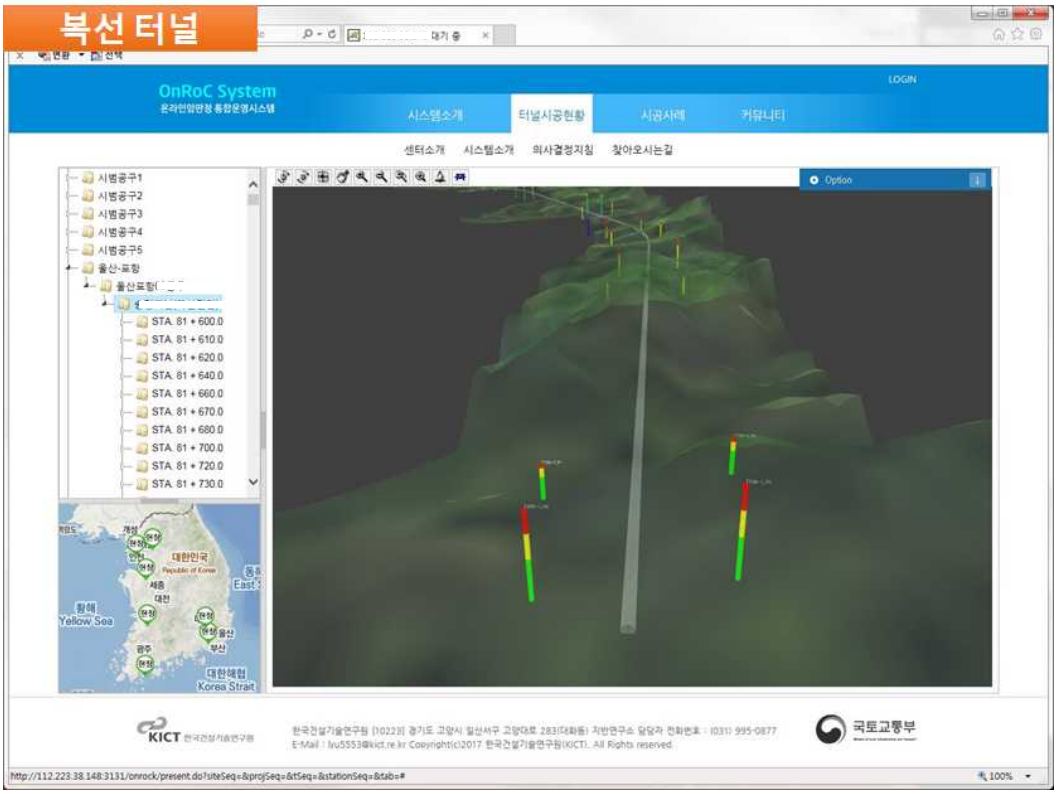


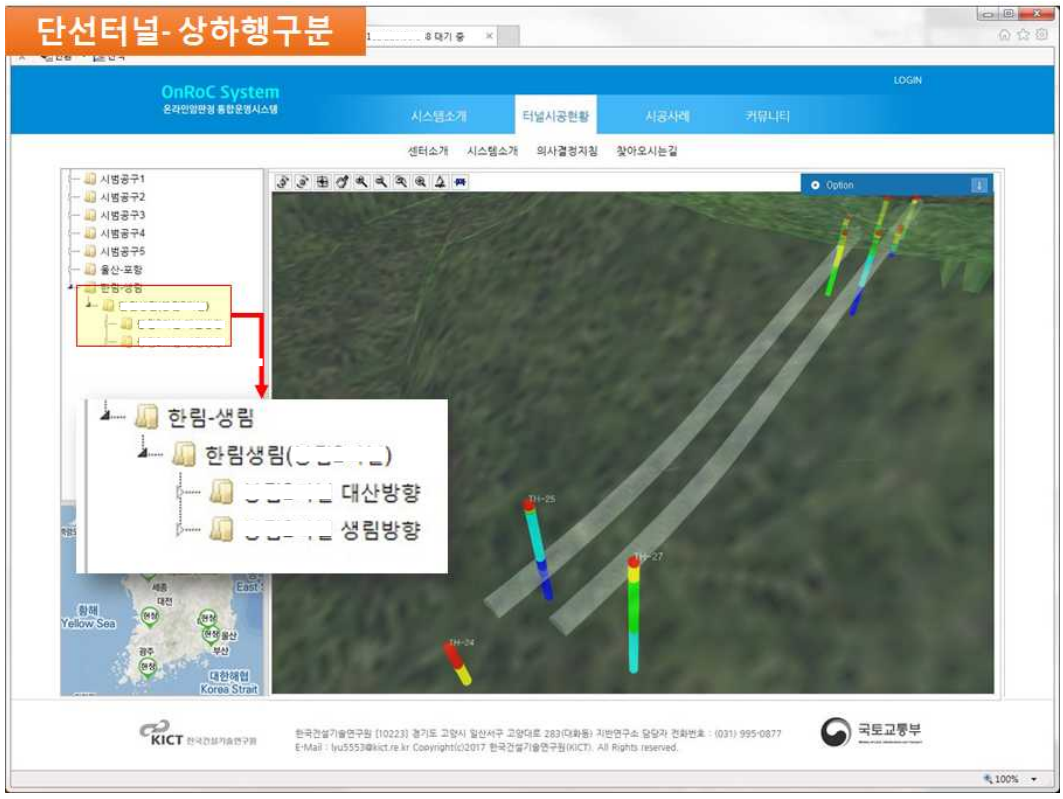
2) 공구명 하단의 터널 명을 클릭할 경우 통합 3D 터널 분석 시스템의 웹 버전 뷰어가 실행 되게 된다.





3) 공구명 하단으로는 복선 터널일 경우 터널 명이 상/하행 구분없이 명시되어 있으며, 단선 터널의 경우 상/하행 구분이되어 시공되기 때문에 개별 스테이션 정보로 나누어져 시각화 되게 된다.

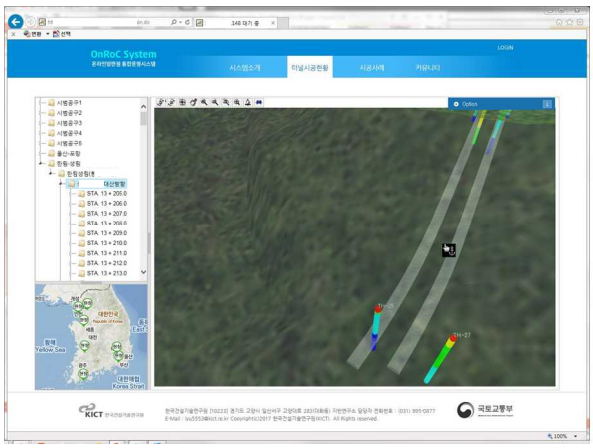


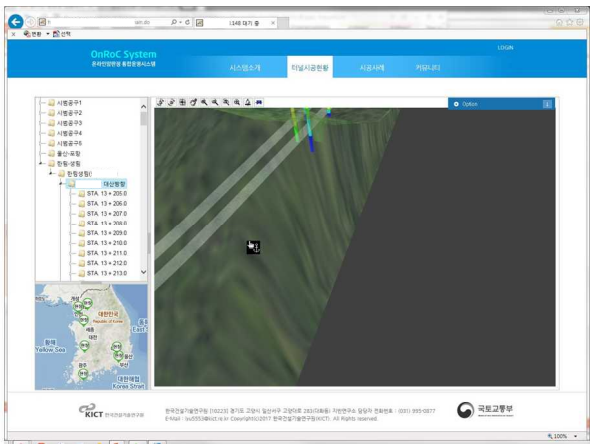


2.1.2 뷰어 기본 기능 설명

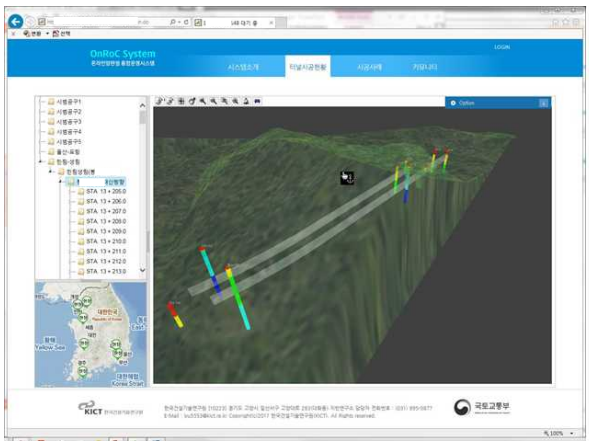
1) 기본 기능 – 화면 이동 및 화면 회전의 경우, 마우스를 이용하여 화면을 이동시키거나 모델을 이동시키는 방식과 마찬가지로 작동한다.

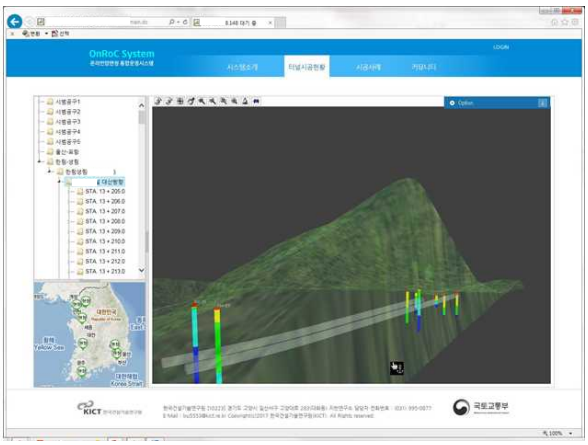
① 화면 이동 : 공구명을 클릭한 후 활성화된 3D 뷰어 창 내부에 마우스를 가져다 놓고 마우스 왼쪽 버튼을 클릭한 후 마우스를 움직이게 되면 마우스의 움직임에 따라 화면이 이동된다.



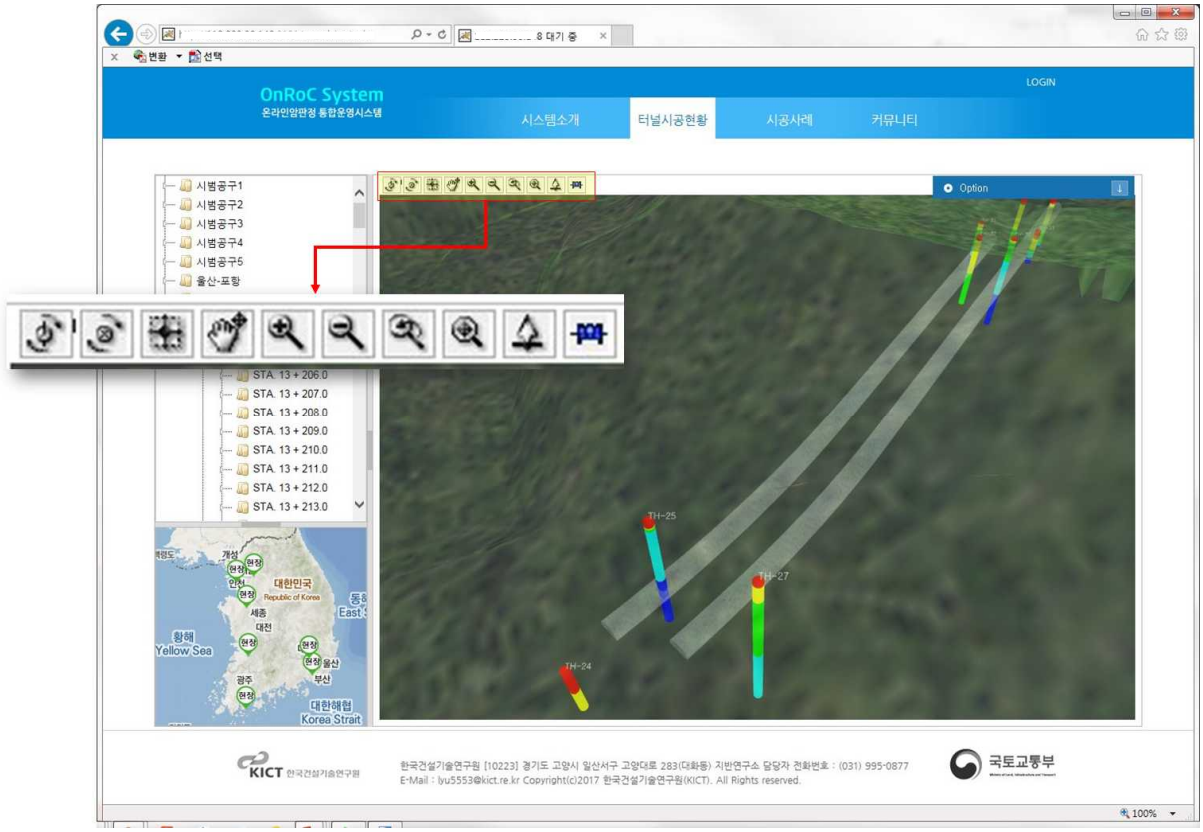


② 화면 회전 : 화면이동과 마찬가지로 3D 뷰어 창 내부에 마우스를 가져다 놓고 마우스 휠 버튼을 누른 후 마우스를 움직이게 되면 마우스의 움직임에 따라 화면이 회전된다.





2) 뷰어 버튼 - 뷰어 버튼의 경우 뷰어의 상단왼쪽에 위치하게 되며 각각의 버튼에 따라 개별 기능을 가지고 있다.



①  TROTATE(Target Rotate) 타겟 회전 : 클릭 후 마우스 오른쪽버튼을 누른 상태에서 마우스를 움직일 경우 타겟(객체)이 움직임

②  EROTATE(Eyes Rotate) 카메라 회전 : 클릭 후 마우스 오른쪽버튼을 누른 상태에서 마우스를 움직일 경우 화면(카메라 시점)이 마우스의 이동방향으로 움직임 - 객체는 반대로 움직임

③  MINOUT(Move INOUT) 카메라 줌인 줌아웃 : 클릭 후 마우스 오른쪽버튼을 누른 상태에서 마우스를 좌우, 상하로 움직일 경우 화면중심을 기점으로 화면이 확대 축소가 가능함

④  PANNING : 화면 이동을 임의로 할 수 있음

⑤  ZOOM IN : 한번 클릭할때마다 확대

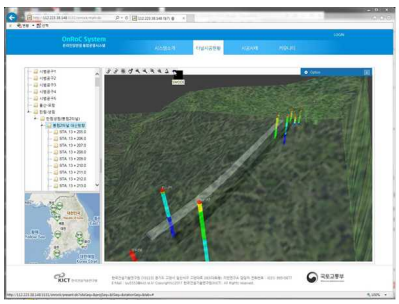
⑥  ZOOM OUT : 한번 클릭할때마다 축소

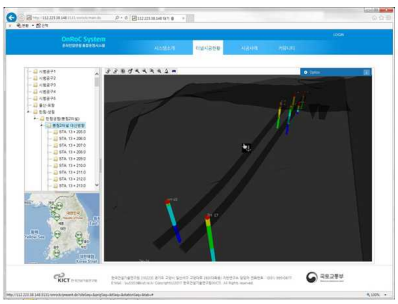
⑦  ZPREVIOUS(Zoom Previous) : 한번 클릭할때마다 이전 화면 상태로 전환

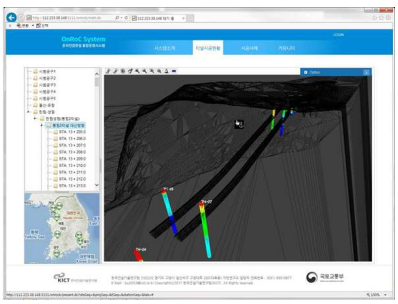
⑧  ZEXTENTS(Zoom Extention) : 클릭 시 전체 객체를 한 화면에 들어오게 해줌

⑨  PLANMOTION : 클릭 후 마우스 왼쪽버튼으로 화면상의 임의의 위치를 클릭할 경우 해당 위치까지 화면을 이동시켜줌

⑩  SMODE (Surface Mode) : 시각화설정변경 – 맵핑상태, 맵핑이 안된 상태, 와이어상태



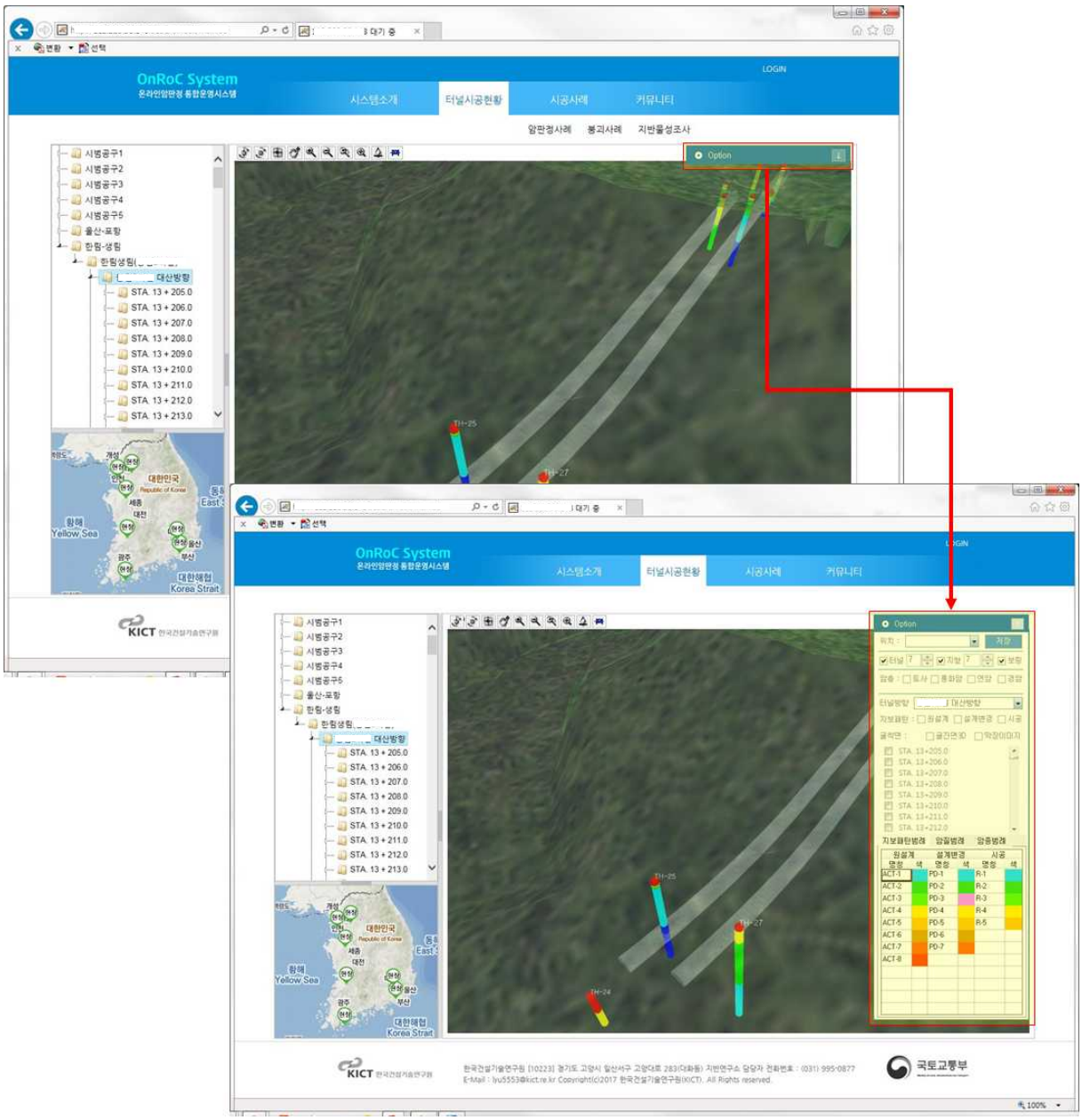




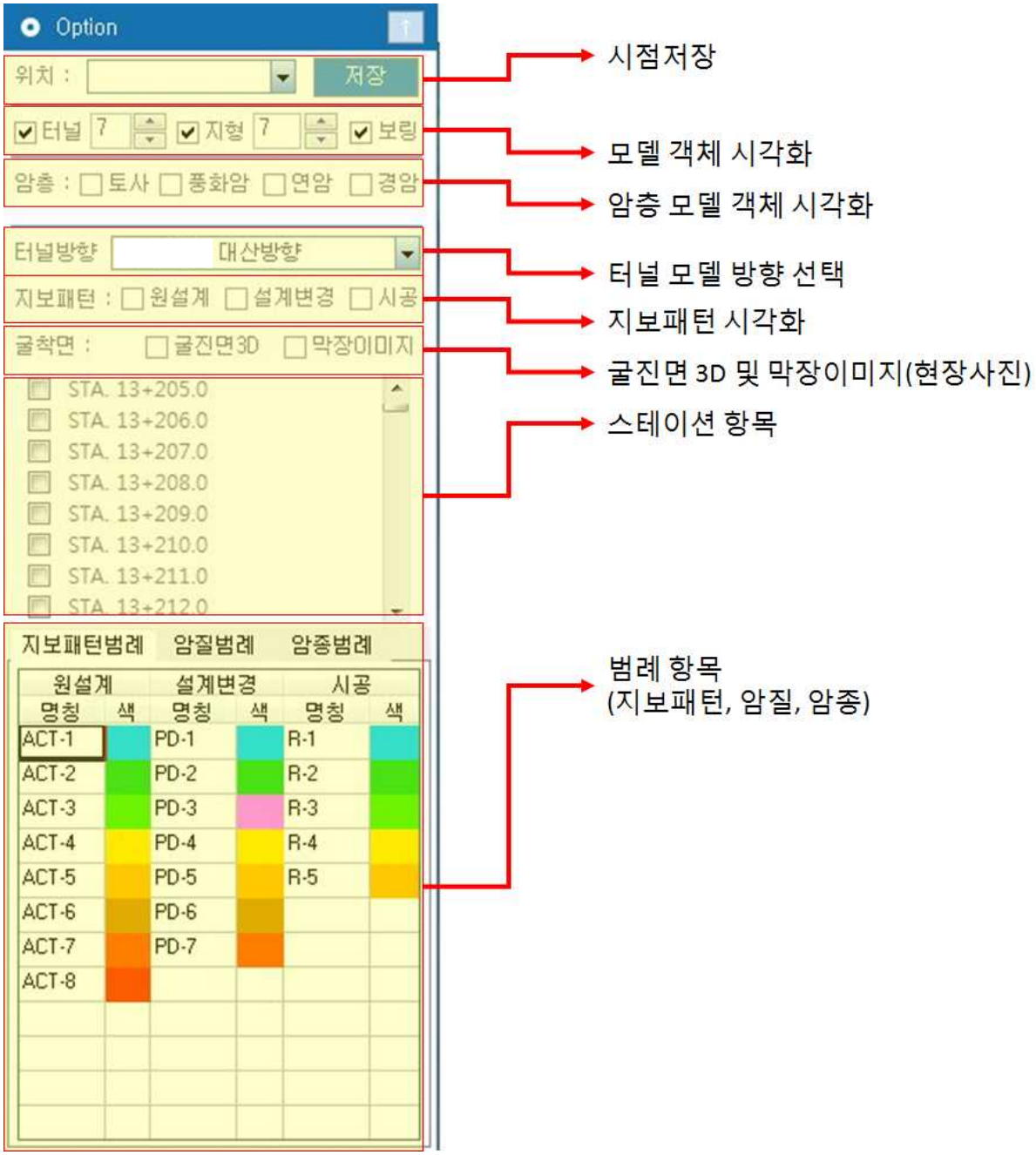
2.1.3 터널 3D 웹뷰어 Option 기능

1) 터널 3D 웹뷰어상에서 오른쪽 상단에 있는 

Option에서 화살표 
버튼을 누르게 되면 해당 터널 현장 관련 정보를 위한 가이드 화면이 나타나게 된다.

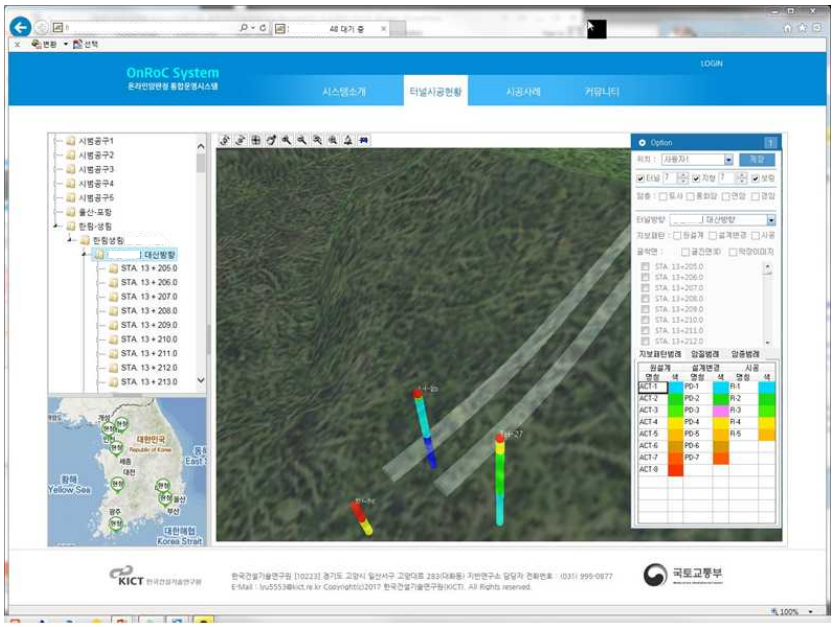


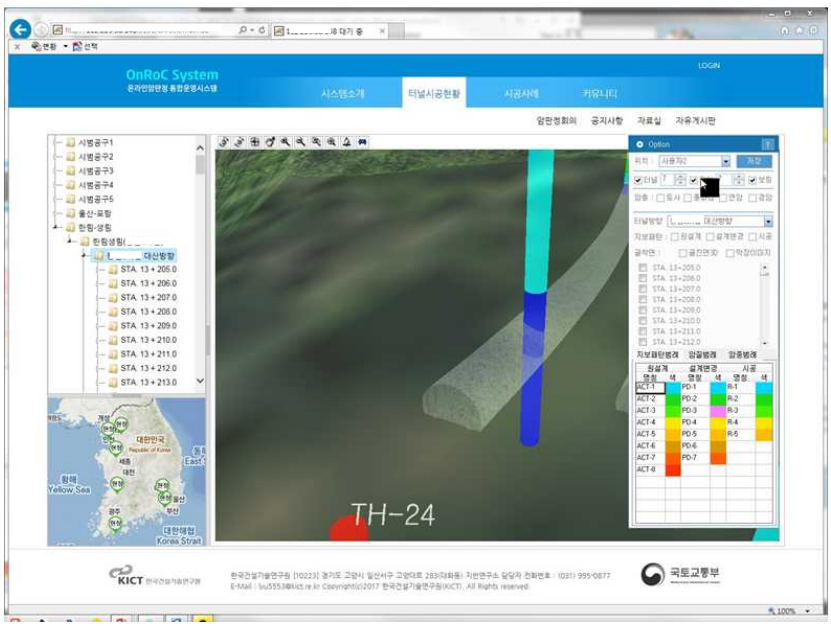
2) 옵션 창의 각 부분 기능은 다음과 같다



① 시점저장 – 화면상에 위치해있는 상태를 개별 항목에 사용자가 임의로 저장하여 추후에 화면이동을 하지 않아도 원하는 시점으로 바로 이동할 수 있다.

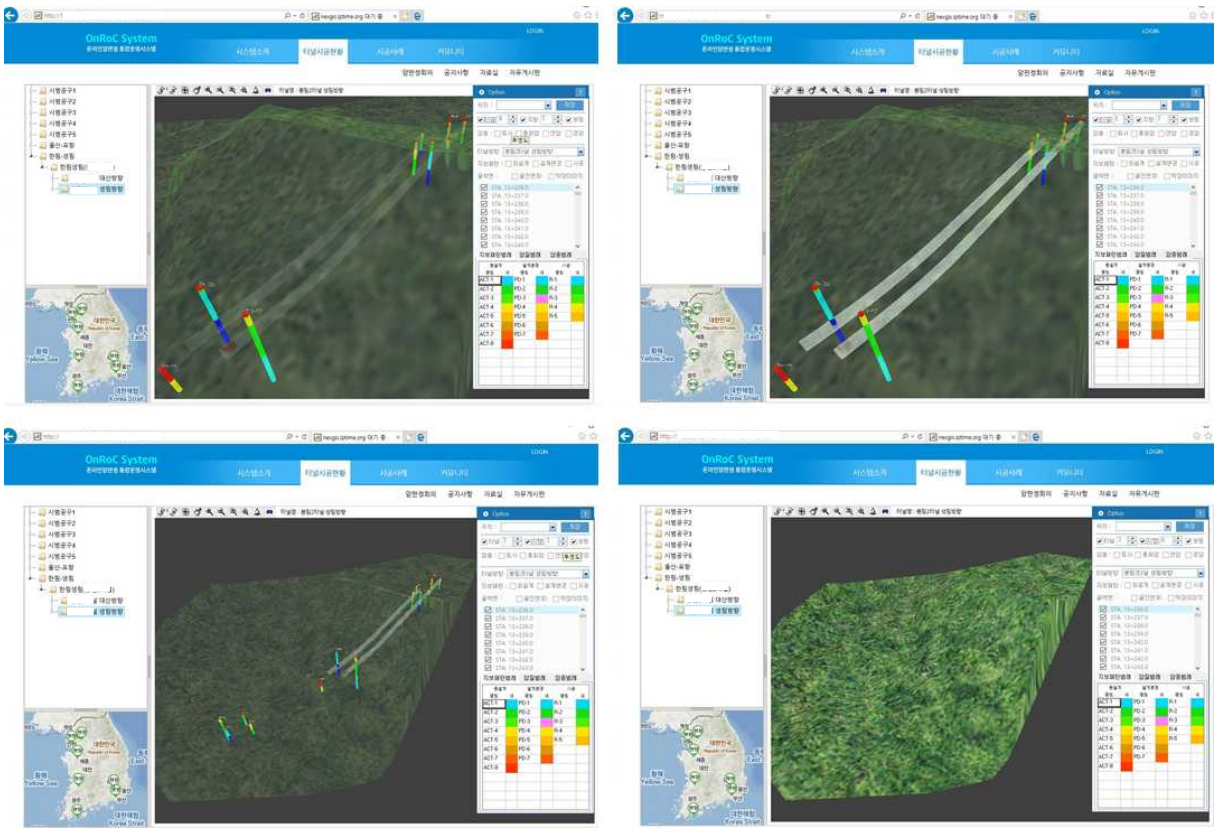






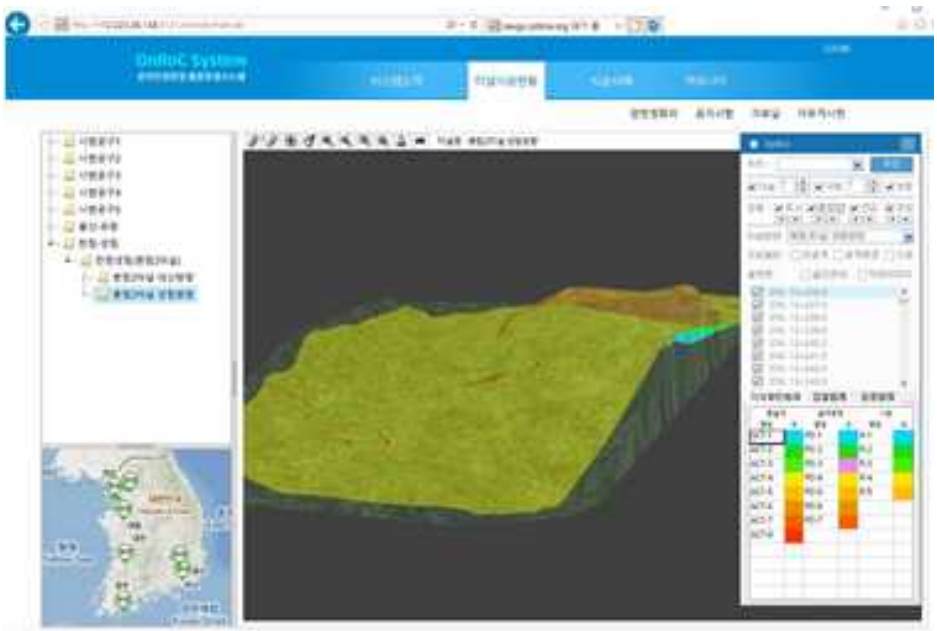
② 모델 객체 시각화 – 터널모델, 지형모델, 보링 데이터모델을 시각화할 수 있는 버튼. 각 객체별로 모델을 끄고 킬 수 있으며 투명도 조절이 가능함

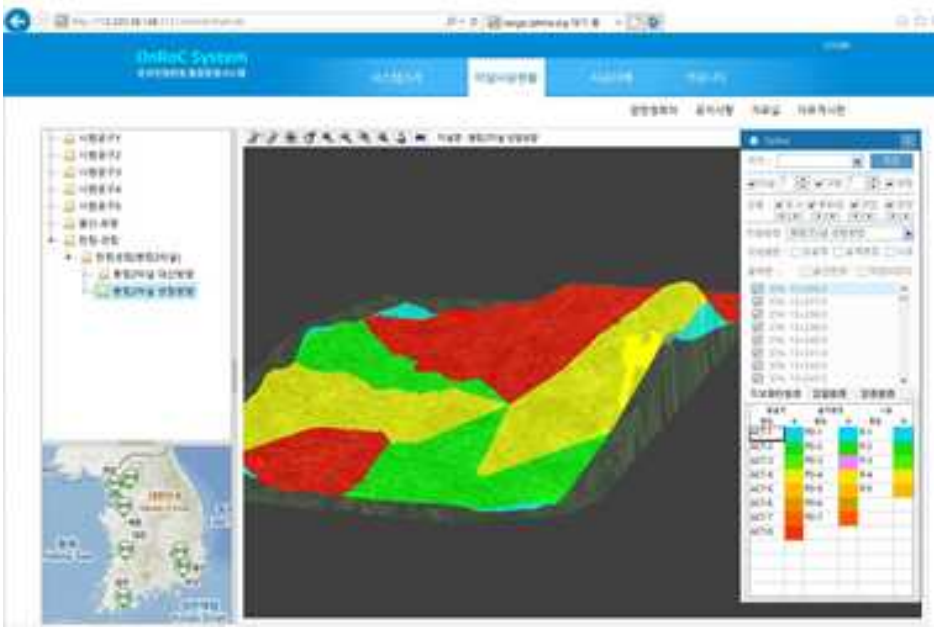




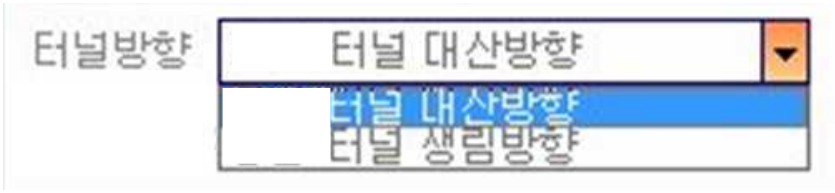
③ 암층별 모델 객체 시각화 - 토사, 풍화암, 연암, 경암으로 구분되어 있는 암층 모델을 시각화할 수 있는 버튼. 각 암층 객체별로 모델을 끄고 킬 수 있으며 투명도 조절이 가능함





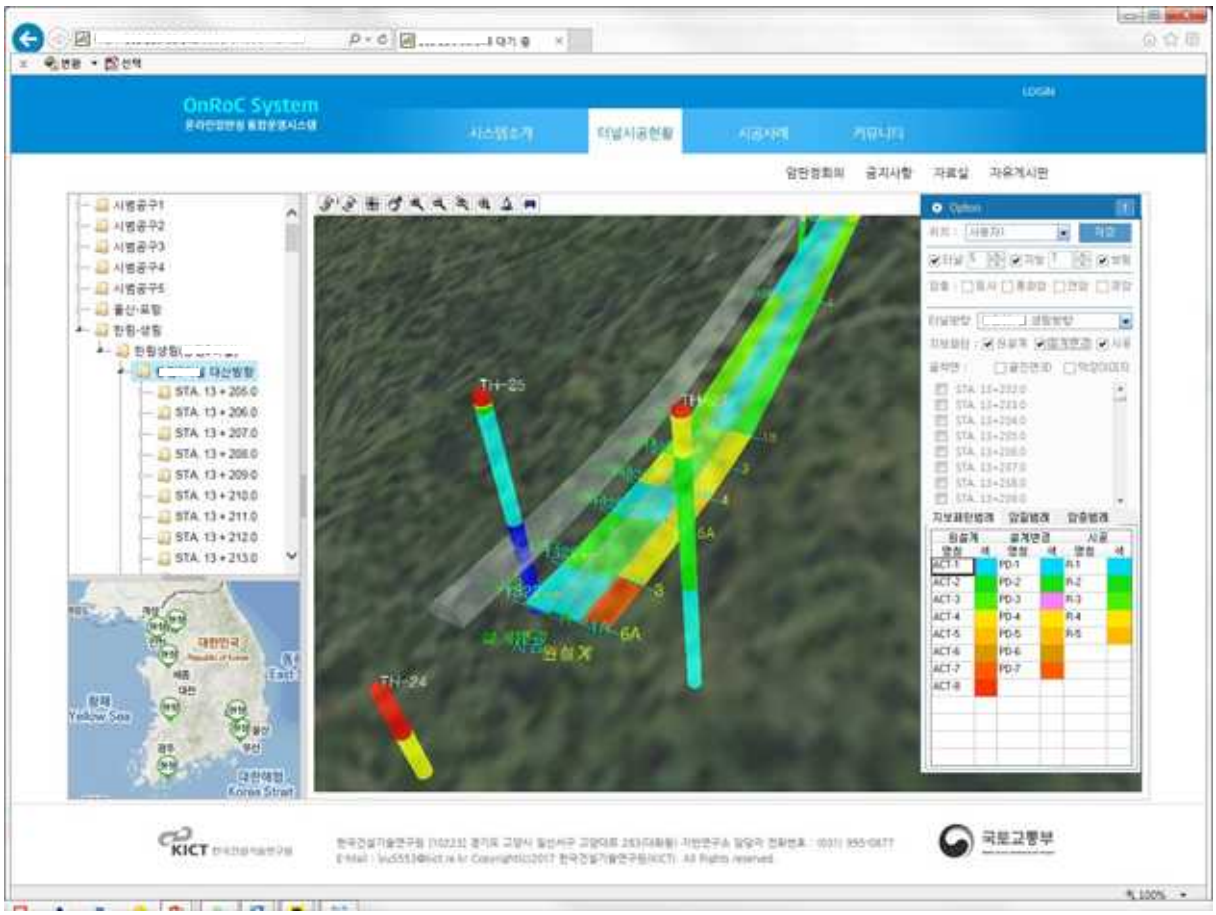


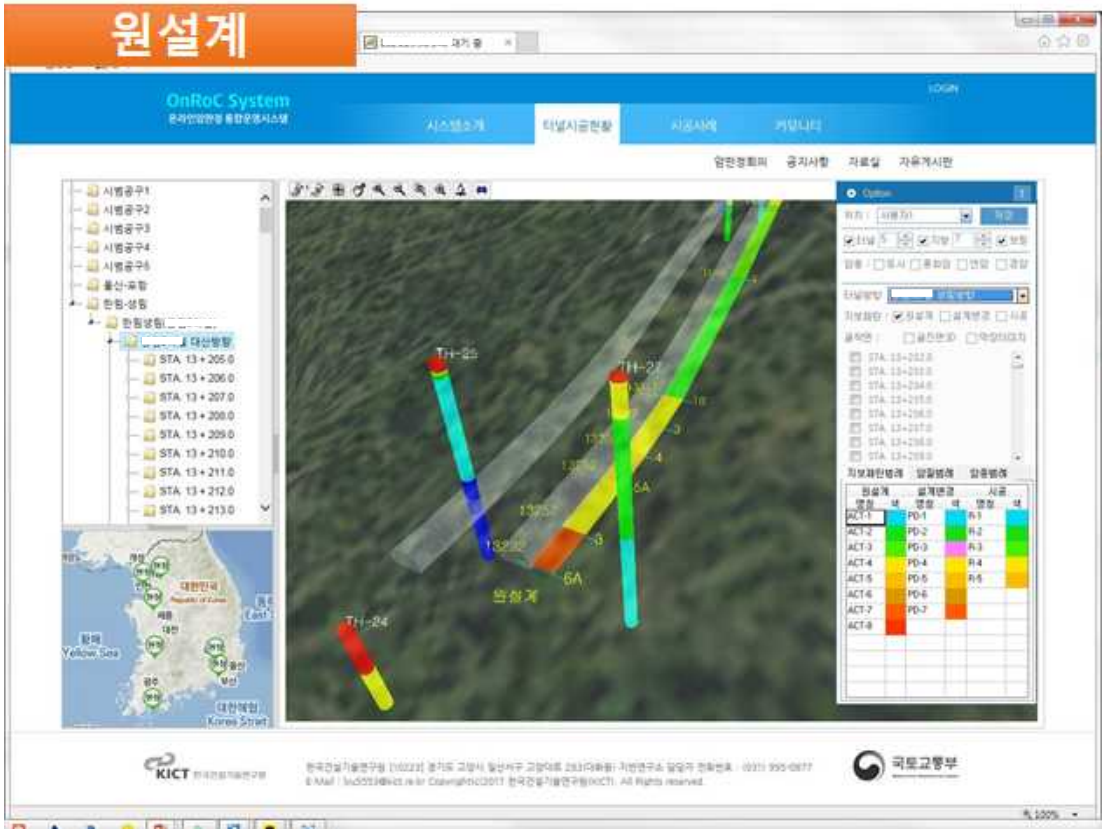
④ 터널 모델 방향 선택 – 단선노선일 경우 개별 방향의 터널에 대해 활성화할 터널을 선택하여 선택된 해당 터널에 대한 지보패턴 정보 굴착면의 스테이션 정보를 제공받을 수 있게 함

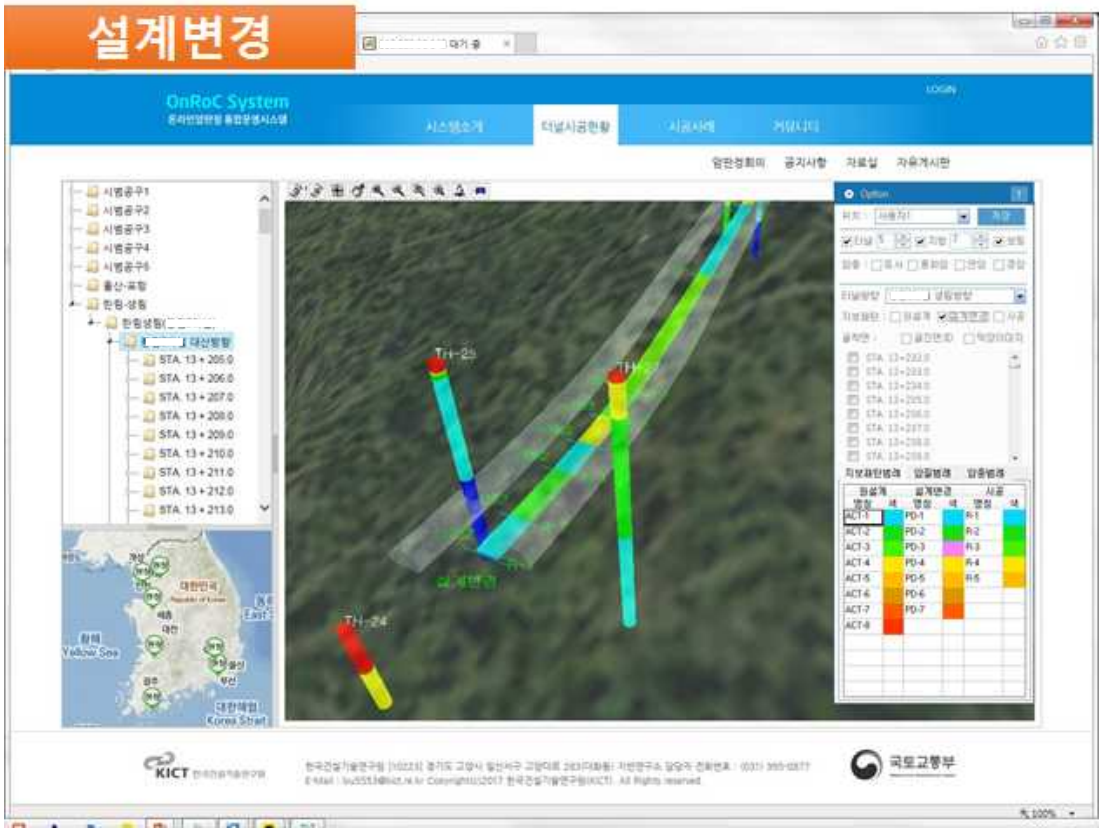


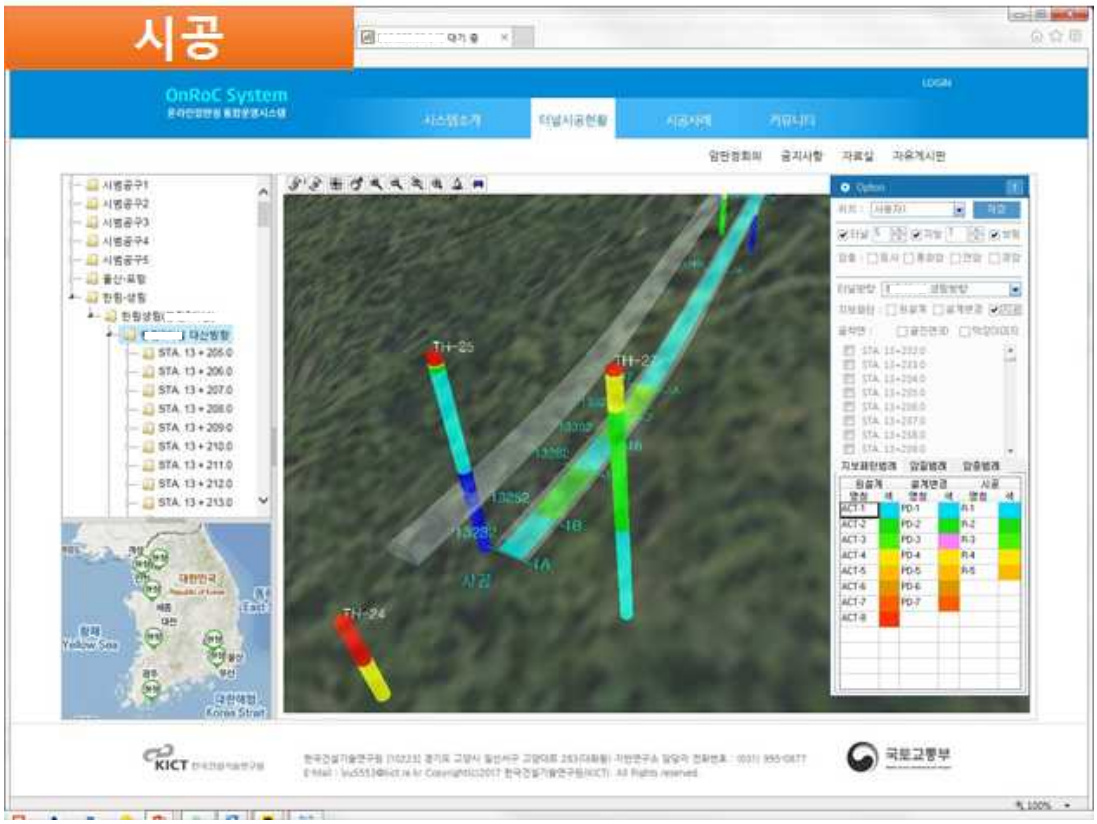
⑤ 지보패턴 – 지보패턴의 경우, “원설계, 설계변경, 시공”의 항목으로 지보패턴정보를 구성함. 기본적으로 설계시의 지보패턴을 표시해주고 시공시 변경되는 지보패턴을 비교분석 가능하도록 시각화시켜주게 됨. 추가로 설계시 설계변경이 일어날 경우 설계변경 항목으로 포시해줌



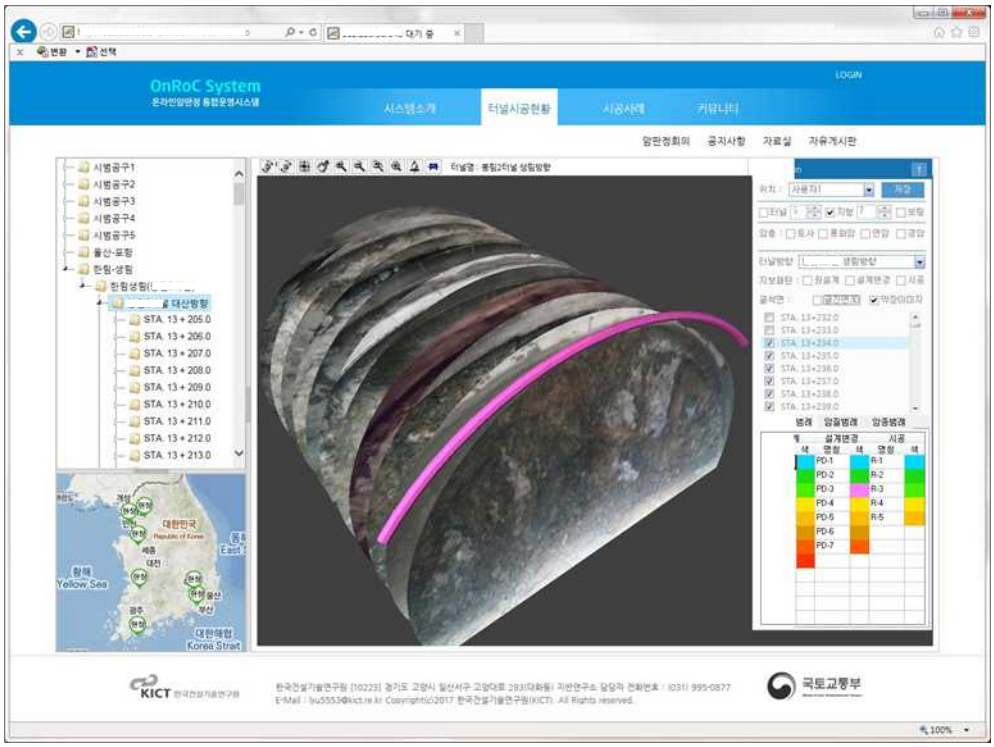


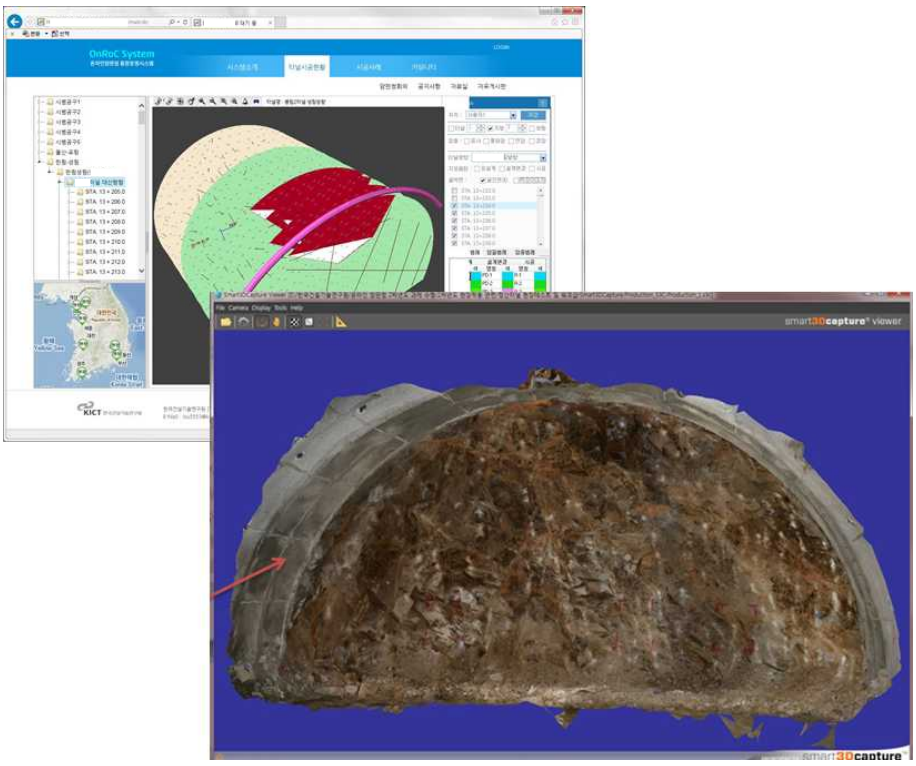

원설계
OnRoC System
LOGIN
TH-25
TH-27
TH-24
6A
원설계


설계변경
OnRoC System
LOGIN
시스템소개
터널시공현황
시공사례
커뮤니티
TH-25
TH-24
KICT
국토교통부

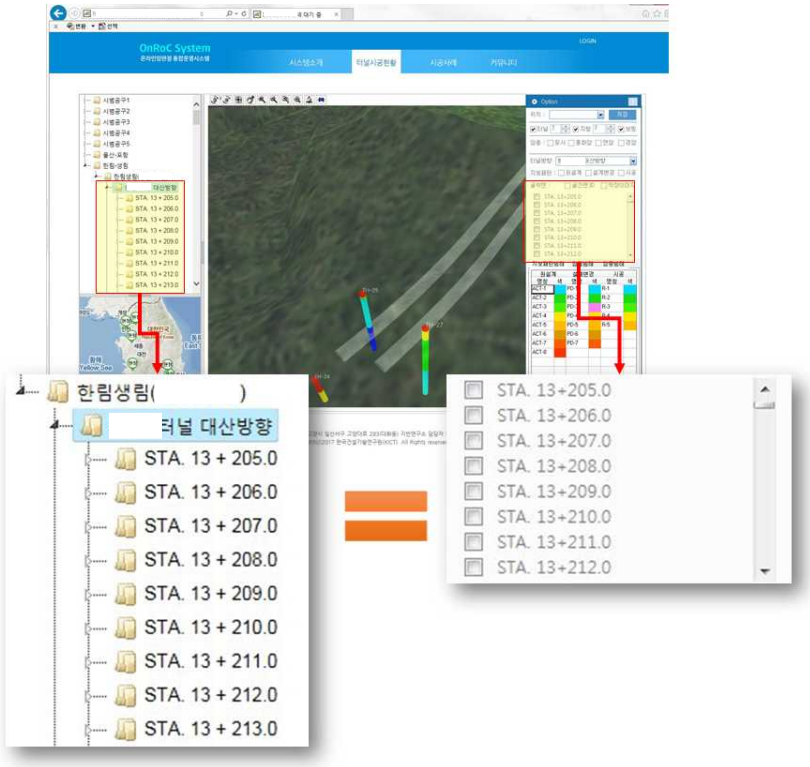

시공
OnRoC System
LOGIN
시스템소개
터널시공현황
시공사례
커뮤니티
TH-25
TH-24
KICT
국토교통부

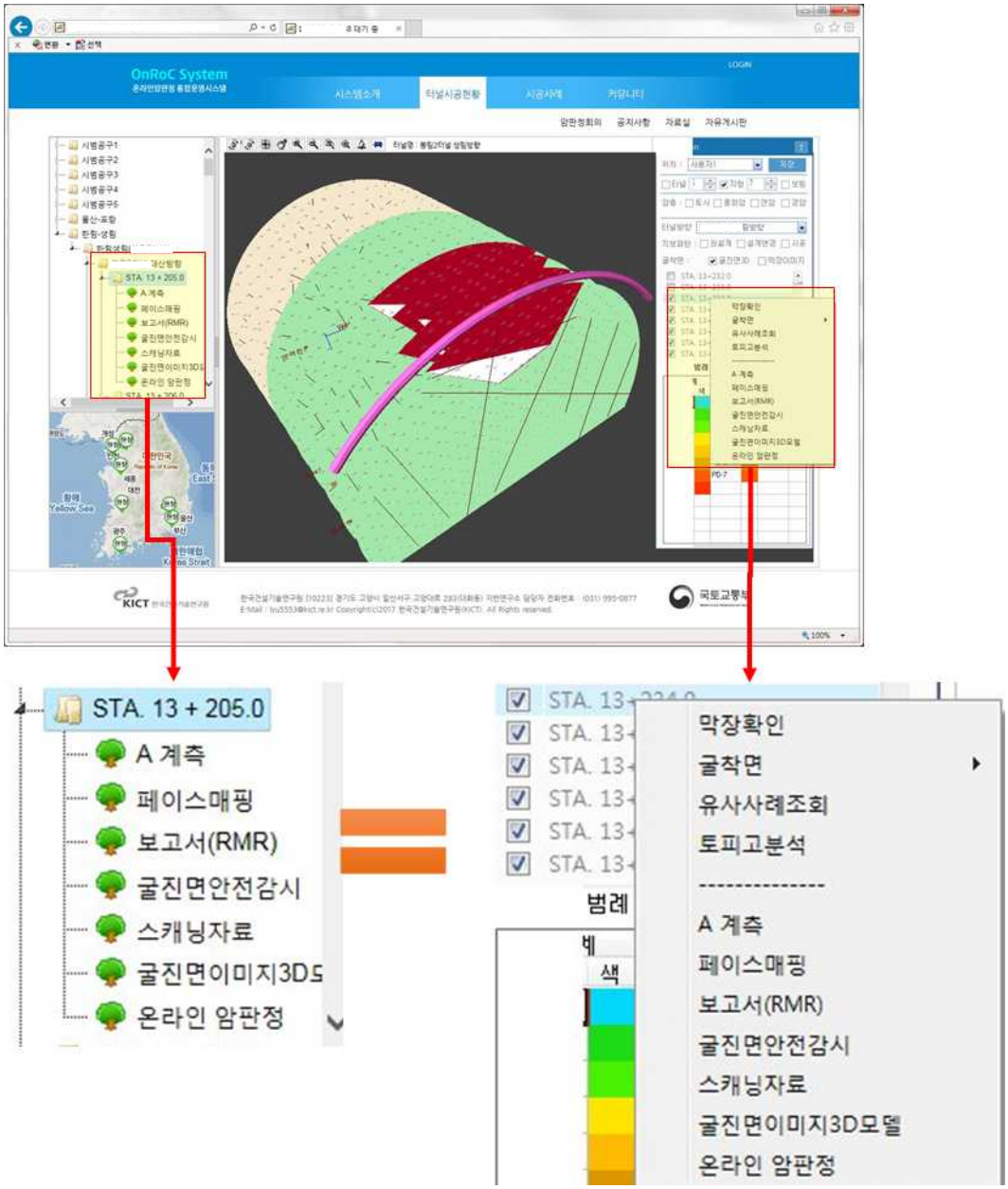
⑥ 굴착면 관련 정보 시각화 – 굴진면 3D 및 막장이미지(현장사진)을 가시화 해주는 기능. 굴진면 3D는 추가모듈이 실행되어 굴진면의 3D 입체 영상이미지를 확인할 수 있으며, 막장이미지의 경우에는 현장에서 촬영한 사진이미지를 굴진면상에서 확인할 수 있음





⑦ 스테이션 항목 - 스테이션 항목은 굴진면 디지털 맵핑이 진행된 스테이션 마다의 관련 정보를 확인할 수 있는 정보 트리임



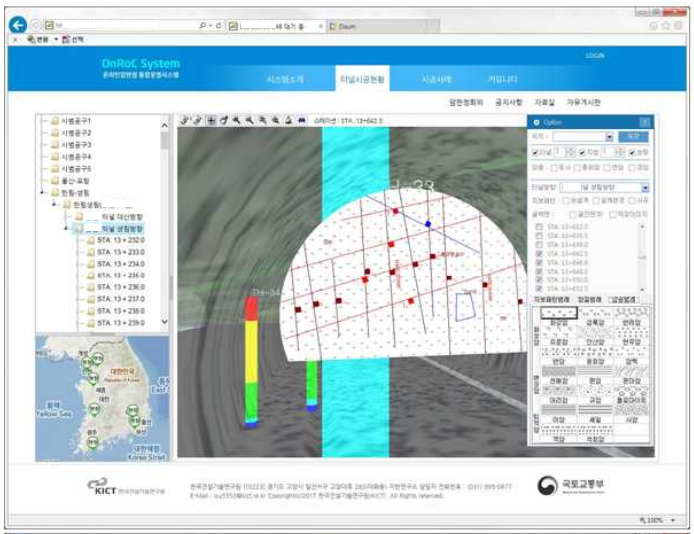


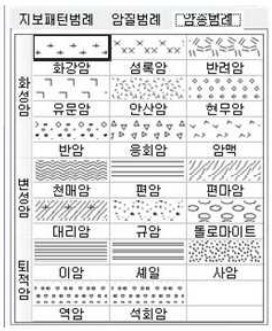
– 각 스테이션 별로 확인할 수 있는 정보들은 화면 왼쪽의 현장정보 트리에서 확인되는 항목과 오른쪽 스테이션정보트리에서 마우스로 선택 후 마우스 오른쪽 키를 클릭할 경우 나타나는 항목과 일치하게 됨.

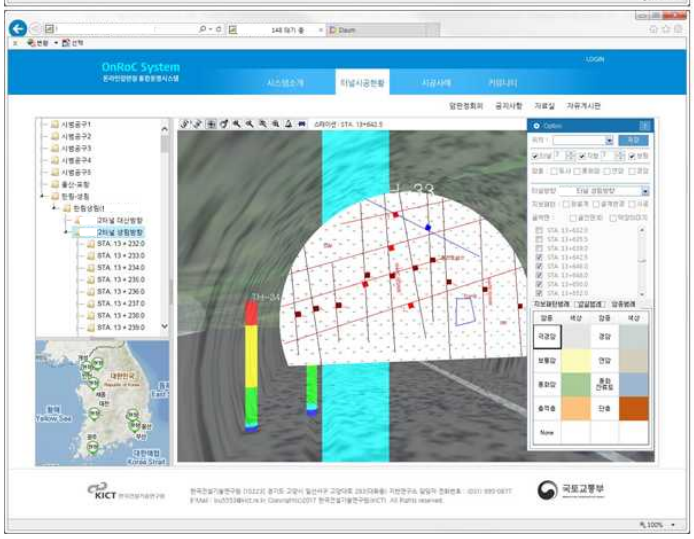
⑧ 범례 : 범례 항목은 지보패턴과 암질, 그리고 암종으로 표시되며 지보패턴의 경우 원설계, 설계변경, 시공별 지보패턴 구분항목에 따라 구분되는 색상이 표시되어 있음. 암질과 암종의 경우에는 각 항목에 따라 패턴과 색상이 구분되어 표시됨.









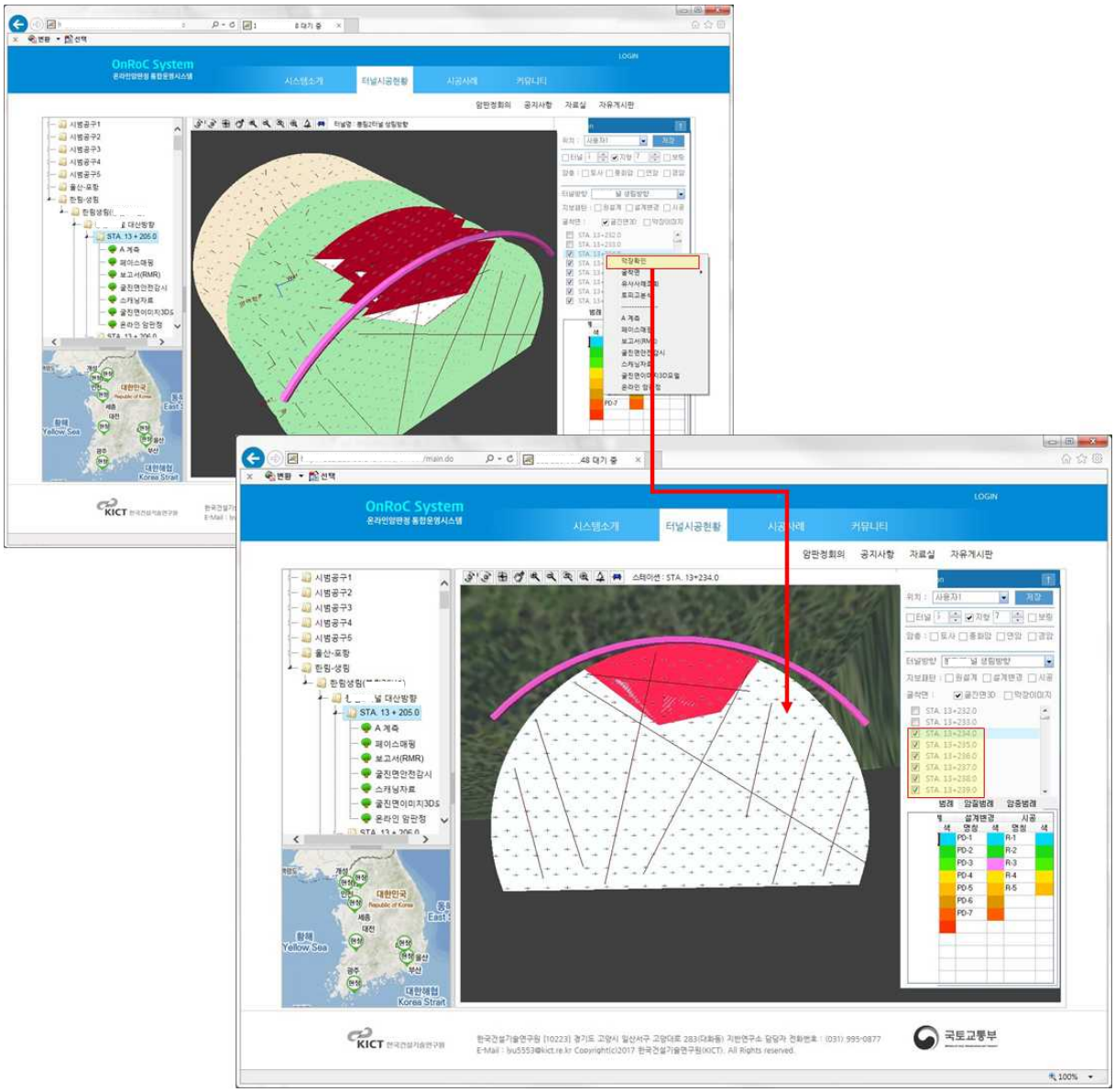




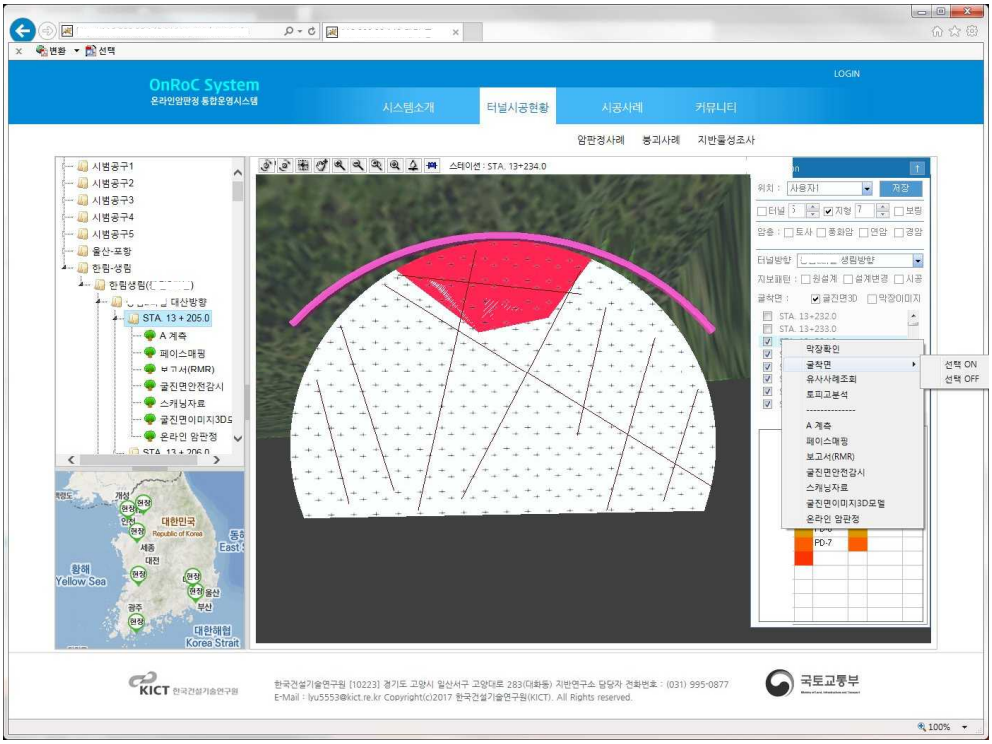
2.2 추가 연계 기능 항목

○ 각 스테이션별로 위치정보에 따라 연계된 정보들을 객체기반 정보연계 기능을 통해 스테이션별로 사용자가 원하는 정보를 확인할 수 있다.

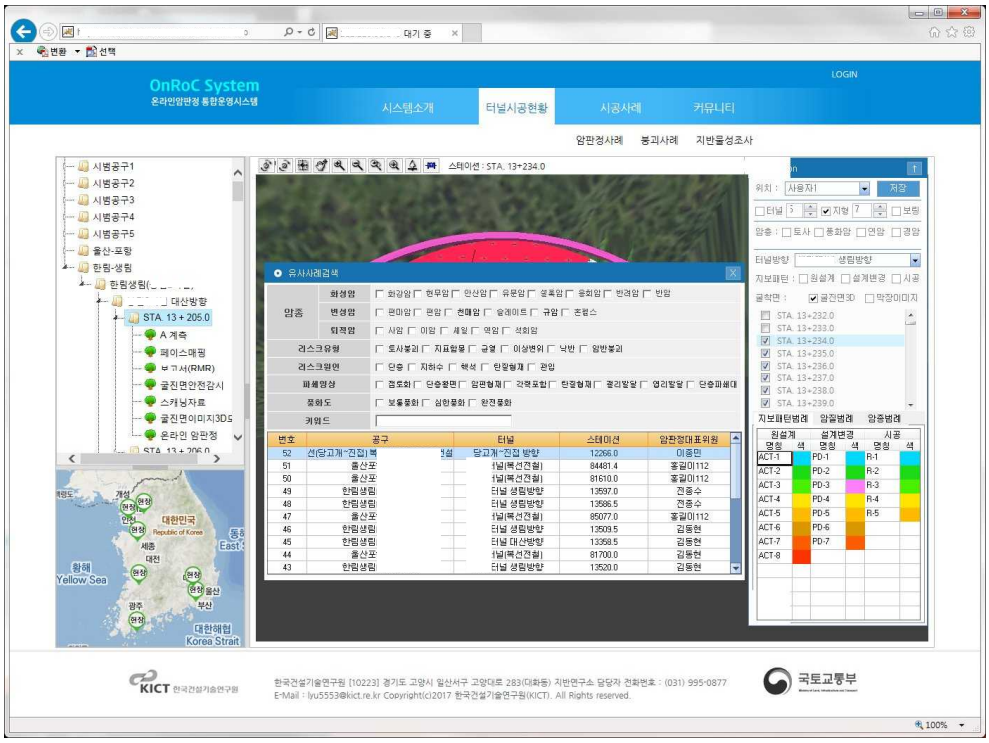
- 막장확인 : 막장확인을 클릭할 경우 선택된 굴진면이후 10개 막장이 동시에 켜지게 되며 해당 막장의 위치로 화면이 이동하게 된다.



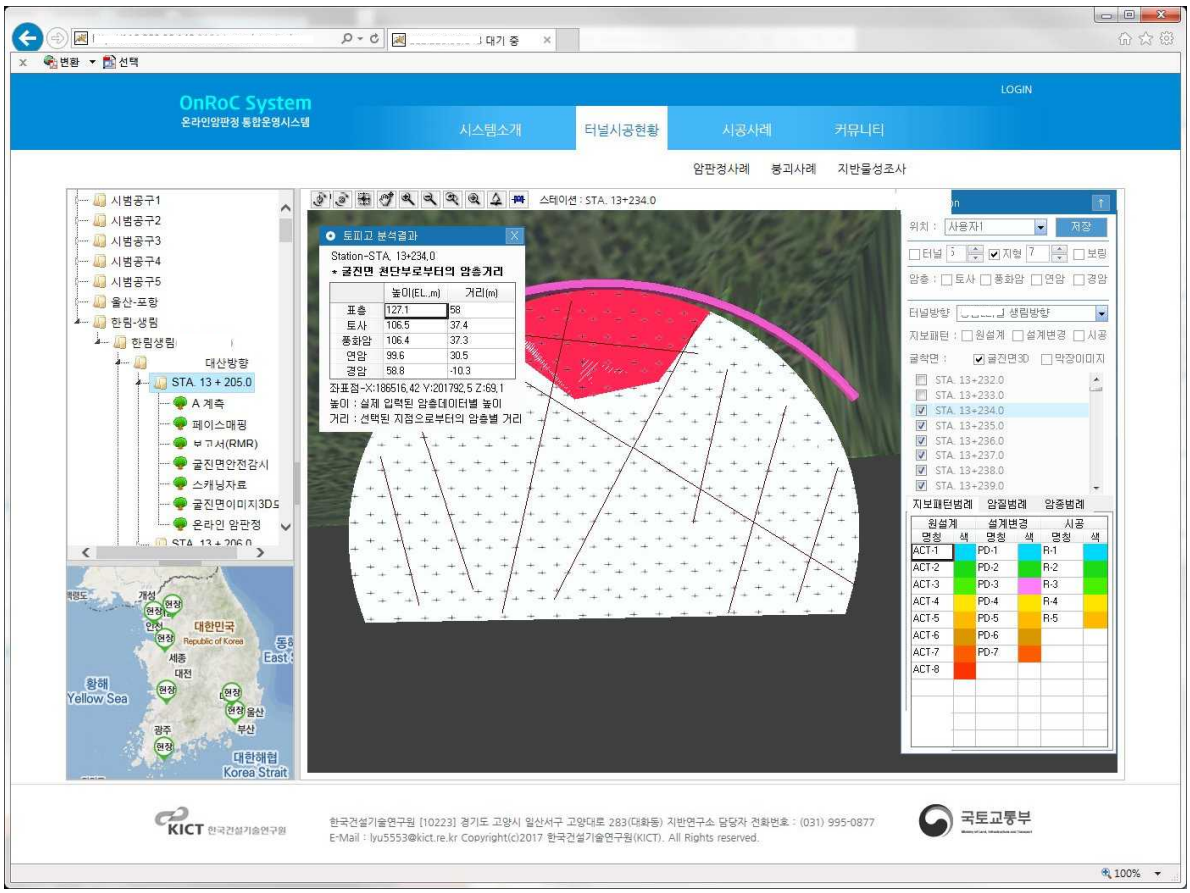
■ 굴착면 : 해당 굴착면의 시각화를 on/off 하는 항목



■ 유사사례조회 : 해당 굴진면의 암판정 환경과 유사한 사례를 찾아볼 수 있는 검색 모듈 실행



- 토피고 분석 : 사용자가 선택하는 굴진면 상단으로부터 각 암층간의 거리를 산출하는 모듈실행

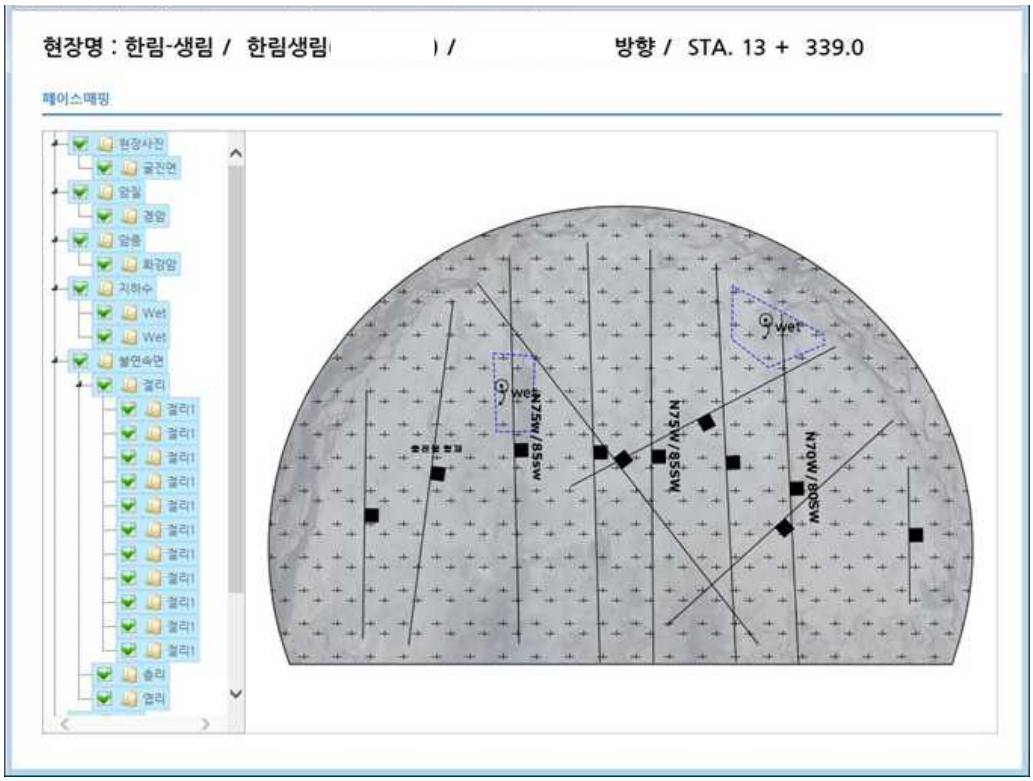


■ ---------- 표시 이후의 정보들은 팝업창을 통해 연계되는 분석데이터들임

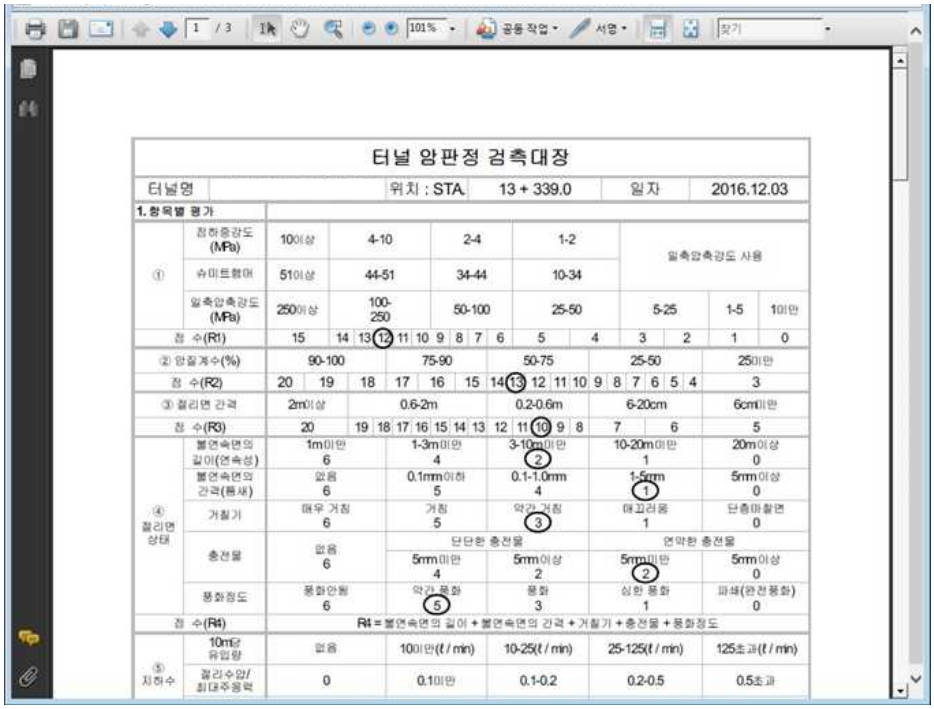
■ A 계측



■ 페이스 맵핑



■ 보고서 (RMR)



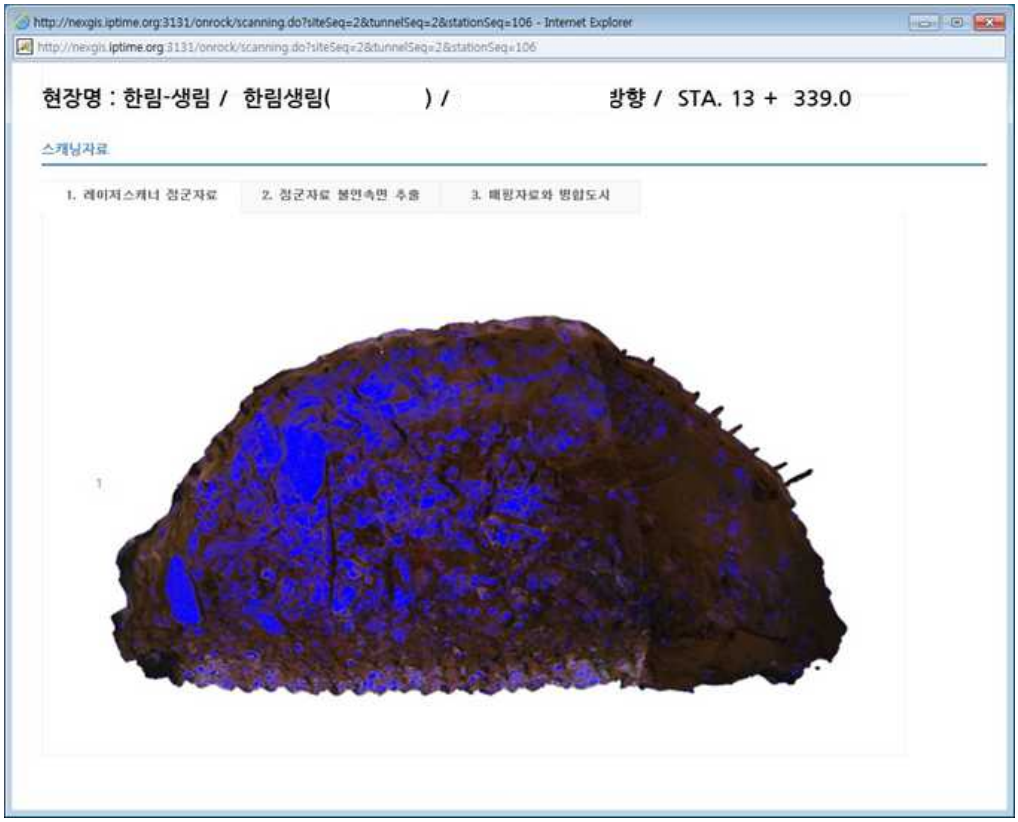
터널 암판정 검측대장

터널명		위치 : STA.	13 + 339.0	일 자	2016.12.03

1. 항목별 평가

| | | |

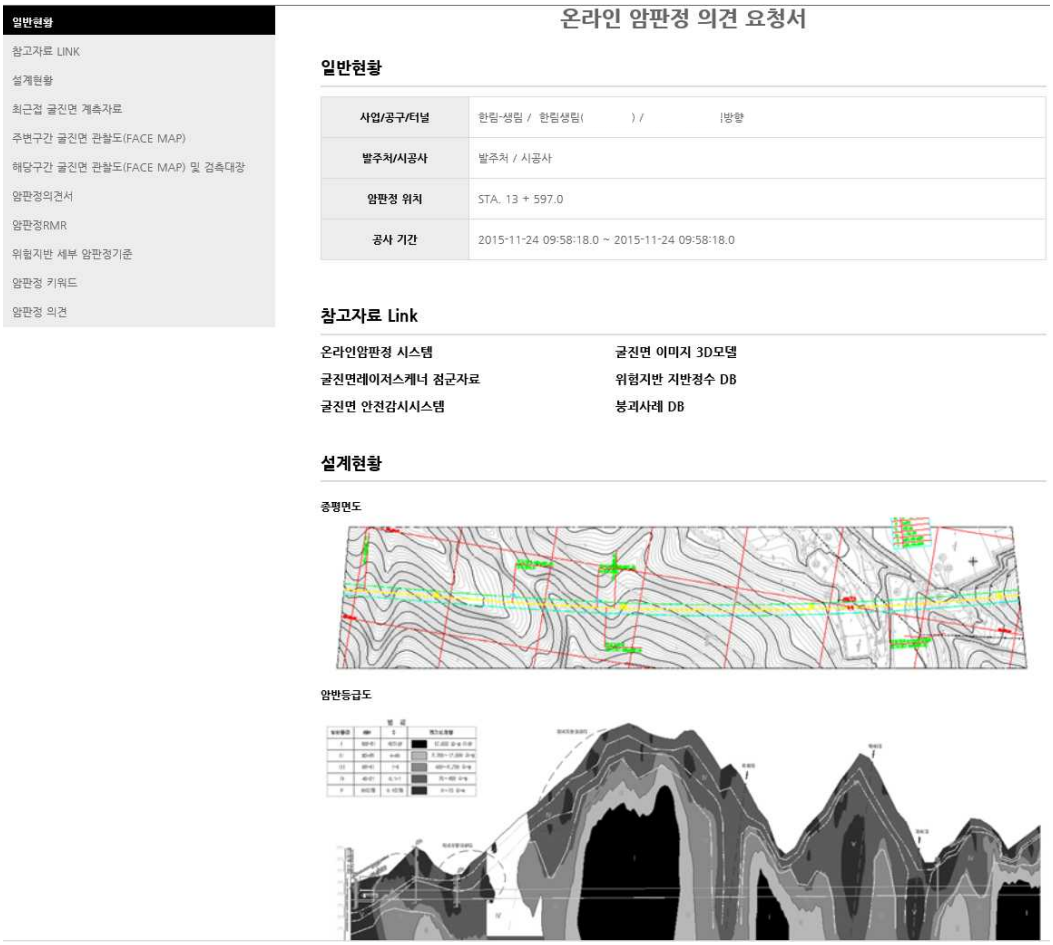
■ 스캐닝자료 :



■ 굴진면 이미지 3D 모델 : 굴진면 이미지 3D 모델확인



■ 온라인 암판정 : 암판정 내용



위험지반 지반정수 DB 적용 매뉴얼

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport
KAIA 국토교통 과학기술진흥원
KICT 한국건설기술연구원

목 차

제1장 서론 ---- **E-1**

1.1 목 적 ---- **E-1**

1.2 적용범위 ---- **E-1**

제2장 위험지반(단층)의 인지와 시료 채취 ---- **E-3**

2.1 위험지반(단층)의 인지 ---- **E-3**

2.1.1 단층 ---- E-3

2.2 시료 채취 ---- **E-7**

2.2.1 교란시료 채취 방법 ---- E-7

2.2.2 불교란 시료 ---- E-7

제3장 위험지반 시료의 실내시험 ---- **E-9**

3.1 물리적 특성 ---- **E-9**

3.1.1. 실험 방법 ---- E-9

3.1.2 결과 정리 ---- E-11

3.2 입도분포 분석 ---- **E-12**

3.2.1 실험 방법 ---- E-12

3.2.2 결과 정리 ---- E-14

3.3 CT 분석 ---- **E-16**

3.4 흙의 직접전단시험 ---- E-17
3.4.1 시험 방법 ---- E-17
3.4.2 결과 정리 ---- E-18
3.5 흙의 일축압축강도 시험 ---- E-19
3.5.1 성형 시료의 제작 ---- E-19
3.5.2 시험 방법 ---- E-20
3.5.3 결과 정리 ---- E-21

제4장 입도를 이용한 실내시험 결과의 활용 ---- E-25

4.1 입도를 이용한 단층물질의 전단강도 산정 ---- E-25
4.2 입도를 이용한 단층물질의 전단강도 분포 범위 검증 ---- E-28
4.3 입도를 이용한 전단강도 산정프로그램(개발중) ---- E-31
4.4 일축압축강도를 이용한 변형계수 산정 ---- E-32

참고문헌 ---- E-34

제1장 서론

1.1 목 적

○ 터널은 지하에 선형으로 건설되는 지반구조물이기 때문에, 조사, 설계 단계에 지반정보를 충분히 획득하기 어려운 특징이 있다. 그래서 확정설계의 개념을 적용하지 않고, 시공 중에 굴진면의 맵핑 및 계측정보를 이용하여 암판정을 실시하고 지반정수를 결정하는 것이 일반적이다. 국내에서는 터널 굴진면의 암반분류를 위하여 RMR법과 Q-system법이 일반적으로 적용되고 있으며, 분류된 암반등급에 따라 대략적인 지반정수도 결정할 수 있다. 하지만, 단층대 등의 위험지반(RMR 약 30 이하)은 등급으로 분류되더라도 지반정수가 넓은 범위에 걸쳐서 분포하기 때문에 보강설계 시 지반정수를 경험적으로 결정하는 것이 일반적이다. 이러한 이유로 구조물의 붕괴나 과보강으로 이어지는 경우가 많다. 본 매뉴얼은 터널 시공 중 출현하는 위험지반(RMR 약 30 이하)의 지반정수를 결정하기 위한 표준적인 방법을 설명하는 것을 목적으로 하고 있다.

1.2 적용범위

○ 본 매뉴얼은 산악터널 공법으로 시공되는 터널에서 위험지반(RMR 약 30 이하)의 물성(단위중량, 함수비, 간극비, 간극률, 포화도, 비중)과 역학성(점참력, 마찰각, 일축압축강도, 변형계수)을 결정할 때 적용할 수 있다.

제2장 위험지반(단층)의 인지와 시료 채취

2.1 위험지반(단층)의 인지

2.1.1 단층

(1) 정의

○ 암석의 파괴에 의한 불연속면을 총칭하는 단열(fracture)중 하나임.

○ 응력장의 영향으로 가장 취약한 부분이나 기존의 불연속면을 따라 변위발생

○ 최소 5mm 이상의 변위를 가짐.

○ 단층에 의한 파쇄대는 암석이 기계적으로 파쇄된 불규칙한 균열의 집합체를 말함.

(2) 단층의 구성

○ 단층핵(fault core)과 손상대(damage zone), 혼합대(mixed zone)로 구성(그림 1)

○ 단층핵 : 단층 점토(fault gouge), 파쇄암(cataclasite) 및 각력암(breccia)으로 구성되며, 점토와 각력이 혼재되어 산출되기도 함.

○ 손상대 : 단층핵을 둘러싸고 있는 취성적으로 변형된 모암으로 소규모 단층 및 습곡, 단열 등 단층 운동과 관련된 2차 지질구조 발달

○ 혼합대 : 단층핵과 손상대의 특성이 반복되어 나타나는 구간

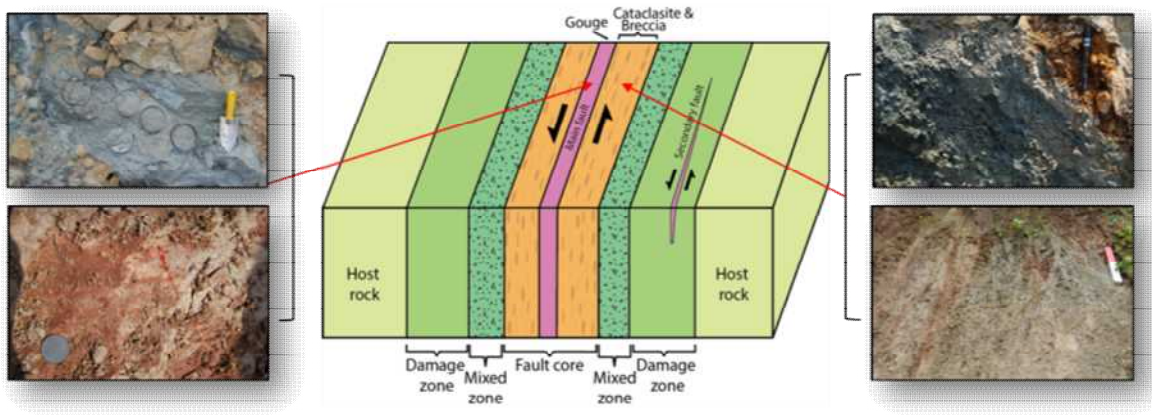


그림 1. 단층대의 구성 (Caine et al., 1996; Heynekamp et al., 1999; Faulkner et al., 2003; Choi et al., 2009; Gudmundsson et al., 2010)

(3) 단층의 종류

○ 역단층 : 횡압력에 의해 상반이 상승하고 하반이 하강하여 생성된 단층(그림 2a)

○ 정단층 : 역단층과 반대의 경우로 지반의 인장력에 의해 상반이 하강하여 생성된 단층 (그림 2b)

○ 주향이동 단층 : 상반과 하반이 단층면에 주향 방향으로 평행하게 이동한 단층 (그림 2c)

○ 우수향 주향이동 단층 : 주향이동으로 분리된 두 암괴의 변위 방향이 시계방향일 경우

○ 좌수향 주향이동 단층 : 주향이동으로 분리된 두 암괴의 변위 방향이 반시계방향일 경우

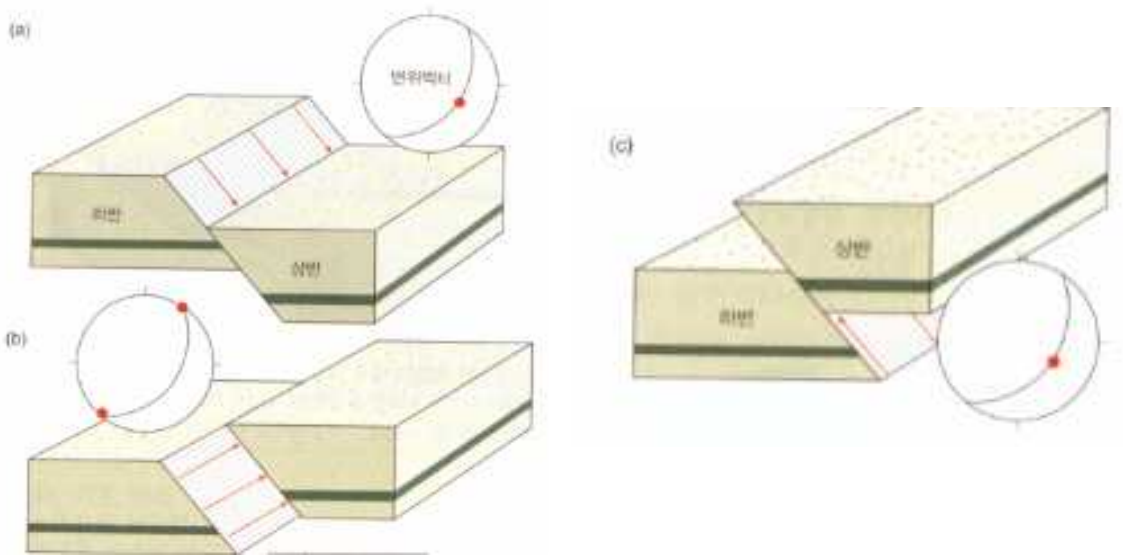


그림 2. 단층의 종류 (정단층(a), 주향이동 단층(좌수향)(b), 역단층(c); Hankon Fossen, 2010)

(4) 단층의 분류

○ 점성 및 엽리의 유무, 기질의 함량에 따라 분류(표 1)

○ 점성이 없는 경우 : 엽리의 유무와 기질의 함량에 따라 breccial와 gouge로 분류

○ 점성이 있는 경우 : 기질의 함량에 따라 breccia와 cataclasite, mylonite로 분류

표 1. 단층암의 분류 (Sibson, 1977)

점성의 유무	엽리 없음		엽리 있음		기질의 함량
incohesive 응집력이 없는 천처형 (1-4km 이내)	fault breccia		foliated fault breccia		<30%
	fault gouge		foliated fault gouge		>30%
cohesive 응집력이 있는 심처형 (4-15km이내, 300℃)	crush breccia (>0.5cm)				0-10%
	fine crush breccia (0.1-0.5cm)				
	crush microbreccia (<0.1cm)				
	cataclasite series	protocataclasite	mylonite series	promylonite	10-50%
		cataclasite		mylonite	50-90%
		ultracataclasite		ultramylonite	90-100%

(5) 단층핵의 인지

○ 단층핵은 단층비지 및 각력암, 파쇄암으로 구성

○ 단층비지는 절리면의 연마작용에 의해서 대부분 세립화된 점토 물질로 이루어져 있음.

○ 점토와 함께 각력 및 암편 등이 포함되어 있는 경우도 있음.

○ 단층운동시 미끌림 작용, 마찰작용에 의해 단층활면 및 단층 조선의 지질구조 발달

○ 모암의 잔류 흔적이 남지 않을 정도의 변형을 받은 경우에는 약한 엽리, 선구조, 광물의 배열 등이 보이기도 함.

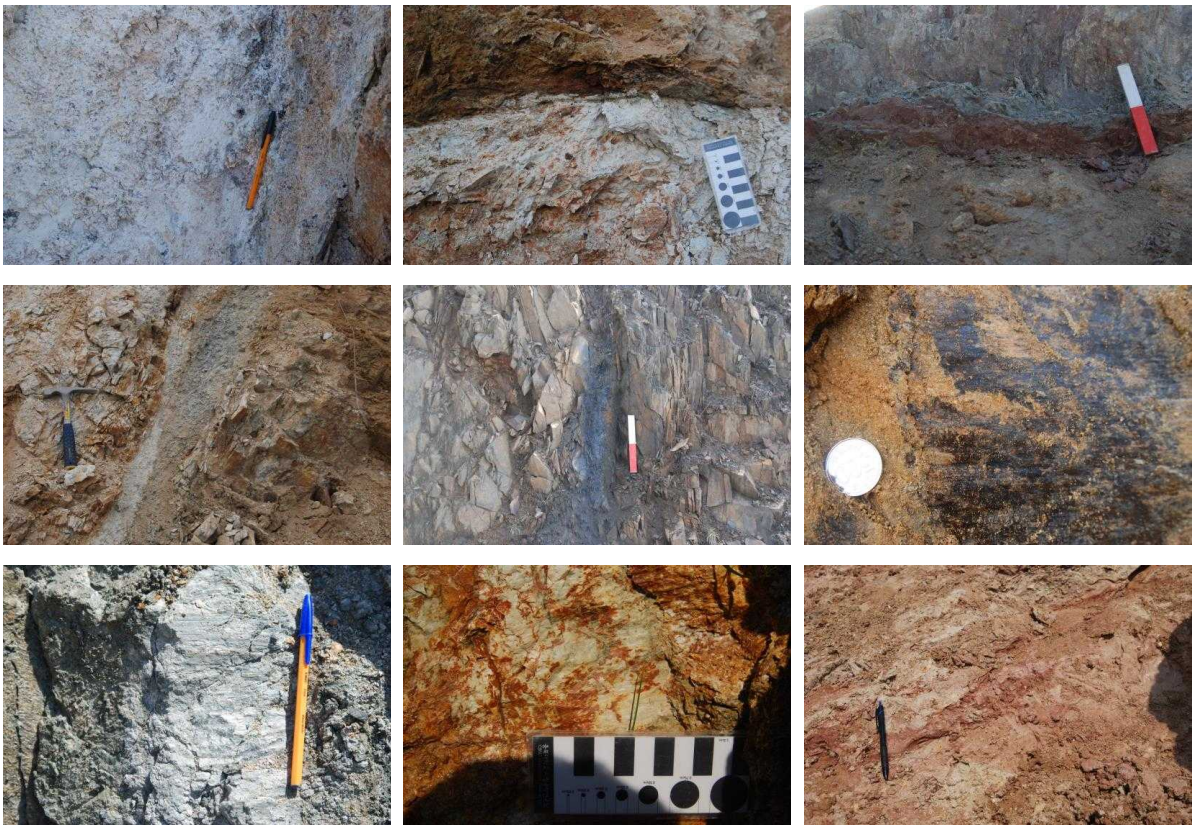


그림 3. 다양한 형태로 산출되는 야외에서의 단층핵

(6) 단층의 조사

○ 단층의 형상 파악 : 방향성(Dip direction/Dip angle), 폭, 길이

○ 파쇄형태 관찰 : 단층점토, 단층각력 등 단층 물질의 종류와 특성, 색, 입자 크기 등

○ 지질구조 관찰 : 단층면 내 단층조선, 단층활면, 변위 방향 등

○ 단층상태 관찰 : 함수량 (습윤/건조)



(a) 단층면 내 점토가 있는 경우 (b) 단층면 내 점토가 없는 경우

그림 4. 단층면에서의 단층물질(점토)에 대한 조사

* 위험지반의 지질학적 분류는 [별권2 연구개발 주요성과(매뉴얼/지침) – 위험지반 세부 암판정 기준 매뉴얼] 참조

2.2 시료 채취

○ 객관적인 지반정수 산정을 위해 현장상황 및 환경이 보존된 시료를 채취하는 것이 중요

○ 시료는 시험 종류에 따라 교란시료와 불교란 시료로 구분하여 채취해야함.

2.2.1 교란시료 채취 방법

○ 시료채취 대상 지반 결정

위험지반의 주향/경사, 선구조, 불연속성, 풍화도 등을 기준으로 시료 채취 대상 결정

○ 시료채취 전 훼손되지 않은 상태의 지반을 대상으로 스케치 및 사진촬영 수행

○ 채취할 시료의 수량을 결정하고 조사구간 내 동일한 특징이 나타나는 물질을 채취

○ 채취면 주변부를 해머, 호미 등으로 파서 넓게 노출시킴

○ 채취한 시료는 준비한 지퍼백이나 주머니에 넣어 시료정보를 기입

2.2.2 불교란 시료

○ 시료채취 전 작업(시료채취 대상 결정 및 스케치)은 교란시료와 동일하게 수행

○ 샘플러의 약 1.5배 면적이 노출되도록 노두를 정리함

○ 채취된 시료의 방향성을 실내에서 복원 가능하도록 상하좌우 및 남북방향을 표기함

○ 채취된 시료의 수분 방지를 위해 랩으로 포장한 후, 햇빛에 의한 변질을 막기 위해 호일로 2중 포장함.

* 단층암은 상당히 연약한 강도를 가지는 물질로서 암석샘플 채취 및 이동 시 랩, 호일, 완충재 등을 이용하여 시료를 고정하거나 보호함으로써 교란 및 변질이 발생하지 않도록 주의를 기울여야 함.

제3장 위험지반 시료의 실내시험

3.1 물리적 특성

3.1.1. 실험 방법

○ 시료의 물리적 특성(단위중량, 함수비, 공극률, 간극비, 포화도, 비중)을 파악하기 위해서 단위중량 및 함수비 실험과 비중실험을 수행함.

① 단위중량 및 함수비 시험 (그림 5 참조)

○ 채취해온 시료가 정확히 샘플러의 크기와 일치하도록 트리밍(trimming) 작업을 수행해야함.



1) 채취한 시료를 준비



2) 완전 건조상태인 팬의 무게를 측정



3) 현장에서 채취한 시료를 팬에 옮김.



4) 습윤 상태의 시료와 팬의 무게를 측정



5) 건조기에 시료를 넣어 수분이 완전히 증발할 수 있도록 충분히 건조시킴.



6) 건조된 시료와 팬의 무게를 측정

그림 5. 단위중량 및 함수비 실험 방법

② 비중 시험 (그림 6 참조)

○ 채취해온 시료가 정확히 샘플러의 크기와 일치하도록 트리밍(trimming) 작업을 수행해야함.

○ 한번의 실험에서 두 개의 비중병을 이용하며, 이 둘의 오차가 0.03이하가 되도록 정밀하게 수행되어야 함.



1) 완전히 건조 상태인 비중병의 무게측정



2) 시료를 넣기 쉽도록 깔때기를 꽂은 상태에서 저울의 영점을 맞춤.



3) 비중병에 시료 25g을 담음.



4) 깔때기를 제거하고 병+시료의 무게를 측정



5) 비중병의 눈금(100ml)을 넘지 않을 만큼만 물을 넣고 공극 내의 공기가 빠져나갈 수 있도록 20분 이상 가열



6) 공기와 함께 떠오른 부유물을 면봉을 이용해 제거



7) 30℃ 이하로 식을 때까지 놓아둠 (빠르게 식히기 위해 미지근한 물에 중탕)



8) 비중병 눈금(100ml)까지 물을 채워 병+시료+물의 무게와 온도를 측정



9) 비중병을 깨끗이 씻은 후 눈금(100ml)만큼 물을 채워 병+물의 무게와 온도를 측정

그림 6. 비중 실험 방법

3.1.2 결과 정리

1) 단위중량

○ 채취한 시료에 함유된 물의 무게(W_w), 흙의 무게(W_s), 습윤 상태의 시료무게($W_s + W_w$) 건조 상태의 시료무게(W_s)을 측정할 수 있으며, 시료의 총 부피(V)로 나누어 단위중량을 산정함.

습윤단위중량 $\gamma_t = \frac{W_s + W_w}{V}$

건조단위중량 $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

○ 비중병의 무게(W_f), 비중병+시료의 무게($W_f + W_s$), 비중병+시료+물의 무게 및 온도(W_b, T), 비중병+물의 무게(W_a', T')를 측정하여, 온도 T℃에서의 물에 대한 흙 입자의 비중

G_T을 산정함.

$$\text{비중 } G_T = \frac{W_s}{W_s + (W_a - W_b)}$$

○ 이때, W_a는 비중병+물의 환산중량으로 아래의 식을 이용하여 산정해야함.

$$W_a = \frac{G_{WT}}{G_{WT'}} \times (W_a' - W_f) + W_f \; (T^\circ C\text{에서 비중병} + \text{물의 환산중량})$$

$G_{WT} = T$℃ 측정시의 물의 비중

○ 온도별로 물의 비중을 나타낸 표 2에서 G_{WT}와 $G_{WT'}$ 값을 얻을 수 있으며, 한국 기준인 15℃에 맞춰주기 위해 G_T에 보정계수(K)를 곱해 실제 비중 G_s를 계산함.

비중 $G_s = K \times G_T$

표 2. 수온에 따른 보정계수 K

T℃	—	—	—	4	5	6	7	8	9	10
				1.000000	0.999992	0.999968	0.999936	0.999877	0.999809	0.999727
T℃	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0.999634	0.999526	0.999406	0.999273	0.999129	0.998972	0.998804	0.998625	0.998435	0.998234
T℃	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	0.998022	0.997800	0.997568	0.997327	0.997075	0.996814	0.996544	0.996264	0.995979	0.995678

○ 건조단위중량과 비중을 계산하면, 함수비, 간극비, 간극률, 포화도는 아래의 식으로 산정될 수 있음.

함수비 $w = \frac{W_w}{W_s}$

간극비 $e = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} G_s - 1$

간극률 $n = \frac{e}{1+e} \times 100$

포화도 $S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 = \frac{w \times G_s}{e}$

3.2 입도분포 분석

3.2.1 실험 방법

○ 입도분포는 체분석 방법을 이용하여 수행함.

○ 눈금이 9.5mm인 체, #4, #10, #18, #20, #40, #60, #100, #200, #230번체를 사용하며,

#18번과 #230번체는 단층시료의 breccia와 세립분을 구분하는 입경으로서 활용됨.

○ 단층물질은 단층점토에 의한 응집력 때문에 건식 체분석 방법으로는 분석이 어려움.

○ 따라서, 물을 사용한 습식 체분석 방법을 이용함(그림 7).



1) 건조된 시료의 무게를 측정



2) 시료를 물로 포화시킴.



3) 시험의 용이성을 위해 포화시킨 시료를 사용하는 체 중 입경이 가장 작은 #230번체에 한 번 거름.



4) 230번체 위에 남은 시료를 팬에 옮겨 담음.



5) 입도분석을 위한 체 10종(#4, #10, #18, #20, #40, #60, #100, #200, #230체 및 입경 9.5mm의 체)을 준비



6) 준비한 시료가 체 바깥으로 튀어나가지 않게 조심해서 붓고 흐르는 물로 입자를 씻어내며 거름.



7) 각 체에 남은 입자를 각 팬에 옮겨 담음.



8) 입도별 체 번호와 팬 번호를 기록



9) 건조기에 시료를 넣어 수분이 완전히 증발할 수 있도록 충분히 건조



10) 건조된 시료와 팬의 무게를 측정

그림 7. 입도분포 분석을 위한 체분석 실험방법

3.2.2 결과 정리

○ 각 체에서 걸러진 입자들의 무게를 측정하여 표 3의 입도분포 시트를 작성

○ 누가잔류율과 누가통과율을 산정하여 입도분포 곡선을 작성

누가잔류율 = 해당 체의 누가무게÷전체 시료의 무게×100

누가통과율 = 100−잔류백분율

○ x축에 입경(로그 스케일), y축에 누가통과율을 적용한 입도분포곡선 작성(그림 8).

○ 입도분포곡선에서 누가통과율이 10%에 해당하는 입경을 D_{10}으로 정의

○ D_{10}, D_{30}, D_{50}, D_{60} 을 산정하여 균등계수, 곡률계수, 투수계수 계산

○ 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_g)는 입도의 좋고 나쁨을 판단하는 기준이며, 아래의 식으로 계산될 수 있음.

균등계수 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

곡률계수 $C_g = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$

○ 투수계수(k)는 일정한 단위면적을 단위시간당 통과하는 물의 양을 의미하며, D_{10}과 D_{50}을 이용하여 산정할 수 있음(이때, C는 형상계수로서 표4를 참고하여 계산함).

Hazen 법 $k = C \times (D_{10})^2$

Shepherd 법 $k = C \times (D_{50})^{1.5}$

표 4. 비례상수 C

퇴적물의 입도	비례상수(C)
분급이 불량한 분급된 극세립질 모래	40~80
감지할 수 있는 정도의 세립질 모래	
분급이 양호한 중립질 모래	80~120
분급이 불량한 조립질 모래	
분급이 양호한 조립질 모래	120~150

표 3. 입도분포 시트

시료 No.		건조된 시료의 전체 무게(g)			
체번호 No.	체의입경 (d, mm)	남은무게		누가백분율	
		각체(g)	누가(g)	잔류(%)	통과(%)
	25.000				
	19.000				
	9.500				
4	4.750				
10	2.000				
18	1.000				
20	0.850				
40	0.425				
60	0.250				
100	0.150				
200	0.075				
230	0.063				
230 이하					

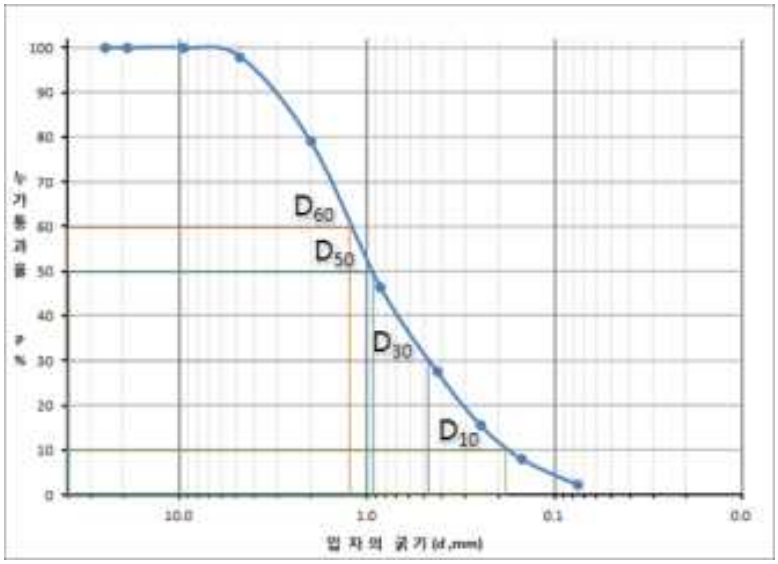


그림 8. 입도분포곡선 예

3.3 CT 분석

○ CT는 단층핵이나 흙과 같이 정확한 부피를 산정하기 어려운 물질을 대상으로 방사선 투과를 이용하여 시료 내 모든 입자 및 공극의 부피를 측정할 수 있음.

○ 시료가 손상되지 않는 비파괴 시험임.

○ 교란시료 및 불교란 시료 모두에서 측정이 가능

○ 육안으로 확인할 수 없는 내부 구조나 방향성까지 파악이 됨.

○ 단층핵 내 구성물질의 배열상태, 방향성, 각력(breccia)과 점토(gouge)의 구성비, 각력의 위치(position), 각력의 구형도 및 원마도(sphericity and roundness) 등의 분석 가능(그림 9).

○ 단, CT 분석 시 시료 내부로 x-선의 투과가 가능하도록 비금속 재질의 샘플러를 이용하여야 함.

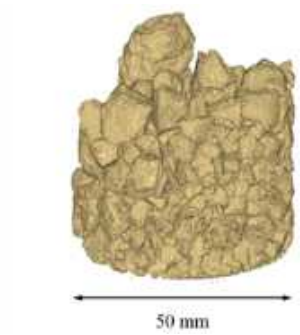


그림 9. CT 촬영 이미지 예

3.4 흙의 직접전단시험

3.4.1 시험 방법

○ 직접전단시험은 흙의 전단강도를 산정하기 위해 수행됨.

○ 현장의 상태를 그대로 반영하기 위해 불교란 시료를 이용

○ 보수적인 시험 결과를 얻기 위해서 일반적으로 포화상태의 시료로 시험을 진행함(그림 10).

○ 수직하중을 달리하여 최소 3번의 시험을 수행하여 전단강도를 획득함.



1) 흙의 직접전단시험을 위한 시료를 성형



2) 전단상자 하부 틀에 다공질판과 투수판은 삽입하고 상부 틀과 맞닿는 면에 그리스를 도포한 뒤 안전핀으로 고정



3) 전단상자 틀에 알맞게 시료를 성형하고 틀에 삽입



4) 시료에 물을 넣어 24시간 시료를 포화



5) 포화시킨 시료에 추를 얹어 충분히 압밀을 시킴



6) 직접전단시험기에 전단상자를 설치 후 수직하중을 가하여 전단시험을 실시

그림 10. 흙의 직접전단시험 방법

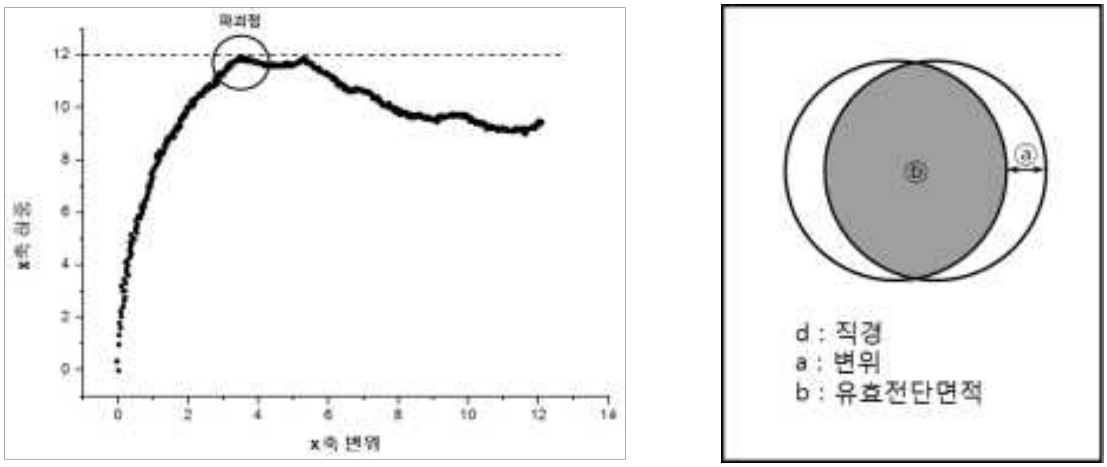
3.4.2 결과 정리

○ 전단 변위-전단 하중 그래프 작성(그림 11a)

○ 시간의 경과에 따라 전단변위와 전단하중은 지속적으로 증가하다 하중이 최대점에 도달한 후 하중은 감소하게 됨.

○ 최대 전단 하중점에서의 유효 전단면적을 계산함.(그림 11b, 이때 그리스가 도포된 전단몰드의 마찰력은 고려하지 않음).

○ 최대 전단 하중과 유효 전단면적을 이용하여 전단강도(τ) 계산



(a) 전단변위-전단하중 (b) 전단변위 증가에 따른 유효전단면적 변화

그림 11. 전단변위-전단하중 그래프와 전단변위 증가에 따른 유효전단면적 변화

$$\tau = \frac{P_s}{A_e}$$

τ : 전단강도

P_s : 최대 전단 하중

A_e : 유효 전단면적

○ 수직응력은 전단시험시 가한 수직하중과 시험 전 시료의 전체 단면적을 이용하여 산정

$$\sigma = \frac{P_n}{A_0}$$

σ : 수직응력

P_n : 수직하중

A_0 : 시험 전 시료의 전체단면적

○ 수직응력에 따른 전단강도 그래프 작성(그림 12).

○ 직선의 기울기는 내부마찰각(φ), y절편은 점착력(C)임.

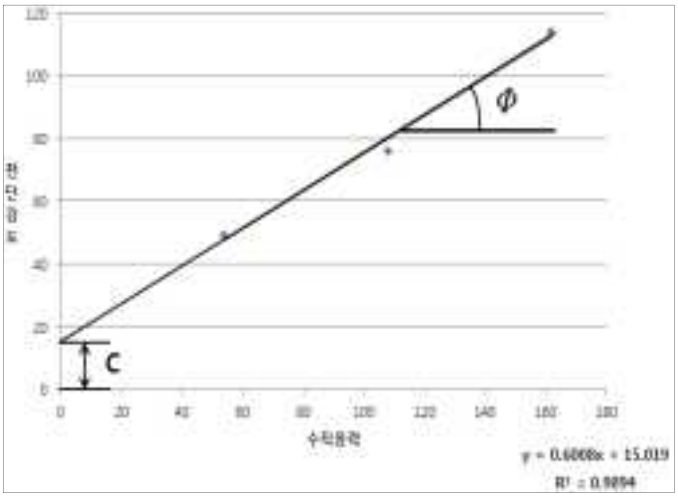


그림 12. 전단응력과 수직응력의 그래프

3.5 흙의 일축압축강도 시험

3.5.1 성형 시료의 제작

○ 단층핵의 일축압축 강도를 산정하기 위해 점토의 성형 시료를 대상으로 자갈, 모래, 점토의 배합비를 달리하여 일축압축강도 시험 수행

○ 점토 시료를 원주형 공시체로 제작한 후 측압을 받지 않는 상태에서 축하중을 가하여 일축압축강도 시험 수행

○ 성형시료 제작 시 자갈은 단층대에서 채취한 단층각력을 이용하며, 모래와 점토는 유사한 성분을 가지는 것을 섞어서 이용함(표 5).

표 5. 분청토용 점토와 단층점토의 광물함량 비교

	광물함량(wt.%)					
	석영	조장석	카올린	미사장석	녹니석	기타
분청토용 점토	34.3	18.6	14.7	11.4	8.4	12.6
영덕지역의 단층점토	39.4	21.6	8.8	-	7.5	22.7

3.5.2 시험 방법



1) 일축압축시험을 위한 성형시료 제작

(자갈, 모래, 실트/점토의 배합비를 조절하여 반죽)



2) 아크릴 원통에 반죽을 채워 공시체 크기로 시료제작



3) 건조 전 시료의 무게 측정



4) 같은 배합비의 시료를 각각 다른 시간에 건조하여 함수비 조건을 다양하게 함



5) 일정시간 건조 후 부피를 측정하고 와전류센서가 변위를 측정할 수 있도록 구리테이프를 부착



6) 시료의 일축압축시험의 종료 후 사진

그림 13. 일축압축시험 진행 과정

3.5.3 결과 정리

○ 일축압축강도 시험 전 공시체의 부피 측정

직경(평균) $D=(D_t+2D_c+D_b)/4$

단면적 $A_0=\frac{\pi D^2}{4}$

Dt : 공시체 상부 직경

Dc : 공시체 중앙 직경

Db : 공시체 하부 직경

○ 시험전 공시체 길이 L_0와 시험 후 변화한 길이 $\triangle L$를 이용하여 압축변형률(ϵ) 산정

$$\epsilon=\frac{\triangle L}{L_0}\times 100[\%]$$

L0 : 시험 전 공시체 길이

△ L : 시험 후 공시체 길이의 변화량

○ 압축변형률(ϵ)에 대한 공시체의 단면적(A)의 계산

$$A(cm^2)=\frac{A_0}{1-\frac{\epsilon}{100}}$$

○ 압축변형률(ϵ)에 대한 압축응력(σ) 계산

$$\sigma=\frac{P}{A}[kgf/cm^2]$$

P : 압축변형률이 ϵ일 때 공시체에 가해진 하중(kgf)

○ 압축변형률(ε , 가로축)에 따른 압축응력(σ , 세로축) 곡선 작성

○ 최대압축응력 σ_{max}이 나타난 지점이 일축압축강도 q_u임.

○ 변형률의 증가에 따라 압축응력의 최대점이 뚜렷하지 않거나 지속적인 증가가 발생할 때 변형률 15%에 대응하는 압축응력 σ_{15}을 일축압축강도 q_u로 결정함.

○ 변형률–일축압축강도 곡선에서 탄성계수(혹은 변형계수) 결정

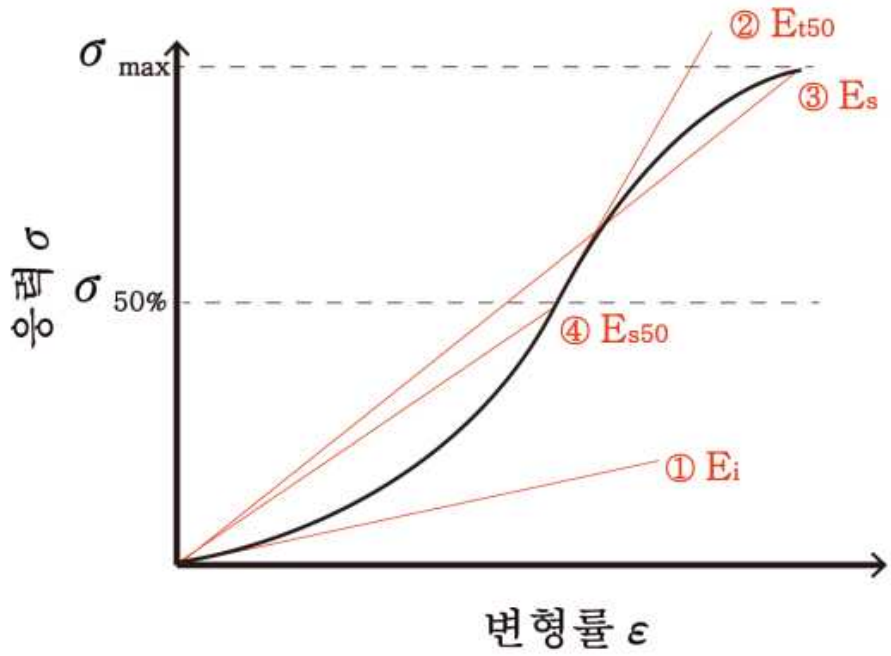


그림 14. stress-strain 곡선에서의 변형계수 산정방법

초기접선탄성계수(Ei) : 원점에서 즉, 0 하중에서의 접선탄성계수

50%접선탄성계수(Et50) : 최대응력의 50% 되는 점에서의 접선탄성계수

초기할선탄성계수(Es) : 0 하중과 최대응력점간의 할선탄성계수

50%할선탄성계수(Es50) : 0 하중점과 최대응력의 50% 되는 점의 할선탄성계수

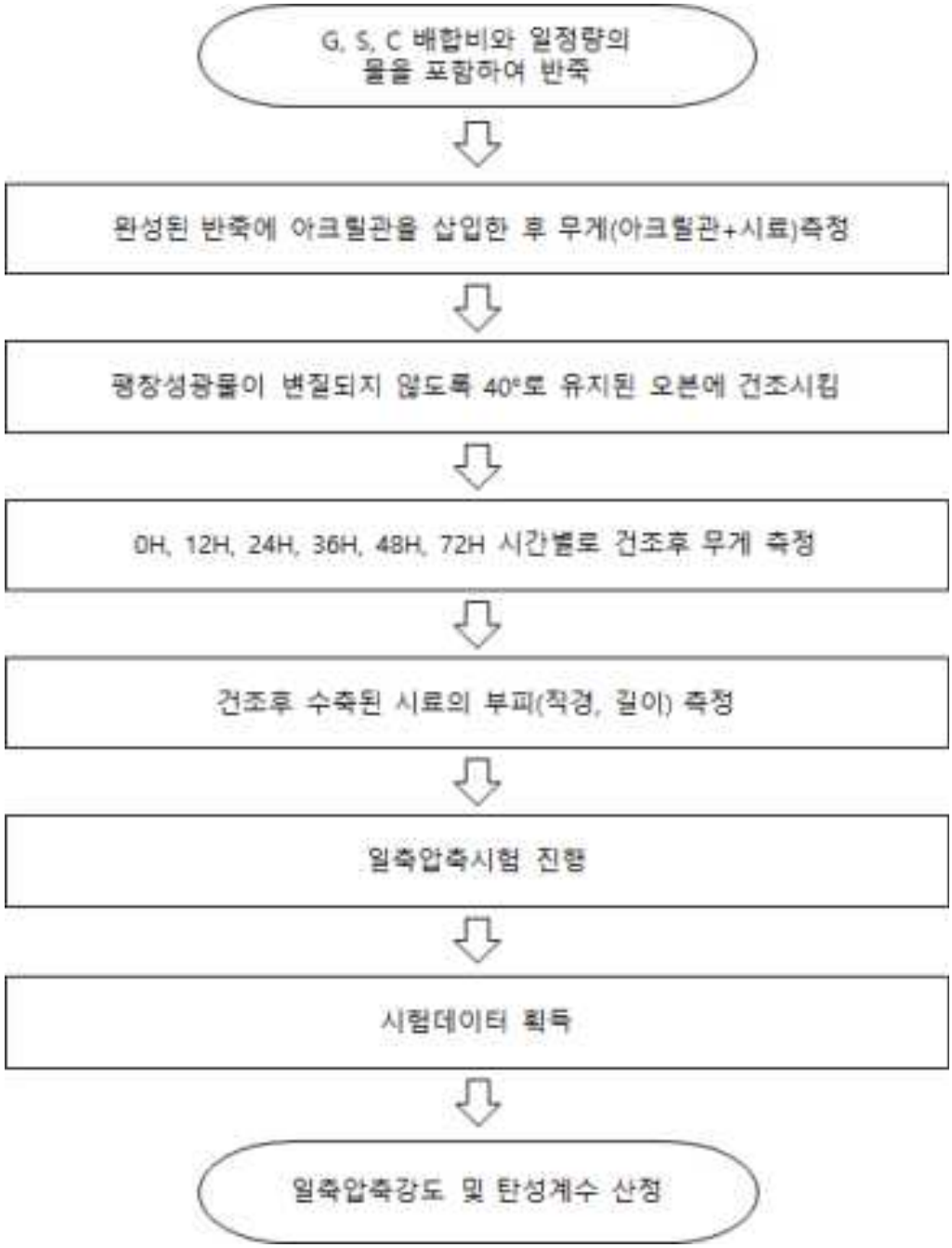


그림 15. 일축압축시험 순서도

제4장 입도를 이용한 실내시험 결과의 활용

○ 본 장에서는 직접전단시험을 진행하지 않고 입도분포 데이터로 전단강도를 산정할 수 있는 방법과 전단강도를 산정한 후 정상적인 범위내의 값인지 이상치 인지를 판단할 수 있는 방법을 제시함.

4.1 입도를 이용한 단층물질의 전단강도 산정

○ 단층 물질은 입도별 구성비나 입자의 형태가 흙과 다르긴 하나 큰 범주에서 흙과 같은 거동을 보이는 경향이 있음.

○ 흙의 경우 구성하고 있는 입자의 크기가 커질수록 전단강도가 높게 나타나며, 점토와 같은 세립자가 많을수록 전단강도가 낮아지는 경향을 나타낸다고 보고됨.

○ 본 매뉴얼에서는 국내 9개 지역의 단층에서 97개의 시료를 획득하여 전단시험과 입도분석을 수행하였으며, 시험데이터를 기반으로 다중회귀분석을 수행하여 단층물질을 이루고 있는 입자의 함량비가 전단강도에 미치는 영향을 분석함.

○ 그 결과, 입도에 따른 전단강도 산정식을 표 6과 같이 제시함(Moon et al., 2014).

표 6. 전단강도 산정을 위한 모델별 다중회귀식

모델	다중회귀식
1	$\hat{y} = -3.3365 + 1.6179x_1 + 0.4022x_4$
2	$\hat{y} = 140.56615 - 1.11068x_2 - 1.73127x_3 + 0.40416x_4$
3	$\hat{y} = 7.8147 + 1.6043x_1 + (31.9430I_{(x_4 = 91)} + 35.9551I_{(x_4 = 107)} + 51.2316I_{(x_4 = 161)})$
4	$\hat{y} = 149.1268 - 1.0162x_2 - 1.7181x_3 + (33.2388I_{(x_4 = 91)} + 32.2197I_{(x_4 = 107)} + 49.8639I_{(x_4 = 161)})$
5	$\hat{y} = 59.6279 + 1.5693x_1 + (-51.2006I_{(x_4 = 30)} - 41.5902I_{(x_4 = 53 \sim 60)} - 16.3388I_{(x_4 = 91 \sim 107)})$
6	$\hat{y} = 198.5537 - 1.0355x_2 - 1.6871x_3 + (-49.9417I_{(x_4 = 30)} - 43.1161I_{(x_4 = 53 \sim 60)} - 17.2462I_{(x_4 = 91 \sim 107)})$

$\hat{y} : Shear\,strength,\ \ x_1 : Gravel,\ \ x_2 : Sand,\ \ x_3 : Silt \text{ and } clay,\ \ x_4 : Normal\ stress$

○ 제안된 식은 ①수직응력을 하나의 변수로 취급하는 경우(모델 1,2), ②수직응력을 가변수로 취급하는 경우(모델 3,4) 및 ③수직응력을 가변수로 취급하여 범주화한 경우(모델 5,6)로 분류할 수 있음.

○ ①, ②, ③ 중에서 통계적 신뢰도와 적용성을 고려했을 때, ③수직응력을 가변수로 취급하여 범주화한 경우(모델 5와 6)가 전단강도 산정에 가장 쉽게 적용할 수 있고 신뢰성이 높음.

○ 모래와 실트/점토의 무게비는 입도분석을 통해 획득

○ #4번체를 통과하고 #200번체에 걸러진 입자는 모래(0.075~4.75 mm)에 해당하며, #200번체를 통과한 입자는 실트/점토(0.075 mm 이하)에 해당함.

○ 입도를 이용한 전단강도의 산정식을 통해 내부 마찰각과 점착력을 계산하기 위해서는 최소 세 번의 체분석을 수행하며, 각 입도와 수직응력의 범주 53~60kPa, 91~107kPa, 161kPa에 따른 전단강도를 산정함.

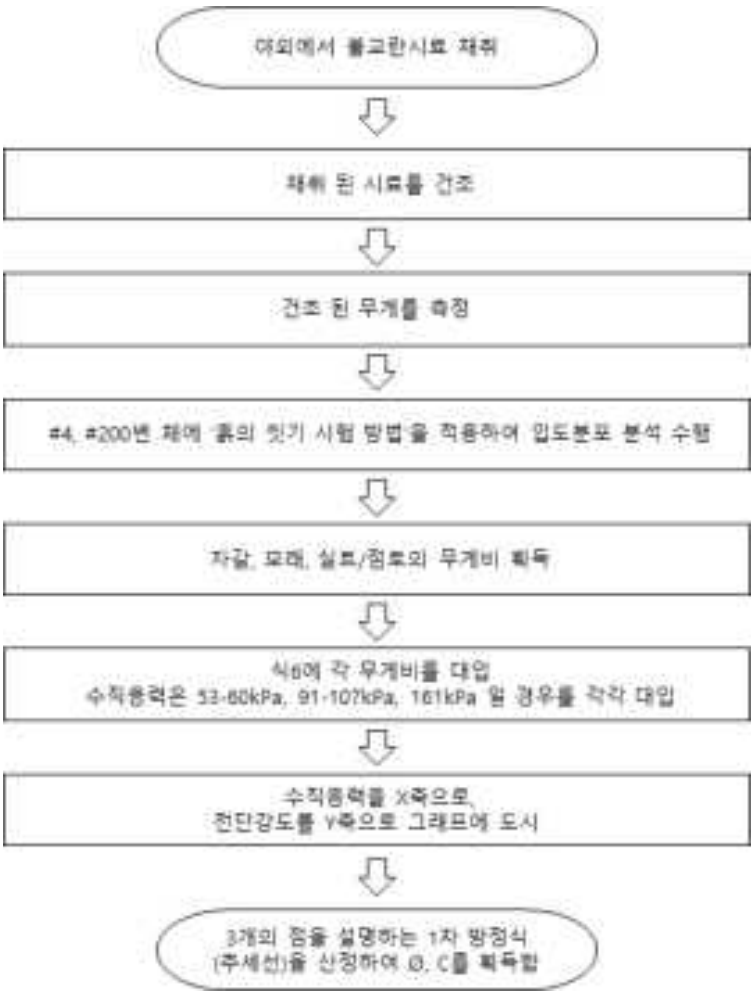


그림 17. 입도를 활용한 전단강도 산정 순서도

※ 입도를 이용한 전단강도 산정의 예

① 시료 1~3에 대한 체분석을 수행하여 입도데이터 획득(표 7)

② 시료 1~3에 수직응력을 임의로 배정

③ 모델 6의 식에 대입하여 전단강도 산정

여기서, 가변수 I(x4=30), I(x4=53~60), I(x4=91~107)는 수직응력(x4)이 30kPa일 경우 I=-49.9417이고, I(x4=53~60)와 I(x4=91~107) 은 0을 적용하라는 의미임. 예를 들어 수직응력이 161 kPa인 경우 I(x4=30), I(x4=53~60), I(x4=91~107) 는 모두 0으로 적용하여 전단강도($\hat{y}$)를 산정함.

④ 시료별 임의로 배정한 수직응력을 x축으로, 모델 6식을 통해 산정한 전단강도를 y축으로 하여 그래프 작성(그림 16)

⑤ 그림 16의 기울기는 0.4116, y절편은 23.954이므로 내부마찰각 22.4° 와 점착력 24.0 kPa 산정

표 7. 3개의 시료에 대한 입도분석 결과

	자갈 (wt.%)	모래 (wt.%)	실트/점토 (wt.%)
시료 1	25	25	50
시료 2	20	35	45
시료 3	20	40	40

표 8. 3개의 시료에 대한 수직응력의 임의배정

	자갈(wt.%)	모래(wt.%)	실트/점토(wt.%)	수직응력(kPa)
시료 1	25	25	50	53~60(범주1)
시료 2	20	35	45	91~107(범주2)
시료 3	20	40	40	161(범주3)

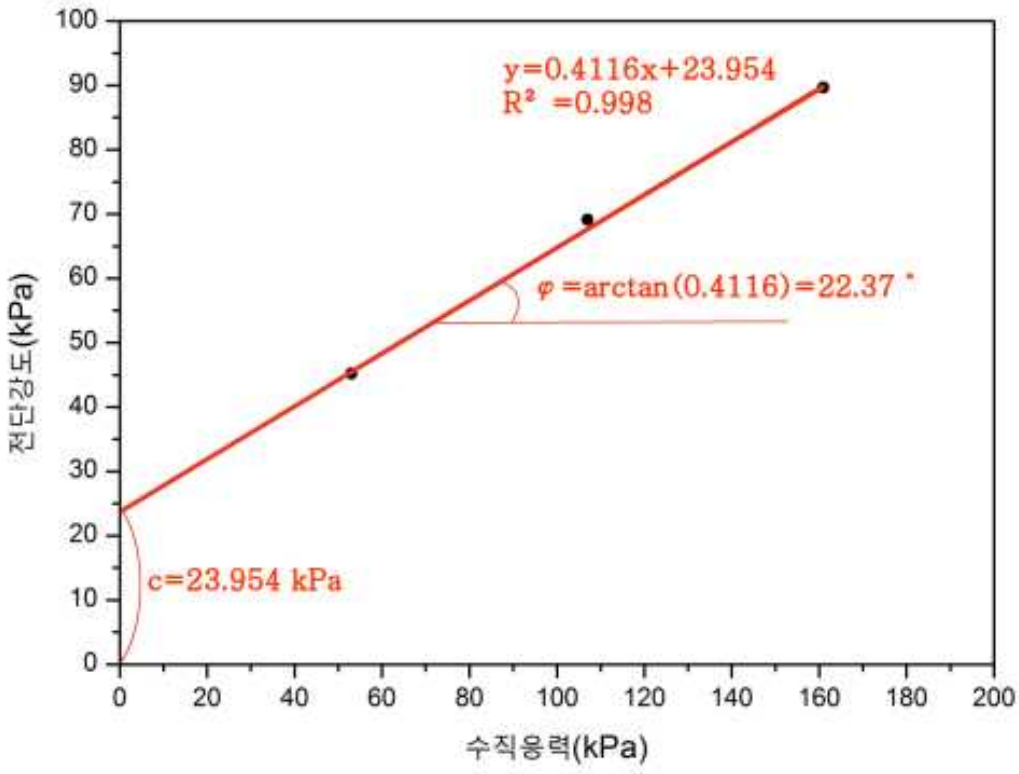


그림 16. 수직응력과 전단강도 그래프

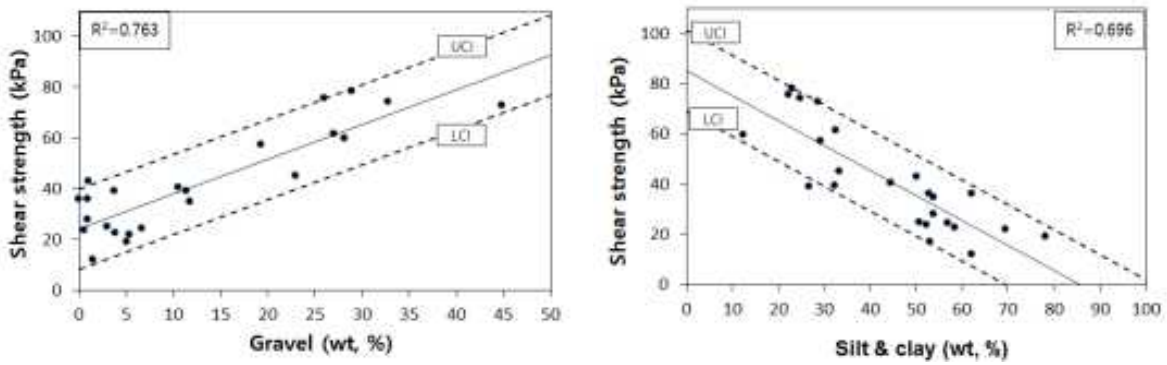
4.2 입도를 이용한 단층물질의 전단강도 분포 범위 검증

○ 입도분석과 직접전단시험 결과를 바탕으로 경주와 울산의 12개 지점에서 채취한 62개의 단층 핵 시료를 이용하여 입도에 따른 전단강도 범위 산정(Yun et al., 2015)

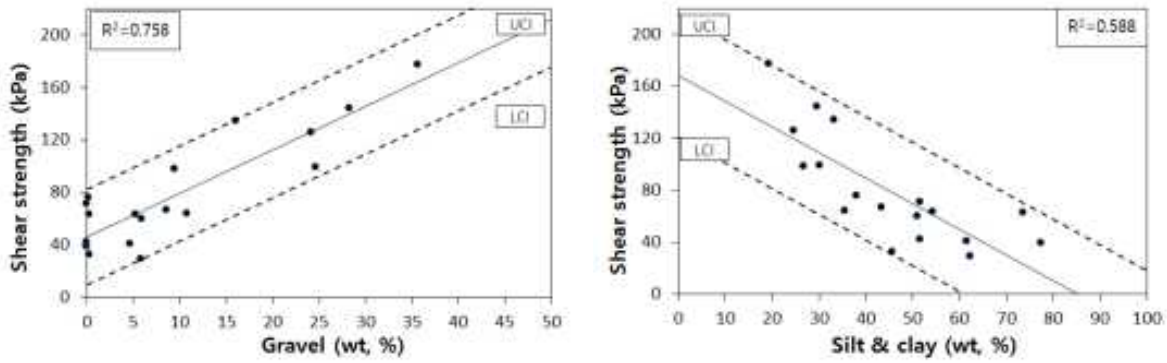
○ 회귀계수 및 표준화 잔차분석을 통해 설정한 신뢰 구간 95%의 무게비에 따른 전단강도의 상한선과 하한선 작성(그림 17)

○ 각 수직응력별 자갈, 실트 및 점토의 무게비에 따른 전단강도의 회귀모형식과 상한선과 하한선의 회귀모형식 산정(표 9)

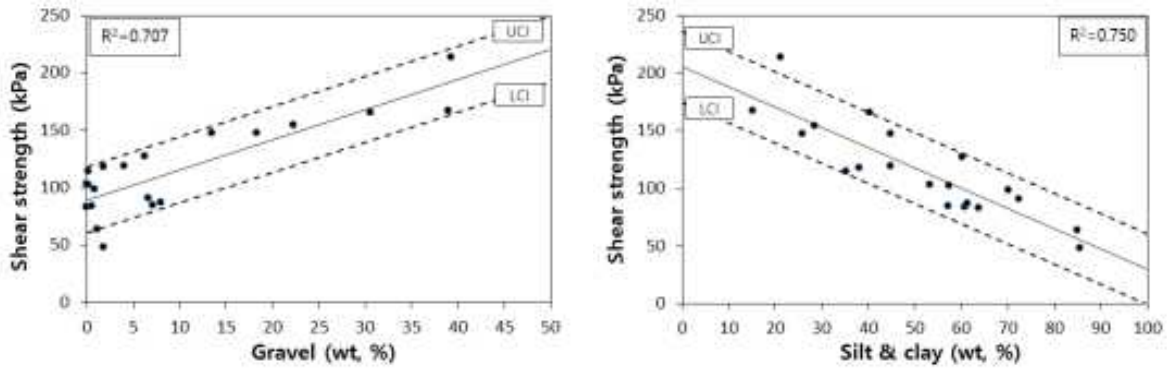
○ 자갈의 무게비가 증가할수록 전단강도가 증가하며, 실트 및 점토의 무게비가 증가할수록 전단강도는 감소함.



(a) σ n=53kPa



(b) σ n=107kPa



(c) σ n=161kPa

그림 17. 수직응력 53, 107, 161kPa 조건에서 입도의 무게비에 대한 전단강도의 상한구간과 하한구간(신뢰구간 95%)

표 9. 수직응력 53, 107, 161kPa 조건에서 입도에 대한 회귀방정식과 상한 및 하한구간(신뢰구간 95%)

수직응력	모델	회귀식	
		자갈	실트/점토
53kPa	UCl	y =1.370x+39.893	y =−0.995x+101.433
	Regression model	y =1.370x+24.152	y =−0.995x+85.232
	LCl	y =1.370x+ 8.410	y =−0.995x+69.032
107kPa	UCl	y =3.319x+82.257	y =−1.969x+215.192
	Regression model	y =3.319x+45.872	y =−1.969x+167.809
	LCl	y =3.319x+9.486	y =−1.969x+120.427
161kPa	UCl	y =2.636x+117.727	y =−1.759x+236.194
	Regression model	y =2.636x+89.000	y =−1.759x+205.465
	LCl	y =2.636x+60.273	y =−1.759x+174.736

※ 입도를 이용한 전단강도 범위 검증의 예

① 표 8에서 시료 1~3의 모래와 실트/점토의 무게비로 전단강도를 산정할 때, 모델 6의 식에 의해서 시료 1의 전단강도는 45.20kPa로 계산됨.

② 시료 1의 실트/점토 함량을 표 9의 UCl와 LCl 식에 대입하면 24.06~51.68kPa의 분포범위 산정

③ 전단강도 45.20kPa이 범위내로 포함되므로 정상적인 데이터로 판단함.

④ 시료 2와 3에 대해서도 같은 방법으로 적용한 결과, 각각 69.15kPa, 89.65kPa로 범위 내 분포함(표 10).

표 10. 입도를 통해 계산된 전단강도와 해당 입도의 전단강도 분포범위

	자갈 (wt.%)	모래 (wt.%)	실트/점토 (wt.%)	수직응력 (kPa)	모델 6으로부터 계산된 전단강도 (kPa)	해당입도의 전단강도 상한 및 하한(kPa)
시료 1	25	25	50	53~60(범주1)	45.20	24.06~51.68
시료 2	20	35	45	91~107(범주2)	69.15	31.82~126.59
시료 3	20	40	40	161(범주3)	89.65	104.38~165.83

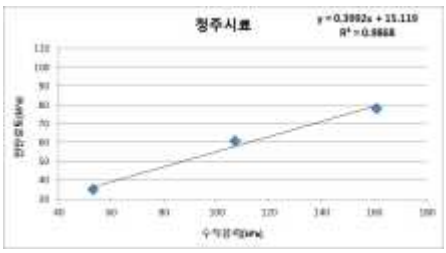
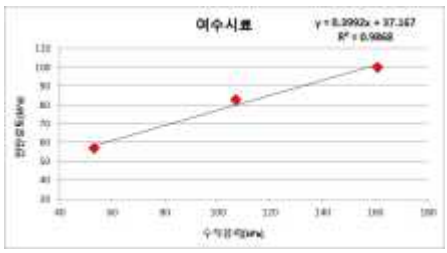
4.3 입도를 이용한 전단강도 산정프로그램(개발중)

○ 본 매뉴얼 4.1에서 언급한 '입도를 이용한 전단강도 산정' 방법을 활용하여, 현장에서 하나의 입도분포 데이터로 마찰각과 점착력을 산정할 수 있도록 프로그램을 개발중

○ 4.1에서 제안한 모델 6식의 경우 하나의 입도분포 데이터로 수직응력별 전단강도를 산정하게 되면 수직응력이 증가함에 따라 가변수만 다르게 적용됨.

○ 따라서 어느 지역의 시료를 대상으로 마찰각과 점착력을 산정해도 한가지의 입도분포 데이터를 반영하게 되면 표 11과 같이 추세선의 기울기가 일정함(마찰각이 일정).

표 11. 다른 두지역의 입도데이터로 전단강도 산정 예

	청주시료	여수시료
자갈(wt.%)	15	30
모래(wt.%)	35	30
실트/점토 (wt.%)	50	40
수직응력, 전단강도 그래프		
마찰각(°)	21.8	21.8
점착력(kPa)	15.1	37.2

○ 이와 같은 문제를 해결하기 위하여, 15 종류의 단층점토 물질을 대상으로 입도분포 데이터를 분석하여 획득한 표준편차를 프로그램에 반영하여 모의실험을 수행함.

○ 프로그램에서 하나의 현장 입도분포 데이터 입력시, 이를 평균으로 간주하고 실단층시료 데이터의 표준편차를 반영하여 임의의 입도분포 데이터를 난수로 생산함.

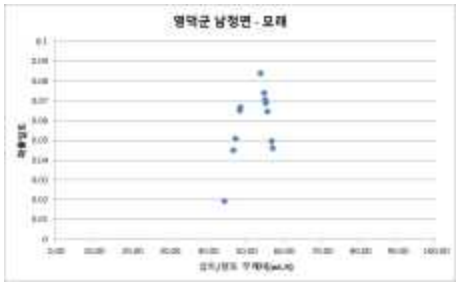
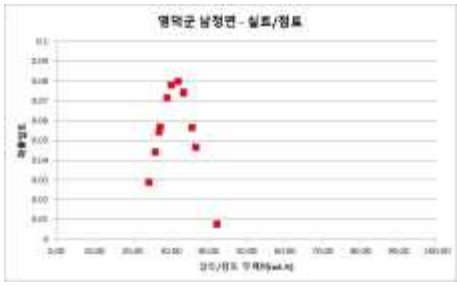
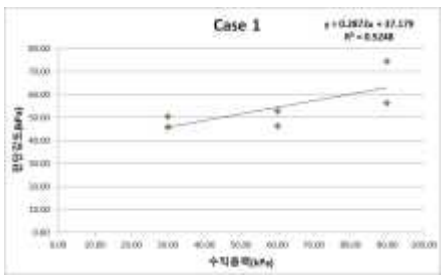
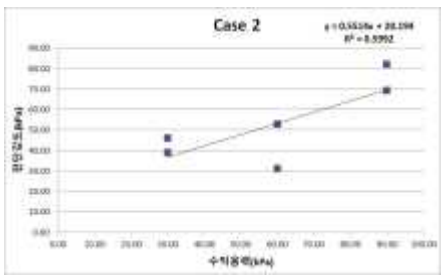
○ 실제 현장에서 같은 시료를 채취하여 입도분포 분석을 수행하더라도 그 결과가 100% 일치할 수 없기 때문에 통계적 방법을 이용하여 유사한 입도데이터를 발생시키는 것은 현실적인 접근으로 판단됨.

○ 표 12는 영덕군 남정면에 분포하는 단층에서 채취한 시료를 대상으로 12번의 입도분포 실험을 수행하였으며, 그 결과로 산정한 모래와 실트/점토의 표준편차를 모의실험(Case1, 2)에 반영한 결과임.

○ 이와 같은 방법을 이용하면 3차례에 걸쳐 입도분포 실험을 진행할 필요가 없어 지반정수(마찰각과 점착력)의 산정이 수월해 질 수 있음.

○ 입도분포를 통한 마찰각과 점착력 산정프로그램은 야외 산출 상태에 따라 표준편차를 그룹화 하는 등 수정 · 보완을 거쳐야하는 개발 단계임.

표 12. 실단층시료 데이터 기반 모의실험 결과

실단층시료 데이터	모래	점토
표준편차	4.35	4.96
모래와 실트/점토의 분포		
모의실험		
마찰각(°)	16.0	28.9
점착력(kPa)	37.2	20.2

4.4 일축압축강도를 이용한 변형계수 산정

○ 3.4절에서 수행한 일축압축강도 시험을 바탕으로 일축압축강도와 50% 할선변형계수의 관계식 산정

○ 일축압축강도 〈 0.5MPa일 때, 자갈의 함량과 관계없이 비례관계

E50= 52.2 · UCS−1.4

여기서, UCS: 일축압축강도 (MPa),

E50: 50% 할선변형계수 (MPa)

○ 일축압축강도 〉 0.5MPa일 때, 자갈의 함량에 따라 아래의 식을 만족함.

자갈이 0 wt%인 경우, E50=34 · UCS+2.1

자갈이 20 wt%인 경우, E50=56 · UCS−1.5

자갈이 40 wt%인 경우, E50=135 · UCS−18

○ 일축압축시험의 자세한 시험 결과는 [증빙 위험지반 세부 암판정 기준 매뉴얼] 및 [별첨 연구개발 보고서] 4.2절 참조

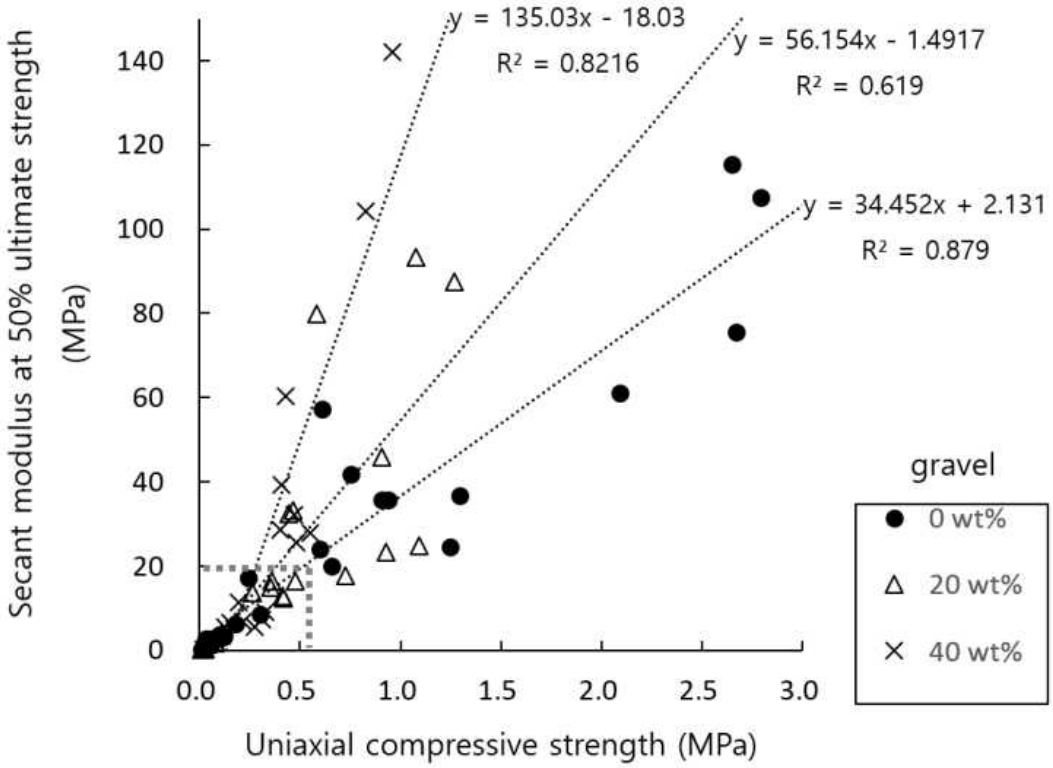


그림 18. 자갈 함량에 따른 일축압축강도와 50% 할선변형계수의 관계

참고문헌

1. Caine, J.S., Evans, J.P., Forster, C.B., 1996, Fault zone architecture and permeability structure, Geology, 24(11), 1025–1028.

2. Choi, J.H., Yang, S.J., Kim Y.S., 2009, Fault zone classification and structural characteristics of the southern Yangsan fault in the Sangcheon–ri area, SE Korea, Journal of the Geological Society of Korea. 45(1), 9–28.

3. Faulkner, D.R., Lewis, A.C., Rutter, E.H., 2003, On the internal structure and mechanics of large strike–slip fault zones: field observations of the Carboneras fault in southeastern Spain, Tectonophysics, 367(3–4), 235–251.

4. Gudmundsson, A., 2004, Effects of Young's modulus on fault displacement, Comptes Rendus Geoscience, 336, 85–92.

5. Haakon Fossen, 2010, Structural geology, Cambridge University Press.

6. Heynekamp, M. R., Goodwin, L. B., Mozley, P. S. and Haneberg, W. C., 1999, Controls on fault–zone architecture in poorly lithified sediments, Rio Grande Rift, New Mexico: Implications for fault–zone permeability and fluid flow, American Geophysical Union, Washington D.C., 113, 7–9.

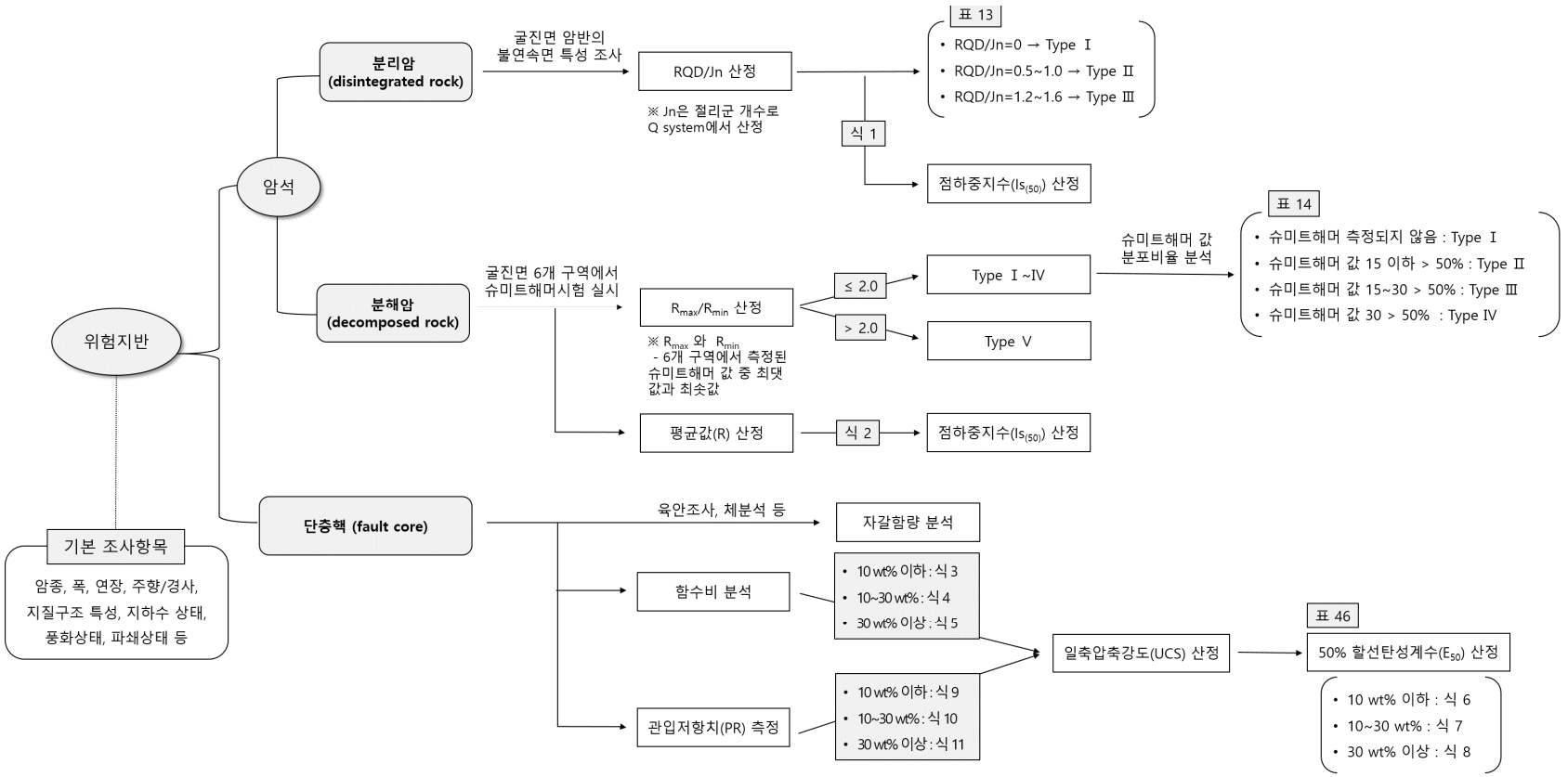
7. Sibson, R. H., 1977, Fault rocks and fault mechanisms, Journal of the Geological Society, 133(3), 191–213.

위험지반 암판정 매뉴얼

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport
KAIA 국토교통 과학기술진흥원
KICT 한국건설기술연구원

■ 위험지반에서의 지질상태 및 공학적 특성 분류 개요도



- 식 1 : $Is_{(50)}=1.8(RQD/Jn)^2+1.6(RQD/Jn)+0.5$
- 식 2 : $Is_{(50)}=0.002(R)^2+0.01(R)+0.17$
- 식 3 : $UCS=2.1e^{-0.167w}$
- 식 4 : $UCS=0.9e^{-0.153w}$
- 식 5 : $UCS=0.6e^{-0.157w}$
- 식 6 : $E_{50}=34 \cdot UCS+2.1$
- 식 7 : $E_{50}=56 \cdot UCS-1.5$
- 식 8 : $E_{50}=135 \cdot UCS-18$
- 식 9 : $UCS=0.12 \cdot PR-0.06$
- 식 10 : $UCS=0.06 \cdot PR-0.03$
- 식 11 : $UCS=0.02 \cdot PR$

목 차

제1장 개 요 ---- F-1

1.1 목적 ---- F-1

1.2 적용범위 ---- F-1

1.3 매뉴얼의 구성 ---- F-1

제2장 위험지반의 정의 ---- F-3

2.1 정성적 정의 ---- F-3

2.2 정량적 정의 ---- F-4

제3장 위험지반의 생성 및 유형 ---- F-5

3.1 위험지반의 생성 ---- F-5

3.1.1 일반적인 생성 요인 ---- F-5

3.1.2 풍화에 의한 생성 ---- F-5

3.2 위험지반의 유형 ---- F-6

3.2.1 일반적인 유형 ---- F-6

3.2.2 절리의 발달정도(지반 거동에 미치는 주요 요인)에 따른 유형 ---- F-6

제4장 위험지반의 종류 ---- F-9

4.1 지질학적·지질공학적 종류 ---- F-9

4.2 주요 위험지반 ---- F-9

4.2.1 단층 ---- F-9
4.2.2 습곡 ---- F-16
4.2.3 미고결층 ---- F-18
4.2.4 셰일층 ---- F-19
4.2.5 열수 변질대 ---- F-19
4.2.6 탄층 ---- F-20
4.2.7 석회암 ---- F-20
4.2.8 응회암 ---- F-21
4.2.9 천매암 ---- F-22
4.2.10 기타 위험지반 ---- F-22

제5장 지질공학적 조사 및 평가 ---- F-25

5.1 조사도구 ---- F-25

5.2 클리노콤퍼스를 이용한 방향성 측정 ---- F-25

5.2.1 면구조의 주향/경사 측정 방법 ---- F-25
5.2.2 선구조의 선주향/선경사 측정 방법 ---- F-29

5.3 불연속면의 조사 ---- F-30

5.3.1 강도 ---- F-30
5.3.2 풍화도 ---- F-31
5.3.3 간격 ---- F-32
5.3.4 연장성 ---- F-33
5.3.5 간극 ---- F-33
5.3.6 충전물 ---- F-34
5.3.7 거칠기 ---- F-35
5.3.8 누수 ---- F-36

제6장 위험지반의 세부 암판정 기술 ---- F-39

6.1 개요 ---- F-39

6.2 분리암(disintegrated rock) ---- F-40

6.2.1 생성 메커니즘 ---- F-40

6.2.2 지질구조적 특징 ---- F-40

6.2.3 암판정 기술개발 내용 ---- F-41

6.2.4 조사 및 평가방법 ---- F-43

6.3 분해암(decomposed rock) ---- F-44

6.3.1 생성 메커니즘 ---- F-44

6.3.2 지질구조적 특징 ---- F-45

6.3.3 암판정 기술개발 내용 ---- F-45

6.3.4 조사 및 평가방법 ---- F-49

6.4 단층핵 ---- F-51

6.4.1 단층핵의 특징 ---- F-51

6.4.2 암판정 기술개발 내용 ---- F-52

6.4.3 조사 및 평가방법 ---- F-56

제7장 통합운영시스템에서의 암판정 활용방법 ---- F-59

7.1 위험지반 암판정 기준의 활용 ---- F-59

7.2 활용방법 ---- F-60

7.2.1 분리암 ---- F-60

7.2.2 분해암 ---- F-61

7.2.3 단층핵 ---- F-62

참고문헌 ---- F-63

제1장 개요

1.1 목적

(1) 본 매뉴얼은 터널 공사 현장에서 「온라인 암판정 통합운영시스템」의 적용을 지원하기 위해 개발된 것이다.

(2) 본 매뉴얼은 위험지반에서의 암판정 시 암판정 위원의 판단 하에 지질 상태를 세부적으로 분류하고, 그에 따른 공학적 특성을 반영하고자 할 때 적용할 수 있다.

1.2 적용범위

(1) 본 매뉴얼은 기본적으로 RMRbasic 30 이하, Q-value 0.1 이하로 평가된 불량한 암반 중 분리암(disintegrated rock)과 분해암(decomposed rock), 단층핵의 특성을 보이는 굴진면에 적용한다.

(2) 암판정 시 주로 이용되는 RMR 및 Q-system만으로 암반을 분류할 수 없는 굴진면에 적용한다.

(3) 단층, 관입, 열수, 습곡 등과 같은 지구조적 작용에 의해 파쇄 및 풍화된 굴진면이나 터널 굴착 시 붕괴 또는 변상의 가능성이 큰 위험지반에서 지질학적·지질공학적 특성을 분류하고자 할 때 적용한다.

(4) 본 매뉴얼의 암판정 기준 외에 현장에 분포하는 위험지반의 지질 특성을 가장 잘 반영할 수 있는 다른 암판정 기준을 적용할 수 있다.

1.3 매뉴얼의 구성

(1) 본 매뉴얼은 개요, 위험지반의 정의, 위험지반의 생성 및 유형, 위험지반의 종류, 지질공학적 조사 및 평가, 위험지반의 세부 암판정 기술, 통합운영시스템에서의 암판정 활용방법의 순서로 작성되었다.

(2) 제1장『개요』는 본 매뉴얼의 목적과 적용범위, 매뉴얼에서 기술하고 있는 내용에 대하여 간단히 정리한 것이다.

(3) 제2장『위험지반의 정의』에서는 정성적이고 정량적인 위험지반의 일반적인 개념을 설명한다.

(4) 제3장『위험지반의 생성 및 유형』은 위험지반의 생성 요인을 설명하고, 터널의 거동에 영향을 미치는 위험지반의 유형을 구분한다.

(5) 제4장『위험지반의 종류』는 국내에 흔하게 분포하고 있는 위험지반의 종류를 소개하고, 각 위험지반별로 주요 특징, 야외에서의 인지 방법 및 주요 조사 항목 등을 설명한다.

(6) 제5장『지질공학적 조사 및 평가』는 주향 및 경사의 측정, 불연속면 조사, 야외에서의 강도 측정 방법, 풍화도 평가 등 일반적인 지질공학적 조사 방법을 설명한다.

(7) 제6장『위험지반의 세부 암판정 기술』은 "온라인 암판정 통합운영시스템"의 지원을 위해 개발된 위험지반의 세부 암판정 기술을 소개하고, 지질상태에 따라 분리암과 분해암, 단층핵 지반으로 분류하여 각 유형별 지질학적·지질공학적 특성을 적용할 수 있는 세부 암판정 방법에 대해 설명한다.

(8) 제7장『통합운영시스템에서의 암판정 활용방법』은 암판정 위원에게 온라인 암판정 요청 시 통합운영시스템 내에서 활용할 수 있는 실제적인 방법에 대해 설명한다.

제2장 위험지반의 정의

2.1 정성적 정의

(1) 암석의 교결 작용과 풍화 과정에서 흙과 암석의 중간정도에 해당하는 느슨한 내구성과 낮은 강도를 가지는 암석(그림 1; Nickmann et al., 2006)

(2) 표준적인 설계나 시공 방법을 적용한 터널 굴착 시 붕괴 또는 변상의 가능성이 큰 지반(Takebayashi et al., 2006)

(3) 수 일 혹은 수 년의 짧은 기간 내 풍화되어 분해되는 성질을 가진 암석(DIN EN ISO 14689-1)

(4) 풍화된 물질(weathered material): 낮은 강도를 가지거나 심하게 파쇄되어 있는 약하게 풍화된 무결암(Santi and Doyle, 1997)

(5) 연약한 물질(weak material): 지표면 근처나 균열을 따라 부분적으로 상당히 약화(deterioration)된 암석(Santi and Doyle, 1997)

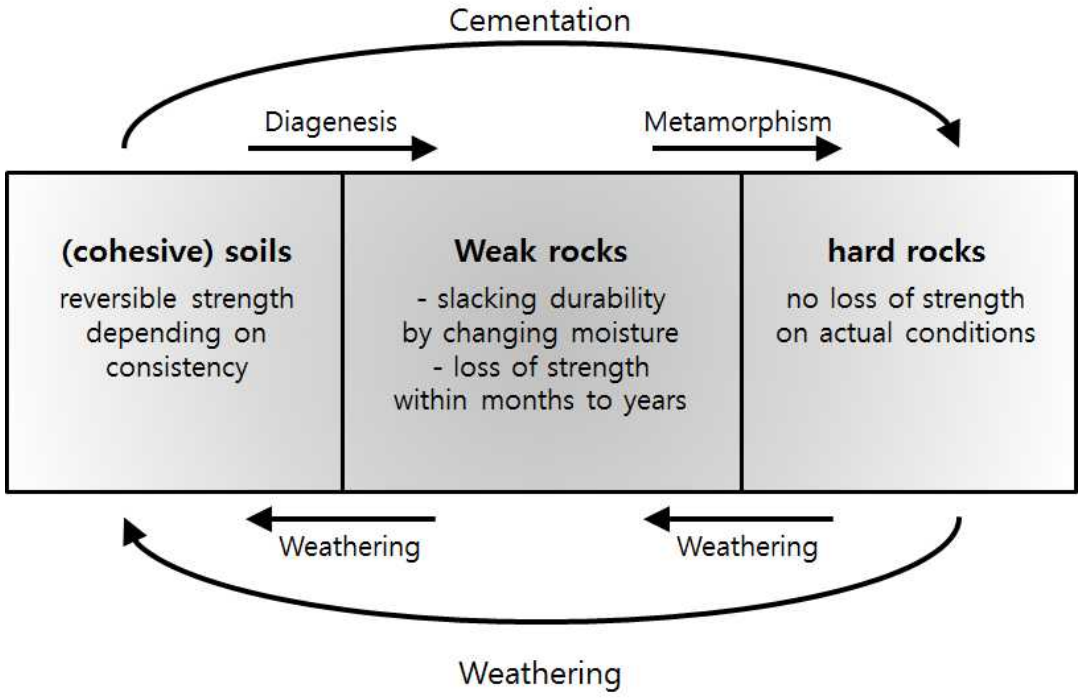


그림 1. 흙과 암석사이에 속하는 위험지반(Nickmann et al., 2006)

2.2 정량적 정의

(1) 일반적으로 일축압축강도 20 MPa 이하의 암석(Dobereiner & de Freitas, 1986)

※ 일축압축강도에 의한 무결암의 분류는 그림 2 참조

(2) RMR 30 이하(Ⅳ~Ⅴ 등급 지반), Q-value 0.5 이하(그림 2)

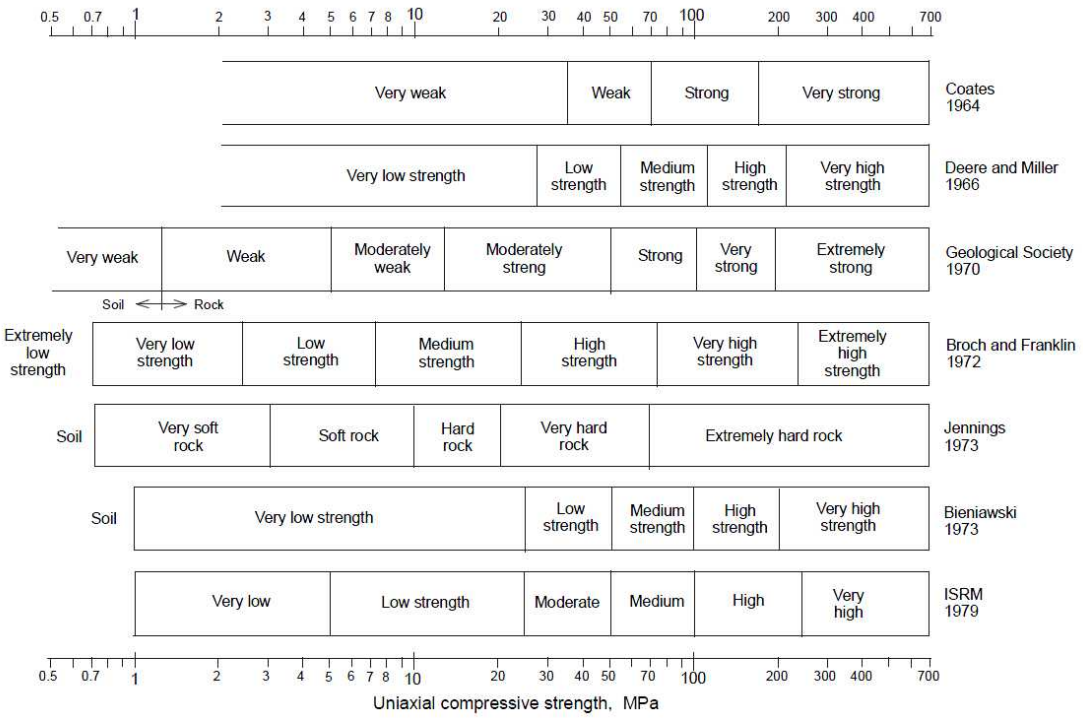


그림 2. 일축압축강도에 따른 무결암의 다양한 분류(modified after Bieniawski (1984) and Galván (1999))

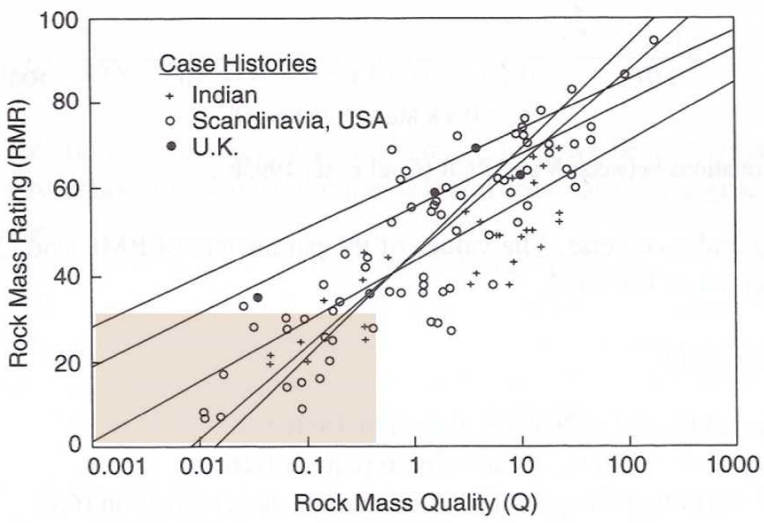


그림 3. Q 값과 RMR의 상관관계(Goel et al., 1995)

제3장 위험지반의 생성 및 유형

3.1 위험지반의 생성

3.1.1 일반적인 생성 요인

(1) 위험지반은 일반적으로 역학적 요인, 지하수, 지구화학적 요인에 의해 생성(그림 3)

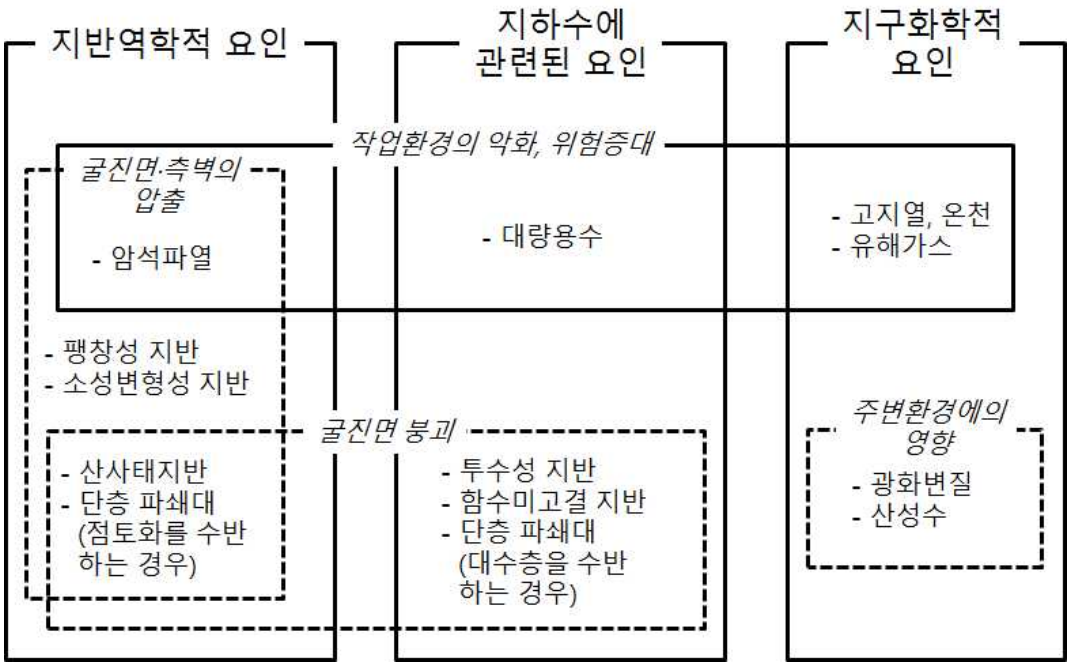


그림 4. 위험지반의 생성 요인별 분류(Takebayashi et al., 2006)

3.1.2 풍화에 의한 생성

1) 물리적 풍화

(1) 암석의 균열(rock fracture)에 의해 불연속면의 열림이 발생함.

(2) 풍화가 진행됨에 따라 암석이 부서지면서 흙과 같은 물질로 변함.

(3) 암석이 파쇄될 뿐 암석의 성분에 변화가 거의 없음.

2) 화학적 풍화

(1) 광물의 화학적 변화로 인해 암석의 변질 및 변색이 발생하면서 연약화 됨.

(2) 암석의 광물학적 성분이 변화함.

3.2 위험지반의 유형

3.2.1 일반적인 유형

(1) 단층과 연약대에서의 위험지반(그림 5의 b,c,e,f)

(2) 단층과 연약대 사이에서 산출되는 일반적인 위험지반(단층 및 연약대의 영향으로 절리 발달; 그림 5의 a,d,g)

(3) 지반 거동에 영향을 줄 수 있는 특별한 특성을 포함하는 위험지반

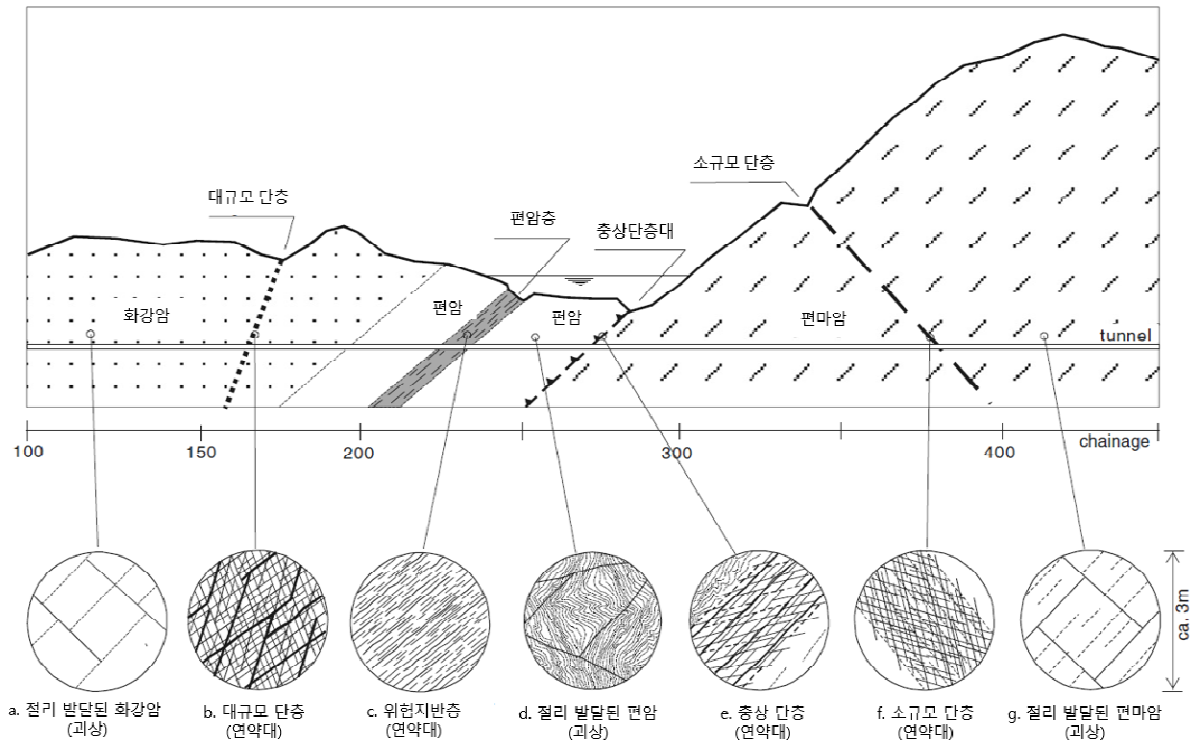


그림 5. 단층 및 연약대와 그 사이에서 일반적으로 산출될 수 있는 암반의 유형 예(Stille and Palmström, 2008). 단층과 연약대(b,c,e,f), 단층과 연약대 사이에 산출되는 암반(a,d,g)

3.2.2 절리의 발달정도(지반 거동에 미치는 주요 요인)에 따른 유형

(1) 괴상

① 암석 물질이 암반의 거동에 영향을 미침.

② 절리가 거의 없거나 넓은 절리 간격을 보임.

(2) 절리가 발달된 암반 또는 괴상물질

① 절리가 암반의 거동에 영향을 줌.

(3) 미립자 암반

① 조밀한 절리 또는 파쇄암

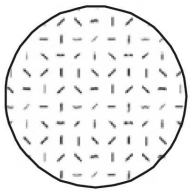
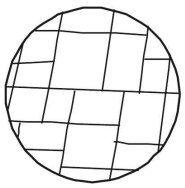
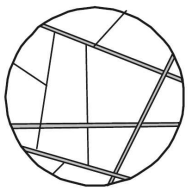
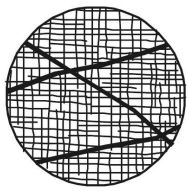
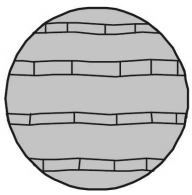
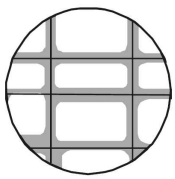
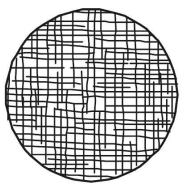
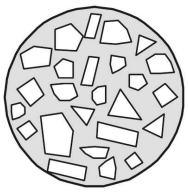
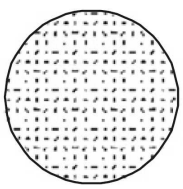
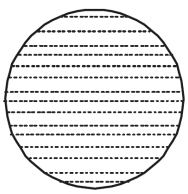
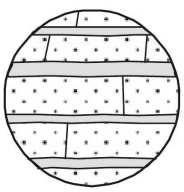
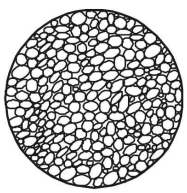
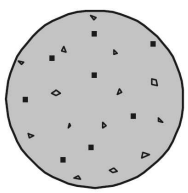
② 느슨한(부서지기 쉬운) 퇴적암과 미립자 물질

③ 결합력이 거의 없는 입자 또는 암편

④ 지반의 거동은 블록 또는 암편 사이의 상호작용에 의해 발생

(4) 상기 암반 외 특별한 특성을 가지는 암석 또는 암반

표 1. 위험지반의 주요 유형(Stille and Palmström, 2008)

괴상암 (massive rock)	절리 발달된 암 또는 괴상물질 (jointed rocks or blocky materials)		미립자 물질 (particular materials)	특별한 물질 (special materiald)
약한 암석에서 강한암석	절리와 분리에 의해 교차된 암석	seam 또는 연약층에 의해 교차된 절리 발달 암석	조밀한 절리 또는 파쇄딘 암석, 흙과 같은 물질	연약한 물질
 취성, 균질하고 엽리상 암석 (화강암, 편마암, 규암)	 절리 발달된 균질한 엽리상, 층상의 암석	 seam에 의해 교차된 절리 발달 암석 (seamy와 괴상 지반)	 조밀한 절리 또는 점토질로 파쇄된 암석	 연약층과 강한층의 교호 (점토질 편암-사암)
 판상의 광물을 많이 함유한 편암질암	 절리 발달, 편암질암	 절리를 따라 현저한 풍화	 조밀한 절리 또는 파쇄암 (각설탕 구조) 점토가 거의 없음.	 연약한 물질(점토질)의 기질부 내 접촉이 거의 없는 암편
 소성의 암석 (동석, 암염, 심한 풍화암)	 분리가 심한 층상을 이루는 암석 (슬레이트, 판석)	 연약한 층상을 이루는 절리 발달 암석	 흙과 같은 물질 (불량한 교결의 사암)	 소성의 연약한 물질 (이암, 점토와 같은 물질)

제4장 위험지반의 종류

4.1 지질학적·지질공학적 종류

(1) 암석·층서적 종류 : 화산암류, 석회암층, 탄층, 신생대층, 풍화암류 등

(2) 지질구조적 종류 : 전단대, 습곡대, 단층대, 동굴, 지진대 등

(3) 지질공학적 종류 : 저토피 지반, 편토압 지반, 지하수 용출 구간 등



그림 6 위험지반의 지질학적·지질공학적 종류

4.2 주요 위험지반

4.2.1 단층

1) 정의

(1) 암석의 파괴에 의한 불연속면을 총칭하는 단열(fracture)의 일종임.

(2) 응력장의 영향으로 가장 취약한 부분이나 기존의 불연속면을 따라 변위가 발생하여 양 블록이 상대적으로 이동한 것0

(3) 최소 5mm 이상의 전단변위를 가짐.

(4) 단층 파쇄대는 암석이 기계적으로 파쇄된 불규칙한 균열의 집합체를 말함.

2) 단층의 종류

(1) 정단층 : 지반의 인장력에 의해 상반이 하강하여 생성된 단층(그림 5a)

(2) 역단층 : 횡압력에 의해 상반이 상승하고 하반이 하강하여 생성된 단층(그림 5b)

(3) 주향이동 단층 : 상반과 하반이 단층면에 주향 방향으로 평행하게 이동한 단층

① 우수향 주향이동 단층 : 주향이동으로 분리된 두 암괴의 변위 방향이 시계방향일 경우(그림 5c)

② 좌수향 주향이동 단층 : 주향이동으로 분리된 두 암괴의 변위 방향이 반시계방향일 경우 (그림 5d)

(4) 사교단층 : 주향이동성분과 경사이동성분을 함께 가지는 단층상반과 하반이 단층면에 주향 방향으로 평행하게 이동한 단층(그림 5e; 5f)

(5) 회전단층 : 단층면의 한 축을 중심으로 암체가 회전하면서 변위를 가지는 단층

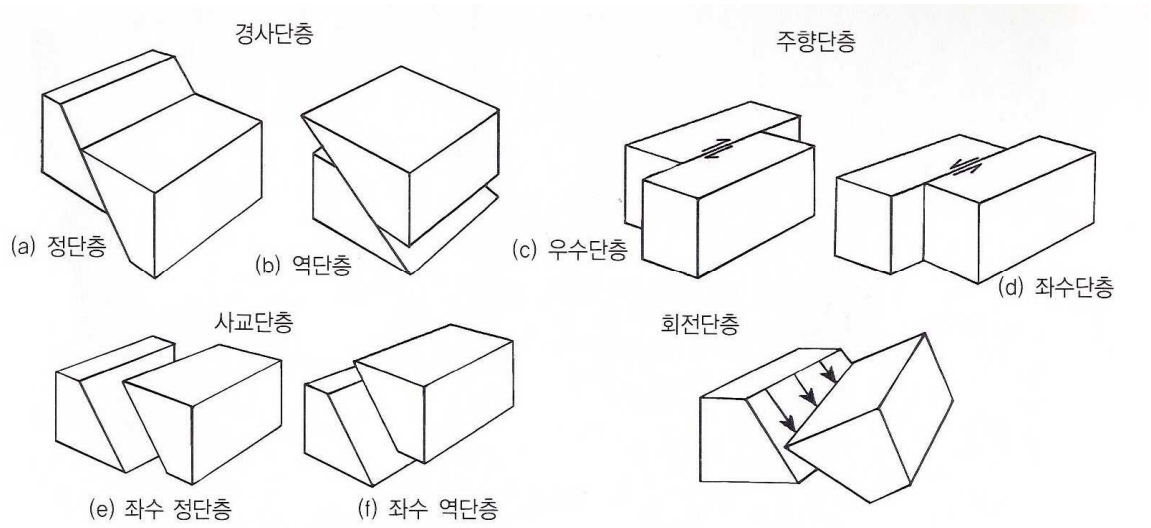


그림 7. 단층의 종류

3) 단층대의 구성

(1) 단층핵(fault core)과 손상대(damage zone), 혼합대(mixed zone)로 구성(그림 8)

① 단층핵

- 단층 운동 시 대부분의 변위가 흡수되는 부분
- 강한 파쇄작용으로 인해 모암의 형태를 관찰하기 어려움.
- 단층 점토(fault gouge), 파쇄암(cataclasite) 및 각력암(breccia)으로 구성

– 점토와 각력이 혼재되어 산출되기도 함.

② 혼합대

– 단층핵과 손상대의 특성이 반복되어 나타나는 구간

– 점이적인 변화를 보임.

③ 손상대

– 일반적으로 단층핵을 둘러싸고 있고, 취성적으로 변형된 모암임.

– 소규모 단층, 습곡, 절리 등 단층 운동과 관련된 2차 지질구조 발달

– 2차 지질구조는 단층핵과 가까워질수록 높은 밀도로 발달

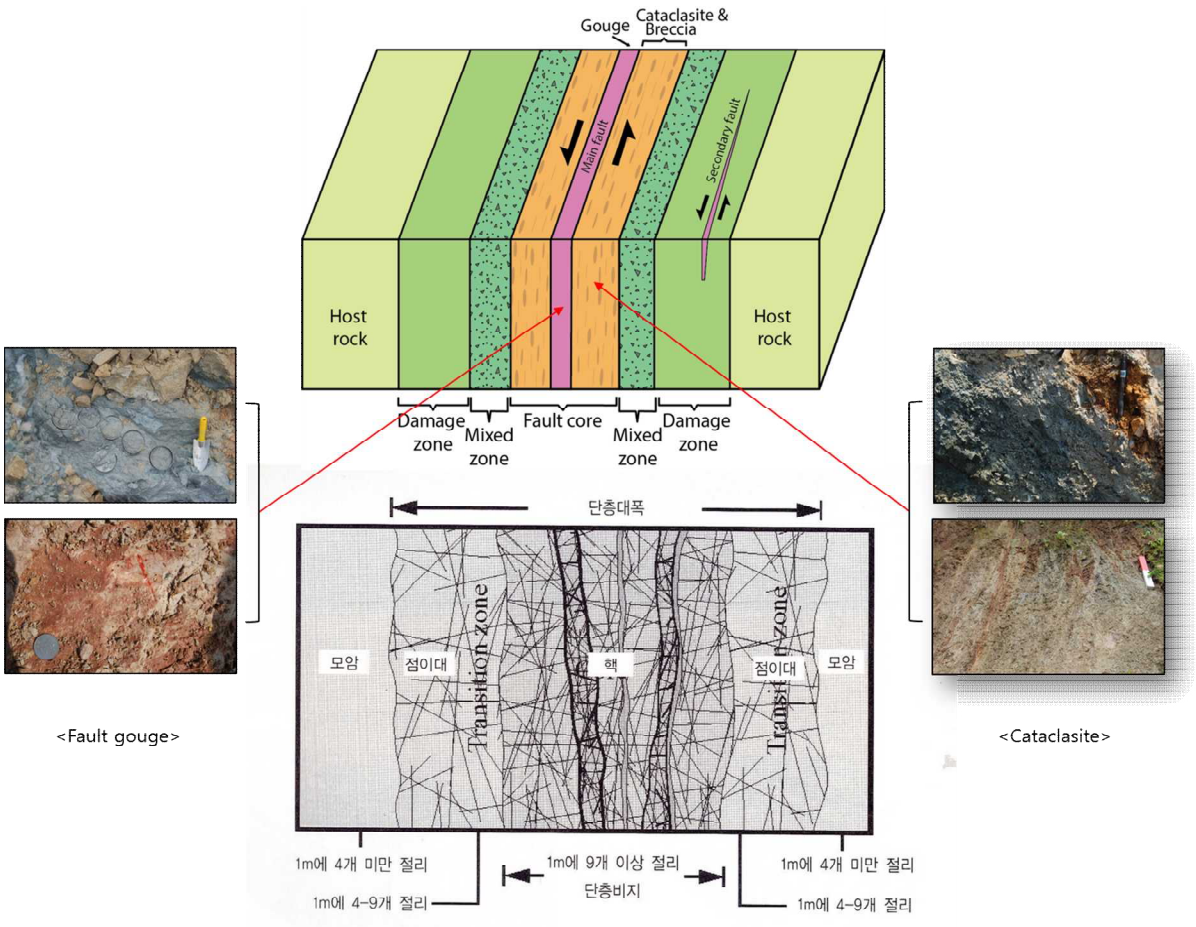


그림 8. 단층대의 구성

4) 단층의 인지

(1) 단층면에서의 인지

① 단층점토 및 파쇄암

– 단층 작용 시 암반의 마찰로 인한 파쇄나 풍화, 변질에 의해 생성된 세립의 물질(그림 9a; 9b)

② 단층각력

– 단층 작용에 의해 암석이 파쇄되어 생성된 각진 암편(그림 9c)

③ 단층활면

– 단층 작용 시 전단력에 의해 마모되어 매끄럽게 된 면(그림 9d)

④ 단층조선

– 전단력에 의해 면이 긁히면서 생긴 선(그림 9e)

– 이동의 시작 부분이 상대적으로 굵고 선명하여 단층의 이동 방향을 나타내는 중요한 증거임.

⑤ 광물의 변질

– 단층은 지하수 및 열수 등의 이동 통로로서 광물이 농집되거나 변질되어 주변의 암반과 다른 광물을 형성함(그림 9f).

⑥ 광물 및 각력의 선택 배향

– 모암의 잔류 흔적이 없을 정도로 강한 변형을 받거나, 국부적으로 암석이 녹은 상태에서 단층 작용을 받을 경우, 광물이나 각력 등이 지층의 끌림에 의해 회전하여 일정한 방향으로 배열됨.

⑦ pseudotachylite

– 어두운 색의 유리질이나 미정질의 고밀도 물질로 구성

– 단층 작용 시 마찰에 의한 미끌림으로 인해 암석이 국지적으로 용융되고, 단층 작용이 끝난 뒤 빠르게 냉각되면서 결정이 성장하지 못한 채 생성

(2) 암반 및 지층에서의 인지

① 연속적인 지층 및 지질 구조(퇴적 층리)의 단절

② 지층의 반복과 생략(그림 10)

③ drag fold

– 단층면 주변에서 나타나는 소규모 습곡 구조

④ 폭이 넓은 암맥이나 광맥이 갑자기 없어지거나 좁아짐.

⑤ 터널 굴진 및 시추 시 코어의 회수율이 급격히 감소함.



(a) 단층점토



(b) 단층파쇄암



(c) 단층각력



(d) 단층활면

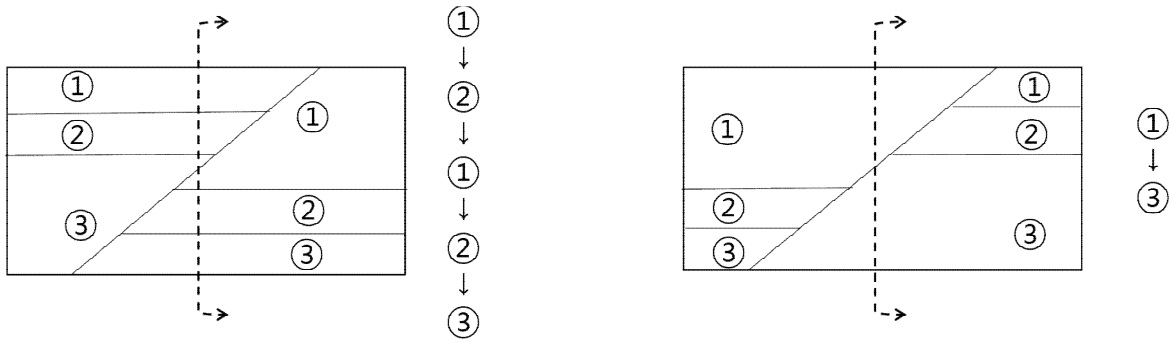


(e) 단층조선



(f) 광물의 변질

그림 9. 단층면에서 단층을 인지할 수 있는 지질구조



(a) 지층의 반복 (b) 지층의 생략

그림 10. 지층의 반복과 생략

5) 단층의 조사방법

(1) 단층의 형상 파악

① 단층면의 주향 및 경사 측정

② 단층조선의 선주향(trend), 선경사(plunge) 등 측정

③ 단층의 폭 및 길이 측정

(2) 파쇄형태 관찰

① 단층점토, 단층각력 등 단층물질의 종류와 특성 관찰

② 색, 입자 크기 등 관찰

③ 거칠기, 간극의 폭, 충전물 두께 등 측정

(3) 지질구조 관찰

① 단층면 내 단층조선, 단층활면, 변위 방향 등 관찰

※ 단층파쇄대의 형태(그림 11)

가. 파괴 작용이 집중적으로 일어난 것

(a) 단층 중심부는 전체가 점토, 양쪽 암반은 견고한 암반

(b) 단층 중심부는 점토와 각력을 포함, 양쪽 암반은 견고한 암반

(c) 단층 중심부는 토사로 파쇄된 암석과 각력, 양쪽 암반은 견고한 암반

(d) 단층 중심부는 얇은 점토와 각력이 혼합, 단층 중심과 양쪽 암반의 경계부는 점토

(e) (d)와 동일하나, 단층 중심부에 암괴 포함

나. 파괴 작용이 한쪽 암반에서 일어난 것

(f) 한쪽 암반(견고한 암반)의 경계부에 점토, 다른쪽 암반은 점토가 얇게 끼인 각력층 → 균열이 밀집한 암반 → 균열이 많은 암반순으로 점이적으로 변함

(g) 점토가 없고, 단층면 불분명함.

다. 파괴 작용이 양쪽 암반에서 일어난 것

(h) 단층 중심부는 점토, 양쪽 암반은 단층 중심에서 멀어질수록 파쇄구간 감소

(i) 점토가 없고, 단층면 불분명함.

(j) 단층 중심부는 균열이 밀집, 양쪽 암반은 균열이 많은 암반으로 구성, 단층면 불분명함.

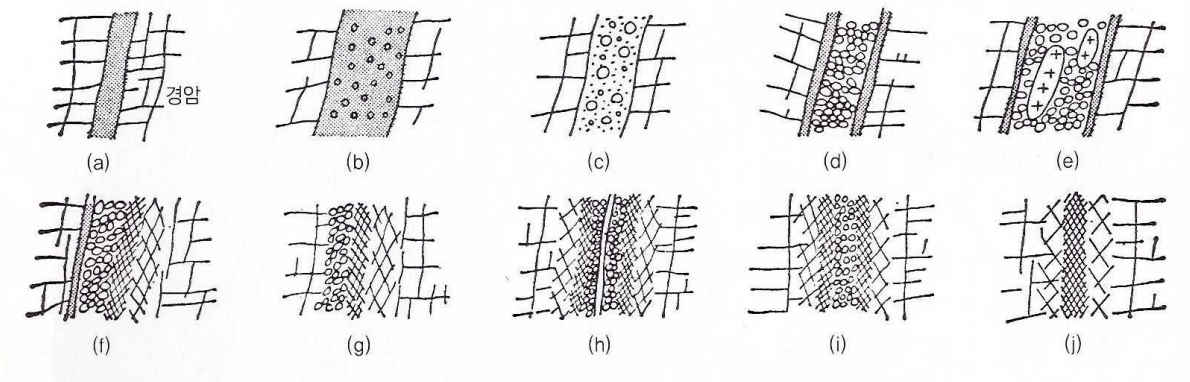


그림 11. 단층파쇄대의 형태(이병주와 선우춘, 2010)

6) 단층조사의 수행 절차

(1) 광역조사, 물리탐사 및 시추조사 등을 통해 단층의 분포 특성 및 규모 파악

(2) 각종 현장 및 실내시험을 통해 단층의 공학적 특성 평가

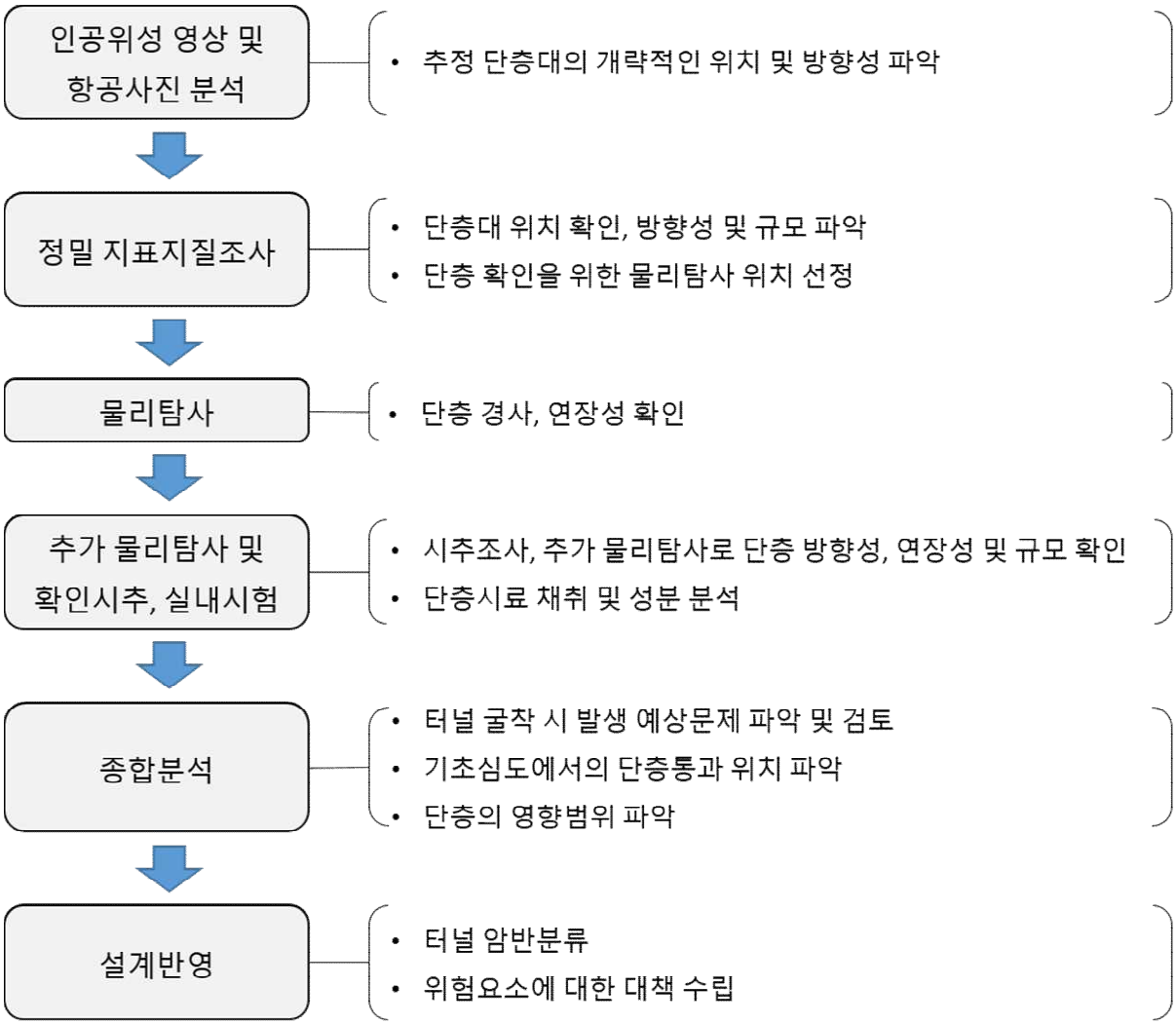


그림 12. 단층조사 수행절차

4.2.2 습곡

1) 정의

(1) 지반이 수평으로 퇴적된 후 횡압력을 받아 휜 상태를 말함.

(2) 높은 온도와 압축응력을 동반하는 일종의 연성 변형

(3) 습곡 구조는 층리면을 가지고 있는 지반에서 흔히 나타남.

2) 습곡의 구조

(1) 배사 : 지반이 위로 향해 휜 부분

(2) 향사 : 지반이 아래로 휜 부분

(3) 정부(힌지) : 배사나 향사의 가장 높은 지점

(4) 습곡축 : 단일 습곡면에 있어서 곡률이 최대인 점(힌지)을 연결한 선

(5) 날개 : 배사와 향사 사이의 옆면

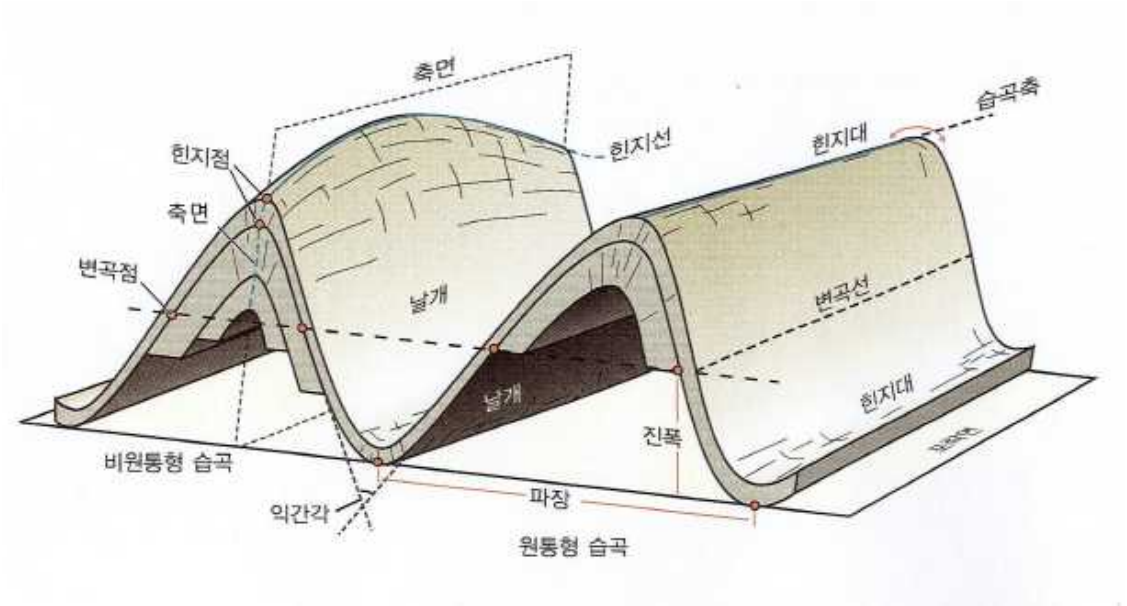


그림 13. 습곡의 구조

3) 습곡의 인지 및 조사방법

(1) 층리나 엽리와 같은 면구조를 가지는 퇴적암 또는 변성암에서 흔하게 관찰됨.

(2) 지표에 노출된 습곡구조의 직접적인 확인

① 지반에 작용한 응력의 크기와 변형 작용에 저항하는 지반의 성질에 따라 구조가 완만히 관찰되거나 심하게 중첩되어 나타남(그림 14a).

② 향사축과 배사축을 경계로 하여 지층의 경사 방향이 변화하며, 이들 축을 따라 단층 및 파괴가 발생하는 경우가 많음(그림 14b).

③ 습곡축을 경계로 양측의 암상 변화 관찰

④ 날개 부분의 단층 화에 따른 층간 단층의 발달 유무 관찰

(3) 조사 구간을 선정하여 층리 및 엽리 등 면구조의 주향과 경사의 측정을 통해 평사투영해석 및 지도상에 기입하여 추정

(4) 시추 및 물리탐사를 통해 지층 경사의 변화 등을 분석

(5) 지질도의 단면, 지형, 굴착이나 채광, 물리탐사 등을 통해 파악



(a) 지표상에서 관찰되는 습곡구조



(b) 습곡의 향사축을 따라 붕괴 발생

그림 14. 지표상에서 습곡의 인지 및 붕괴 사진

4.2.3 미고결층

1) 정의

(1) 암석화가 완전히 되지 않은 상태의 지반(그림 15)

(2) 대부분 신생대 제4기층이며, 일부 제3기 지층에서도 관찰됨.

(3) 국내의 경우 대부분 경상도 동해안과 인접한 곳에 분포함.

2) 미고결층의 조사방법

(1) 충적층의 심도, 자갈 및 모래층의 두께 등을 조사하여 총 심도를 파악

(2) 각 층마다 조성과 입도가 다양하므로 현장에서의 시료 채취를 통해 실내 시험(물성 및 입도분석) 수행

(3) 지하수의 유무 조사





그림 15 경상도 지역의 신생대 제3기층에 분포하고 있는 미고결층

4.2.4 셰일층

(1) 면을 따라 잘 쪼개지는 특성인 박리성이 있음.

(2) 층리면을 따라 붕괴가 발생하기 쉬운 지반임(그림 16a).

(3) 퇴적층 내에서 셰일과 사암 또는 다른 지반과 교호하며 분포하는 경우 각 암석의 물성 및 공학적 특성의 차이로 인해 차별풍화 발생하여 붕괴 발생 가능성이 큼(그림 16b).

(4) 층의 두께 및 방향성, 불연속면 특성, 풍화도 등에 대한 조사

(5) 슬레이킹, 팽창성 등에 대한 공학적 특성에 대한 분석



(a) 셰일층에서 발생된 붕괴



(b) 사암과 셰일 교호지반의 차별풍화

그림 16. 퇴적암(셰일/사암)내에서 관찰되는 박리성

4.2.5 열수 변질대

(1) 대규모 단층대나 관입 등이 분포하는 지역에 존재(그림 17)

(2) 변질 정도에 따라 4개의 등급으로 구분(표 2)

(3) 변질의 정도와 폭 조사



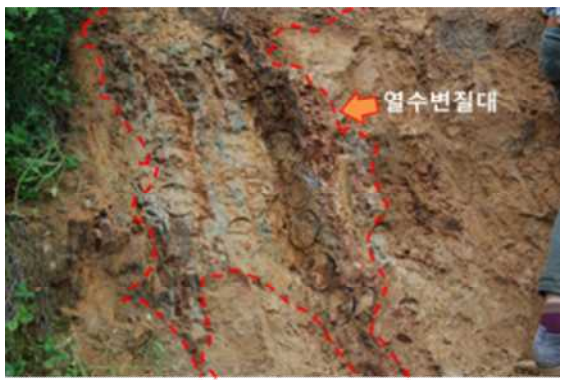


그림 17. 열수변질대 (양산단층대 인근)

표 2 . 변질 정도에 따른 등급

Class	Degree
1 (신선)	변질에 의한 영향 없음.
2 (약함)	암석의 조직이 완전히 보존되어 있음. 변질되지 않은 부분 50% 이상
3 (보통)	모암의 조직 식별 가능 변질되지 않은 부분 약간 분포
4 (강함)	광물 및 암편이 점토광물로 변질 모암의 조직 식별 불가능

4.2.6 탄층

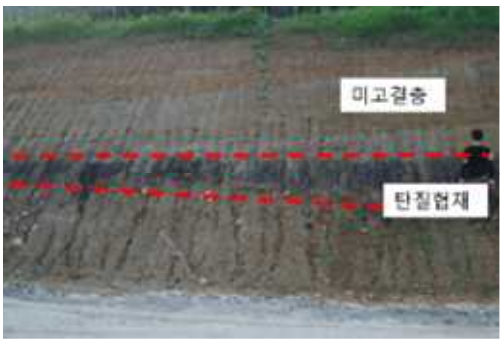
(1) 원지반 강도가 매우 낮고, 풍화에 매우 취약함.

(2) 셰일이나 석회암, 점판암 등에 협재되어 있는 경우가 많음(그림 18).

(3) 공학적 특성이 상이한 지반 내에서 불연속면 및 절리 등을 발생시켜 위험지반 형성

(4) 지하수가 존재 시 탄질과 결합하여 점토화 되거나 절리면을 따라 지반의 강도가 저하됨.

(5) 지반의 절리 특성 및 지하수 상태, 풍화도 등 조사



(a) 미고결층 사이에 협재되어 있는 탄층



(b) 슬레이트 사이에 협재되어 있는 탄층

그림 18. 지층 내 협재되어 있는 탄층

4.2.7 석회암

(1) 용해성 암석으로 기계적 풍화작용에는 상대적으로 강함.

(2) 주로 고각의 절리 및 단층 등의 지질구조와 관련되어 발달

(3) 빗물이나 지표수, 지하수에 용해된 CO2 가스와 물이 화학작용을 일으켜 탄산수가 됨.

(4) 탄산수에 의해 용해되어 지하내 공동이나 동굴 생성

(5) 지하수 상태, 계절에 따른 지하수위의 변화, 공사 중 지하수위의 변화 등에 대한 조사가 상당히 중요함.

(6) 시추조사, 물리탐사 등 조사 구간 주변 및 지반 내에 동굴 및 공동의 분포 여부 조사

(7) 백운암, 석고, 암염 등도 석회암과 동일한 용해성 암석임.



그림 19. 석회암 사진

4.2.8 응회암

(1) 국내의 경우 남부지역이나 제주도, 울릉도 등 화산섬 지역에 주로 분포

(2) 공학적 강도가 상대적으로 낮은 값을 보임.

(3) 울릉도에 분포하는 응회암은 수직절리가 발달한 유형과 집괴암 형태로 산출됨(그림 20).

① 집괴암 형태의 응회암은 미고결 지반과 함께 관찰되거나 화산탄 및 화산력 주변에 기질이 분포하고 있는 경우가 많음.

② 절리 간격, 집괴암 내의 화산탄 및 화산력의 크기, 강도 등 조사

③ 기질부에 대한 입도 및 물성, 강도 시험 등 병행



(a) 수직절리가 발달한 조면암질 응회암 (b) 미고결 지반과 경계를 이루는 응회암

그림 20. 다양한 형태로 산출되는 화산암층 내 응회암

4.2.9 천매암

(1) 비교적 낮은 온도와 압력의 영향으로 형성된 세립질의 변성퇴적암

(2) 광택이 있는 벽개면 및 엽리면을 가짐.

(3) 연장성이 좋고, 전단강도가 현저히 낮은 특성을 보임.

(4) 국내의 경우 옥천대에 주로 분포하며, 고생대 또는 시대미상의 옥천층군에 많이 분포함.

(5) 엽리의 방향성 및 연장성, 불연속면 특성, 블록의 크기, 충전물의 특성 등 조사



그림 21. 옥천층군 내 분포하는 천매암

4.2.10 기타 위험지반

1) 팽창성 지질

(1) 신생대의 이암 및 응회암

① 이암 및 파쇄 · 변질작용에 의해 연약화된 응회암의 경우 비교적 세립이고, 투수성과 강도가 작은 점토질 암석으로 산출되는 경우가 많음.

② 팽창성 점토광물로 몬모릴로나이트를 다량으로 함유하는 경우가 많음.

(2) 사문암

① 감람암, 반려암, 휘록암 등의 염기성 암석이 조산 운동 등의 지각 변동 시 사문암화 작용(열수변질 작용의 일종)에 의해 형성

② 변질 과정에서 파괴되어 편상 또는 점토상으로 변형

③ 사문석, 활석 등을 포함

(3) 변질 안산암

① 화산암 또는 화산쇄설암으로 암질 변화가 매우 심함.

② 화산성 또는 열수변질작용을 받은 점토광물을 많이 함유

③ 팽창성 점토광물로 몬모릴로나이트를 다량으로 함유

(4) 기타 팽창성 암석

① 이질 편암이나 녹색 편암, 천매암 등이 풍화 및 파쇄 작용을 받으면 터널 굴착 시 응력 해방에 의해 편리면의 박리 및 팽창이 발생

2) 테일러스 퇴적물

(1) 산허리 사면에 퇴적되어 토사의 안식각에 가까운 상태로 안정을 유지하는 암석

(2) 터널 굴착 시 붕괴 가능성 높음.

(3) 기반암과의 경계면에서는 용수가 많아 터널 갱구부에서 특히 주의해야 함.

3) 선상지 및 단구의 사력층

(1) 지하수가 풍부하여 굴진면의 안정성 및 갈수 문제에 주의해야 함.

4) 산사태 지대

(1) 산사태 붕괴의 염려가 있는 경우 터널 입구부에서 주의해야 함.

제5장 지질공학적 조사 및 평가

5.1 조사 도구

(1) 조사표

(2) 필기구

(3) 줄자

(4) 각도기

(5) 클리노콤퍼스(또는 클리노미터)

(6) 지질해머

(7) 스케일바

(8) 슈미트해머

(9) 입도스케일

(10) 사진기

(11) 시료채취용 샘플러

(12) 묽은 염산

5.2 클리노콤퍼스를 이용한 방향성 측정

5.2.1 면구조의 주향/경사 측정 방법

1) 클리노콤퍼스

(1) 층리, 단층, 절리 등의 면구조나 단층조선, 엽리 등의 선구조에 대한 경사방향 및 경사각을 측정할 때 이용하는 도구

(2) 자북을 표시하는 나침반, 경사각 측정 부분, 수평맞춤 수포, 나침 고정핀 및 거울 등으로 구성(그림 22)

(3) 현장에서 측정하여 읽는 방법은 360도법을 이용

※ 360도법은 한 번의 측정으로 경사 방향과 경사를 파악함으로써 주향에 대한 정보를 동시에 획득할 수 있어 시간을 단축시킬 수 있는 장점이 있음.

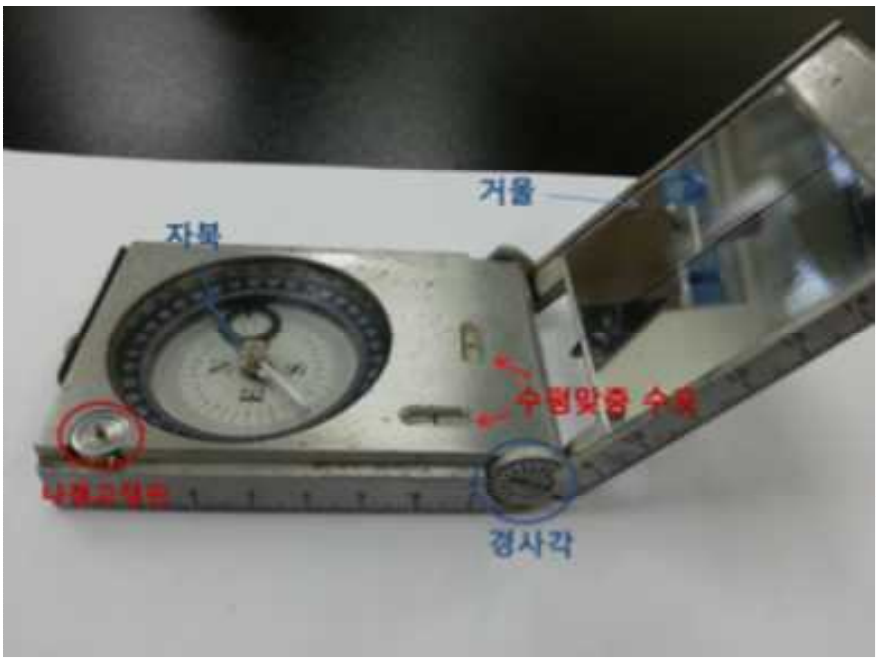


그림 22. 클리노콤퍼스의 구성

2) 측정 시 주의사항

– 조사면의 접근성, 면적, 편평성, 주변의 자기성 물질 존재유무 등

3) 경사 방향(dip direction) 읽기

(1) 나침반 부분에 보이는 침과 N과의 각도를 시계 반대 방향으로 읽어 측정

(2) 나침반에 보이는 침은 파란색이 북쪽, 흰색이 남쪽을 가리킴.

(3) 조사하는 면(거울면)과 콤퍼스의 나침반 부분 사이의 각도가 둔각인 경우

– N에서 시계반대 방향으로 파란색 침까지의 각도를 읽어 경사방향을 기재함(그림 23a).

(4) 경사방향이 역전되어 면(거울면)과 콤퍼스의 나침반 부분 사이의 각도가 예각인 경우

– N에서 시계반대 방향으로 흰색 침까지의 각도를 읽어 경사방향을 측정(그림 23b)

(5) 예각과 둔각의 판단이 어려운 경우

– 경사각 측정부분의 90° 를 기준으로 확인

(6) 사용 전 태양의 위치로 대략적인 남북방향을 파악한 후 나침반과 비교하여 사용



(a) 둔각인 경우 (b) 예각인 경우

그림 23. 경사방향(dip direction) 측정 방법

4) 경사각(dip angle) 읽기

(1) 클리노콤퍼스 경사각 측정부에 표기된 숫자를 그대로 읽음.

(2) 그림 20의 경사각은 40° 임.

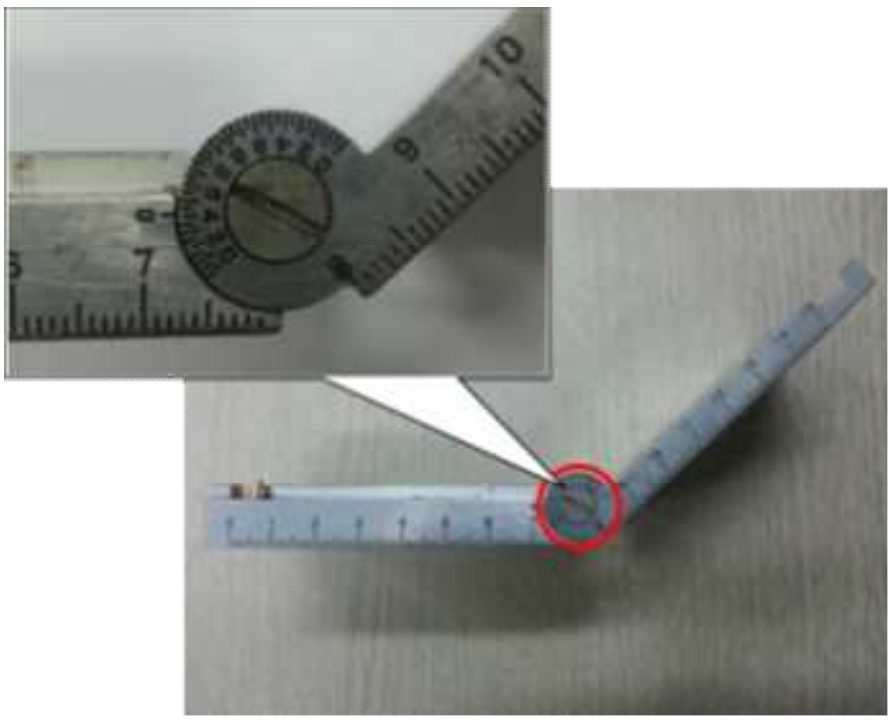


그림 24. 경사각(dip angle) 측정방법

5) 현장에서의 측정 방법

(1) 콤퍼스의 거울이 있는 면을 조사하고자 하는 면과 일치시킴(그림 25).

(2) 두개의 수평맞춤 수포를 중심에 위치하도록 조정함.

(3) 수평을 정확히 맞춘 후 나침반의 고정핀을 눌러 바늘을 고정시킴.

(4) 경사각 부분에서 각도를 읽어 경사각을 먼저 측정함.

① 경사 방향을 먼저 측정할 경우 조사면에서의 측정이 끝난 후 각도를 읽는 과정에서 거울면이 움직일 수 있기 때문에 주의해야 함.

② 조사면과 콤퍼스 나침반 부분의 예각과 둔각의 여부를 확인 할 수 있음.

(5) N을 기준으로 둔각인 경우 파란색 침, 예각인 경우 흰색 침까지의 시계반대 방향으로 각도를 읽어 경사방향을 기재함.



그림 25. 현장에서의 면구조에 대한 클리노콤퍼스 측정

6) 기재 방법

(1) 경사방향/경사각(dip direction/dip angle, 000/00)으로 표기함.

(2) 기본적으로 경사방향은 3자리수로 표기함.

※ 예) 그림 23과 24에서 예각인 경우 164/40, 둔각인 경우 346/40으로 표기함.

(3) 주향/경사(strike/dip)는 경사방향을 이용하여 계산한 후 표기함.

7) 경사방향/경사각 → 주향/경사각 계산방법

(1) 주향 : 경사방향에서 북(N)의 방향으로 90° 이동 후 N과의 각도를 읽음.

(2) 경사각 : 클리노 콤파스에서 측정된 경사각과 동일함.

※ 164/40 → N74° E/40° SE, 346/40 → N76° E/40° NW

5.2.2 선구조의 선주향/선경사 측정 방법

(1) 조사하고자 하는 선구조와 콤퍼스가 둔각이 되는 방향에서 측정함.

(2) 콤퍼스의 거울이 있는 부분의 측면을 조사하고자 하는 선구조와 일치시킴(그림 26).

(2) 두개의 수평맞춤 수포를 중심에 위치하도록 조정함.

(3) 수평을 정확히 맞춘 후 나침반의 고정핀을 눌러 바늘을 고정시킴.

(4) 경사각 부분에서 각도를 읽어 선경사(plunge)를 먼저 측정함.

※ 읽는 방법은 면구조에서의 방법과 동일함.

(5) N을 기준으로 N과 가까운 나침반의 침까지의 각도를 읽어 선주향(trend)을 측정함.

※ 면구조와 달리 선구조는 나침반의 색과 관계없이 N과 가까운 침의 각도를 읽음.



그림 26. 현장에서의 선구조에 대한 클리노콤퍼스 측정

5.3 불연속면의 조사

5.3.1 강도

(1) 야외에서 흙과 암석의 강도는 슈미트해머 시험, 긁기, 지질 해머 등을 통해 암석의 대략적인 강도를 추정(표 3)

표 3. 현장지수에 의한 흙과 암석의 강도 분류(ISRM, 1981)

구분	표시	현장 판별방법	압축강도 추정값 (MPa)
S_1	매우 연약한 점토 (very soft clay)	손가락이 쉽게 들어간다.	< 0.025
S_2	연약한 점토 (soft clay)	손가락이 쉽게 수 cm 들어간다.	0.025-0.05
S_3	약간 굳은 점토 (firm clay)	중간 정도의 힘으로 손가락이 수 cm 들어간다.	0.05-0.1
S_4	굳은 점토 (stiff clay)	손가락에 의해 쉽게 자국이 나지만, 손가락을 넣기 어렵다.	0.1-0.25
S_5	매우 굳은 점토 (very stiff clay)	손톱에 의해 쉽게 자국이 난다.	0.25-0.5
S_6	단단한 점토 (hard clay)	강한 힘으로 손톱 자국을 낼 수 있다.	> 0.5
R_0	극도로 약한 암석 (extremely weak rock)	손톱으로 자국이 난다.	0.25-1
R_1	매우 약한 암석 (very weak rock)	지질해머 끝으로 강하게 타격하면 조각이 나며, 주머니칼로 벗겨 낼 수 있다.	1-5
R_2	약한 암석 (weak rock)	강한 힘으로 주머니칼로 벗겨낼 수 있고, 지질해머 끝으로 강하게 쳐서 얕은 자국을 만들 수 있다.	5-25
R_3	약간 강한 암석 (moderately strong rock)	주머니칼로 벗겨 내거나 조각낼 수 없고, 지질해머를 일격하면 깨진다.	25-50
R_4	강한 암석 (strong rock)	지질해머로 깨기 위해 일격 이상이 요구된다.	50-100
R_5	매우 강한 암석 (very strong rock)	지질해머로 깨기 위해서 많은 타격이 요구된다.	100-250
R_6	극도로 강한 암석 (extremely hard rock)	지질해머로 타격해도 표면만 약간 조각난다.	> 250
※ S1~S6(점토) : 불연속면의 충전물 등급, 점토, 실트질 점토, 실트와 모래가 섞인 점토의 복합체 등에 적용 R0~R6(암석) : 불연속면의 벽면강도 등급			

5.3.2 풍화도

(1) 육안 관찰과 역학적 특성을 고려하여 6단계로 풍화 등급 구분(표 4)

(2) 육안 관찰은 화학적 변질정도, 물리적 분해정도로 구분

① 화학적 변질정도

– 암석의 주 구성광물(석영, 장석, 흑운모 등)의 화학적 변질정도를 파악

– 특히, 흑운모의 변질과 이에 따른 주위 광물의 착색정도, 장석의 변질 상태 등으로 판단

② 물리적 변질정도

– 암석 내 미세한 균열의 발달과 암석 입자간 경계부 상태를 육안으로 관찰

(3) 역학적 특성은 암석 입자가 칼에 긁혀지는지, 지질해머 타격 시 관찰되는 암석의 파괴 정도로 파악

표 4. 풍화의 등급과 특징

용어	풍화특징
잔류토 (Residual soil)	• 암석이 완전히 토양화 됨. • 원래의 암석 조직이 완전히 파괴됨. • 부피가 증가됨.
완전풍화 (Completely weathered)	• 암석이 변하고, 토양화 됨. • 암석 조직이 남아 있음. • 작은 핵석이 발견됨.
심한풍화 (Highly weathered)	• 암색이 변함. • 불연속면은 벌어져 있음. • 불연속면이 깊이 탈색되고, 변질되어 있음. • 핵석이 흔하게 발달됨.
보통풍화 (Moderately weathered)	• 암색이 변함. • 불연속면은 벌어져 있음. • 불연속면이 탈색되고, 변질이 시작되는 단계임.
약한풍화 (Slightly weathered)	• 암색이 변함. • 불연속면은 약간 벌어져 있음. • 무결암의 강도는 신선한 암에 비하여 크게 약하지 않음.
신선 (Fresh)	• 암색이 변하지 않음. • 강도의 손실을 야기할 정도의 풍화는 발견되지 않음.

5.3.3 간격

(1) 동일한 방향을 가지는 불연속면 사이의 수직거리로 평균 혹은 중간 거리를 측정함.

(2) 줄자를 불연속면에 직각 방향으로 설치하여 측정함(그림 27 참조).

(3) 불연속면의 빈도를 충분히 대표할 수 있도록 조사 길이는 최소 3m 이상으로 설정함.

(4) 측정의 진행방향은 각 불연속면군별로 일관성을 유지하고, 측정값은 순서대로 기재함.

(5) 각 불연속면군에서 측정된 간격의 최소, 평균 및 최댓값은 기록되어야 함.



(a) 올바른 측정 방법 (b) 잘못된 측정 방법

그림 27. 불연속면 간격 측정 방법의 예

표 5. 간격의 표시방법

표시방법	간 격
극히 좁은 간격	< 20mm
매우 좁은 간격	20-60mm
좁은 간격	60mm-0.2m
중간 간격	0.2-0.6m
넓은 간격	0.6-2m
매우 넓은 간격	2-6m
극히 넓은 간격	> 6m

5.3.4 연장성

(1) 평면상에서 불연속면의 면적 혹은 크기, 불연속면의 길이를 나타냄.

(2) 경사방향 연장성과 주향방향 연장성을 구분하여 경사 및 주향을 따라 줄자를 이용하여 측정

(3) 대부분의 노두는 평면상에 제한되어 노출되어 있기 때문에 연장성의 실제 측정은 불가능하나 평균적인 연장성을 측정할 수 있도록 노력을 기울여야 함.

(3) 불연속면은 다른 불연속면에 의해 끊어질 수도 있고 그렇지 않을 수도 있는데, 이러한 사실은 기록되어야 함.

(4) 단층이나 암맥 같은 유일한 불연속면은 일반적으로 연장성이 매우 좋고, 연약한 면을 대표하므로 기술 및 평가에 주의해야 함.

표 6. 연장성의 표시방법

표시방법	길 이
매우 낮은 연장성	< 1m
낮은 연장성	1-3m
중간 연장성	3-10m
높은 연장성	10-20m
매우 높은 연장성	>20m

5.3.5 간극

(1) 하나의 불연속면에 대해 서로 인접하여 분리된 양 벽면 사이의 수직거리

(2) 간극의 공간은 일반적으로 물이나 공기로 채워져 있음.

(3) 충전된 불연속면의 폭과 구분함(그림 28).

(4) 측정은 mm 단위로 표시된 자를 이용하며, 밀착된 간극의 경우 버니어 캘리퍼스를 이용

(5) 간극의 변화 여부를 결정하기 위해서는 최소 3m의 불연속면을 따라서 측정함.

(7) 각 불연속군에 대한 평균(가장 공통적인) 간극을 반드시 기록함.

(6) 평균 간극보다 상당히 넓거나 큰 간극을 갖는 등 간극의 변화가 있으면 불연속면의 위치 및 방향성 자료와 함께 별도로 기술해야 함.

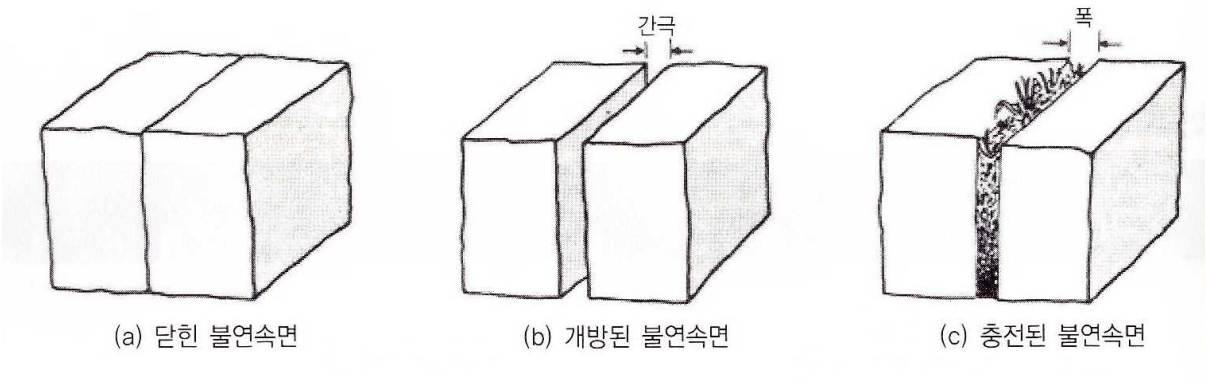


그림 28. 열린 불연속면에서의 간극과 충전된 불연속면의 폭

표 7. 간극의 표시방법

표시방법	간 극	형상
매우 촘촘함	< 0.1mm	폐쇄형
촘촘함	0.1-0.25mm	
부분적으로 벌어짐	0.25-0.5mm	
벌어짐	0.5-2.5mm	틈새형
약간 넓음	2.5-10mm	
넓음	>10mm	
매우 넓음	1-10cm	개방형
극히 넓음	10-100cm	
동굴같음	> 1m	

5.3.6 충전물

(1) 한 불연속면에 대해 서로 인접하고 있는 암석 벽면 사이를 충전하고 있는 물질

(2) 인접한 암석 벽면 사이의 수직거리를 간극에 대립하여 충전된 불연속면의 폭으로 측정(그림 28)

(3) 일반적으로 모래, 점토, 녹니석, 실트, 단층점토, 압쇄암, 단층각력이나 벽면을 얇게 피복하는 광물로 충전

(4) 단단한 광맥(방해석, 석영, 황철광 등)으로 충전된 경우를 제외하고는 일반적으로 깨끗한 불연속면보다 전단강도가 낮음.

(5) 상세 조사방법

① 폭 : 가장 공통된(평균) 폭의 추정치, 최대와 최소 폭은 10% 오차 범위에서 측정되어야 함.

– 최대와 최소 폭에서의 큰 차이는 암석 벽이 본래 변형이나 풍화가 없었다면 전단변위가 일어났던 것임.

② 풍화정도 : 차별 풍화를 받은 경우 분리된(disintegrated) 암석 또는 분해된(decomposed) 암석으로 구성될 수 있음.

③ 광물

– 가장 기본적으로 조사해야 함.

– 충전물이 몬모릴로나이트와 같은 팽창성 점토로 추정되는 경우 시료를 채취하여 팽창성 및 팽창압 시험 등을 실시해야 함.

④ 입자크기 : 점토, 실트, 모래, 자갈 등의 함량비를 추정

⑤ 함수율과 투수도에 대한 평가(표 8)

표 8. 함수율 및 투수도에 의한 분류

등 급	내 용
W1	충전물이 심하게 압밀, 건조하며, 매우 낮은 투수율로 인해 물의 흐름이 없음.
W2	충전물이 축축하지만 물의 흐름은 없음.
W3	충전물이 젖어 있으며, 때때로 물이 떨어짐.
W4	충전물이 흘러내릴 징조가 있고, 계속해서 물의 흐름이 있음.
W5	충전물이 부분적으로 흘러내리고, 흘러내린 흔적을 따라 상당한 물이 유출됨.
W6	충전물이 완전히 쏟아져 나가고, 매우 수압이 높음.

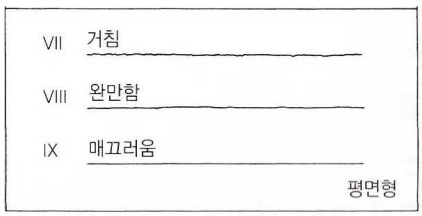
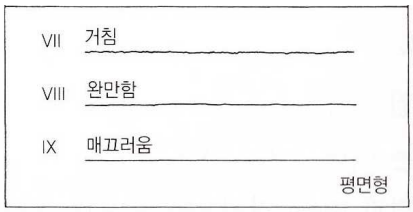
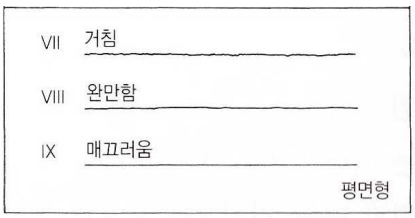
5.3.7 거칠기

(1) 불연속면에 나타나는 작은 규모의 요철이나 큰 규모의 만곡으로 정의

(2) 변위가 없거나 충전이 되지 않은 불연속면에서의 전단응력에 상당한 영향을 줌.

(3) 거칠기는 소척도(수 cm)와 중간척도(수 m)의 두 단계로 측정함(표 9).

표 9. 거칠기 등급

등 급	표시방법		거칠기 종단면
	중간척도(수 m)	소척도(수 cm)	
I	계단형	거침 혹은 불규칙	
II		완만	
III		매끄러움	
IV	파동형	거침 혹은 불규칙	
V		완만	
VI		매끄러움	
VII	평면형	거침 혹은 불규칙	
VIII		완만	
IX		매끄러움	

5.3.8 누수

(1) 암반이나 불연속면에서의 물의 흐름이나 가시적인 습기

(2) 표 10과 표 11을 참조하여 암반과 불연속면의 누수성을 평가

표 10. 누수성 평가

등급	유입량	수압	육안평가
	터널 10m 구간 유입량	절리수압/주응력	
0	> 125	> 0.5	흐름(flowing)
1	25～125	0.2～0.5	물방울(dropping)
2	10～25	0.1～0.2	축축함(wet)
3	< 10	< 0.1	젖음(damp)
4	None	0	습윤(moisture)
5	None	0	건조(dry)

표 11. 분리면에서의 누수성 평가

등급	A. 개구형 분리면	B. 충전형 분리면
1	• 분리면은 밀착되고, 건조함. • 유입수가 나타날 가능성 없음.	• 충전물이 충분히 압밀되어 건조함. • 매우 낮은 투수성으로 뚜렷한 유입수 없음.
2	• 유입수 흔적이 없고, 건조함.	• 충전물이 젖어 있으나, 유입수 없음.
3	• 분리면이 건조하지만 유입수 흔적 있음(산화철로 착색 등).	• 충전물이 젖어 있고, 가끔 물방울 보임.
4	• 분리면이 젖어 있으나 유입수 없음.	• 충전물이 씻겨 나간 흔적이 있음. • 연속적인 누수를 보임.
5	• 분리면에서 누수를 보임. • 가끔 물방울이 떨어지지만 연속적이지 않음.	• 부분적으로 충전물이 씻겨 나감. • 이것을 따라 상당량의 물이 유입됨.
6	• 분리면은 연속 누수를 보임.	• 충전물이 완전히 씻겨 나가고 높은 수압을 겪음.

제6장 위험지반의 세부 암판정 기술

6.1 개요

(1) 풍화유형에 따른 지질상태 및 공학적 특성을 고려한 암반분류

(2) 분리암(disintegrated rock), 분해암(decomposed rock) 및 단층핵(fault core)으로 구분하여 세부 암판정 기술 개발

(3) 분리암과 분해암

① 위험지반이 분포하는 총 55개의 터널 굴진면에서 암판정, 불연속면 조사, 점하중 시험 및 슈미트해머 시험 결과를 분석

② 풍화 유형에 따라 지질공학적 특성을 결정할 수 있는 조사방법을 선정하여 지질상태에 따른 공학적 특성 분류

(3) 단층핵

① 점토 및 각력 등으로 구성된 단층핵의 공학적 특성 분류

② 각력, 모래, 점토로 구성된 11종류의 인공 시료를 제작하여 일축압축강도 및 관입저항시험 결과 분석

③ 단층핵의 각력 함량 및 함수비에 따른 일축압축강도, 50% 할선변형계수, 관입저항치의 상관관계 분석

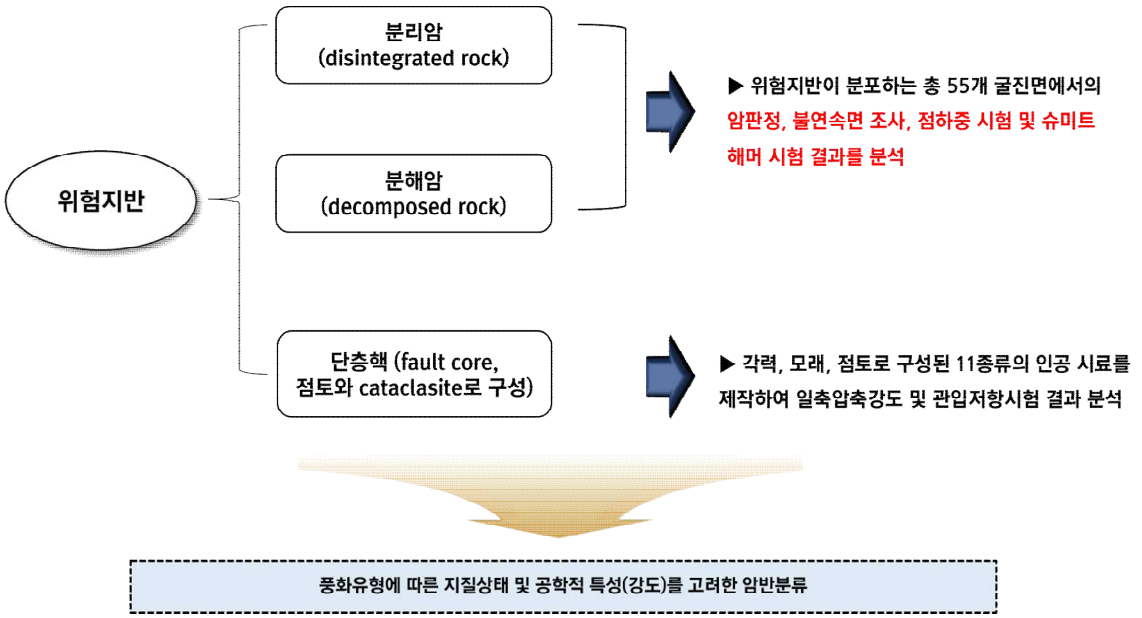


그림 29. 위험지반 세부 암판정 기술의 개요

6.2 분리암(disintegrated rock)

6.2.1 생성 메커니즘

(1) 취성 변형 메커니즘이 우세한 전단대에서 파쇄에 의해 생성

(2) 취성 변형은 응력이 집중된 곳에서 물리적 작용에 의해 순간적으로 암반을 파열시킴.

(3) 국지적인 마찰 미끌림, 단열에 의해 암석을 파쇄시키기 때문에 불연속면과 관련이 있음.

(4) 단층은 취성 변형과 관련된 대표적인 지질구조임.

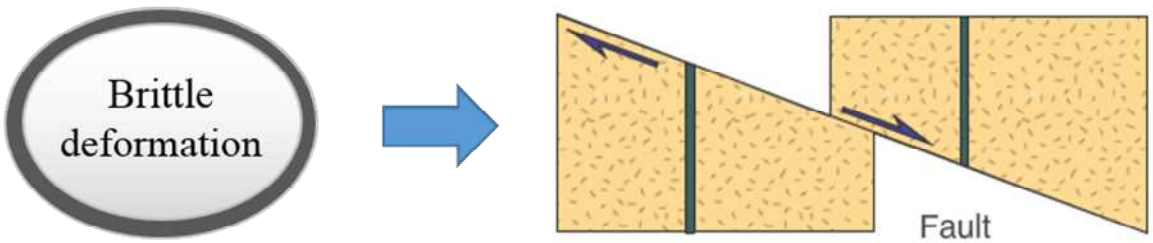


그림 30. 취성변형의 메커니즘

6.2.2 지질구조적 특징

(1) 일반적으로 불연속면의 열림 및 암석 내 균열이 발달하여 절리가 조밀하게 발달하고 있으나, 암석 자체의 풍화는 심하지 않음.

(2) 단층 중심부의 경우 암반이 심하게 파쇄되어 있거나, 점토 및 토사화 되어 있음(그림 31a).

(3) 불연속면 내 점토 및 토사 등으로 충전

(4) 일부 암반은 점토대와 암맥과 같은 연약층 협재(그림 31b)



(a) (b)

그림 31. 분리암의 지질구조적 특징

6.2.3 암판정 기술개발 내용

1) 불연속면의 특성을 결정할 수 있는 조사항목 선정

(1) Q-system의 조사항목 중 RQD와 Jn (절리군 개수; 표 12) 이용

(2) 분리암의 Jn은 표 12에서 대부분 F~J에 해당함.

2) RQD/Jn 값에 따라 지질구조 및 특성을 3가지 유형으로 분류(그림 32)

(1) Type Ⅰ : RQD/Jn=0

(2) Type Ⅱ : RQD/Jn=0.5~1.0

(3) Type Ⅲ : RQD/Jn=1.2~1.6

표 12. 절리군의 개수(Jn; Barton et al., 1974)

구분	절리군 상태	Jn
A	괴상, 절리가 거의 없음.	0.5~1.0
B	하나의 절리군	2
C	하나의 절리군과 방향성이 없는 절리	3
D	두 개의 절리군	4
E	두 개의 절리군과 방향성이 없는 절리	6
F	세 개의 절리군	9
G	세 개의 절리군과 방향성이 없는 절리	12
H	4개 이상의 절리군, 방향성이 없는 절리, 심하게 발달한 절리, 설탕 결정같은 모양	15
I	토양과 같이 파쇄된 암석	20

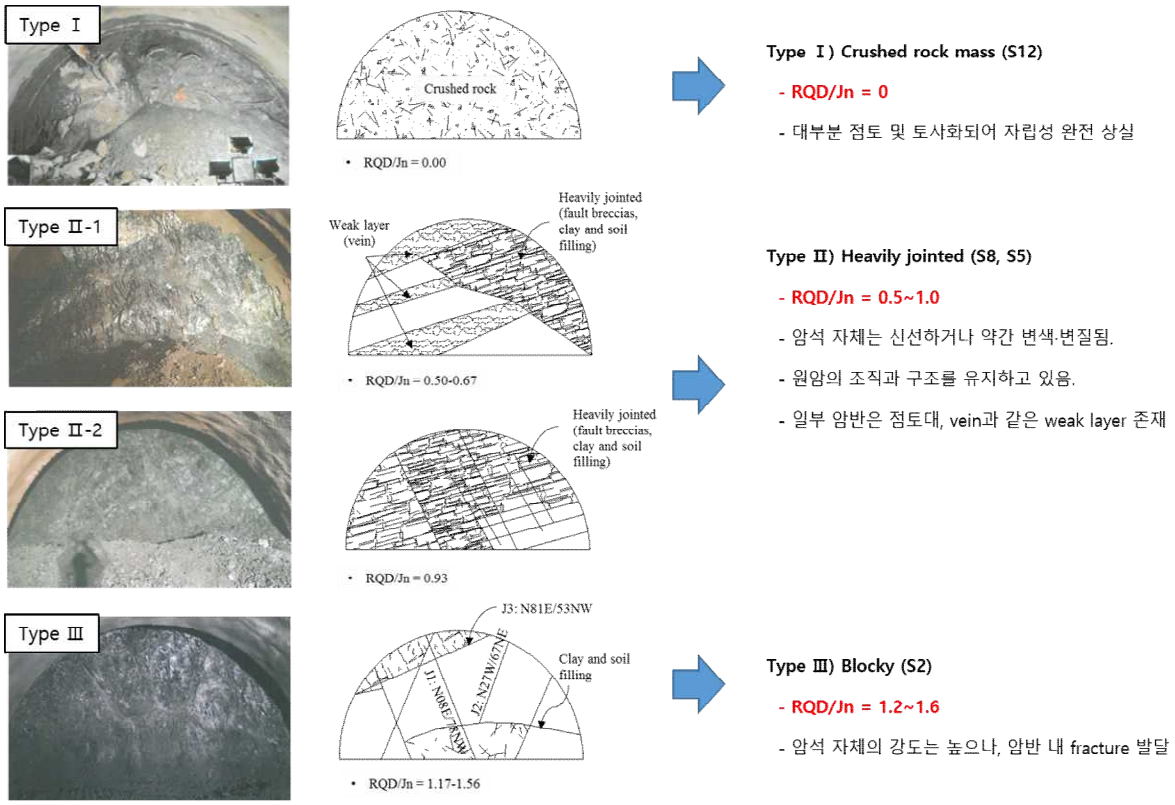


그림 32. 분리암에서의 RQD/Jn에 따른 지질구조 및 특성 분류

3) 각 굴진면에서 암석의 점하중강도 시험 실시(그림 33)

(1) 굴진면을 10개 구역(2m×2m)으로 구분하여 각 구역에서 암석시료 채취

(2) 각 암석에 대한 점하중강도 시험을 통해 점하중 지수(Is(50)) 산정(ISRM, 1985)

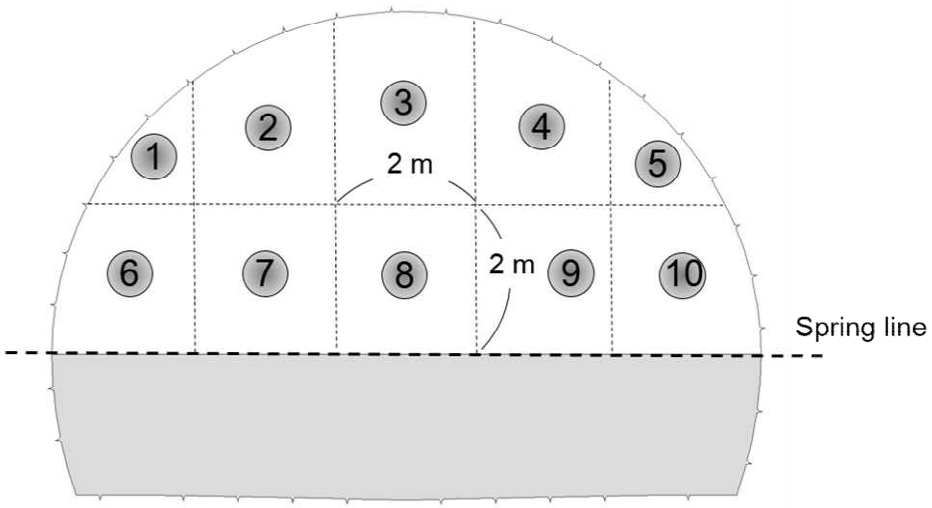


그림 33. 점하중 시험을 위해 굴진면에서 암석 시료를 채취한 구역

4) 지질구조에 따른 불연속면의 특성과 암석의 강도 사이의 상관관계 분석(그림 34)

(1) RQD/Jn 값의 범위에 따라 Is(50) 범위 분류

(2) RQD/Jn과 Is(50)의 평균 사이의 상관관계는 약 0.94의 높은 결정계수(R2)를 보임(식 1).

(3) 분리암에서 불연속면의 특성에 따른 강도 결정

5) 분리암의 불연속면의 특성에 따른 지질상태 및 강도에 따라 3가지 유형으로 세분화

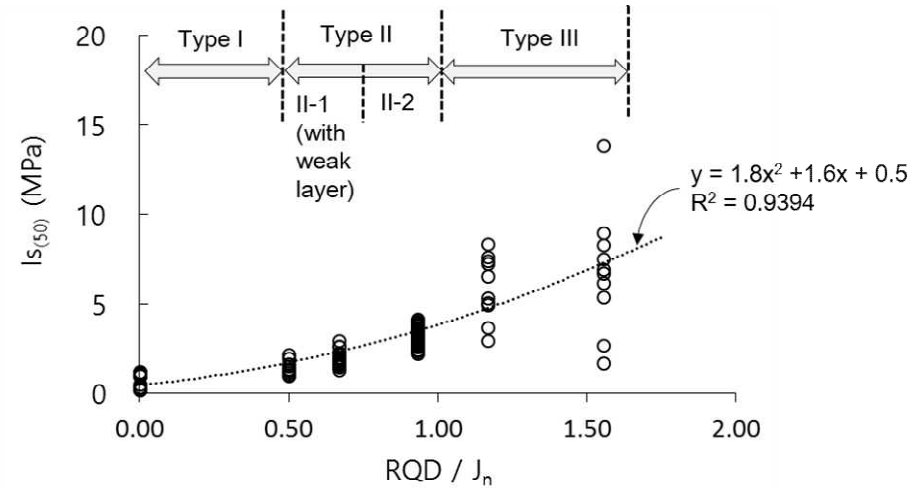


그림 34. 분리암의 불연속면 특성(RQD/Jn)에 따른 점하중 지수($Is_{(50)}$)

$$Is_{(50)} = 1.8(RQD/J_n)^2 + 1.6(RQD/J_n) + 0.5 \qquad \text{(식 1)}$$

6.2.4 조사 및 평가방법

(1) 굴진면에서 불연속면 특성을 조사하여 RQD와 Jn을 산정

(2) RQD/Jn에 따라 표 13에서 지질상태의 유형을 Type Ⅰ～Ⅲ로 분류

① Type Ⅰ : RQD/Jn=0

② Type Ⅱ : RQD/Jn=0.5～1.0

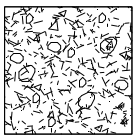
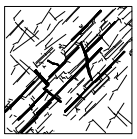
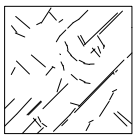
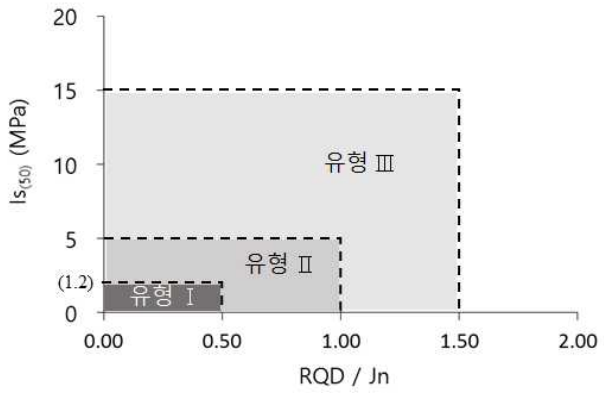
③ Type Ⅲ : RQD/Jn=1.2～1.6

(3) 식 1을 이용하여 RQD/Jn에 따른 Is(50)의 범위 또는 값을 산정

※ 표 13의 그래프를 이용해 개략적인 Is(50)의 범위를 추정할 수 있음.

(4) 분리암에서의 불연속면 특성에 따른 지질상태 및 강도 분류

표 13. 분리암에서의 암판정 도표

유형	지질상태	설명
Ⅰ		- 암반이 대부분 완전히 파쇄됨. - 일부 구간은 점토 및 토사화되어 자립성을 완전히 상실 - 손으로 쉽게 암반으로부터 암석 분리 가능 - RQD/Jn: 0~0.5 (대부분의 RQD는 0), Is_{50}: 1 MPa 이하
Ⅱ		- 절리가 매우 조밀하게 발달 또는 암편으로 부서짐. - 암석은 신선하거나 약간 변색 및 변질되어 있고, 원암의 조직과 구조 유지하고 있음. - 몇몇 암반은 불연속면을 따라서 암맥, 토사 및 점토대와 같은 연약층 협재 - 불연속면 내 토사 또는 점토 등의 충전 - 해머 타격시 5~10cm 크기의 암편으로 쉽게 부서짐. - RQD/Jn: 0.5~1.0, Is_{50}: 1~4 MPa
Ⅲ		- 3개의 절리군으로 발달 - 불연속면 내에 부분적으로 토사 또는 점토 등이 충전됨. - 암석 자체의 강도는 상당히 높으나, 암반 내 균열이 부분적으로 발달 (RQD <15). - RQD/Jn: 1.2~1.6, Is_{50}: 2~14 MPa
		1) Q-system에 근거한 RQD와 Jn 산정 2) 각 유형에 따른 Is_{50} 범위 또는 값 산정 3) $Is_{50} = 1.8\ (RQD / Jn)^2 + 1.6\ (RQD / Jn) + 0.5$ ※ RQD < 15 이하일 때 이용을 추천함.

6.3 분해암(decomposed rock)

6.3.1 생성 메커니즘

(1) 연성 변형 메커니즘이 우세한 전단대에서 변색 및 변질, 전단운동 등에 의해 생성

(2) 연성 변형은 느리고 복잡하며, 주로 높은 온도에 의해 발생함.

(3) 단층과 같은 취성 변형의 암반과 달리 불연속면이 나타나지 않음.

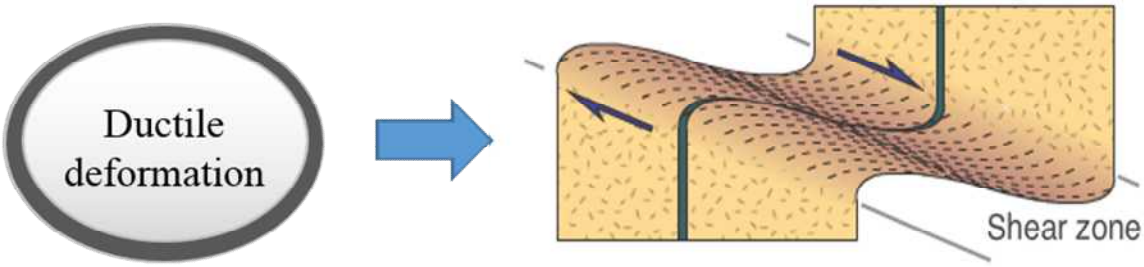


그림 35. 연성변형의 메커니즘

6.3.2 지질구조적 특징

(1) 암반이 대부분 변색 및 변질되어 있으며, 일부 암반은 전단변형 됨(그림 36a).

(2) 풍화암 또는 토사로 심하게 풍화되어 있음(그림 36b).

(3) 불연속면이 드물게 발달하여 절리군의 구분이 어려움.

(4) 일부 암반의 경우 차별풍화로 인해 암석과 토사가 함께 분포함(그림 36c).



(a) (b) (c)

그림 36. 분해암의 지질구조적 특징

6.3.3 암판정 기술개발 내용

1) 분해암이 분포하는 굴진면에서 조사항목 선정

(1) 분해암은 불연속면의 영향보다 광물, 입자크기 등의 미소 구조가 공학적 특성과 거동을 지배

(2) 미소구조는 육안 조사가 쉽지 않고, 별도의 실내시험이 수행되어야 하기 때문에 시간 및 경제성 등 고려해야 할 사항이 많아 암판정을 위한 조사 항목으로 부적절함.

(3) 분해암에서의 풍화도를 구분하기 위해 풍화된 암석 물질들과 흙의 비율을 이용한 방법 (Little, 1969; Dearman, 1986)과 풍화도 지수(weathering coefficient)를 이용한 방법 등

(Singh and Gahrooee, 1989; Gokceoglu and Aksoy, 2000) 기존의 연구 사례를 참조

2) 슈미트해머 시험을 이용한 강도 측정을 통해 지질구조 및 특성을 5가지 유형으로 분류

(1) 굴진면을 6개 구역으로 구분하여 슈미트해머 시험을 실시(ISRM, 1981; 그림 37)

(2) Rmax/Rmin 값에 따라 Type Ⅰ~Ⅳ와 Type Ⅴ로 분류

① Type Ⅰ~Ⅳ : Rmax/Rmin ≦ 2.0

② Type Ⅴ : Rmax/Rmin 〉2.0 (슈미트해머 분포 비율에 상관없음.)

※ Rmax : 굴진면 내 6개 구역에서 측정된 슈미트해머 값 중 최댓값

※ Rmin : 굴진면 내 6개 구역에서 측정된 슈미트해머 값 중 최솟값

(3) 슈미트해머 분포 비율에 따라 Type Ⅰ~Ⅳ 분류(그림 38)

① Type Ⅰ : 슈미트해머 측정되지 않음.

② Type Ⅱ : 슈미트해머 값 15 이하가 전체 굴진면의 50% 이상

③ Type Ⅲ : 슈미트해머 값 15~30이 전체 굴진면의 50% 이상

④ Type Ⅳ : 슈미트해머 값 30 이상이 전체 굴진면의 50% 이상

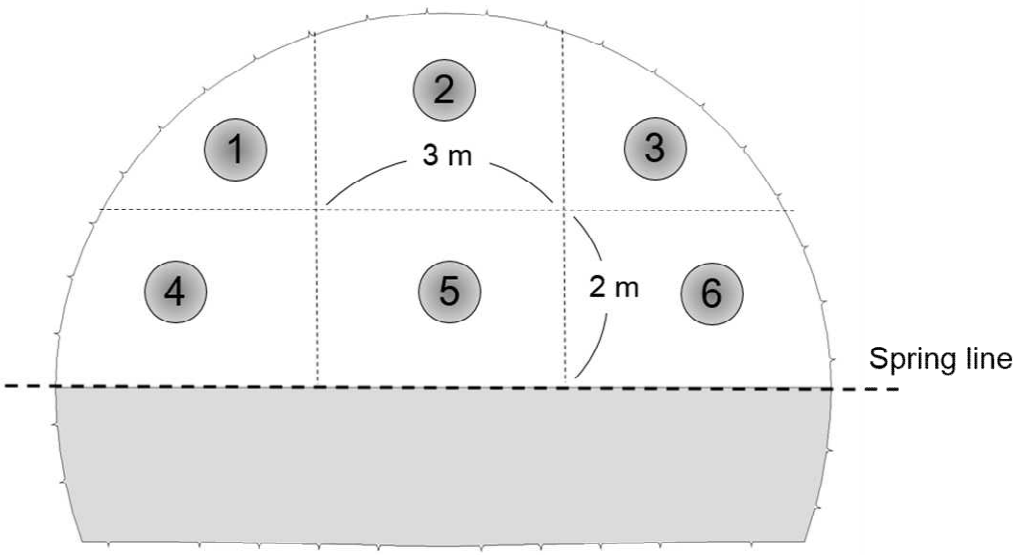


그림 37. 분해암 굴진면에서의 슈미트해머 시험 구역



Type Ⅰ)
- **슈미트해머 값이 측정되지 않음.**
- Residual soil
- 원암의 조직과 구조가 거의 파괴되어 육안상 관찰이 어려움.
- 자립성이 거의 없으며, 손에 의해 쉽게 부서짐.



Type Ⅱ)
- **슈미트해머 값 < 15: 50% 이상**
- 육안상 거의 토사화되어 있음.
- 부분적으로 원암의 조직과 구조가 관찰됨.
- 암석은 손에 의해 쉽게 분리됨.



Type Ⅲ)
- **슈미트해머 값 15 ~ 30: 50% 이상**
- 약한 강도의 암석이 형태를 유지하며, 원암의 조직과 구조 관찰됨.
- 암석 표면은 토사로 얇게 피복되어 있음.
- 연성변형에 의해 부분적으로 sheared.
- 해머 타격시 암편 내지 암석으로 쉽게 부서짐



Type Ⅳ)
- **슈미트해머 값 > 30: 50% 이상**
- 암석 표면은 갈색으로 산화되어 변색 및 변질되어 있음.
- 원암의 조직과 구조가 뚜렷히 관찰됨.
- 연성변형에 의해 부분적으로 sheared.
- 몇몇 암반의 경우 부분적으로 신선한 상태의 암석이 존재함.



Type Ⅴ)
- **Rmax / Rmin > 2.0**
- 슈미트해머 값은 0~65로 넓은 범위를 보임.
- 차별풍화로 인해 암석과 토사가 함께 분포함.
- 불연속면을 따라 두꺼운 토사대가 존재함.

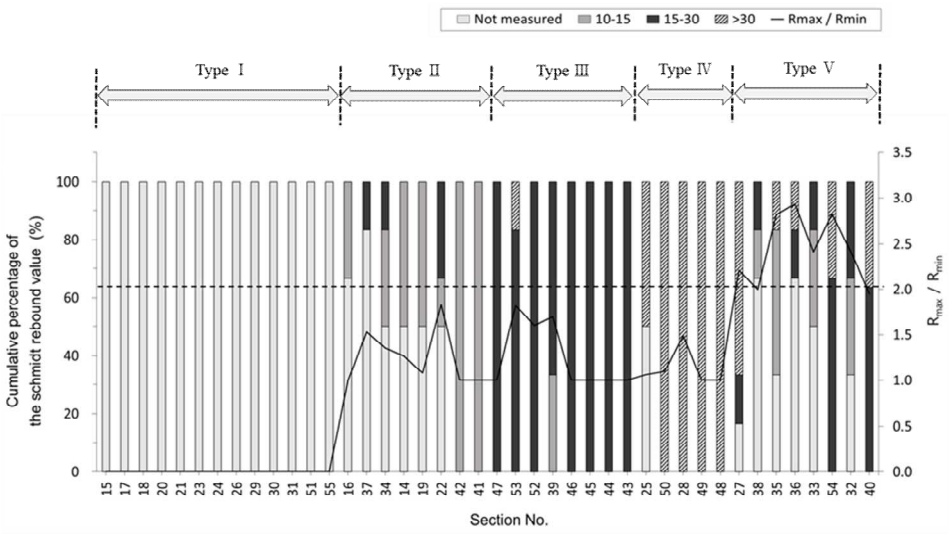


그림 38. 분해암에서의 슈미트해머 값의 분포비율 및 R_{max}/R_{min}에 따른 지질구조 및 특성 분류

3) 분리암과 동일하게 각 굴진면에서 암석의 점하중강도 시험 실시(그림 33)

(1) 굴진면을 10개 구역(2m×2m)으로 구분하여 각 구역에서 암석시료 채취

(2) 각 암석에 대한 점하중강도 시험을 통해 점하중지수(Is(50)) 산정(ISRM, 1985)

4) 지질구조에 따른 슈미트해머 값과 암석의 강도 사이의 상관관계 분석(그림 39)

(1) 굴진면 내 6개 구역에서 측정한 슈미트해머 값의 평균과 Is(50)의 평균 사이의 상관관계는 약 0.92의 높은 결정계수(R2)를 보임(식 2).

(2) 분해암에서 슈미트해머 평균값에 따른 강도 결정

5) 분해암의 슈미트해머 값의 분포 비율에 따른 지질상태에 따라 5가지 유형으로 세분화

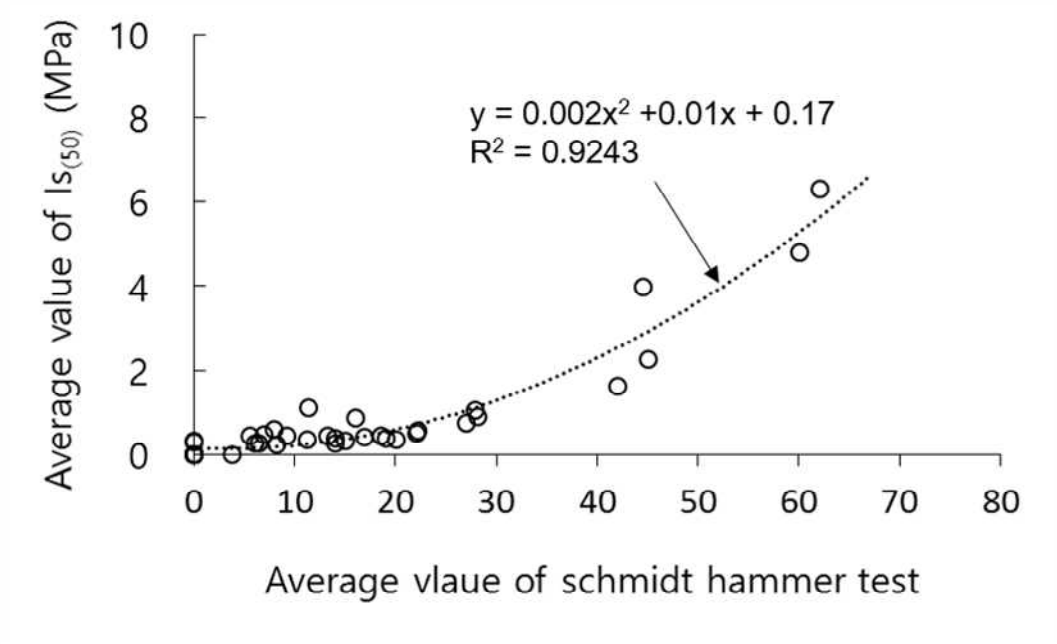


그림 39. 분해암 굴진면의 6개 구역에서 측정한 슈미트해머 평균값에 따른 점하중 지수($Is_{(50)}$)

$$Is_{(50)} = 0.002(R)^2 + 0.01(R) + 0.17 \quad \text{(식 2)}$$

여기서, R : 6개 구역에서 측정된 슈미트해머 평균값

6.3.4 조사 및 평가방법

(1) 굴진면을 6개 구역으로 구분한 후, 각 구역에서 슈미트해머 시험을 실시하여 결과값 산정

(2) 6개 구역에서 산정한 슈미트해머 값 중 최댓값(Rmax)과 최솟값(Rmin) 산정

※ 단, 슈미트해머 값은 10 이상을 이용하여야 함.

(3) Rmax/Rmin을 계산하여 2.0 이상이면 Type Ⅴ로 분류

(4) Rmax/Rmin을 계산하여 2.0 이하이면 Type Ⅰ～Ⅳ로 분류

(5) 슈미트해머 분포 비율에 따라 표 14에서 지질상태의 유형을 TypeⅠ～Ⅳ로 분류

① Type Ⅰ : 슈미트해머 측정되지 않음

② Type Ⅱ : 슈미트해머 값 15 이하가 전체 굴진면의 50% 이상

③ Type Ⅲ : 슈미트해머 값 15～30이 전체 굴진면의 50% 이상

④ Type Ⅳ : 슈미트해머 값 30 이상이 전체 굴진면의 50% 이상

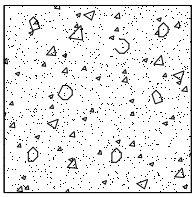
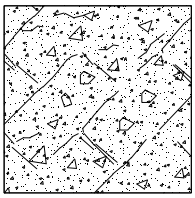
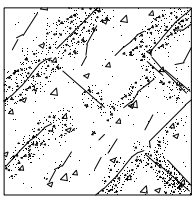
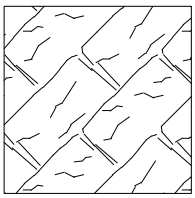
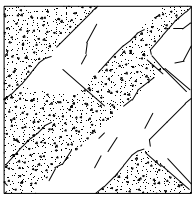
※ 표 14의 삼각도표를 이용해 유형 Ⅱ ~ Ⅳ를 분류할 수도 있음.

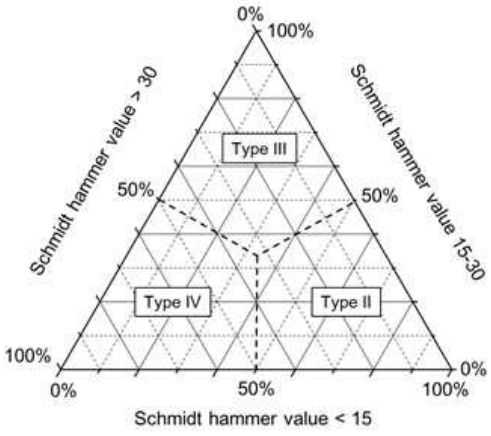
※ 각 변의 %는 굴진면에서 측정한 슈미트해머 값의 분포 비율을 의미

(6) 식 2를 이용하여 6개 굴진면에서 측정한 슈미트해머 값의 평균에 따른 점하중지수(Is(50)) 산정

(7) 분해암에서의 슈미트해머 값의 분포비율에 따른 지질상태 및 강도 분류

표 14. 분해암에서의 암판정 도표

유형	지질상태	설명
Ⅰ		- 잔류토의 형태 - 원암의 조직과 구조가 거의 파괴되어 육안상 관찰이 어려움. - 자립성이 거의 없으며, 손에 의해 쉽게 부서짐. - 슈미트해머 값이 측정되지 않음.
Ⅱ		- 육안상 거의 토사화 되어 있음. - 부분적으로 원암의 조직과 구조가 관찰됨. - 암석은 손에 의해 쉽게 분리됨. - 슈미트해머 값 < 15: 50% 이상 - R_{max} / R_{min} < 2.0
Ⅲ		- 육안상 심한풍화 상태 - 약한 강도를 가지는 암석이 형태를 유지하고 있음. - 원암의 조직과 구조가 뚜렷히 관찰됨. - 암석 표면은 토사로 얇게 피복되어 있음. - 연성변형에 의해 부분적으로 전단변형 받았음. - 해머 타격시 암편 내지 암석으로 쉽게 부서짐. - 슈미트해머 값 15 ~ 30: 50% 이상 - R_{max} / R_{min} < 2.0
Ⅳ		- 육안상 풍화가 상당히 진행된 상태 - 암석 표면은 갈색으로 산화되어 변색 및 변질되어 있음. - 원암의 조직과 구조가 뚜렷히 관찰됨. - 연성변형에 의해 부분적으로 전단변형 받았음. - 몇몇 암반의 경우 부분적으로 신선한 상태의 암석이 존재함. - 슈미트해머 값 > 30: 50% 이상 - R_{max} / R_{min} < 2.0
Ⅴ		- 차별풍화로 인해 암석과 토사가 함께 존재함. - 불연속면을 따라 두꺼운 토사대가 존재함. - 슈미트해머 값의 범위가 넓음. - R_{max} / R_{min} > 2.0



1) 굴진면을 6개 구역으로 나누어 각 구역에서 슈미트해머 시험 수행하여 평균값 각각 산정
2) 슈미트해머 평균값 > 10이상 중 최댓값(R_{max})과 최솟값(R_{min}) 산정
3) R_{max} / R_{min} > 2.0 → 유형 Ⅴ
4) 슈미트해머 값 "측정되지 않음" 100% → 유형 Ⅰ
5) 좌측의 삼각도표를 이용해 유형 Ⅱ~Ⅳ 분류
※ 각 변의 %는 굴진면에서 측정한 슈미트해머 값의 분포 비율을 의미
6) 슈미트해머 평균값을 이용해 점하중지수(Is_{50}) 산정
7) $Is_{50} = 0.002\ (R)^2 + 0.01\ (R) + 0.17$

6.4 단층핵

6.4.1 단층핵의 특징

(1) 단층핵은 단층비지 및 각력암, 파쇄암으로 구성

(2) 단층점토는 절리면의 연마작용에 의해서 대부분 세립화된 점토 물질로 이루어져 있음.

(3) 점토와 함께 각력 및 암편 등이 포함되어 있는 경우도 있음.

(4) 단층 운동 시 미끌림 작용, 마찰작용에 의해 단층활면 및 단층 조선의 지질구조 발달

(5) 모암의 잔류 흔적이 남지 않을 정도의 변형을 받은 경우에는 약한 엽리, 선구조, 광물의 배열 등이 보이기도 함.



그림 40. 야외에서 다양한 형태로 산출되는 단층핵 사진

6.4.2 암판정 기술개발 내용

1) 단층핵 인공시료의 일축압축강도 시험

(1) 각력, 모래 및 점토로 구성된 단층핵 물질을 재성형한 인공시료를 대상으로 각력의 함량에 따른 일축압축강도 시험 수행(그림 41)

(2) 각력과 모래, 점토의 함량을 20 wt% 단위로 구분하여 재료의 배합비에 따라 총 11 종류의 공시체를 제작(표 15)

(3) 각 종류별로 6개의 공시체를 제작한 후 건조시간을 각각 달리하여 함수비에 따른 일축압축강도 분석

(4) 건조는 고온으로 인한 점토광물의 변질을 최소화하기 위해 약 40℃에서 0, 12, 24, 36, 48, 72시간으로 각각 구분하여 수행

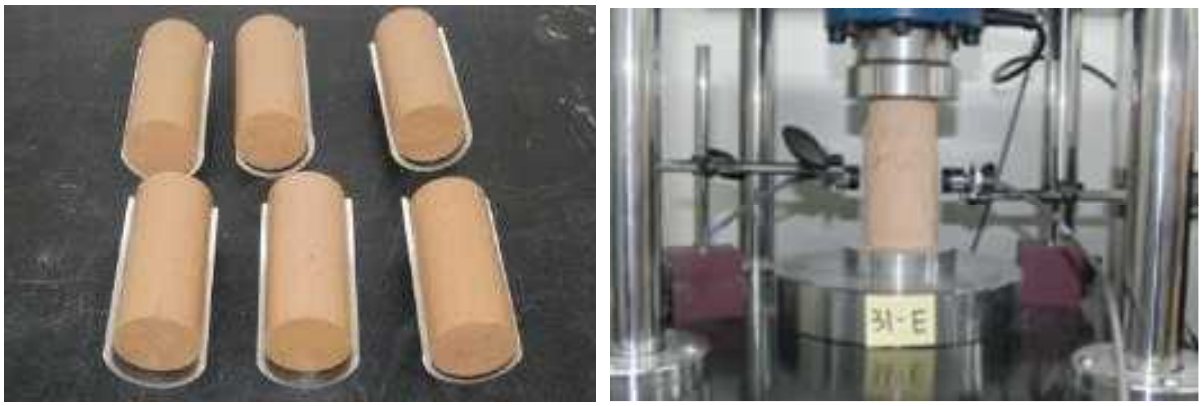


그림 41. 인공시료의 성형 및 일축압축시험 사진

표 15. 각 인공시료별 각력, 모래 및 점토의 배합비

시료번호	각력	모래	점토
S-1	0	0	100
S-2	20	0	80
S-3	0	20	80
S-4	40	0	60
S-5	20	20	60
S-6	0	40	60
S-7	40	20	40
S-8	20	40	40
S-9	0	60	40
S-10	40	40	20
S-11	20	60	20

2) 함수비와 일축압축강도의 상관관계 분석(그림 42)

(1) 함수비가 증가함에 따라 일축압축강도는 낮아짐.

(2) 동일한 함수비에서 비교하였을 때, 각력의 함량이 많을수록 일축압축강도는 낮아짐.

(3) 그림 42로부터 상관관계식 도출 (식3; 식4; 식5)

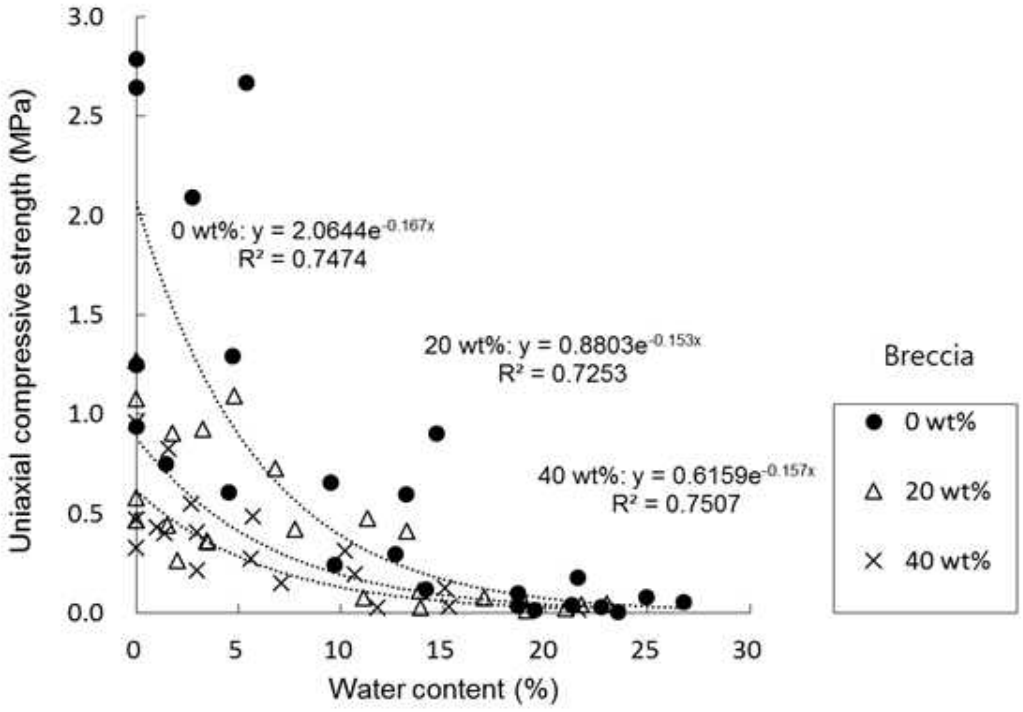


그림 42. 각력 함량에 다른 함수비와 일축압축강도의 관계

- 자갈이 0 wt%인 경우, $UCS=2.1e^{-0.167w}$ (식 3)
- 자갈이 20 wt%인 경우, $UCS=0.9e^{-0.153w}$ (식 4)
- 자갈이 40 wt%인 경우, $UCS=0.6e^{-0.157w}$ (식 5)

여기서, UCS : 일축압축강도 (MPa),

w : 함수비 (%)

3) 일축압축강도와 50% 할선변형계수의 상관관계 분석(그림 43)

(1) 응력-변형률 곡선으로부터 50% 할선변형계수 산정

(2) 일축압축강도와 50% 할선변형계수의 관계는 비례관계를 보이며, 각력의 함량에 따라 비례식은 달라짐.

(3) 그림 43으로부터 상관관계식 도출 (식6; 식7; 식8)

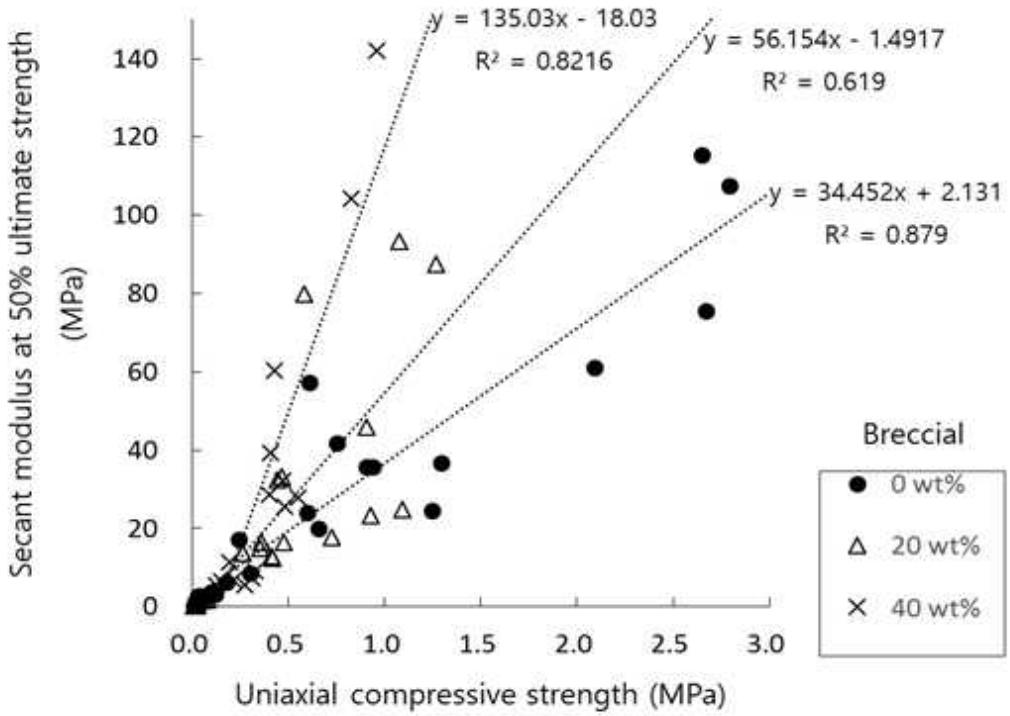


그림 43. 각력 함량에 따른 함수비와 일축압축강도의 관계

- 자갈이 0 wt%인 경우, E_{50}=34·UCS+2.1 (식 6)
- 자갈이 20 wt%인 경우, E_{50}=56·UCS - 1.5 (식 7)
- 자갈이 40 wt%인 경우, E_{50}=135·UCS - 18 (식 8)

여기서, UCS : 일축압축강도 (MPa),

E_{50} : 50% 할선변형계수 (MPa)

4) 단층핵 인공시료의 관입저항 시험(그림 44)

(1) 현장에서 휴대용 관입시험 기기를 이용해 일축압축강도를 간편하게 측정하기 위해 콘크리트 몰탈 관입시험기 (JI-3501)를 이용한 관입저항 시험 수행

(2) 일축압축강도 시험에 이용된 인공시료와 동일한 배합비 및 함수비를 갖는 인공시료 제작

① 각 종류별(11개 종류)로 5개의 인공시료 제작

② 인공시료별로 총 5회 이상 시험을 수행한 후 평균값 산정

(3) 일축압축강도 시험 결과에 따른 관입저항치 산정



그림 44. 휴대용 관입시험기기 및 실내 관입저항 시험 사진

5) 관입저항치와 일축압축강도의 상관관계 분석(그림 45)

(1) 함수비 5% 이하의 공시체 제외

(2) 각력의 함량에 따라 관입저항치와 일축압축강도의 비례관계 달라짐.

(3) 동일한 관입저항치에서 각력함량 낮을수록 일축압축강도 높아짐.

(4) 그림 45로부터 상관관계식 도출 (식9; 식10; 식11)

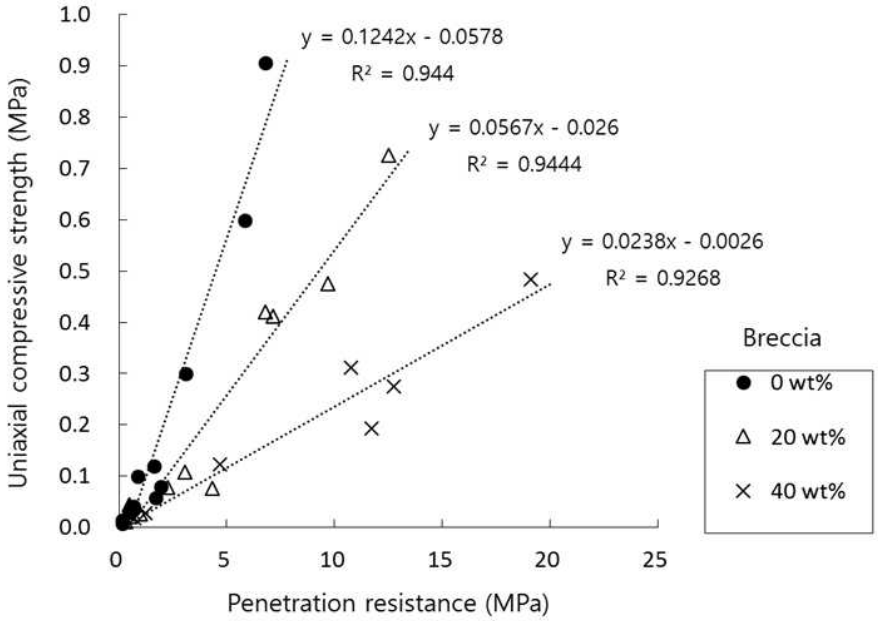


그림 45. 각력 함량에 다른 관입저항치와 일축압축강도의 관계

- 자갈이 0 wt%인 경우, UCS=0.12·PR-0.06 (식 9)
- 자갈이 20 wt%인 경우, UCS=0.06·PR-0.03 (식 10)
- 자갈이 40 wt%인 경우, UCS=0.02·PR (식 11)

여기서, UCS : 일축압축강도 (MPa),
PR : 관입저항치 (MPa)

6.4.3 조사 및 평가방법

1) 단층핵의 각력의 함량 분석

(1) 각력의 함량은 육안조사, 체분석 및 CT 등을 활용하여 분석할 수 있음.

2) 함수비 또는 휴대용 관입시험기를 이용한 일축압축강도 평가

(1) 함수비를 이용하는 경우

① 현장에서의 시료 채취를 통한 실내시험을 수행하거나 휴대용 함수비 측정기기를 이용하여 함수비 측정

② 각력의 함량 분석 결과를 바탕으로 10% 이하일 때 식(3) 이용

③ 각력의 함량 10~30% 일 때 식(4) 이용

④ 각력의 함량 30% 이상일 때 식(5) 이용

(2) 휴대용 관입시험기기를 이용하는 경우

① 현장에서 휴대용 관입시험기기를 통해 관입저항치를 측정(그림 44a)

② 각력의 함량 분석 결과를 바탕으로 10% 이하일 때 식(9) 이용

③ 각력의 함량 10~30% 일 때 식(10) 이용

④ 각력의 함량 30% 이상일 때 식(11) 이용

⑤ 육안조사에 의한 개략적인 각력 함량과 휴대용 관입시험기기를 이용하면 현장에서 즉각적인 평가 가능

※ 휴대용 관입시험 기기는 psi 단위로 측정되므로 강도 환산 시 주의해야 함.

3) 50% 할선변형계수 산정

(1) 각력 함량에 따른 함수비, 관입저항치 및 일축압축강도를 이용한 50% 할선변형계수 산정 (그림 46)

① 각력의 함량 분석 결과를 바탕으로 10% 이하일 때 식(6) 이용

② 각력의 함량 10~30% 일 때 식(7) 이용

③ 각력의 함량 30% 이상일 때 식(8) 이용

(2) 그림 46의 도표를 이용하여 각력함량에 따른 함수비와 일축압축강도, 50% 탄성계수의 관계를 개략적으로 추정할 수 있음.

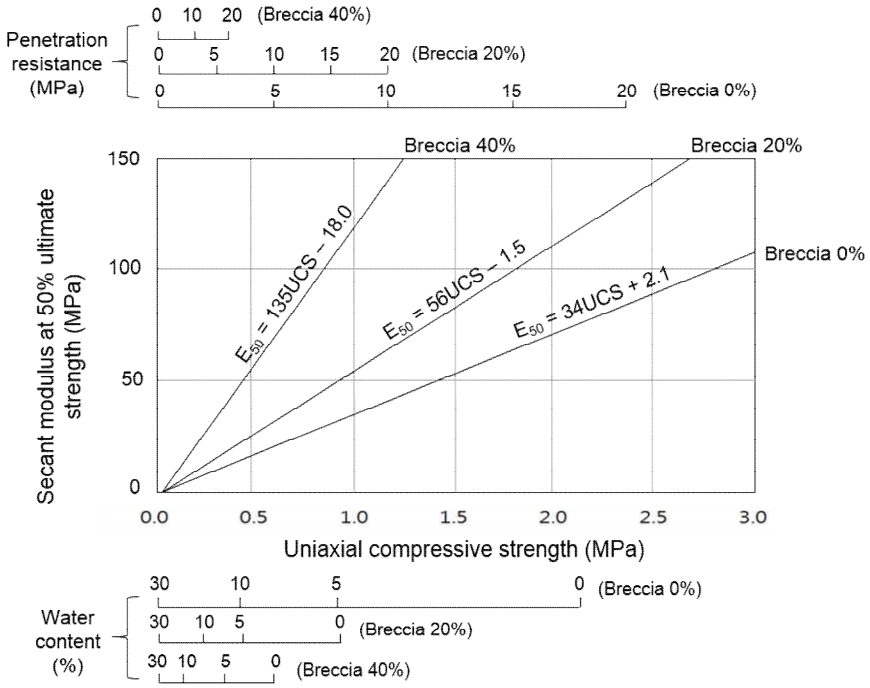


그림 46. 단층핵에서의 각력함량에 따른 함수비, 관입저항치, 일축압축강도 및 50% 할선변형계수의 관계

제7장 통합운영시스템에서의 암판정

7.1 위험지반 암판정 기준의 활용

(1) 위험지반에 대한 세부 암판정 기준은 암판정 위원에게 온라인 암판정 요청 시 통합운영시스템 내에서 활용할 수 있다.

(2) 암판정 위원이 RMR 평가 후 지반상태에 따라 선택사항으로 적용할 수 있다.

(3) 우측 “+” 클릭하여 위험지반 종류를 결정한 후 평가할 수 있다(그림 47).

(4) RMR 30 이하, Q-value 0.1 이하의 암반에서 심한 파쇄 및 풍화로 인해 암편 및 암석으로 암반이 분리(disintegrated)되어 있거나, 분해된(decomposed) 암반 또는 단층핵으로 구성된 지반에서 필요시 선택하여 사용 가능하다.



그림 47. 통합운영시스템에서의 위험지반 세부 암판정 기준 적용

7.2 활용방법

7.2.1 분리암

(1) 굴진면에서 측정한 암반의 RQD 값을 입력한다.

(2) 굴진면 내 불연속면 조사 결과를 바탕으로 절리군 수를 조사하고, 그에 따른 Jn 값을 입력한다.

(3) RQD와 Jn을 입력하면 점하중강도(Is(50))가 자동 계산된다.

(4) 결과값에 따라 분리암에서의 유형이 결정되고, 그에 따른 지질상태를 확인함으로써 위험지반을 분류할 수 있다.

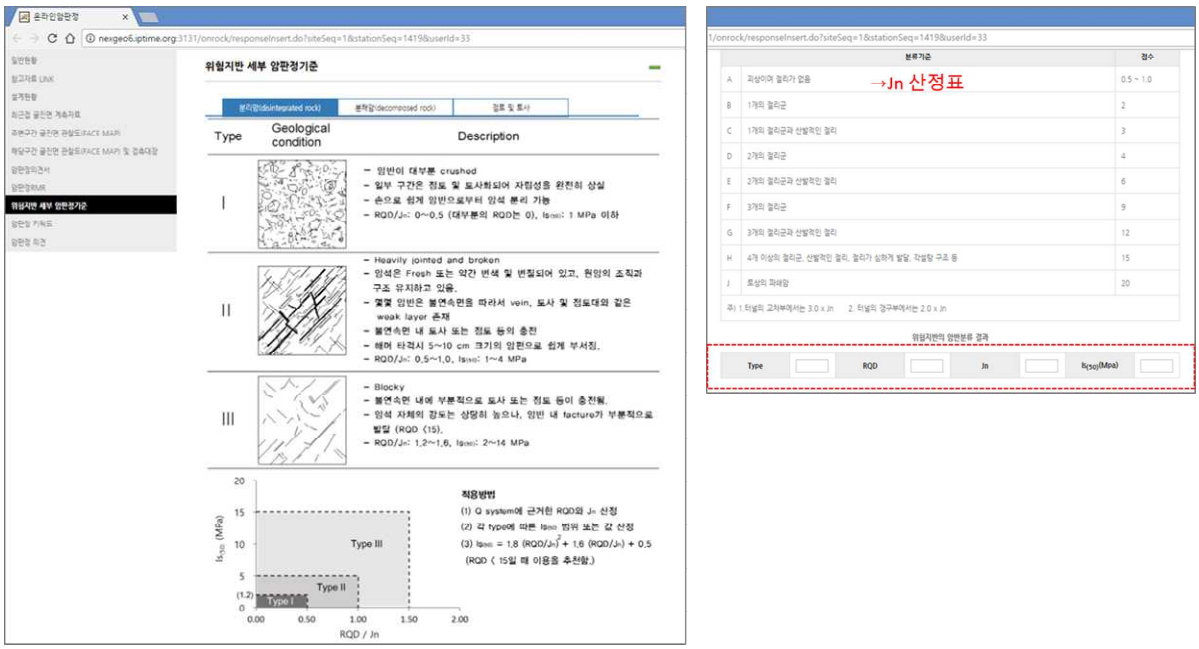


그림 48. 통합운영시스템 내 분리암에서의 세부 암판정 기준

7.2.2 분해암

(1) 터널 굴진면 6개 구역에서 측정한 슈미트해머 값을 각각 입력한다.

(2) 각 구역의 슈미트해머값 평균이 자동으로 계산된다.

(3) 측정된 슈미트해머값 중 최댓값 및 최솟값이 자동으로 계산된다.

(4) 점하중강도(Is(50))가 자동 계산된다.

(5) 결과값에 따라 분해암에서의 유형이 결정되고, 그에 따른 지질상태를 확인함으로써 위험지반을 분류할 수 있다.

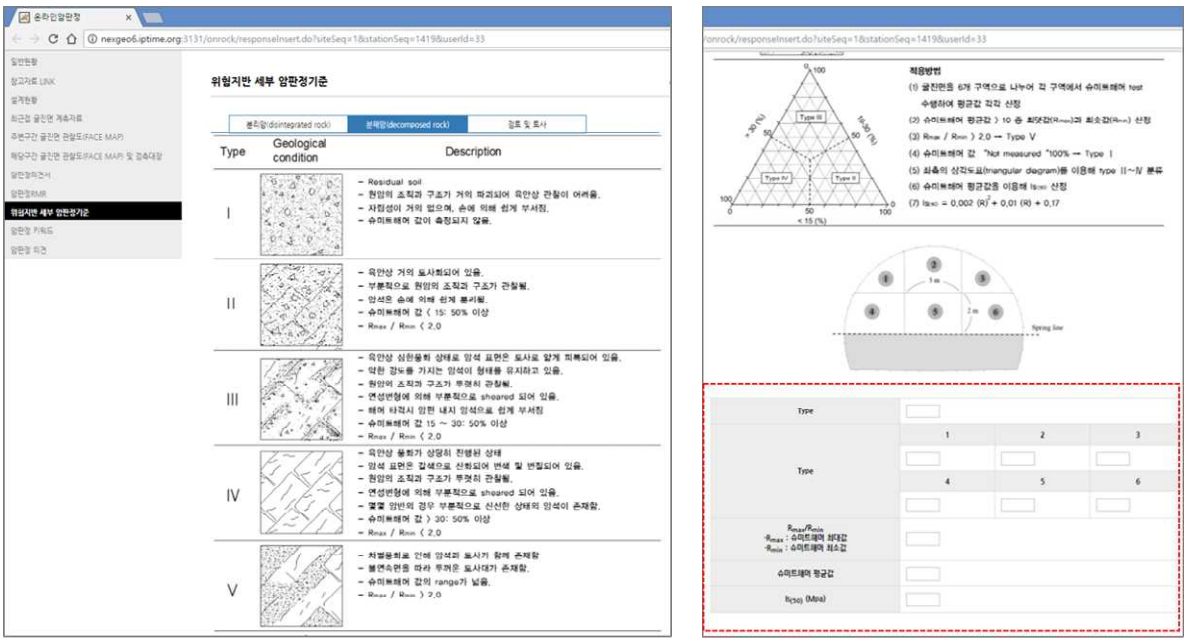


그림 49. 통합운영시스템 내 분해암에서의 세부 암판정 기준

7.2.3 단층핵

(1) 터널 굴진면의 지반상태를 파악하여 각력 함량을 조사하고, 결과값을 입력한다.

(2) 함수비 또는 관입저항치 중 하나를 선택하여 결과값을 입력한다.

(3) 각력함량과 함수비(또는 관입저항치)를 입력하면 일축압축강도와 그에 따른 탄성계수가 자동으로 계산된다.

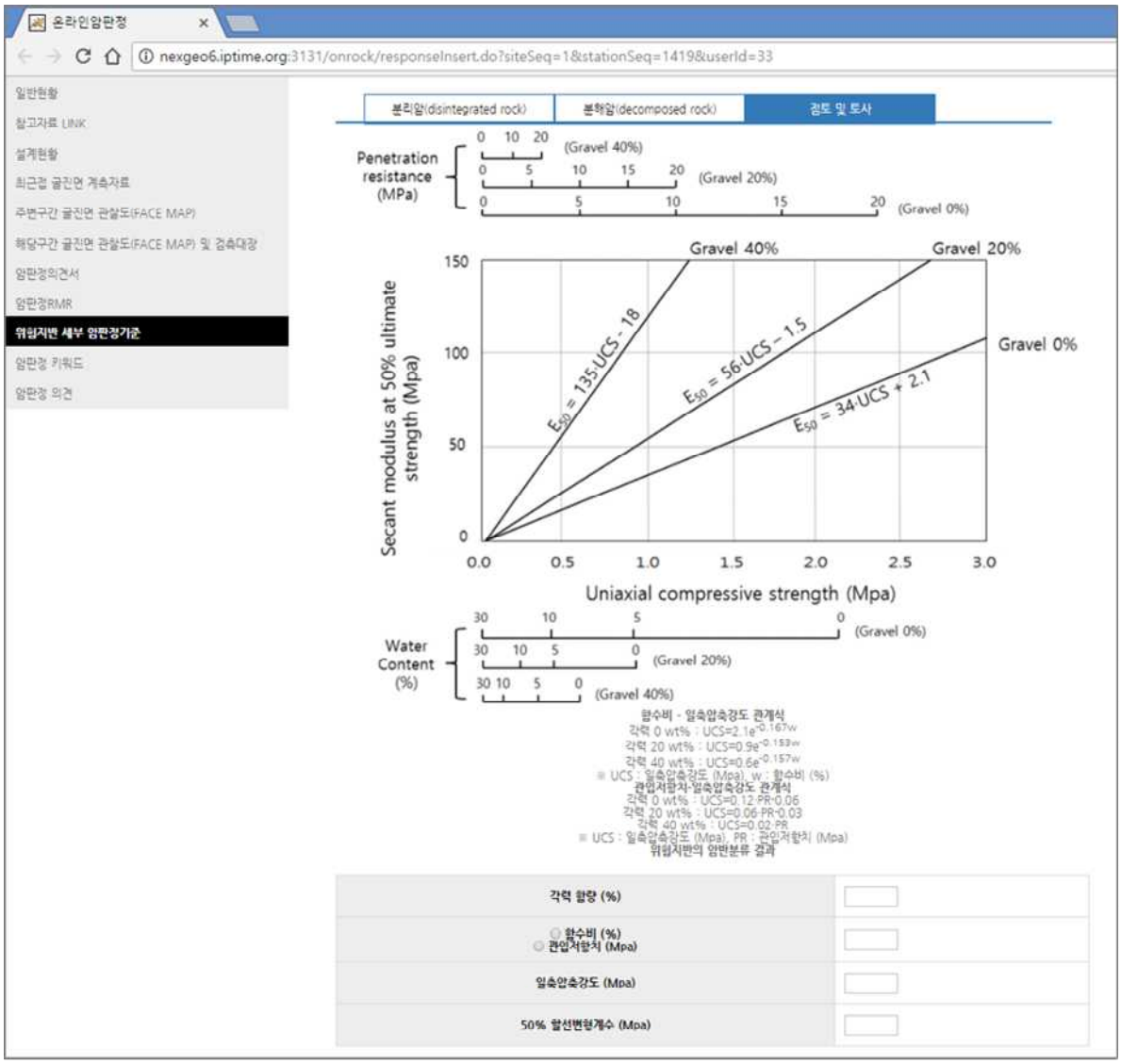


그림 50. 통합운영시스템 내 단층핵에서의 세부 암판정 기준

참고문헌

1. 이병주, 선우춘, 2010, 토목기술자를 위한 한국의 암석과 지질구조, 씨아이알.
2. Bieniawski, Z. T., 1984, Rock mechanics design in mining and tunneling, A. A. Balkema, Rotterdam, 272p.
3. Dearman, W. R., 1986, State of weathering: the search for a rational approach, In: HAWKINS, A. B. (Eds.), Site investigation practice: assessing BS5930, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication, 2, 132-142.
4. DIN EN ISO 14689-1, 2003, Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of rock - Part 1: Identification and description.
5. Dobereiner, L., and de Freitas, M. H., 1986, Geotechnical properties of weak sand stones, Geotechnique, 36(1), 79-84.
6. Galván, 1999, Simulation of the geotechnical properties of arenaceous soft rocks by means of artificial materials, PhD Thesis, Universidade de São Paulo (in Portuguese).
7. Goel, R. K., Jethwa, J. L., and Paithankar, A. G., 1995, Indian experience with Q and RMR systems, Tunnelling and Underground Space Technology, 10(1), 97-109.
8. Gokceoglu, C. and Aksoy, H., 2000, New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses, Engineering Geology, 58, 1-23.
9. ISRM, 1981, Suggested Method for Rock Characterization, Testing and Monitoring, Int. J.Rock Mech. Min. Sci. & Geo-Mech. Abstr., 18(6), 109-109.
10. ISRM, 1985, Suggested methods for determining point-load strength, Rock Mechanics and Mining Sciences, 22, 53-60.
11. Little, A. L., 1969, Engineering classification of residual tropical soils, Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Mexico, 1, 1-10.
12. Nickmann, M., Thuro, K., and Spaun, G., 2006, Engineering geological classification of weak rocks, The Geological Society of London, IAEG, 492p.
13. Santi, P. M. and Doyle, B. C., 1997, The locations and
14. engineering characteristics of weak rock in the U.S., Characterization of Weak and

Weathered Rock Masses, Association of Engineering Geologists, Denver, CO, 1-22.

15. Singh, R. N. and Gahrooee, D. R., 1989, Application of rock mass weakening coefficient for stability assessment of slopes in heavily jointed rock masses, International Journal of Surface Mining Reclamation and Environment, 3, 207-219.

16. Stille, H. and Palmström, A., 2008, Ground behaviour and rock mass composition in underground excavations, Tunnelling and Underground Space Technology, 23, 46-64.

17. Takebayashi, T., Takizawa, F., Ueno, S., Okumura, K., and Mikami, M., 2006, An engineering-geological study on difficult geotechnical conditions for tunnel excavation, Proceedings of tunnel engineering, JSCE, 16, 119-126.

위험지반 최적지보산정 매뉴얼

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport

KAIA 국토교통 과학기술진흥원

KICT 한국건설기술연구원

목 차

제1장 개 요 ---- **G-1**

1.1 목적 ---- **G-1**

1.2 적용범위 ---- **G-1**

1.3 매뉴얼의 구성 ---- **G-2**

제2장 이론적 배경 ---- **G-3**

2.1 관리도의 개념 ---- **G-3**

2.2 x-MR 관리도 ---- **G-4**

2.2.1 정의 ---- G-4

2.2.2 관리 기준선 설정방법 ---- G-4

제3장 보강범위의 산정방법 ---- **G-9**

3.1 이상변위 구간의 결정 ---- **G-9**

3.2 보강범위의 설정 ---- **G-10**

3.2.1 종방향(터널 굴진방향)의 보강범위(보강길이) 설정 ---- G-10

3.2.2 횡방향의 보강범위(보강폭) 설정 ---- G-13

제4장 위험지반에서의 최적지보 산정 ---- G-15

4.1 개요 ---- G-15

4.2 3차원 유한요소해석 ---- G-15

4.2.1 해석 모델링 및 조건 ---- G-15

4.2.2 단층의 자세(attitude) 모델 ---- G-16

4.2.3 지반정수 ---- G-18

4.2.4 x-MR 관리도 분석 ---- G-18

제5장 통합운영시스템에서의 최적지보산정표 활용방법 ---- G-19

5.1 최적지보산정표의 적용 ---- G-19

5.2 활용방법 ---- G-19

제6장 통합운영시스템에서의 붕괴사례 DB 활용방법 ---- G-25

6.1 붕괴사례 DB 구축 ---- G-25

6.2 붕괴사례 DB 항목 ---- G-25

6.3 활용방법 ---- G-26

참고문헌 ---- G-29

제1장 개요

1.1 목적

(1) 본 매뉴얼은 터널 공사 현장에서 「온라인 암판정 통합운영시스템」의 적용을 지원하기 위해 개발된 것이다.

(2) 본 매뉴얼은 위험지반에서 보강을 위한 설계 시 지질맵핑을 통해 확인된 위험지반의 기하와 위해요소별 지질공학적 특성을 반영하여 보강범위를 산정하고자 할 때 적용한다.

(3) 본 매뉴얼의 붕괴사례 DB는 유사한 지질 및 지반조건에서 공학적 특성 및 보강공법 등을 참고하기 위한 자료로 활용한다.

1.2 적용범위

(1) 본 매뉴얼은 위험지반이 분포하는 터널에서 표준지보패턴을 적용하기 곤란할 경우 보강범위를 정량적으로 산정하고자 할 때 적용한다.

(2) 시공 전 계획 및 설계 단계 또는 시공 중에 위험지반으로 인해 터널의 안정성을 유지하기 어려운 경우 현장조사 및 굴진면에서의 지질맵핑을 통해 확인된 위험지반의 기하를 반영하여 최적의 보강범위를 산정하고자 할 때 적용할 수 있다.

(3) 수치해석 시 위험지반의 구성성분, 지질 구조 및 특성 등에 따라 위험지반을 세부적으로 분류할 수 있는 경우 각각 분류하고, 그에 따른 역학적 특성을 적용하도록 한다.

(4) 본 매뉴얼을 적용하여 보강범위를 산정하기 위해서는 기본적으로 굴착단계별로 축적되는 터널 천단부와 측벽부에서의 변위를 이용해야 하며, 보다 상세한 분석 및 보강범위를 산정하는 경우 터널 어깨부 변위를 추가적으로 이용할 수 있다.

(5) 본 매뉴얼에 적용된 x–MR 관리도는 응용통계학적인 방법으로서 굴착에 따라 축적되는 변위의 평균과 표준편차를 이용하는 것이기 때문에, 분석 시 굴진면으로부터 동일한 거리(또는 시간)에서 획득한 변위를 이용하여야 한다.

1.3 매뉴얼의 구성

(1) 본 매뉴얼은 개요, 이론적 배경, 보강범위의 산정방법, 위험지반에서의 최적지보산정, 통합운영시스템에서의 최적지보산정표 활용방법, 통합운영시스템에서의 붕괴사례 DB 활용방법의 순서로 작성되었다.

(2) 제1장『개요』는 본 매뉴얼의 목적과 적용범위, 매뉴얼에서 기술하고 있는 내용에 대하여 간단히 정리를 한 매뉴얼 구성으로 이루어져 있다.

(3) 제2장『이론적 배경』은 최적지보산정을 위해 본 매뉴얼에서 적용한 x–MR 관리도의 개념과 관리기준선을 설정하는 이론적인 계산 방법을 소개한다.

(4) 제3장『보강범위의 산정방법』은 x–MR 관리도 작성을 통해 이상변위 구간을 설정하고, 터널에서의 종·횡방향의 보강범위를 산정하는 실제적인 방법에 대해 설명한다.

(5) 제4장『위험지반에서의 최적지보산정』은 “온라인 암판정 통합운영시스템”에 구축되어 있는 최적지보 산정표 작성을 위해 실시한 3차원 유한요소해석 개요와 해석 방법, 단층 모델 등을 설명한다.

(6) 제5장『통합운영시스템에서의 최적지보산정표 활용방법』은 “온라인 암판정 통합운영시스템”에 구축되어 있는 최적지보 산정표를 소개한다.

(7) 제6장『통합운영시스템에서의 붕괴사례 DB 활용방법』은 통합운영시스템 내 구축된 국내 터널 붕괴사례의 DB를 검색할 수 있는 방법에 대해 설명한다.

제2장 이론적 배경

2.1 관리도의 개념

(1) 관리도는 통계적 품질관리 기법 중 하나로 모든 데이터가 정규분포를 이룬다는 가정 하에 공정 중 발생되는 데이터의 이상(abnormal) 징후를 판별하기 위한 방법이다(Shewhart, 1924).

(2) 정규분포를 이루는 데이터의 평균을 μ , 표준편차를 σ 라 한다면, 분포 함수는 평균 μ 를 중심으로 좌우 대칭을 이루며, 산포의 정도는 σ 에 의해 결정된다.

(3) 여기서, μ 와 σ 에 대해 확률론적인 방법을 이용하여 공정의 안정 상태를 평가하는 것이 관리도의 기본 개념이다.

① 중심선을 기준으로 $\pm 3\sigma$ 의 관리 상한선(UCL, upper control limit)과 관리 하한선(LCL, lower control limit)을 설정하여 공정 중 획득한 데이터를 점으로 찍어 나가면서 관리 기준선을 이탈하는 점이 발생하면 이상 상태로 판단(그림 1)

② 관리 기준선은 이러한 이상 상태를 용이하게 파악하기 위해 설정한 기준선으로 공정 중 획득되는 데이터가 $\mu - 3\sigma \leqq x \leqq \mu + 3\sigma$ 범위 내에 분포할 확률은 약 99.7%임.

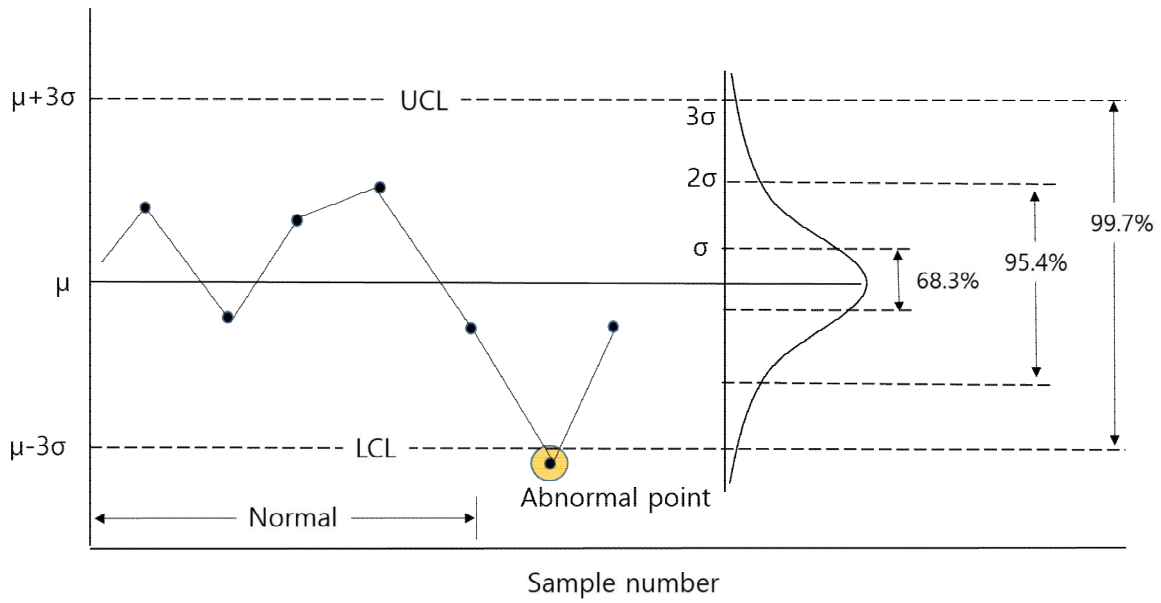


그림 1. 관리도의 기본 개념도

2.2 x-MR 관리도

2.2.1 정의

(1) x-MR 관리도는 x 관리도와 MR (moving range) 관리도를 병행하여 사용하는 것이다.

(2) x-MR 관리도는 공정의 평균과 산포를 동시에 관리하기 위한 목적으로 이용된다.

(3) x 관리도

① 개개의 측정값(x)을 이용하여 공정을 관리하는 것으로 1회에 1개의 측정값 밖에 얻을 수 없을 때 사용하는 방법

② 측정값을 얻는데 시간이나 경비가 많이 들어 정해진 공정으로부터 현실적으로 1개의 측정값 밖에 얻을 수 없을 때 사용하는 방법

(4) MR 관리도

- 이동 범위 관리도로서 공정의 산포 σ 를 관리할 때 이용되는 방법

(5) 터널의 경우 1회 계측마다 1개의 측정값을 얻으므로 이상 변위 분석을 위해 x-MR 관리도를 이용하는 것이 타당하다.

(6) 본 매뉴얼에서는 터널 시공 중 획득한 계측 변위가 측정값(x)이 된다.

2.2.2 관리 기준선 설정방법

1) $\overline{x}$ 계산

(1) 시공 중 획득된 n개 계측 변위(x)의 추정 평균 $\hat{\mu}$를 계산한다(식 1).

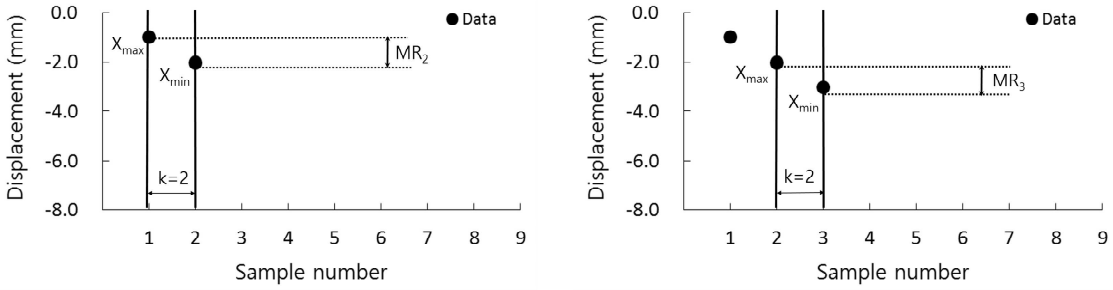
$$\hat{\mu} = \overline{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i / n \qquad (1)$$

2) MR 계산

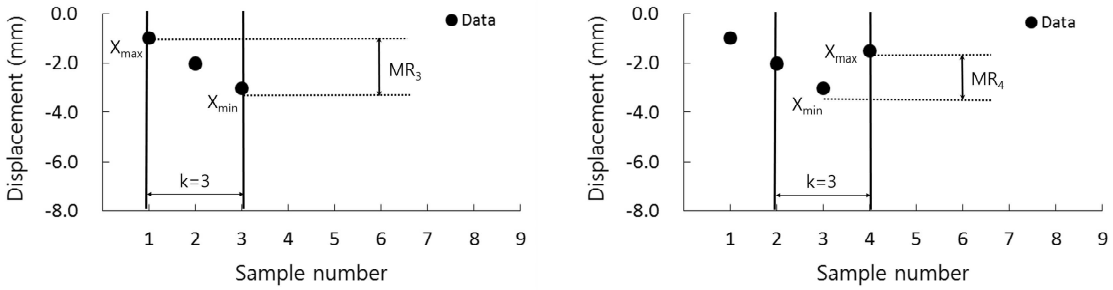
(2) 그림 2와 같이 계측 변위(x)에 대한 이동 범위(k)를 결정하여 범위 내의 최대 변위값과 최소 변위값의 차이를 계산한다(식 2).

(3) MR의 값은 k에 따라 달라진다(본 매뉴얼에서 k=2를 적용).

$$MR_i = x_{\max} - x_{\min} \quad (i = k, k+1, k+2, \cdots, n) \qquad (2)$$



(a) k=2



(b) k=3

그림 2. 관리도에서 MR 값의 계산 방법(Yun et al., 2014)

3) $\overline{MR}$ 계산

(1) MR의 평균을 계산한다.

(2) 여기서 MR의 수는 n–k+1이 된다(식 3).

$$\overline{MR} = \sum_{i=k}^{n} MR_i / (n-k+1) \qquad (3)$$

4) 관리 기준선 계산

(1) 계측 변위(x)와 MR 값으로부터 계산된 평균을 이용하여 중심선(CL), 관리 상한선(UCL), 관리 하한선(LCL)을 계산한다.

(2) 여기서, 중심선(CL)은 평균값으로 x 관리도는 $\bar{x}$, MR 관리도는 $\overline{MR}$을 사용한다.

(3) 한편, MR에 대한 평균값 $\overline{MR}$과 MR의 표준편차(σ MR)는 정규분포인 경우에 관리도용 계수인 d2와 d3로 표현될 수 있다(식 4).

① 관리도용 계수는 통계학에서 품질 관리를 위해 정한 상수로서 이동 범위(k)에 따라 값이 달라짐.

② 본 매뉴얼에서 적용한 k=2일 때 관리도용 계수 d2와 d3는 각각 1.128, 0.853임.

※ 여기서, k=2일 때 MR 관리도의 관리 하한선(LCL)은 음(–)의 값이 산출되므로, 항상 양(+)의 값이 산출되는 MR 관리도에서는 고려하지 않는다.

$$\overline{MR} = d_2\hat{\sigma}, \qquad \sigma_{MR} = d_3\hat{\sigma} \tag{4}$$

(4) x 관리도의 관리 기준선

– 식 1과 4를 이용하여 x의 평균(식 5)과 관리 상한선(식 6) 및 관리 하한선(식 7)을 계산

$$CL = \bar{x} \tag{5}$$

$$UCL = \mu + 3\sigma \approx \bar{x} + 3\hat{\sigma} = \bar{x} + 3\left(\frac{\overline{MR}}{d_2}\right) \tag{6}$$

$$LCL = \mu - 3\sigma \approx \bar{x} - 3\hat{\sigma} = \bar{x} - 3\left(\frac{\overline{MR}}{d_2}\right) \tag{7}$$

(5) MR 관리도의 관리 기준선

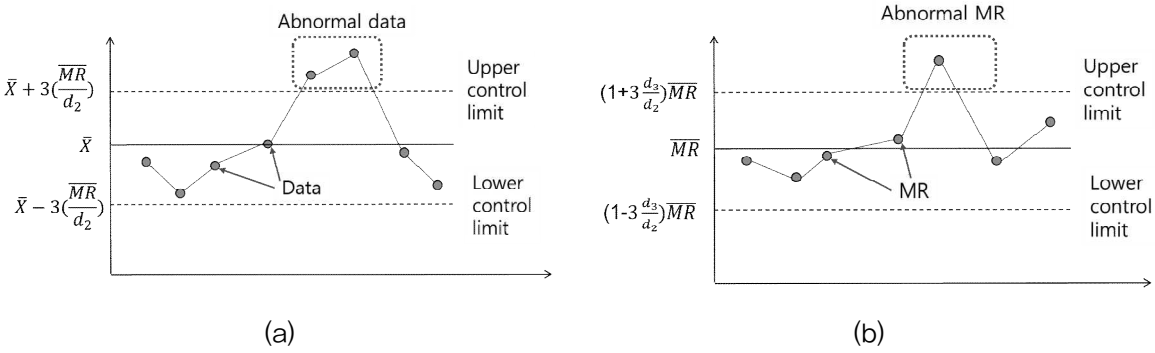
– 식 3과 4를 이용하여 MR의 평균(식 8)과 관리 상한선(식 9) 및 관리 하한선(식 10)을 계산

$$CL = \overline{MR} \tag{8}$$

$$UCL = \mu + 3\sigma \approx \overline{MR} + 3\sigma_{MR} = d_2\hat{\sigma} + 3d_3\hat{\sigma} = (d_2 + 3d_3)\hat{\sigma} = (d_2 + 3d_3)\frac{\overline{MR}}{d_2} = \left(1 + 3\frac{d_3}{d_2}\right)\overline{MR} \tag{9}$$

$$LCL = \mu - 3\sigma \approx \overline{MR} - 3\sigma_{MR} = d_2\hat{\sigma} - 3d_3\hat{\sigma} = (d_2 - 3d_3)\hat{\sigma} = (d_2 - 3d_3)\frac{\overline{MR}}{d_2} = \left(1 - 3\frac{d_3}{d_2}\right)\overline{MR} \tag{10}$$

(6) 계측 수행마다 측정된 변위(x)와 MR 값, 각각의 관리기준선을 타점하여 x 관리도와 MR 관리도를 작성하고, 이 두 관리도에서 동시에 관리기준선을 초과하는 구간을 이상변위 발생 구간으로 설정함으로써 터널의 이상 거동을 판단한다(그림 3).



(a) (b)

그림 3. (a) x 관리도와 (b) MR 관리도의 개념도(Yun et al., 2015b)

제3장 보강범위의 산정방법

3.1 이상변위 구간의 결정

(1) 굴착이 진행됨에 따라 현재까지 측정된 변위(x) 데이터를 이용하여 x의 평균을 계산한다 (식 1).

(2) 굴착이 진행됨에 따라 현재까지 측정된 변위(x) 데이터를 이용하여 MR 값을 계산한다 (식 2).

(3) (2)에서 계산된 MR 값을 이용하여 MR의 평균을 계산한다(식 3).

(4) (1)과 (3)에서 계산된 x의 평균과 MR의 평균을 이용하여 x 관리도에서의 관리 상한선과 관리 하한선을 계산한다(식 5; 식 6).

(5) (3)에서 계산된 MR의 평균을 이용하여 MR 관리도에서의 관리 상한선과 관리 하한선을 계산한다(식 9; 식 10).

(6) 굴착이 진행됨에 따라 현재까지 측정된 변위(x) 데이터를 타점하고, (1)과 (4)에서 계산된 x의 평균과 관리 상한선, 관리 하한선을 그래프로 도시함으로써 x 관리도를 작성한다.

(7) 굴착이 진행됨에 따라 현재까지 계산된 MR 값을 타점하고, (3)과 (5)에서 계산된 MR의 평균과 관리 상한선, 관리 하한선을 그래프로 도시함으로써 MR 관리도를 작성한다.

(8) x 관리도와 MR 관리도에서 관리기준선을 동시에 초과하는 구간을 이상변위 구간으로 결정한다.

※ 예)

① 그림 4a의 x 관리도에서 관리기준선을 초과하는 구간은 STA. 84~100m이다.

② 그림 4a의 MR 관리도에서 관리기준선을 초과하는 구간은 STA. 88~102m이다.

③ 그림 4a의 x 관리도와 MR 관리도에서 관리기준선을 동시에 초과하는 구간은 88~100m이 된다.

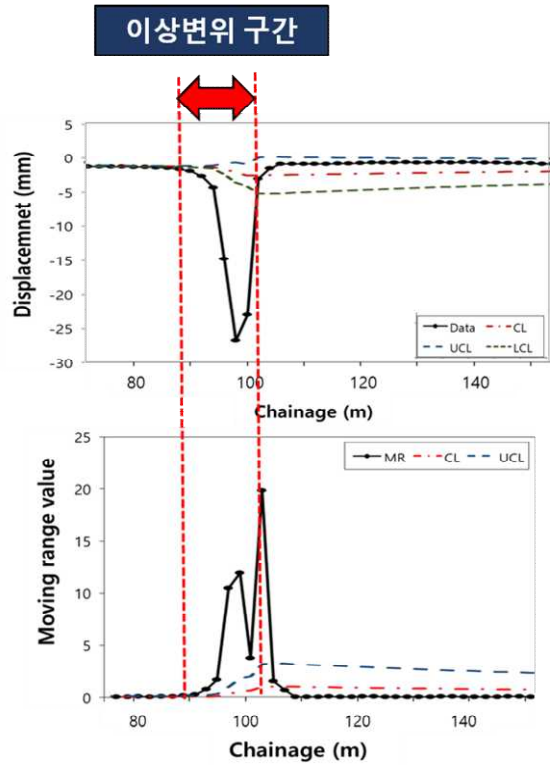
④ 그러나, x 관리도에서 102m 직전까지 관리기준선을 초과하므로 이상변위 구간은 88~102m로 결정한다.

※ 이상변위 구간은 x–MR 관리도를 작성한 후, 관리기준선을 초과하는 구간 내에서 데이터의 변화 양상을 바탕으로 작성자의 판단 하에 결정할 수 있음(그림 4b).

⑤ 그림 4b의 상단의 그래프는 x 관리도이며, 하단의 그래프는 MR 관리도이다.

	x 관리도				MR 관리도		
STA.	x	CL	UCL	LCL	MR	CL	UCL
0.0	-0.7						
2.0	-1.1	-0.9	0.1	-1.8	0.4	0.4	1.2
4.0	-1.2	-1.0	-0.3	-1.6	0.1	0.2	0.8
6.0	-1.3	-1.0	-0.6	-1.5	0.1	0.2	0.6
8.0	-1.3	-1.1	-0.7	-1.5	0.0	0.1	0.5
10.0	-1.3	-1.1	-0.8	-1.5	0.0	0.1	0.4
12.0	-1.4	-1.2	-0.9	-1.5	0.1	0.1	0.4
14.0	-1.4	-1.2	-0.9	-1.4	0.0	0.1	0.3
16.0	-1.4	-1.2	-1.0	-1.4	0.0	0.1	0.3
18.0	-1.4	-1.2	-1.0	-1.4	0.0	0.1	0.3
20.0	-1.4	-1.2	-1.0	-1.4	0.0	0.1	0.2
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
72.0	-1.5	-1.4	-1.3	-1.5	0.0	0.0	0.1
74.0	-1.5	-1.4	-1.3	-1.5	0.0	0.0	0.1
76.0	-1.5	-1.4	-1.3	-1.5	0.0	0.0	0.1
78.0	-1.5	-1.4	-1.3	-1.5	0.0	0.0	0.1
80.0	-1.5	-1.4	-1.3	-1.5	0.0	0.0	0.1
82.0	-1.5	-1.4	-1.3	-1.5	0.0	0.0	0.1
84.0	-1.6	-1.4	-1.3	-1.5	0.1	0.0	0.1
86.0	-1.7	-1.4	-1.3	-1.5	0.1	0.0	0.1
88.0	-1.8	-1.4	-1.3	-1.5	0.2	0.0	0.1
90.0	-2.1	-1.4	-1.3	-1.5	0.3	0.0	0.1
92.0	-2.8	-1.5	-1.3	-1.6	0.7	0.1	0.2
94.0	-4.5	-1.5	-1.3	-1.8	1.6	0.1	0.3
96.0	-14.9	-1.8	-1.0	-2.6	10.4	0.3	1.0
98.0	-26.8	-2.3	-0.9	-3.7	11.9	0.5	1.8
100.0	-23.0	-2.7	-1.1	-4.3	3.7	0.6	2.0
102.0	-3.2	-2.7	-0.1	-5.3	19.8	1.0	3.2
104.0	-1.7	-2.7	-0.1	-5.3	1.5	1.0	3.2
106.0	-1.1	-2.7	-0.1	-5.3	0.6	1.0	3.2
108.0	-1.1	-2.6	-0.1	-5.2	0.0	1.0	3.2
110.0	-1.1	-2.6	-0.1	-5.1	0.0	0.9	3.1
112.0	-1.1	-2.6	-0.1	-5.1	0.0	0.9	3.0
114.0	-1.1	-2.6	-0.1	-5.0	0.0	0.9	3.0
116.0	-1.0	-2.5	-0.1	-4.9	0.0	0.9	2.9
118.0	-1.0	-2.5	-0.2	-4.9	0.0	0.9	2.9
120.0	-0.9	-2.5	-0.2	-4.8	0.1	0.9	2.8
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

(a) x–MR 관리도 작성을 위해 굴착에 따라 계산된 값



(b) x–MR 관리도

그림 4. 실제 예를 통한 x–MR 관리도 작성 및 이상변위 구간의 선정

3.2 보강범위의 설정

3.2.1 종방향(터널 굴진방향)의 보강범위(보강길이) 설정

(1) 종방향의 보강범위는 터널의 5개 지점(천단부, 좌·우측 측벽부, 좌·우측 어깨부)에서 굴착에 따라 측정된 내공변위를 이용한다(그림 5).

※ 어깨부에서 측정된 변위가 없을 경우, 천단부와 좌·우측 측벽부 3개 지점의 내공변위를 이용할 수 있음.

(2) 3.1의 방법을 이용하여 각 지점별로 x–MR 관리도를 작성한다(그림 6).

(3) 각 지점별로 작성된 x–MR 관리도에서 각 지점의 이상변위 발생 구간을 연결하면 이 구간

이 종방향 보강구간, 즉 보강길이가 된다(그림 7).

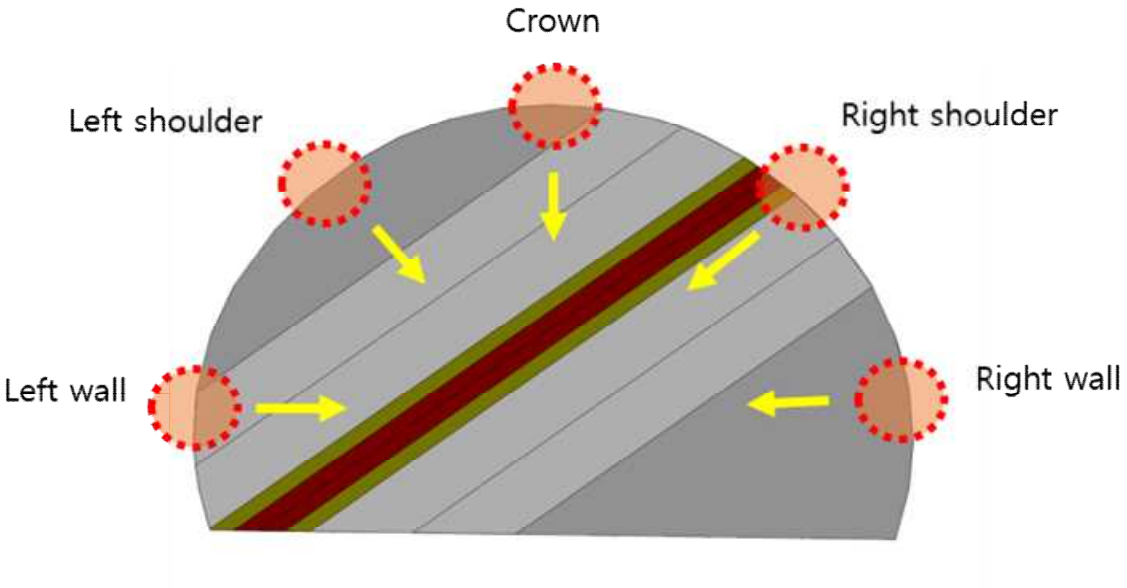


그림 5. 터널 굴진면의 5개 지점에서 발생하는 내공변위

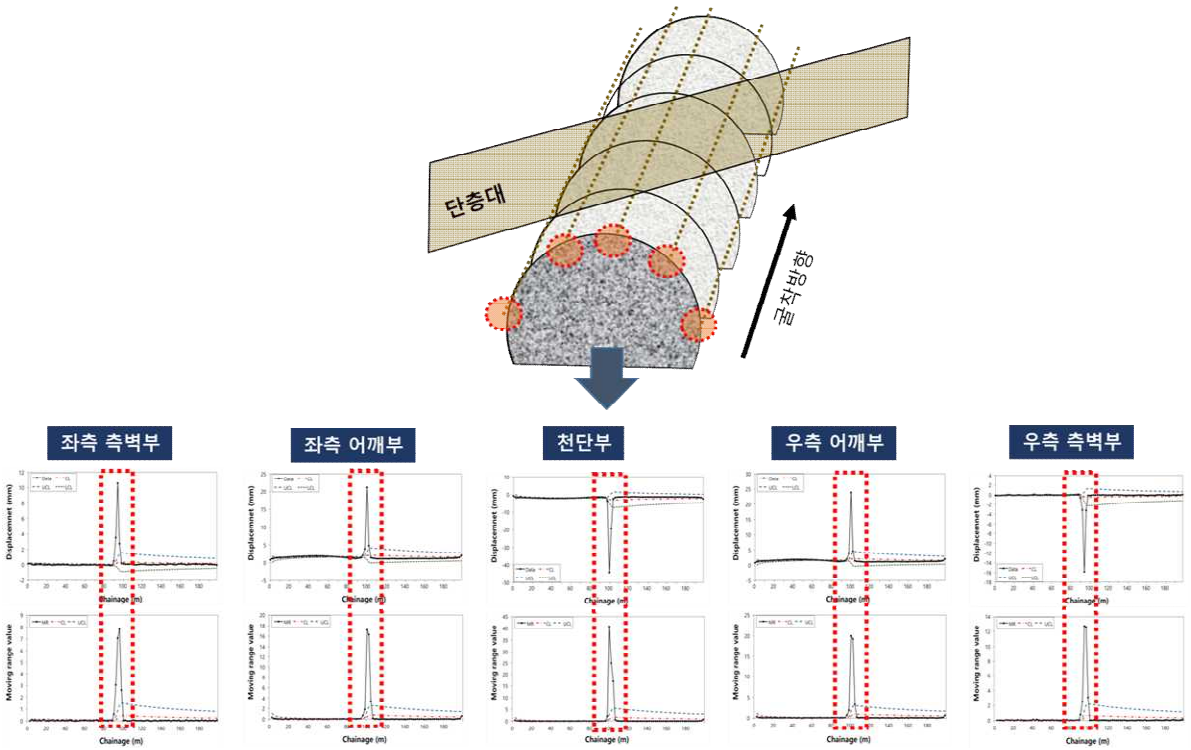


그림 6. 5개 지점에서 작성된 x–MR 관리도

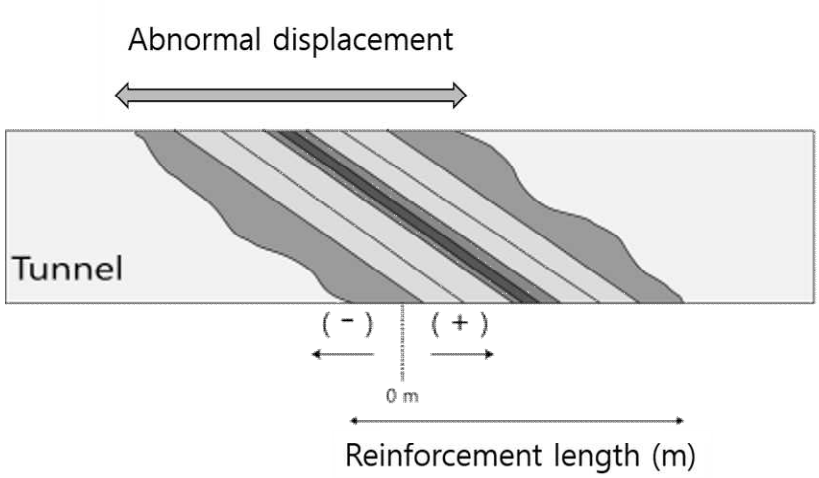


그림 7. 종방향 보강범위를 나타내는 모식도

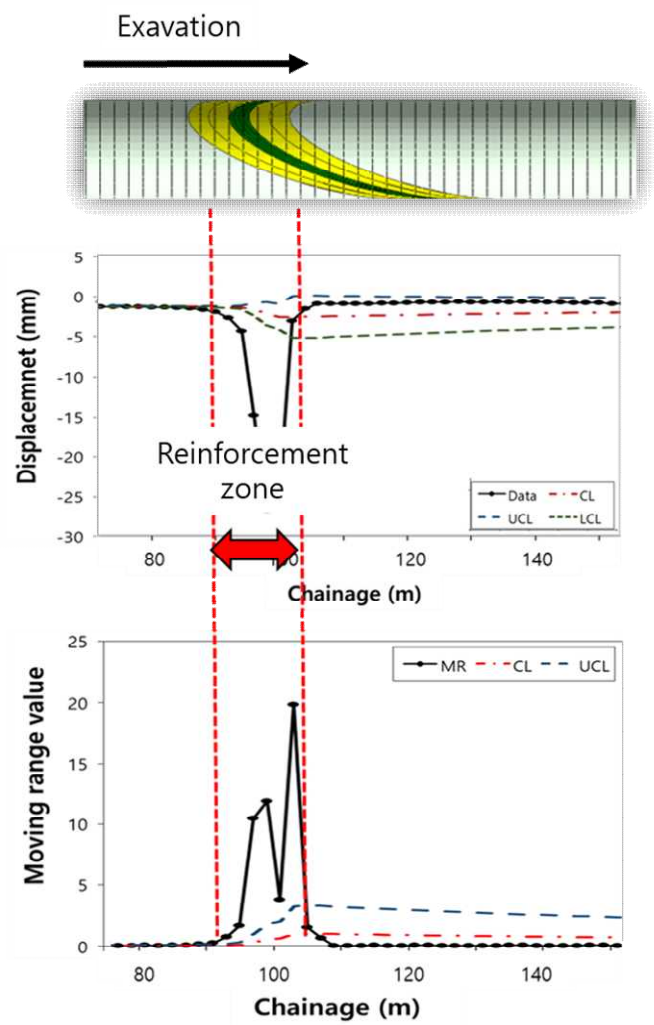


그림 8. x–MR 관리도에서 종방향 보강범위의 설정

3.2.2 횡방향의 보강범위(보강 폭) 설정

(1) 횡방향의 보강범위는 종방향 보강범위 설정 시 각 지점에서 작성한 x–MR 관리도를 바탕으로 설정한다.

(2) 횡방향의 보강범위는 각 지점(천단부, 좌·우측 어깨부, 좌·우측 측벽부)을 기준으로 이상 변위가 발생하지 않는 지점의 중간까지 설정한다(그림 9).

일반적으로 종방향 보강범위를 결정한 후 임의의 구간에서의 횡단면도가 횡방향의 보강범위, 즉 보강폭이 됨.

(3) 보강 길이와 보강 폭이 결정되면 위험지반을 중심으로 보강 구간 및 면적을 산정할 수 있다(그림 10).

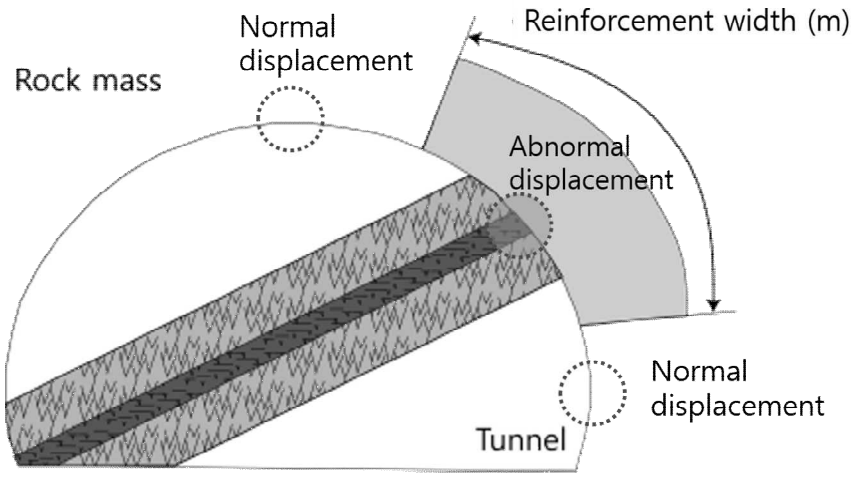


그림 9. 굴진면에서 횡방향의 보강범위를 나타내는 모식도

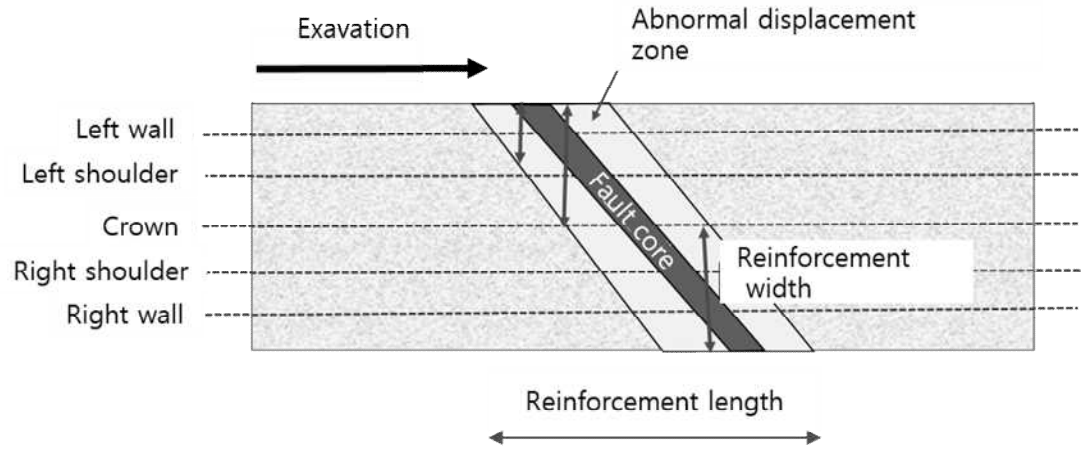


그림 10. 터널 평면도상에서 보강길이와 보강폭을 나타내는 모식도

제4장 위험지반에서의 최적지보 산정

4.1 개요

(1) 통합운영시스템 내에 위험지반이 분포하는 터널에서 최적지보를 산정하는 데 참고자료로 활용할 수 있도록 최적지보 산정표를 구축하였다.

(2) 이 산정표는 단층을 통과하는 터널을 수치 모델링하여 3차원 유한요소해석을 통해 분석한 결과이다.

(3) 3차원 유한요소해석은 총 28개 단층 자세(attitude)를 대상으로 실시하였다.

(4) 3차원 유한요소해석을 통해 터널의 천단 및 좌·우측 어깨부와 좌·우측 측벽부 등 5개 지점에서의 내공변위를 분석하였다.

(3) 해석 결과로부터 획득한 각 지점에서의 변위를 이용하여 x-MR 관리도 분석을 수행하고, 관리 기준선을 초과하는 이상 변위 발생 구간을 보강 범위로 산정하였다.

(4) 최적지보 산정표에는 지반보강이 필요한 구간에서 굴진면 내 출현하는 단층의 위치와 보강 범위가 함께 제시되어 있다.

4.2 3차원 유한요소해석

4.2.1 해석 모델링 및 조건

(1) 3차원 유한요소해석은 MIDAS GTS/NX를 이용

(2) 지반 모델

① 등방성으로 가정하여 연속체로 구성

② 탄소성 해석 수행

③ 탄소성 재료의 특성을 모델화하기 위해 Mohr-Coulomb 파괴 기준을 적용

④ 지반은 길이 200m, 폭 100m, 깊이 100m로 충분히 크게 모델링하여 굴착에 의한 경계조건의 영향을 최소화함.

⑤ 상부의 경계조건은 자유 경계조건, 측면과 하부는 경계면에 연직방향으로 작용하는 변위를 구속

⑥ 요소는 4절점 4면체 요소로 구성

⑦ 측압 계수는 1.0으로 설정

(4) 터널 모델

① 폭 약 12m, 높이 약 8m의 국내 고속도로 2차로 터널의 표준단면을 대상으로 함.

② 굴진장은 2 m로 전단면 굴착을 실시

③ 분석 대상이 되는 터널 주변의 요소 크기는 1 m로 조밀하게 구성

(5) 숏크리트 및 록볼트 등의 지보재 영향은 고려하지 않음.

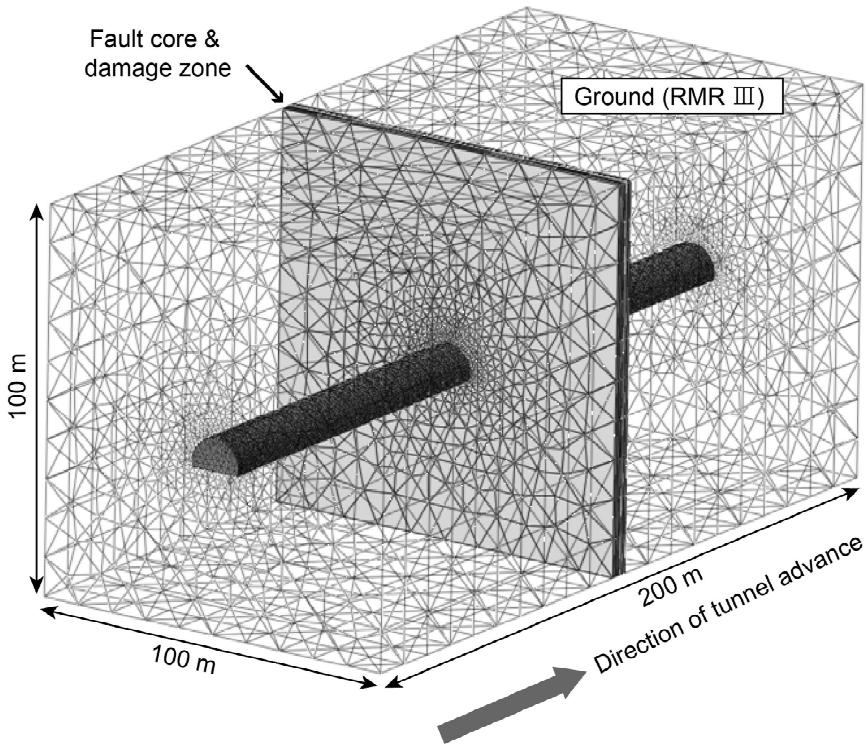


그림 11. 3차원 유한요소해석을 위한 지반모델(Song et al., 2016)

4.2.2 단층의 자세(attitude) 모델

1) 단층대의 모델링(그림 12a)

(1) 단층대의 중심부에 폭 1 m의 단층핵(단층점토 0.5 m, 각력 0.5 m)을 모델링

(2) 그 외곽에 폭 2 m의 손상대와 기반암을 모델링

2) 단층의 자세

(1) 단층은 터널의 굴진 방향과 이루는 각도(α) 및 경사(β)를 각각 달리하여 모델링(그림

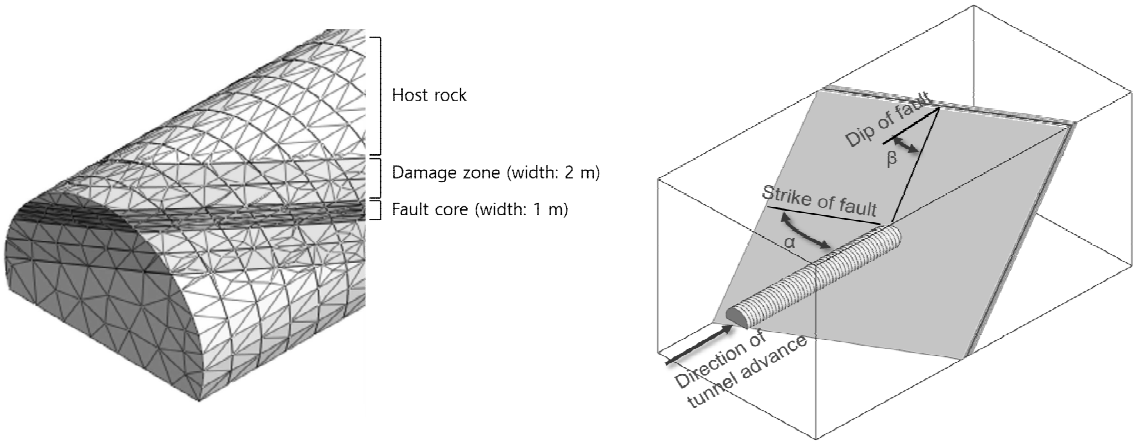
12b)

① α 는 각각 30°, 45°, 60°, 90°로 모델링

② 각 α 별로 순경사와 역경사 30°, 45°, 60°와 경사 90°의 단층을 모델링

③ 총 28개의 단층 자세를 모델링(표 1).

(2) 경사 방향은 굴진 방향으로의 경사를 순경사(drive with dip), 굴진 방향과 반대 방향의 경사를 역경사(drive against dip)로 구분



(a) (b)

그림 12. 3차원 유한요소해석에 이용된 단층모델

표 1. α 와 β 에 의해 정의된 단층의 자세 및 터널모델

α (°)	Drive with dip, β (°)			Drive against dip, β (°)			β (°)
	30	45	60	30	45	60	90
30							
45							
60							
90							

4.2.3 지반정수

(1) 3차원 유한요소해석에 적용된 지반 정수는 단위중량, 변형계수, 점착력, 내부마찰각, 포아송비임.

(2) 단층핵의 지반정수는 단층핵 인공시료의 일축압축강도 시험 결과와 야외에서 채취한 불교란 시료의 직접전단시험 결과를 바탕으로 산정

(3) 손상대의 지반 정수는 국내 21개 붕괴 터널에서 설계 시 적용했던 지반 정수 중 단층핵 지반 정수의 분포 범위를 제외한 구간의 평균값을 적용(Yun et al. 2015a)

(4) 기반암의 지반 정수는 국내 65개 터널에서 설계 시 적용한 Ⅲ등급 암반의 평균값을 적용 (Seo and Yun, 2014)

표 2. 3차원 유한요소해석에 이용된 지반정수

Rock type		Unit weight (γ, kN/m3)	Deformation modulus (E, MPa)	Cohesion (c, kPa)	Friction angle (Φ, °)	Poisson's ratio (υ)
Fault core	Fault gouge	19.7	9	12.3	22	0.34
	Fault breccia	19.8	50	15.7	44	0.36
Damage zone		22.1	290	60	44.1	0.4
Host rock		24.8	6,013	1,180	38	0.25

4.2.4 x-MR 관리도 분석

(1) 3차원 유한요소해석 결과로부터 터널의 천단 및 좌·우측 어깨부와 좌·우측 측벽부 등 5개 지점에서의 내공변위에 대한 x-MR 관리도를 작성

(2) 내공변위는 굴진면으로부터 2m 이격된 지점에서의 변위를 분석

(3) 관리 기준선을 초과하는 이상변위 발생 구간을 보강 범위로 산정

(4) 분석 결과를 바탕으로 28개 단층모델별로 보강이 필요한 종방향의 범위와 굴진거리에 따른 보강폭을 확인할 수 있는 최적지보산정표를 작성

제5장 통합운영시스템에서의 최적지보산정표 활용방법

5.1 최적지보산정표의 적용

(1) 현재 통합운영시스템에 구축된 최적지보산정표는 3차원 유한요소해석의 결과를 정리한 것이다.

(2) 최적지보 산정표에서 위험지반의 보강범위는 기하, 지반의 역학적 특성, 지반조건 등에 따라 달라질 수 있다.

(3) 최적지보 산정표는 굴착 중 굴진면 내 위험지반 출현 시 위험지반의 기하를 확인한 후 적용 가능하다.

(4) 최적지보 산정표를 통해 굴착 중 굴진면에서 확인된 위험지반의 기하 정보를 바탕으로 굴진면 전방에 출현할 위험지반의 위치와 보강범위를 예측할 수 있다.

(5) 최적지보 산정표는 암판정 위원에게 온라인 암판정 요청 시 통합운영시스템 내에서 확인할 수 있다.

5.2 활용방법

(1) 암판정 위원에게 온라인 암판정 요청 시 통합운영시스템 내에서 활용할 수 있으며, 우측 “+” 클릭 시 최적지보 산정표의 확인이 가능하다(그림 13).

(2) 최적지보 산정표 상단의 ‘굴진거리’는 굴진면의 위치를 의미한다.

(3) 최적지보 산정표 상단의 ‘단층 중심부에서의 거리’는 단층대 중심이 위치하는 지점인 굴진거리 100m를 0m로 가정하였을 때, 전·후방으로의 굴진면 위치를 의미한다.

※ 3차원 유한요소해석 시 단층대 중심을 100m에 위치시키고 모델링하였다.

(4) 최적지보산정표 좌측의 000/00은 각 단층 모델의 α 와 β 를 나타내고, ‘(순)’은 순방향 경사의 단층, ‘(역)’은 역방향 경사의 단층을 의미한다.

(5) 최적지보산정표의 굴진면 그림은 거리에 따라 굴진면 상에 출현하는 단층의 위치 및 기하를 나타낸다.

(6) 굴진면 그림 아래의 숫자는 각 굴진면에서 나타나는 단층을 중심으로 보강폭(m)의 총합을 의미한다.



그림 13. 통합운영시스템에서의 최적지보산정표 확인

보강범위 산정표(참고용)

단층폭 1m인 경우, 단층자세별 보강범위 산정표. 굴진면 그림 아래의 숫자는 각 굴진면의 보강폭(m)을 의미함.

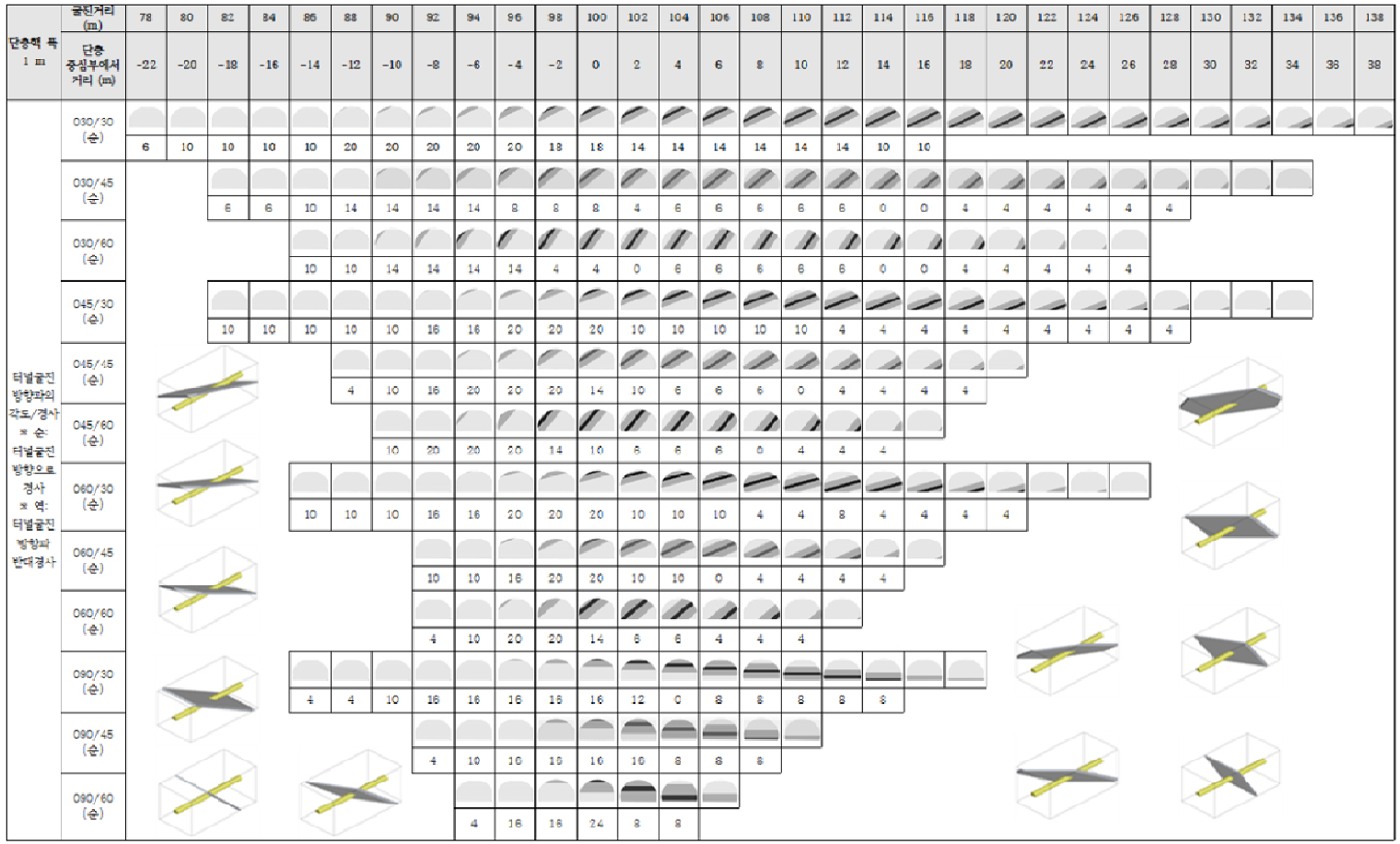
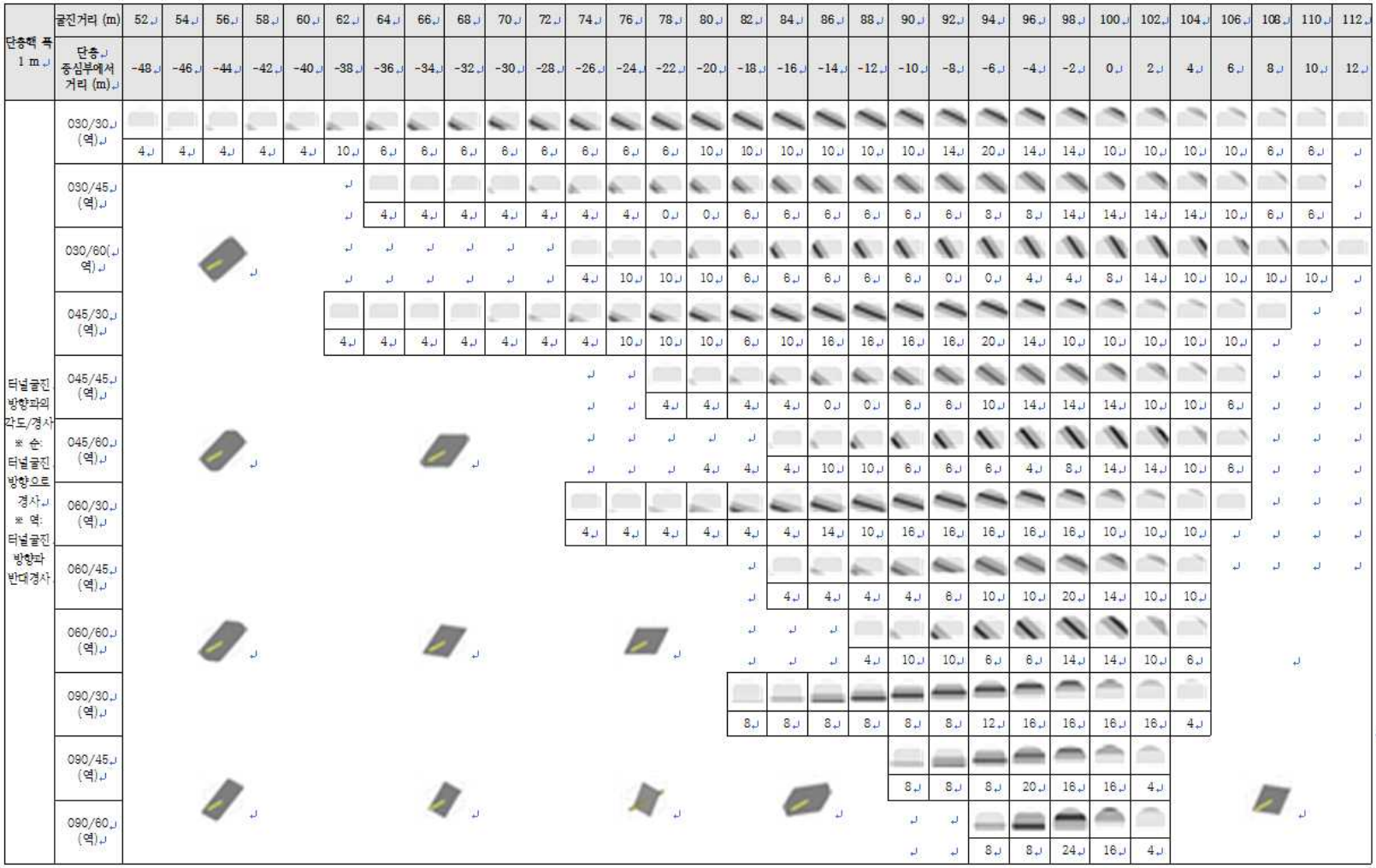


그림 14. 최적지보 산정표



단층핵 폭 1 m	굴진거리 (m)	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112
	단층 중심부에서 거리 (m)	-48	-46	-44	-42	-40	-38	-36	-34	-32	-30	-28	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12
터널굴진 방향과의 각도/경사 ※ 순: 터널굴진 방향으로 경사 ※ 역: 터널굴진 방향과 반대경사	030/30 (역)	4	4	4	4	4	10	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	14	20	14	14	10	10	10	10	6	6	
	030/45 (역)							4	4	4	4	4	4	4	0	0	6	6	6	6	6	8	8	8	14	14	14	14	10	6	6	
	030/60 (역)												4	10	10	10	6	6	6	6	6	0	0	4	4	8	14	10	10	10	10	
	045/30 (역)						4	4	4	4	4	4	4	10	10	10	6	10	16	16	16	16	20	14	10	10	10	10	10			
	045/45 (역)														4	4	4	4	0	0	6	8	10	14	14	14	10	10	6			
	045/60 (역)															4	4	4	10	10	6	8	6	4	8	14	14	10	6			
	060/30 (역)												4	4	4	4	4	4	14	10	16	16	16	16	16	10	10	10				
	060/45 (역)																	4	4	4	4	8	10	10	20	14	10	10				
	060/60 (역)																			4	10	10	6	6	14	14	10	6				
	090/30 (역)																8	8	8	8	8	8	12	16	16	16	16	4				
	090/45 (역)																				8	8	8	20	16	16	4					
	090/60 (역)																						8	8	24	16	4					

그림 14. 최적지보 산정표(계속)

단층핵 폭 1 m	굴진거리 (m)	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116
	단층 중심부에서 거리 (m)	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16
터널굴진 방향과의 각도/경사 ※ 순: 터널굴진 방향으로 경사 ※ 역: 터널굴진 방향과 반대경사	030/90																	
		10	10	14	10	10	4	4	4	4	0	0	0	10	10	10	4	4
	045/90																	
			6	10	10	14	14	10	10	4	4	14	10	10	4			
	060/90																	
						10	20	20	16	16	14	4	4					
	090/90																	
							16	20	24	24	12							





그림 14. 최적지보 산정표(계속)

제6장 통합운영시스템에서의 붕괴사례 DB 활용방법

6.1 붕괴사례 DB 구축

(1) 통합운영시스템 내에는 위험지반에서 붕괴가 발생한 국내 16개 터널, 33개 구간에서의 붕괴사례를 수집하여 DB로 구축되어 있다.

(2) 붕괴사례의 DB는 위험지반에서의 암판정 및 대책공법 선정 시 참고자료로 활용될 수 있다.

6.2 붕괴사례 DB 항목

(1) 위치 및 개요 : 붕괴터널의 종류 및 현황, 붕괴일시 등을 확인할 수 있음.

(2) 지질학적 특성 : 붕괴된 구간의 암종, 지질상태, 현장사진 및 mapping 자료 등을 확인할 수 있음.

(3) 붕괴원인 분석 : 붕괴 후 상세조사를 통해 분석된 붕괴원인을 확인할 수 있음.

(4) 지반정수 : 붕괴 후 추가 지반조사 및 참고자료 분석 등을 통해 재설계 시 적용한 지반정수를 확인할 수 있음.

(5) 대책공법 : 붕괴 후 재시공 시 적용된 보강공법을 확인할 수 있음.

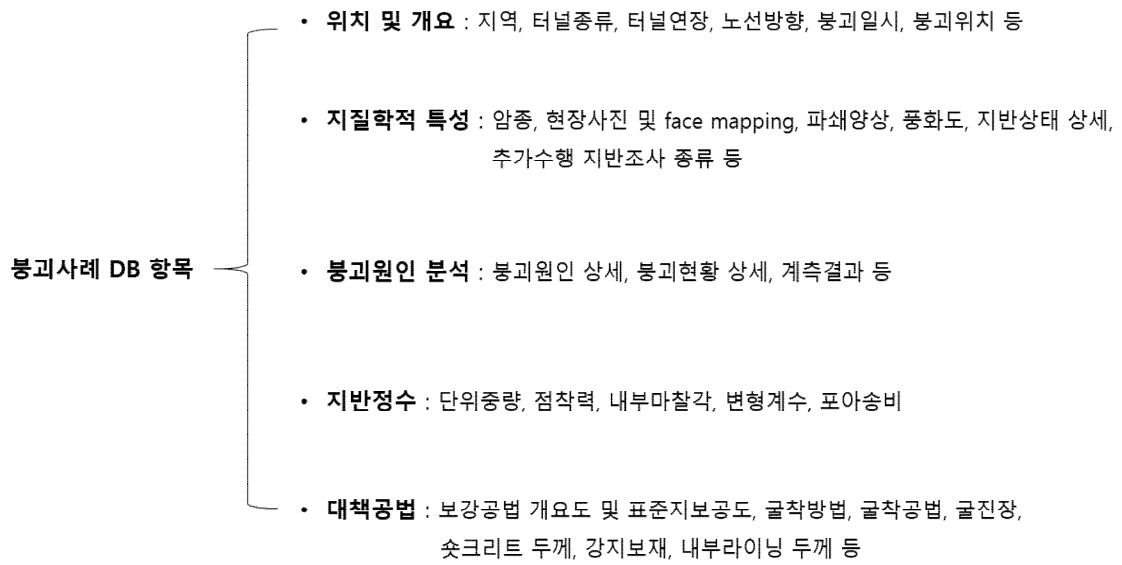


그림 15. 붕괴사례 DB 항목

6.3 활용방법

(1) 통합운영시스템의 '시공사례' 내 '붕괴사례'에서 확인 가능

(2) 사용자가 검색을 원하는 키워드를 선택함으로써 선택된 키워드를 포함하는 붕괴사례 정보를 선별하여 조회할 수 있음.

(3) 검색 키워드는 크게 지역, 암종, 리스크유형, 리스크원인 등 4가지 항목으로 구성되어 있으며, 각 항목별로 세부적인 선택이 가능함.

예) 리스크유형에서 이상변위 선택 시 해당터널 선별적 조회 가능



그림 16. 통합운영시스템에서의 붕괴사례 조회

(4) 키워드 검색을 통해 선별된 붕괴사례는 보고서 형태로 출력됨.

– 해당 굴진면의 암종 및 붕괴유형, 사진, Face mapping, 계측 결과, 붕괴원인, 굴진면 지반상태, 대책공법, 지반정수, 추가수행 지반조사 등의 정보를 제공함.

시공사례 > 붕괴사례

붕괴사례 상세조회

지역	경상북도 경주시 외동읍 개곡리	노선방향	하행선
터널종류	도로	터널연장	7543
붕괴위치(STA.)	3+925~934	붕괴날짜	2012-06-01

암종	화성암	☐화강암 ☐현무암 ☐안산암 ☐유문암 ☐섬록암 ☐응회암 ☐반려암 ☐반암 ☐기타 화성암
	변성암	☐편마암 ☐편암 ☐천매암 ☐슬레이트 ☐규암 ☐혼펠스 ☐기타 변성암
	퇴적암	☐사암 ☐이암 ☐세일 ☐역암 ☐석회암 ☐기타 퇴적암
리스크유형		☐토사붕괴 ☐지표함몰 ☑균열 ☐이상변위 ☐낙반 ☐암반붕괴 ☐기타
* 리스크원인		☑단층 ☐지하수 ☐핵석 ☐탄질협재 ☐관입 ☐기타

현장사진



Face mapping

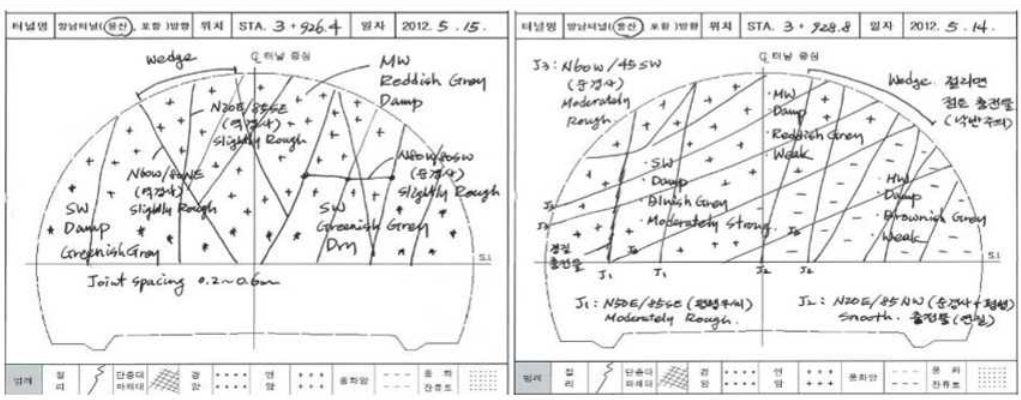
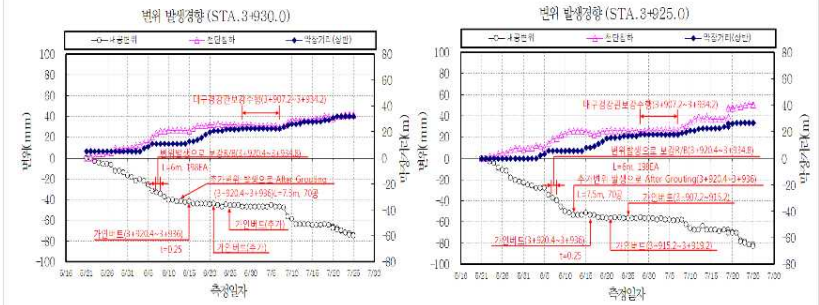


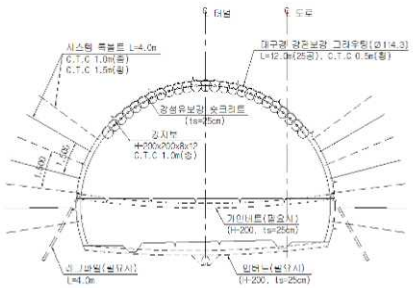
그림 17. 통합운영시스템에서의 붕괴사례 DB 조회 결과

계측 결과



위험지반 파쇄양상	- 절리 발달	위험지반 상태	방향	폭	풍화도
					약간~심한풍화
붕괴 및 이상현황	- 터널 굴진과 동시에 급격한 초기 변위 속도 발생 - 1D 이상 이격되서 수행된 터널 굴진의 영향과 함께 지속적인 변형 발생				
붕괴 및 이상원인 상세 설명	- 과다변위 구간 주변으로 터널 진행방향과 평행 및 사교하는 3개의 대규모 단층대와 함께 다수의 중소규모 수반단층 분포 - 터널방향과 평행한 방향성을 갖는 고각의 불연속면 분포 - 불연속면 사이에 점토가 충전되어 강도특성이 매우 낮은 것으로 평가됨				
위험지반 상세설명	- 적회색을 나타내는 연암내지 풍화암 강도의 화강암 - 교차하는 3개의 절리군에 의해 Wedge가 형성되어 낙반주의 - RQD는 52%~62% - 절리간격은 8~13cm로 매우 조밀 - 지하수상태는 전체적으로 습윤				

보강공법 개요도 및 표준지보공도



굴착방법	기계굴착	굴착공법	- 풍화토 : 링컷+숏벤치컷, 숏벤치컷+가인버트 - 풍화암 : 숏벤치컷, 롱벤치컷+가인버트
1회 굴진장 (상반/하반, m)	1	숏크리트 두께 (cm)	25
강지보재	H-200x200x8x12, C.T.C 1.0m	내부라이닝 (cm)	30
주요 보강공법	- 천단부 : 대구경강관다단그라우팅(120도 보강, L=12.0m, C.T.C 0.5m(횡)x6.0m(종)) - 측벽부 : 록볼트(L=4.0m, C.T.C 1.5m(횡)x1.0m(종)) - 하부 : 강지보재(H-200)+인버트 25cm(필요시)		

지반정수 (fault core)	단위중량(γt,kN/㎥)	점착력(c, kPa)	내부마찰각(Φ, °)	변형계수(Mpa)	포아송비(v)
지반정수 (Damage zone)	단위중량(γt,kN/㎥)	점착력(c, kPa)	내부마찰각(Φ, °)	변형계수(Mpa)	포아송비(v)
	21	0	20	500	0.3
추가수행 지반조사	수평시추조사, 시추조사, 공내영상촬영, TSP탐사				

그림 17. 통합운영시스템에서의 붕괴사례 DB 조회 결과(계속)

참고문헌

1. Seo, Y. S. and Yun, H. S., 2014, The mechanical properties by rock type in Korea, Journal of the Korean Radioactive Waste Society Spring 2014 workshop (in Korean).
2. Shewhart, W. A., 1924, Some applications of statistical methods to the analysis of physical and engineering data, Bell System Technical Journal, 3(1), 43–87.
3. Song, G. J., Yun, H. S., and Seo, Y. S., 2016, Prediction of fault zone ahead of tunnel face using longitudinal displacement measured on tunnel face, The Journal of Engineering Geology, 26(2), 187–196 (in Korean with English abstract).
4. Yun, H. S., Moon, S. W., Song, G. J., and Seo, Y. S., 2015a, Case studies of geotechnical parameters applied on collapsed tunnels in fault zone of Korea, Korean Geotechnical Society Spring National Conference, 755–758 (in Korean).
5. Yun, H. S., Song, G. J., Kim, Y. B., Kim, C. Y., and Seo, Y. S., 2015b, Developments of real–time monitoring system to measure displacements on face of tunnel in weak rock, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, 17(4), 441–455 (in Korean with English abstract).
6. Yun, H. S., Song, G. J., Shin, Y. W., Kim, C. Y., Choo, S. Y., and Seo, Y. S., 2014, Application of x–MR control chart on monitoring displacement for prediction of abnormal ground behaviour in tunnelling, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, 16(5), 445–458 (in Korean with English abstract).

온라인 암판정 센터 운영 매뉴얼(안)

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport
KAIA 국토교통 과학기술진흥원
KICT 한국건설기술연구원

목 차

제1장 총 칙 ---- **H-1**

1.1 목적 ---- **H-1**

1.2 적용범위 ---- **H-1**

1.3 용어 정의 ---- **H-1**

1.4 매뉴얼 구성 ---- **H-2**

제2장 온라인 암판정 운영관리 ---- **H-3**

2.1 암판정 센터 구성 및 운영 ---- **H-3**

2.1.1 센터 구성 및 조직도 ---- H-3

2.1.2 센터 운영 계획 ---- H-5

2.1.3 온라인 암판정 위원회 ---- H-8

2.1.4 센터 운영 보고 ---- H-11

2.2 암판정 현장 구성 및 운영 ---- **H-11**

2.2.1 현장 구성 ---- H-11

2.2.2 현장 운영 계획 ---- H-12

2.2.3 현장 운영 보고 ---- H-12

제3장 온라인 암판정 센터 및 현장 업무 ---- H-13

3.1 센터 및 현장 업무 개요 ---- H-13

3.1.1 센터의 업무 ---- H-13

3.1.2 현장의 업무 ---- H-13

3.1.3 온라인 암판정 위원회의 업무 ---- H-14

3.1.4 온라인 암판정 절차 및 대상 구간의 구분 ---- H-14

3.2 암판정 대응체계 및 임무 ---- H-16

3.2.1 적용대상 ---- H-16

3.2.2 대응체계 ---- H-18

3.3.3 시스템 운용을 위한 주요 업무 ---- H-21

제4장 온라인 암판정에 대한 교육 및 연구개발 ---- H-31

4.1 교육 ---- H-31

4.1.1 온라인 암판정 통합운영시스템 교육 ---- H-31

4.1.2 암판정 전문가 양성 교육 ---- H-31

4.2 연구개발 ---- H-33

제1장 총칙

1.1 목적

○ 본 매뉴얼은 터널 공사 현장에서 막장(굴진면) 암판정 요청사유가 발생하였을 때 「온라인 암판정 통합운영시스템」을 활용하여 암판정을 수행하는데 필요한 조직인 「온라인 암판정 센터」의 운영에 필요한 제반사항(임무, 역할, 조직구성 등)을 규정하는데 있다.

1.2 적용범위

(1) 본 매뉴얼은 온라인 암판정 센터에 근무하는 직원과 온라인 암판정 통합운영시스템 사용자에게 기본적으로 적용하며 암판정 전문가 교육이수자 및 연구개발에 참여하는 내·외부 연구진에게 적용한다.

(2) 본 매뉴얼에서는 온라인 암판정 센터의 구성 및 업무, 온라인 암판정 수행을 위한 현장 인력의 구성 및 업무, 온라인 암판정 절차 및 방법, 온라인 암판정 센터의 교육 및 연구개발 등에 관한 사항을 다룬다.

1.3 용어 정의

(1) 온라인 암판정 센터 : 온라인 암판정 통합운영시스템을 적용한 현장에서 시스템 운영이 원활하게 이루어질 수 있도록 지원하는 조직

(2) 온라인 암판정 통합운영시스템(OnRoC(online tunnel rock classification) system): 암반등급평가와 안전에 관련된 터널 설계, 시공 등 정보를 통합 관리하는 데이터베이스를 구축하고 자료를 분석하여 암판정 의사결정을 지원하고 터널시공 중 온라인상에서 암판정 업무처리가 가능하도록 운영되는 시스템

(3) 온라인 암판정 통합운영시스템 자료 : 온라인 암판정 통합운영시스템을 운영하기 위한 자료로 기본정보와 굴착면 정보로 구성. 기본정보는 터널모델 생성자료, 지반조사 보고서, 터널 보고서, 터널해석 보고서, 설계도면, 시방서 등으로 구성되며 굴착면 정보는 디지털 페이스 맵핑 자료, 계측자료, 터널 표면 입체 가시화 모델 자료, 굴진면 안전감지 자료, 레이져 스캔 맵핑 자료 등으로 구성

(4) 온라인 암판정 위원회 : 온라인 암판정 통합운영시스템을 통하여 암판정을 수행하는 전문가 집단

(5) 현장 암판정 위원 : 공사 현장에서 온라인 암판정을 수행하기 어려운 상황이 발생하였을 경우, 시급히 암판정을 수행하기 위한 전문가

(6) 온라인 암판정 : 온라인 암판정 통합운영시스템을 이용하여 터널 갱구를 포함한 굴착 등의 터널공사에서 나타나는 암반의 특성을 파악하여 공학적인 암반분류와 암반선을 신속하고 통일성 있게 판정하는 것을 말함

1.4 매뉴얼 구성

(1) 본 매뉴얼은 총칙, 온라인 암판정 운영관리, 온라인 암판정 센터 및 현장 업무, 온라인 암판정에 대한 교육 및 연구개발, 부록의 순서로 작성되었다.

(2) 제1장『총칙』은 본 매뉴얼의 제정 목적과 적용범위, 매뉴얼에서 사용되는 주요 용어에 대한 정의, 매뉴얼에서 기술하고 있는 내용에 대하여 간단히 정리를 한 매뉴얼 구성으로 이루어져 있다.

(3) 제2장『온라인 암판정 운영관리』는 암판정 센터 구성 및 운영에 필요한 내용 등을 포함하였다.

(4) 제3장『온라인 암판정 센터 및 현장 업무』는 센터 및 현장 업무를 통해 본 매뉴얼에서 제시할 수 있는 업무 범위 및 내용 등을 설명하였으며 적용대상 구분 및 이에 따른 업무의 구분, 암판정 필요 시 센터 및 현장에서의 대응체계, 상황별 주요 임무 , 상황별 근무인원 및 구성체계 등의 내용을 포함하였다.

(5) 제4장『온라인 암판정에 대한 교육 및 연구개발』에서는 온라인 암판정 수행을 위해 통합운영시스템 사용 및 데이터 취득 및 입력 방법 등에 대한 교육과 국내 암판정 전문가 양성을 위하여 지질학 및 지질공학 기본 사항, 국내 암종 특성 등의 교육을 하도록 기술하였다. 또한, 시스템과 암판정 기술 향상을 위해 필요할 경우 연구개발을 수행할 수 있는 사항을 다루고 있다.

(6) 제5장『부록』은 온라인 암판정 센터에서 운영하는 “온라인 암판정 통합운영시스템”을 비롯하여 및 암판정 수행 시 필요한 다양한 시스템에 대한 매뉴얼을 포함하고 있으며 온라인 암판정 수행에 필요한 다양한 양식을 수록하였다.

제2장 온라인 암판정 운영관리

2.1 암판정 센터 구성 및 운영

2.1.1 센터 구성 및 조직도

1) 직원의 구성

(1) 센터 운영 인원은 센터장 1인, 센터 운영 요원 9인을 기본으로 하며 여건 고려하여 인원 변동을 할 수 있다.

(2) 센터 운영의 주요 조직 구성 및 주요 업무 내용은 그림 2.1과 같다.

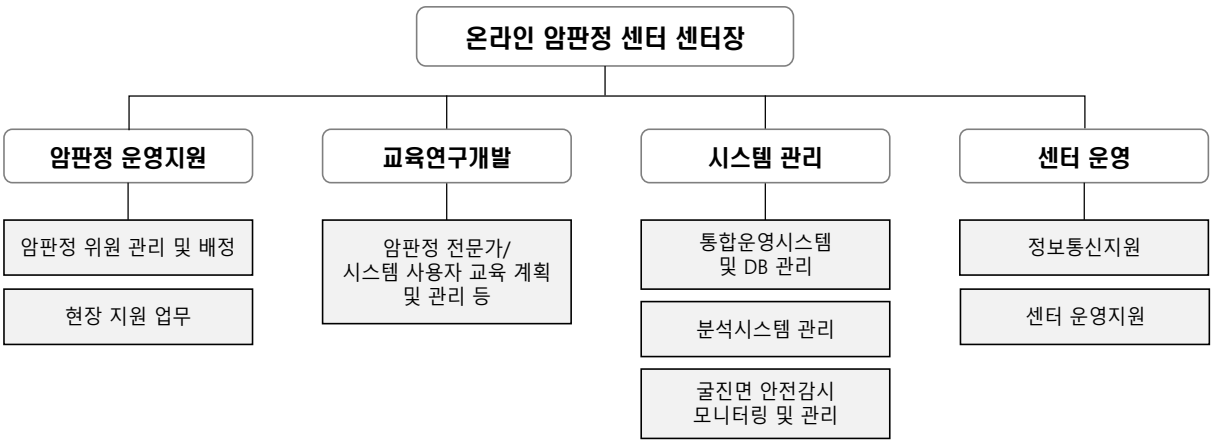


그림 2.1 온라인 암판정 센터 조직 구성도 및 주요 업무

(3) 센터 운영 전담조직 구성

구분	주요업무	구성	인원
센터장	온라인 암판정 센터 업무 총괄	책임연구원 급	1
암판정 운영지원	암판정 위원 관리 및 배정	연구원 급	1
	*현장 지원 업무	보조원 급	1
교육연구개발	교육 계획 및 관리 등	연구보조원 급	1
시스템 관리	*통합운영시스템 및 DB 관리	연구원 급	1
		연구보조원 급	1
	분석시스템 관리	연구원 급	1
	굴진면 안전감시 모니터링 및 관리	연구보조원 급	1
센터 운영	*정보통신지원	보조원 급	1
	센터 운영지원	보조원 급	1
계(책임연구원 급 1, 연구원 급 3, 연구보조원 급 3, 보조원 급 3)			10

2) 직종별 직원의 자격기준

구분	자격요건	비고
센터장	- 관련분야 박사학위 이상 소지 후 10년 이상 경력이 있는 자 - 관련분야에서 관리자로 20년 이상 재직한 경력이 있는 자 - 관련분야 기술사 소지자 -(관련분야 : 토목공학, 자원공학, 지질학)	
암판정 운영지원	- 관련분야 석사학위 이상 소지 자 - 관련분야 학사학위 소지 후 2년 이상 경력이 있는 자 -(관련분야 : 공학, 경역학, 행정학 등)	
교육연구개발	- 관련분야 석사학위 이상 소지 자 - 관련분야 학사학위 소지 후 3년 이상 경력이 있는 자 -(관련분야 : 공학, 교육학, 인문학, 경영학, 행정학 등)	
시스템 관리	- 관련분야 석사학위 이상 소지 후 2년 이상 경력이 있는 자 - 관련분야 학사학위 소지 후 3년 이상 경력이 있는 자 -(관련분야 : 정보관리, 전산개발, 정보통신, 정보보완) ※ 모든 지원자는 국가기술자격법령 등에 의한 기술사(컴퓨터시스템응용, 정보통신, 정보관리), 기사(전자계산기, 정보통신, 정보처리, 전자계산기조직응용) 자격증 중 반드시 하나를 소지하여야 함	
센터 운영	- 관련분야 학사학위 소지 후 3년 이상 경력이 있는 자 -(관련분야 : 정보관리) - 관련분야 학사학위 소지 후 3년 이상 경력이 있는 자 -(관련분야 : 재정, 회계, 경영 등) ※ 모든 지원자는 국가기술자격법령 등에 의한 기술사(컴퓨터시스템응용, 정보통신, 정보관리), 기사(전자계산기, 정보통신, 정보처리, 전자계산기조직응용) 자격증 중 반드시 하나를 소지하여야 함	

2.1.2 센터 운영 계획

1) 시설구성

(1) 온라인 암판정 센터 전용면적은 직원수 및 센터 운영에 필요한 부대시설을 고려하여 확보해야 한다.

(2) 센터 운영목표 수행을 위해 구성된 전체 시스템 개요를 그림 2.2에 나타내었다.

(3) 온라인 암판정 통합운영시스템의 하드웨어 구성도는 그림 2.3과 같이 간략하게 정의할 수 있으며 통합운영시스템은 복수의 단위 시스템과 연동되어 운영될 수 있도록 구축한다.

(4) 온라인 암판정 수행 및 통합운영시스템 업무 흐름도를 바탕으로 시스템에 자료를 등록하여 DB로 관리하는 데이터는 그림 2.4와 같으며 온라인 암판정 센터 및 현장에서는 해당 자료에 대한 등록 및 관리 업무를 수행하여야 한다.

(5) 온라인 암판정 통합운영시스템의 주요 기능 및 특징은 표 2.1과 같이 정의할 수 있다.

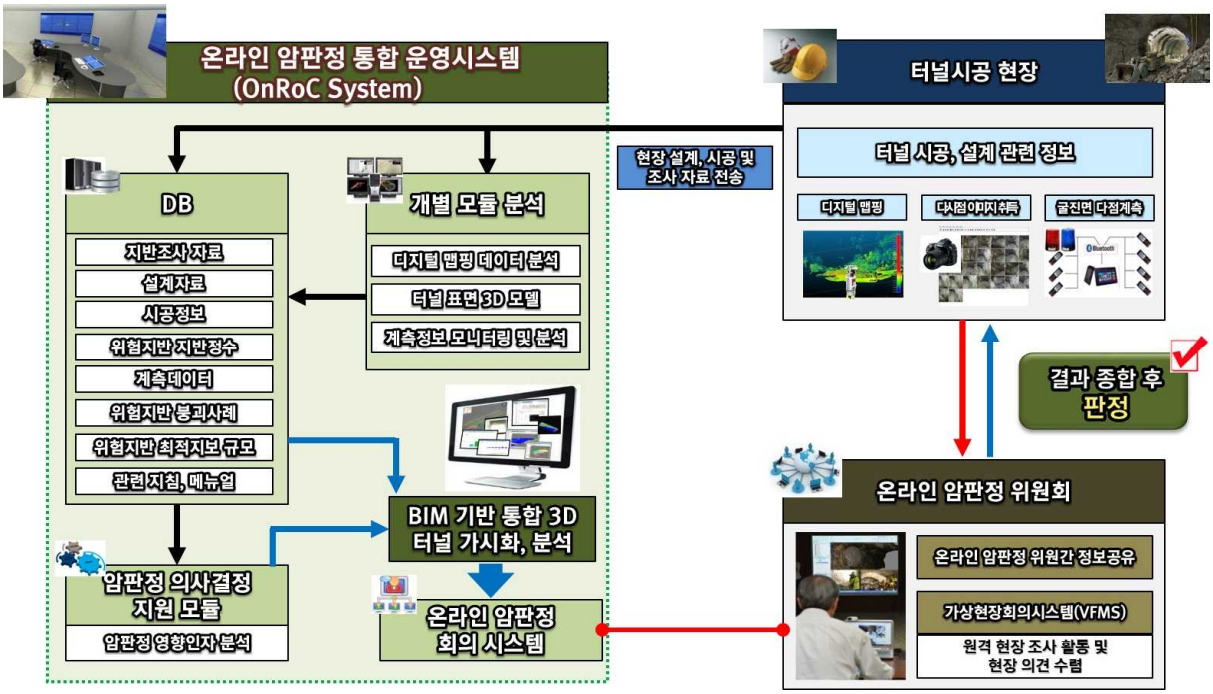


그림 2.2 온라인 암판정 수행을 위한 전체 시스템 개요도

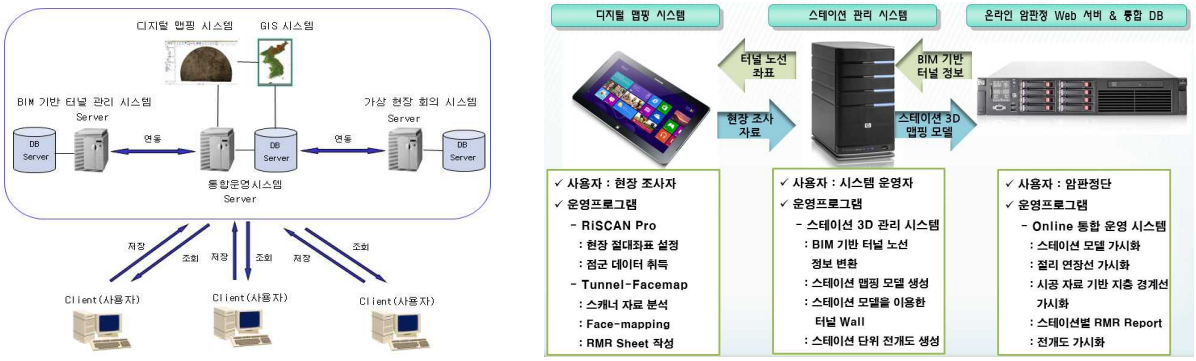


그림 2.3 온라인 암판정 통합운영시스템의 하드웨어 구성도 및 단위시스템 연동

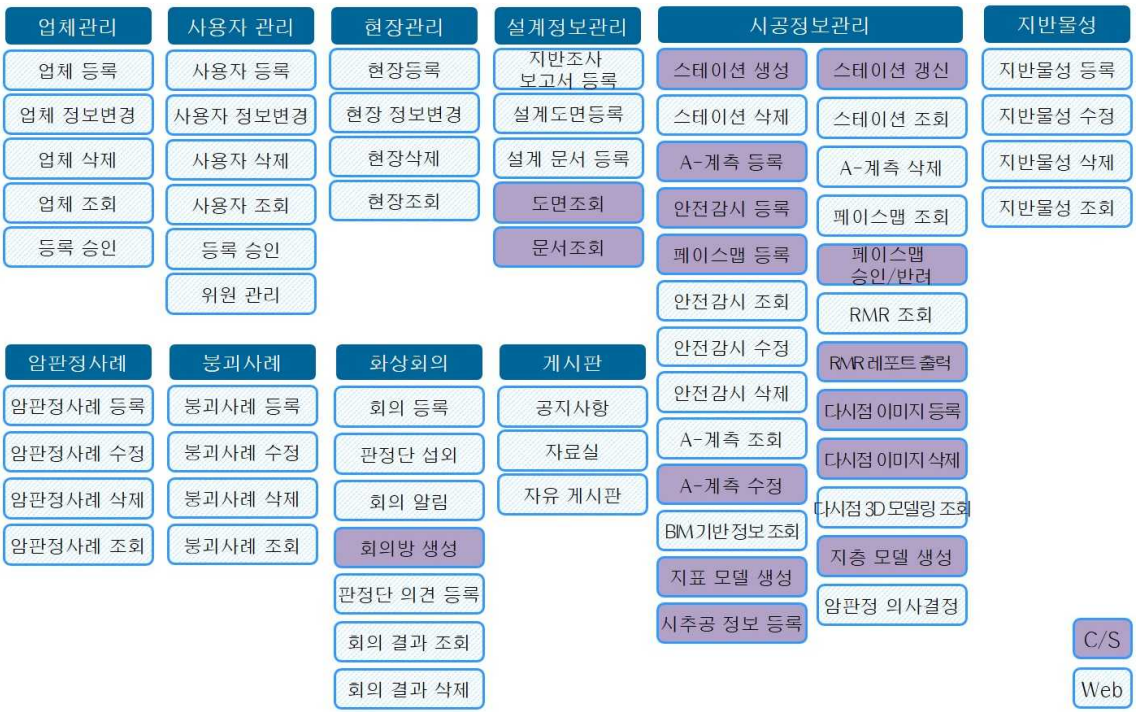


그림 2.4 온라인 암판정 통합운영시스템 주요 기능, 관리방법(C/S 또는 Web) 및 등록 자료(DB)

표 2.1 온라인 암판정 통합운영시스템의 구성에 따른 주요 기능 및 특징

온라인 암판정 통합운영시스템 구성	주요기능 및 특징
터널 디지털 맵핑 관리 시스템	• 현장단위의 표준지보 패턴 관리 • 터널 단위의 평면도/종평면도 관리 • 설계도면을 이용한 실좌표 기반 3D 모델 생성 • 터널 주변 지표 모델의 등록 및 3D 가시화 • 굴진면의 암질/절리 모델 생성 및 3D 가시화 • 기굴진면의 RMR Sheet 자료 통계 보기 • Face mapping, RMR Sheet, 현장 사진에 대한 보고서 출력
터널 디지털 맵핑 시스템	• 설계 정보에 기반한 스테이션 2차원 디지털 맵핑자료 생성 • 암질의 색, 암종을 해치로 구분하여 레이어로 관리 • J1~J5의 5개 그룹의 절리 표출 및 RMR Sheet에 조사값 자동 등록 • 지하수 용출 정보를 4개 단계로 구분하여 표출 • RMR 등급 자동 계산
통합 3D 터널 분석 시스템 및 의사결정 지원 시스템	• 설계 및 지반 데이터를 통한 3D BIM 모델 자동생성 모듈 • 통합 3D BIM 모델 가시화 • 타 모듈과의 연계를 통한 정보 및 분석데이터 시각화 • 실제 터널 시공 현장 이미지 취득을 통한 3D모델 생성 및 구현 • 통합 3D 터널 모델 위치좌표 및 스테이션 연계 가시화 기능 구현 • 터널 시공 및 지반정보 관련 데이터 분석
위험지반 지반정수 DB	• 국내 위험지반을 대상으로 실내시험을 통한 지반정수 DB 구축 • 지반정수 DB 적용 매뉴얼
위험지반 세부 암판정 기준	• 위험지반 지반정수 DB를 이용한 산출상태, 물성 및 역학성 등 구분 • 안정성 평가 시 필요한 변형계수, 전단강도 결정방법 제시 • 위험지반 세부 암판정 매뉴얼
위험지반 최적지보규모 산정	• 붕괴사례를 분석하여 국내 위험지반의 주요 위해요소 설정 • 단층의 기하, 역학성 변위를 반영한 수치해석을 통해 터널의 종·횡단 보강 범위 설정
굴진면 안전감시 시스템 및 경보모듈	• 다수의 레이저 거리계를 통한 굴진면 변위 실시간 계측(다수 데이터를 무선으로 동시 수신) • 관리도 이론을 적용한 경보 기준 설정 및 경보 모듈 • 굴진면 안전감시 시스템 및 경보모듈 활용 매뉴얼
정보공유형 온라인 암판정 화상회의 시스템	• 화상회의 기본회의 기능 • 화상회의 시스템을 위한 DB 서버 및 시스템 서버 구축 • 온라인 암판정 회의 지원을 위한 화면공유 기능 제공 • 현장과 실시간 의견교류를 위한 실시간 영상 및 음성 공유 지원

2) 근무체계

(1) 운영시간

① 하루 8시간 이상, 주 5일 개방을 원칙으로 한다.

② 센터의 업무 및 현장 작업조건을 고려하여 필요시 주말 및 야간시간에 센터장을 제외한 최소한의 인원을 두어 비상소집(암판정) 및 센터의 업무를 수행한다.

③ 현장 여건을 고려하여 관계자와 운영시간 협의 · 설정

(2) 근무자 인계인수 사항

가. 인계인수 내용

① 센터 장애 발생 상황 및 DB 수집 · 저장 상태

② 현장업무 보고사항

③ 근무시간 중 특이사항

④ 기타 인계인수사항

나. 인계인수 방법

① 주요 이슈 상황에 대하여 후임근무자에게 상세 설명

② 각종 지시사항 등의 기록 및 전달

3) 운영예산(안)

(1) 암판정 센터 설립에 필요한 예산은 정부부처 또는 발주처의 예산을 받아 위탁 운영한다.

(2) 암판정 센터 운영을 위해 인건비, 직접비 등의 비용을 포함하여 연 14억원의 예산이 소요되며상세한 예산내역은 부록 #을 참조한다.

2.1.3 온라인 암판정 위원회

1) 온라인 암판정 위원회 구성

(1) 센터장은 온라인 암판정의 체계적인 진행 및 자문을 위하여 온라인 암판정 위원회 인력풀을 구성·운영 한다.

(2) 온라인 암판정 위원은 토공, 터널 공사 등 건설공사 과정에 대한 전반적인 이해가 깊고 암판정 과정에서 객관성, 투명성 및 책임감이 있어야 한다. 또한 암종 및 지질구조 파악 등 지질학적 소양을 갖고 있으며 이를 통해 터널지반 안정성을 예측하고 지반 특성에 따른 적합한 지보패턴을 제시할 수 있어야 한다.

(3) 온라인 암판정 위원 선정은 다음 표에 해당하는 전문가 중에서 관계기관 및 관련단체 등의 추천을 받아 감독기관과 협의하여 위촉한다.

(3) 온라인 암판정 위원회는 위원장과 내부위원, 온라인 암판정 위원 및 간사로 구성되며 간사는 온라인 암판정 센터에서 지원을 한다.

(4) 온라인 암판정 위원장은 책임감리원이 맡는 것을 원칙으로 하며 발주처와 협의하여 조정할 수 있다.

(5) 내부위원은 터널 현장 인접공구 감독관, 기술지원 기술자(비상주감리), 계측관리자, 현장대리인, 공사관리관 등에서 구성한다.

표 2.2 온라인 암판정 위원 구성

구분	내용	비고
위원장	책임감리원(직감현장 주감독)	
온라인 암판정 위원	▫ 암판정 전문가 - 토질 및 기초 기술사로 터널분야 실무 경력 5년 이상 - 지질 및 지반 기술사로 터널분야 실무 경력 5년 이상 - 화약류관리 기술자로 터널분야 실무 경력 5년 이상 - 토질 또는 응용지질 전공 분야로 터널분야 실무 경력 10년 이상 - 토목, 지질, 자원 분야 박사학위 소지자로 중앙정부 또는 지방자치단체 터널분야 기술자문위원으로 5년 이상 활동	3인～5인
현장 암판정 위원	▫ 인접감리공구장 또는 직감구간 감독 중 1인 ▫ 기술지원 기술자 (아래 분야 해당자) - 토질 및 기초분야 - 지반 분야 ▫ 계측관리자	2인～3인

※ 기술사라 함은 해당 기술 분야에 관한 고도의 전문지식과 실무경험에 입각한 응용능력을 보유한 사람으로서 「국가기술자격법」 제10조에 따라 기술사 자격을 취득한 사람을 말한다.

※ 온라인 암판정 위원회는 위원장, 온라인 암판정 위원으로 구성한다.

※ 온라인 암판정 위원은 공사착공과 동시에 5인 이상으로 상시 구성·운영하고, 온라인 암판정시에는 최소 3인 이상 참석하여야 한다. (온라인 암판정 센터에 등록된 인력풀이나 건설기술인협회에 등록된 인력풀에서 최소 5인 이상 선정)

※ 온라인 암판정을 수행하기 어려운 상황이 발생한 경우, 위원장 판단으로 현장 암판정 위원만으로 암판정 위원회를 구성하여 진행할 수 있으며 그 결과는 온라인 암판정 위원의 검토를 받아야 한다.

※ 현장 암판정 위원을 구성할 때, 현장여건에 따라 현장대리인, 공사관리관, 원설계자가 참여할 수 있으며 인접감리(직감)공구가 없을 경우 외부 전문가(경력 5년 이상 토질 및 기초기술사 등)로 대

체한다.

※ 온라인 암판정 위원으로 활동하기 위해서는 해당 분야의 경력을 증명해야 한다.

2) 온라인 암판정 위원회 역할 및 의사결정

(1) 온라인 암판정 위원장은 다음의 업무를 수행한다.

① 온라인 암판정 위원간의 업무 및 이견 조정

② 온라인 암판정 관련하여 필요한 제반업무 등에 대한 검토·조정 등

(2) 온라인 암판정 위원은 다음 각 호의 업무를 수행한다.

① 온라인 암판정 통합운영시스템을 활용한 암판정 수행

② 암판정 관련된 기술 검토 및 자문

(3) 온라인 암판정 위원간 의견이 불일치 할 경우에는 아래의 절차에 따라 진행한다.

① 온라인 암판정 결정은 참여 위원의 2/3이상이 동의하여야 한다.

② 2/3이상 동의하지 않았을 경우에는 온라인 암판정 위원장의 의견을 위원수에 포함하여 결정한다.

③ 2/3이상이 동의하였음에도 불구하고 소수 의견 암판정 위원이 요청할 경우, 현장 방문을 통해 암판정을 수행한다.

3) 온라인 암판정 위원 임기

① 온라인 암판정 위원 임기는 2년으로 하고 재심사를 통해 갱신할 수 있다.

② 온라인 암판정 위원의 활동을 평가하여 그 결과를 재심사에 활용한다.

4) 온라인 암판정 위원의 수당 및 여비 등

① 온라인 암판정 활동을 하는 위원에게는 예산의 범위 내에서 수당과 여비 등을 지급한다.

② 온라인 암판정 센터의 필요에 의해서 관련기관 및 전문가에게 기술 검토를 의뢰하는 경우에는 예산의 범위에서 기술 검토 비용을 지급할 수 있다.

5) 온라인 암판정 위원의 회피, 제척 및 기피

(1) 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 온라인 암판정 위원단원은 해당 안건의 암판정 업무에서 제척된다.

① 위원이 해당 암판정 현장과 관련된 용역 또는 그 밖의 방법으로 직접적으로 관여한 경우

② 위원이 해당 암판정 현장과 관련된 업체의 임원 또는 직원으로 재직한 경우(사외이사 포함)

③ 기타 암판정 현장과 직접적인 이해관계가 있다고 인정되는 경우

(2) 위원은 위 내용의 사유에 해당하면 스스로 그 안건의 암판정에서 회피한다.

(3) 위원장은 위원회를 개회하기 전에 상기에 관한 사항을 위원에게 알린다. 이 경우 암판정 기피를 신청하는 위원은 해당 안건에 대한 암판정에서 배제 한다.

2.1.4 센터 운영 보고

1) 업무보고

(1) 센터장은 다음 각 호의 내용을 발주처의 장에게 분기별 또는 필요시 보고한다.

① 암판정 통합운영센터의 운영현황

② 현장에서 구축된 DB현황

② 현장 업무보고 자료

③ 기타 현안

2) 예산보고

(1) 센터장은 출연금을 받으려는 경우에는 매년 00월 00일까지 다음 연도의 출연금예산요구서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 감독기관의 장에게 제출 한다.

① 다음 연도의 업무계획서

② 다음 연도의 추정대차대조표 및 추정손익계산서

(2) 센터장은 다음 각 호의 구분에 따른 시기까지 온라인 암판정 센터의 운영내용을 감독기관의 장에게 보고 한다.

① 해당 연도의 세부운영계획: 매년 00월 00일까지

② 전년도 운영실적: 매년 00월 00일까지

2.2 암판정 현장 구성 및 운영

2.2.1 현장 구성

1) 직원의 구성

(1) 암판정 수행 및 각종 DB 구축을 위해 현장에서는 별도의 암판정 관련 자료 관리자를 구성하여 센터장 및 현장 총괄책임자의 책임하에 업무를 수행한다.

(2) 현장 인력 구성 및 주요 체계는 3.1.2의 내용을 참조한다.

2.2.2 현장 운영 계획

1) 근무체계

(1) 운영시간

① 현장여건을 고려하여 현장 소장 책임하에 임무수행

(2) 현업근무자 인계인수 사항

가. 인계인수 내용

① 현장 장애 발생 상황 및 DB 수집 · 저장 상태

② 현장 공정상황 및 특이사항

③ 근무시간 중 특이사항

④ 기타 인계인수사항

나. 인계인수 방법

① 현업업무 및 장비점검 일지를 작성하여 후임근무자에게 인계

② 주요 이슈 상황에 대하여 후임근무자에게 상세 설명

③ 각종 지시사항 등의 기록 및 전달

2.2.3 현장 운영 보고

1) 업무보고

(1) 현장 총괄책임자는 각 호의 내용을 센터장 및 발주처의 장에게 분기별 또는 필요시 보고한다.

① 현장 운영현황

② 시공자료

③ 디지털 맵핑 자료

④ 굴진면 안전감시 수행 자료

⑤ 굴진면 다시점 이미지 자료

제3장 온라인 암판정 센터 및 현장 업무

3.1 센터 및 현장업무 개요

3.1.1 센터의 업무

(1) 목적 : 원활한 온라인 암판정 수행을 위하여 필요한 현장 자료의 등록 및 모델구축, 현장에서의 온라인 암판정 요청에 대한 대응 및 업무수행, 암판정 관련 주요 자료의 DB 구축 및 활용, 온라인 암판정 위원회 업무 등에 필요한 센터의 업무를 정의 한다.

(2) 온라인 암판정 센터의 주요 업무는 다음의 각 호와 같다.

① 온라인 암판정 통합운영시스템 관리

② 터널 공사 현장–온라인 암판정 위원 시스템의 관리

③ 온라인 암판정 수행 및 암판정 센터 운영

④ 온라인 암판정 시스템 교육

⑤ 터널 현장 암판정 교육

⑥ 터널 시공 중 붕괴사고 발생 시 현장 조사 및 붕괴사례 DB 구축

3.1.2 현장의 업무

(1) 목적 : 원활한 온라인 암판정 수행을 위하여 필요한 시스템 현장 등록 및 모델구축, 온라인 암판정 요청 및 수행, 암판정 관련 주요 자료의 DB 구축 등에 필요한 현장 업무를 정의한다.

(2) 온라인 암판정 수행을 위해서 현장에서 담당하여야할 주요 업무는 다음의 각 호와 같다.

① 해당 현장에 대한 시공계획서 작성

② 시스템 등록 자료 준비 및 업로드(설계자료)

③ 시공자료 등록

④ 디지털 맵핑(2D) 수행 및 자료 업로드

⑤ 디지털 맵핑(레이져 스캐닝) 수행 및 자료 업로드※

⑥ 굴진면 다시점 이미지 취득 및 자료 업로드※

⑦ 굴진면 안전감시 수행 및 자료 업로드※

⑧ 온라인 암판정 회의시스템 운용※

※ 위험구간 또는 암판정 위원의 별도 요청이 있을 때 수행이 필요한 업무

3.1.3 온라인 암판정 위원회의 업무

(1) 온라인 암판정 위원장은 터널 현장 책임감리원(직감현장 주감독)으로 온라인 암판정 위원이 효과적으로 암판정을 수행할 수 있도록 온라인 암판정 센터장과 협의하여 위원회를 구성 · 운영한다.

(2) 온라인 암판정 위원회는 다음 각 호의 업무를 수행한다.

① 온라인 및 현장 암판정 업무 수행

② 암판정 관련 업무의 자문

③ 암판정 기술향상을 위한 교육, 훈련 등 지도 및 자문

④ 온라인 암판정 센터 운영과 관련된 자문 등

3.1.4 온라인 암판정 절차 및 대상 구간의 구분

1) 온라인 암판정 운영 절차

(1) '제(2)항' 에서 정의하는 특별한 사유가 없는 일반적인 상황에서의 온라인 암판정 운영은 다음 절차에 따라 진행 하여야 한다.

① 터널 공사 발주처 또는 감리원으로부터 해당 현장에 대한 암판정 신청서를 접수하고 계약을 체결하여야 한다.

② 계약 체결 후 온라인 암판정 센터는 교육일정을 수립하고 터널 공사 현장 관계자(시공사, 계측사, 감리 등)에게 온라인 암판정 시스템 및 운영 장비에 대한 이용자 교육을 실시하여야 한다.

③ 현장 담당자(사업 관리 및 업무연락)는 해당 현장에 대한 온라인 암판정 통합운영시스템 신규등록을 위하여 '3.1.2절 (2)의 ②항' 에 명시된 자료를 센터에 등록(업로드)하여야 한다.

④ 센터의 시스템관리팀은 현장에서 등록한 자료를 검토한 후 자료에 문제가 없을 경우 해당 현장을 온라인 암판정 통합운영 시스템에 등록하여야 한다. 여기서, '시스템 등록' 이란 해당 현장에 대한 3차원 모델링, DB생성, 관리자 및 현장 담당자 권한 부여 등 시스템 활용을 위한 제반 업무 수행을 의미한다.

⑤ 현장에서 등록한 자료에 문제가 발견될 경우에는 센터 담당자가 현장 담당자에게 수정 또는 보완이 필요한 사항을 통보하여 수정 또는 보완 후 자료를 재등록 하여야 한다.

⑥ 대상 현장의 시스템 등록 후 현장 담당자는 시공 중 발생되는 자료(3.1.2절 (2)의 ③~⑥항 참조, 취득 자료의 범위는 '3.14 2) 대상구간의 구분' 및 '3.2 암판정 대응체계 및

임무’ 참조)를 온라인 암판정 시스템에 업로드하여야 한다.

⑦ 센터의 시스템관리팀은 수집된 자료(굴진면 데이터, 지보패턴, 분석자료 등)를 구축, 관리하고 온라인 암판정 통합운영시스템 사용자에게 제공하여야 한다.

⑧ 현장에서는 암판정 필요시 온라인 암판정 위원회 소집을 센터에 요청하고 센터의 암판정 운영지원팀은 현장의 요청에 따라서 암판정 위원 현황을 파악하고 암판정 위원을 배정한 후 암판정 일정을 현장에 공지하여야 한다.

⑨ 온라인 암판정 회의는 센터에서 개설한 온라인 암판정 회의시스템을 통해 진행하여야 한다. 또한 센터의 암판정 운영지원팀은 암판정 위원의 요청 시 암판정 대상 굴진면 확인을 위한 실시간 영상전송을 위하여 터널 내 “가상현장회의시스템”을 운영하여야 한다.

⑩ 온라인 암판정 회의 진행 후 각 위원은 암판정 결과를 시스템에 등록하고 위원장은 모든 위원의 결과를 취합하여 최종 의견을 시스템에 등록하여야 한다.

⑪ 온라인 암판정 위원회에서 도출된 결과는 세터장의 최종 결재를 득한 후 결과를 현장에 통보하고 해당 정보는 온라인 암판정 통합운영시스템을 통해 공유하여야 한다.

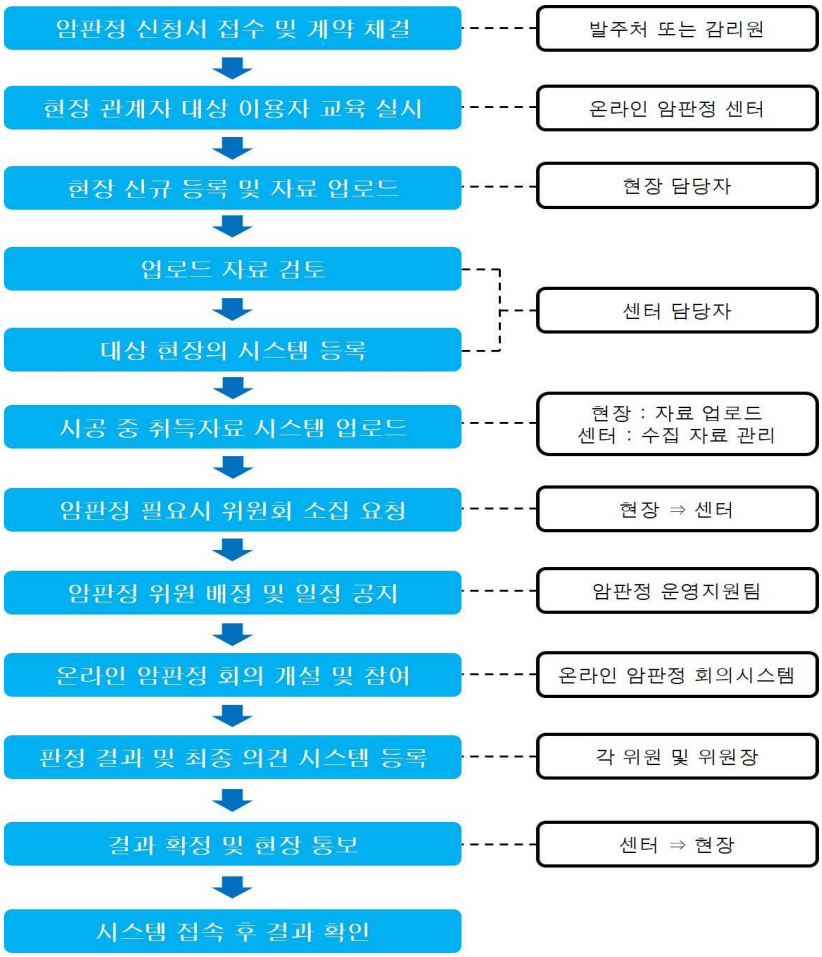


그림 3.1 온라인 암판정 운영을 위한 업무 프로세스

(2) 일반적인 상황에서의 온라인 암판정 절차를 따르지 않는 특별한 경우는 다음의 각 호와 같다.

① 온라인 암판정 수행이 불가한 상황이 발생하여 현장 암판정 위원만으로 암판정 위원회를 구성하여 암판정을 수행한 경우

② 현장 굴진면(막장) 지반상태를 고려하여 온라인 암판정 수행 시까지 굴진면의 자립이 불가하다고 판단되는 경우 또는 이미 붕괴가 발생한 경우

③ 기타 현장 감리의 판단에 따라 온라인 암판정 절차를 따르는 것이 부적절 하다고 판단되는 경우

④ ①~③호와 같은 상황이 발생한 경우에는 즉시 발주기관 절차에 따라 유선 보고하고 필요시 긴급 조치를 실시하여야 한다. 또한 ①호를 통해 수행된 암판정은 그 결과를 온라인 암판정 통합운영시스템에 등록하여 해당 결과를 온라인 암판정 위원의 검토를 받아야 한다.

2) 대상 구간의 구분

(1) 목적 : 암판정 시 요구되는 자료의 구축 및 장비활용 범위를 대상 구간에 따라 구분하여 효율적인 센터 운영, 현장 업무 및 암판정 수행을 도모하기 위함이다.

(2) 대상 구간은 일반구간과 위험구간으로 분류하며 일반구간과 위험구간의 분류방법은 본 매뉴얼 “3.2.1 적용대상” 을 따라야 한다.

3.2 암판정 대응체계 및 임무

3.2.1 적용대상

1) 일반구간

(1) 일반구간은 굴착 암반등급 1~3 등급에 해당하는 구간으로 정의한다.

2) 위험구간

(1) 위험구간은 굴착 암반등급이 4~5 등급에 해당하는 구간으로 정의한다.

(2) 일반구간에 해당하는 굴착 암반등급 1~3 등급 구간일지라도 다음의 각 호에 해당할 경우에는 위험구간으로 고려하여야 한다.

① 터널 갱구부와 저토피 구간(토피고가 터널 직경의 2배 미만)

② 진행성 여굴 발생 구간

③ 시공 중 천단침하 및 내공변위가 관리기준을 초과하는 결과를 나타내는 경우(천단침하 및 내공변위 관리기준은 표 3.2 및 표 3.3 참조)

④ 터널 관통부, 단면확폭부, 접속부 등 시공 시 유의를 요하는 구간에 대하여 감리원 또는 감독원의 별도 요청이 있을 경우

표 3.1 암반등급 분류(한국도로공사)

표준단면	지 반 분 류			Q 값	RQD (%)	탄성파 속 도 (km/sec)	일 축 압축강도 (kg/cm^2)	코 아 회수율 (%)
	암반	RMR	특 징					
1	경 암	100～81	안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	40 이상	70 이상	4.5 이상	1200 이상	90 이상
2	보통암	80～61	균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적으로 절리가 존재하는 층상의 암질	40～10	40～70	4.0～4.5	800～1200	70～90
3	연 암	60～41	층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	10～4	20～40	3.5～4.0	600～800	40～70
4	풍화암	40～21	물리적, 화학적으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙적으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	4～1	20 이하	3.5～2.0	250～600	40 이하
5	풍화암 (토)	20 이하	풍화작용이 심하고 일부가 토괴화된 상태이며 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질	1 이하	20 이하 N>100 : IV N<100 : V	2.0 이하	250 이하	

표 3.2 천단침하의 관리기준치(일본토질공학회, 1986)

(터널 반경 : 5.00m, 단위 : mm)

지반 / 주의 레벨	A (경암)	B (연암)	C (풍화암)	레벨의 특징
I	3 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 30	지반은 안정해 있지만 이완영역의 발생한계에 달하기 때문에 굴착에 약간의 주의를 요함
II	10 ~ 15	15 ~ 40	40 ~ 95	이완 영역이 발생하는 것으로 간주함
III	30 ~ 40	40 ~ 110	110 ~ 270	명확하게 이완영역이 발생하기 때문에 안전의 문제와 시공의 곤란이 예상되므로 굴착방법, 지보재 등의 변경을 요함

표 3.3 내공변위 관리기준치(ASCE : Franklin, 1976)

주의 레벨	관 리 기 준	처 치
1	내공변위의 속도가 굴진면에서 5mm/일보다 크게 된다. 또는 숏크리트에 부분적인 균열이 발생한다. 지하수가 침투한다.	• 책임기술자에 보고
2	내공변위의 속도가 굴진면에서 10mm/일, 후방에서 5mm/일 보다 크게 된다. 숏크리트에 상당한 균열이 발생한다. 지하수의 침투가 있다.	• 책임기술자에 보고 • 지보재, 록볼트, 숏크리트 추가 시공
3	변위가 가속된다. 균열이나 지하수의 침투가 레벨 2를 더욱더 넘는다.	• 책임기술자에 보고 • 굴착을 정지, 잠정적으로 강지보재와 긴 길이의 록볼트 시공 • 조사를 실시

3.2.2 대응체계

1) 온라인 암판정 센터

(1) 온라인 암판정 센터의 대응체계는 본 매뉴얼『제2장 온라인 암판정 운영관리』, '2.1 암판정 센터 구성 및 운영', '2.1.1 센터 구성 및 조직도'에 명시된 조직으로 구성하여야 한다.

(2) 센터 운영 전담조직 구성인원 중 주요 업무구분에 따른 상세 업무 내용은 다음의 각 호와 같다.

① 센터장 : 센터장은 센터의 운영 및 총괄책임을 맡는다.

② 암판정 운영지원 : 암판정 운영지원팀의 주요 업무는 암판정 위원 관리 및 배정, 현장 지

원 업무를 담당하는 것이다.

- 암판정 위원 pool 구성 및 주기적으로 관리
- 각 현장에서의 암판정 요청 시 암판정 일정 수립
- 필요자료 수집 및 검토, 암판정 위원 배정 업무 수행
- 현장에서의 암판정을 위한 시스템 및 장비 운용 중 문제 등 발생 시 현장 지원 업무 수행

③ 교육연구개발 : 교육연구개발팀의 주요 업무는 교육 계획 및 관리, 연구개발 업무를 담당하는 것이다.

- 온라인 터널 암판정 시스템 및 장비 운용을 위한 관련 기술자 교육 프로그램 준비 및 교육 담당
- 굴진면 맵핑 교육 등 터널 암판정 수행을 위한 기본 교육의 일정 수립 및 주기적 교육 프로그램 운영
- 온라인 암판정에 필요한 신기술 동향 파악, 아이템 발굴 및 제안 등 지속적인 연구개발 업무 수행

④ 시스템 관리 : 시스템 관리팀의 주요 업무는 통합운영시스템 및 DB 관리, 분석시스템 관리, 굴진면 안전감시 모니터링 및 관리의 업무를 담당하는 것이다.

- 통합운영시스템의 지속적인 유지 보수 업무를 수행
- 문제 발생 시 신속한 대응을 통해 시스템 오류 수정
- 신규 등록 현장에 대한 DB 등록 및 모델링 구축
- 시공 중 현장에서 지속적으로 발생되는 자료에 대한 DB 관리 및 현장 자료 업로드 현황 모니터링
- DB에 구축된 자료를 분석시스템을 활용하여 분석하고 결과를 시스템 DB에 등록
- 실시간 굴진면 안전감시 모니터링 시스템을 통해 취득된 계측자료를 확인 및 분석하고 필요 시 해당 현장에 결과 통보

⑤ 센터 운영 : 센터 운영팀은 정보통신지원과 센터 운영지원 업무를 담당하게 된다.

- 홈페이지 관리업무
- 온라인 암판정 통합운영시스템과 온라인 암판정 회의시스템의 네트워크 관련 유지보수 및 성능개선 업무를 수행
- 센터 운영과 관련된 일반 행정업무 처리

2) 터널 시공 현장

(1) 현장 업무 수행을 위한 대응체계는 해당 시공 현장별로 다음과 같은 조직으로 구성하여야 한다.

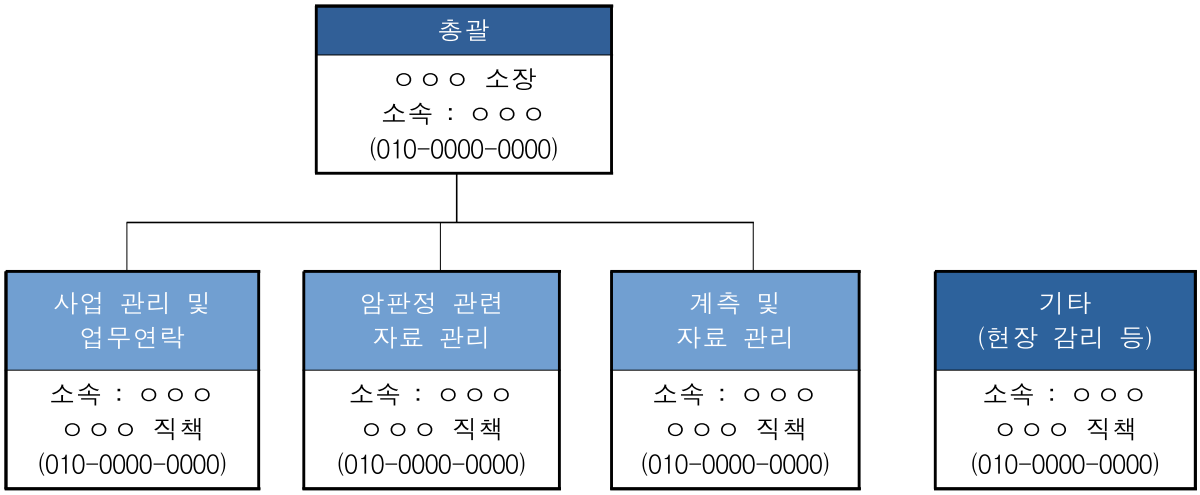


그림 3.2 현장 조직 구성도

(2) 현장 조직 구성인원 중 주요 업무구분에 따른 업무 내용은 다음의 각 호와 같다.

① 총괄 : 현장의 온라인 암판정 업무에 대한 총괄책임을 맡는다.

② 사업 관리 및 업무연락

- 현장의 온라인 암판정 업무를 관리
- 현장 암판정 필요 시 또는 붕괴, 낙반 등 이상 상황 발생 시 온라인 암판정 센터와 연락 및 협의에 대한 업무를 수행

③ 암판정 관련 자료 관리 : 암판정 수행에 필요한 굴진면 자료 정보를 생성, 등록하는 업무를 수행하여야 한다.

- 현장의 맵핑(디지털) 수행 및 자료 업로드
- 굴진면 다시점 이미지 취득 및 자료 업로드

④ 계측 및 자료 관리 : 계측관련 업무를 수행하여야 한다.

- 일상적인 계측업무 수행
- 굴진면 안전감시 시스템 설치 및 운용, 자료 업로드

⑤ 기타(현장 감리 등)

- 현장에서 진행되는 암판정 업무의 관리, 감독
- 시스템에 등록되는 자료의 이상 유/무 검토

(5) (3)항 및 (4)항의 인원투입 계획은 각 현장의 시공 현황, 조건 등에 따라서 조정이 가능하다. 다만, 이러한 경우에는 각 현장별로 (4)항에 명시된 전체 업무 내용의 처리에 문제가 없도록 인원투입 계획 및 수행체계를 구성하여야 한다.

3.3.3 시스템 운용을 위한 주요 업무

1) 센터

(1) 현장의 시스템 등록을 위한 주요 업무는 다음의 각 호와 같다.

① 신규 터널 시공 현장에 대한 DB를 생성하고 현장에서 제공한 시공계획서 작성 내용을 온라인 암판정 통합운영시스템에 등록하여야 한다.

② 현장에서 전달한 시스템 등록 자료(지형도, 평면도, 종단면도, 표준지보패턴도 도면, 시스템 등록 자료 정리 파일)를 이용하여 디지털 페이스 맵핑 DB 및 온라인 암판정 통합운영시스템의 BIM 기반 터널 3D 모델을 생성하여야 한다.

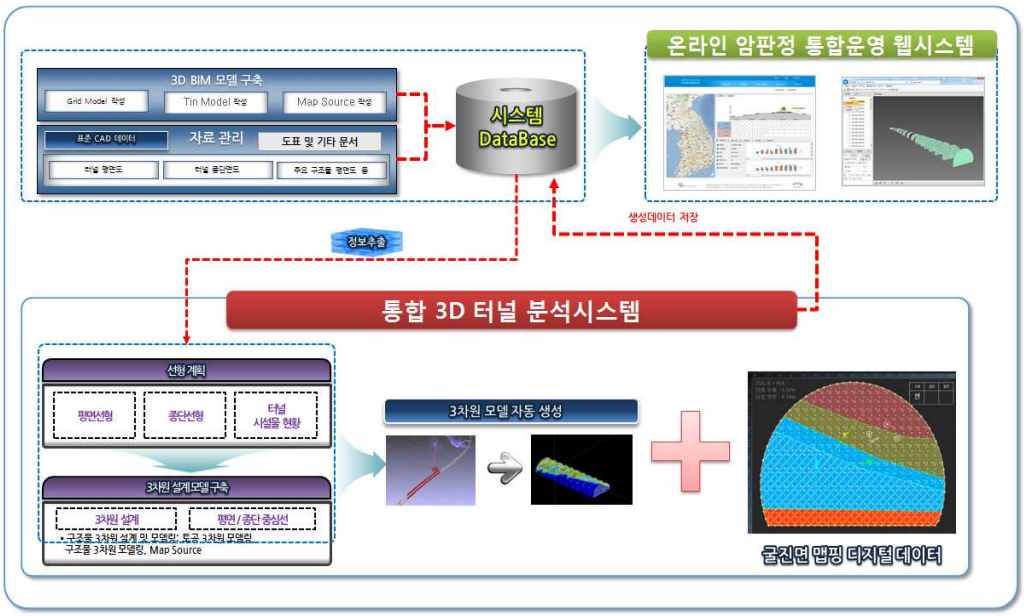


그림 3.3 신규 등록 현장에 대한 터널 3D 모델링 및 DB 구축 예시

(2) 터널 시공 중 센터에서 수행해야 하는 주요 업무는 다음의 각 호와 같다.

① 시공자료 관리 및 BIM 기반 터널 3D 모델 연계를 위한 자료 업데이트 : 시공 중 관리 및 암판정 수행을 위한 기초자료로 활용하기 위하여 계측데이터 자료 관리 및 분석, 스테이션별 지보패턴 갱신을 통한 DB 업데이트 등 현장에서 시공 중 발생되는 신규 자료의 관리

및 DB 업데이트를 수행하여야 한다.

② 레이저 스캐닝 점군(point cloud)자료 분석 : 현장에서 업로드한 레이저 스캐닝의 막장(굴진면) 점군(point cloud)자료를 분석하여 hardness index 및 불연속면을 추출하고 해당 자료를 온라인 암판정 통합운영시스템 DB로 구축하여야 한다.

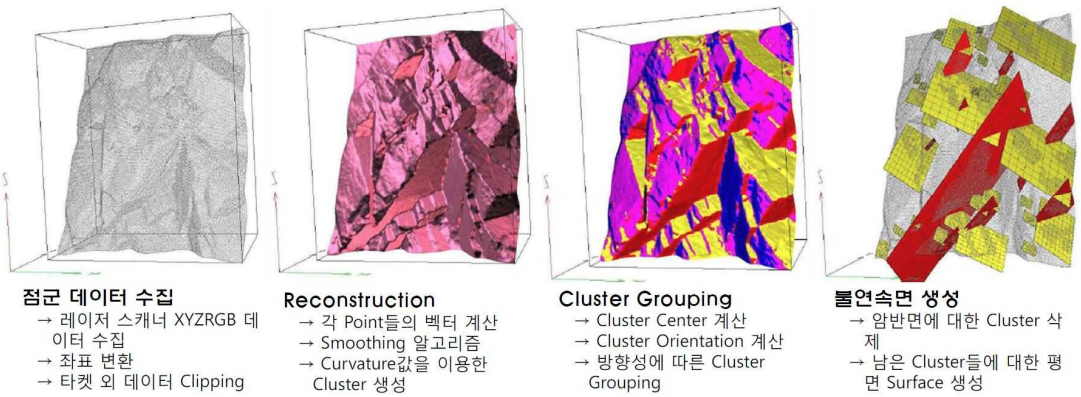


그림 3.4 막장(굴진면) 점군자료를 이용한 불연속면 생성 프로세스

③ 굴진면 다시점 이미지를 이용한 굴진면 3D 모델 생성 : 위험구간을 대상으로 현장에서 촬영 후 업로드한 다시점 이미지를 이용하여 굴진면 3D 모델을 생성한다. 생성된 모델은 DB로 구축하여 BIM 기반 3D 터널 모델 위치좌표와 연계하여 모델링하고 해당 모델의 Web Publishing을 통한 자료 공유가 가능하도록 처리하여야 한다.

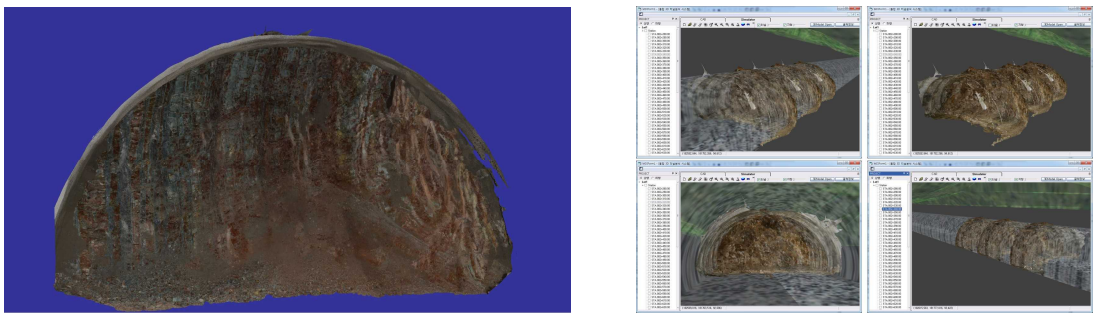


그림 3.5 이미지 기반 굴진면 3D 모델(좌측) 및 3D 터널 모델 위치좌표 연계 모델링(우측) 예시

④ 온라인 암판정 회의시스템 운용 : 현장의 온라인 암판정 위원회 소집 요청 시 온라인 암판정 위원 배정, 온라인 암판정 회의 개설 등 온라인 암판정 회의 진행과 관련된 제반 업무를 수행하여야 한다.

⑤ 위험지반 지반정수 DB 구축 : 시공 중인 현장에서 위험지반이 발견될 경우에는 현장조사 및 시료 채취를 통해 실내시험과 화학분석(XRD 및 SEM 분석)을 실시하고 해당 지반에 대

한 물성 및 역학적 특성을 파악하여야 한다. 해당 결과는 지반정수 DB에 입력하여 관련 내용을 공유할 수 있도록 조치하여야 한다.

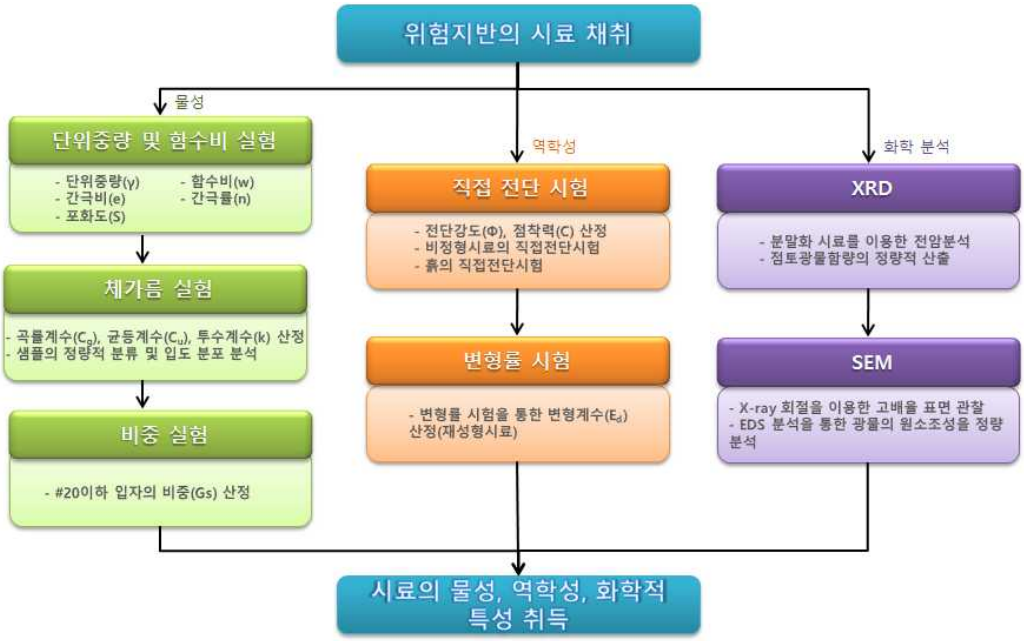


그림 3.6 위험지반 지반정수 DB 구축을 위한 시료 채취, 실내시험 및 화학분석 과정

2) 터널 시공 현장

(1) 현장의 시스템 등록을 위한 주요 업무는 다음의 각 호와 같다.

① 해당 현장에 대한 시공계획서 작성 : 터널명, 시공위치, 터널 형태 및 연장, 적용공법, 발주처, 시공사/설계사/감리사 등 터널 시공과 관련된 전체 현황을 파악할 수 있도록 시공계획서를 작성하여야 한다.

② 시스템 등록 자료 준비 및 업로드(설계자료)

- 지반조사보고서 : 지반조사는 터널의 노선선정, 설계, 시공 및 유지관리에 필요한 중요한 정보를 포함하고 있으므로 필요 시 해당 현장의 지반조건 및 공학적 특성 등을 파악할 수 있도록 시스템에 업로드 하여야 한다. 또한 시공 중 보완조사를 통해서 추가적인 지반조사를 수행한 경우에는 해당 보고서의 발생 여부를 온라인 암판정 센터 담당자에게 통보하여 추가적인 자료의(시공 중 보완조사 보고서) 업로드가 가능하도록 하여야 한다.
- 지형도, 평면도, 종단면도, 표준지보패턴도 도면(dwg 형식) : 온라인 암판정 통합운영시스템의 터널 3D 모델 및 DB 구축을 위하여 필요한 기본자료로 지형도, 평면도, 종단면도, 표준지보패턴도를 시스템에 업로드하여야 하며 시스템 모델링 시 편의성 및 호환성을 위하여 dwg 파일 형식으로 작성하여야 한다.

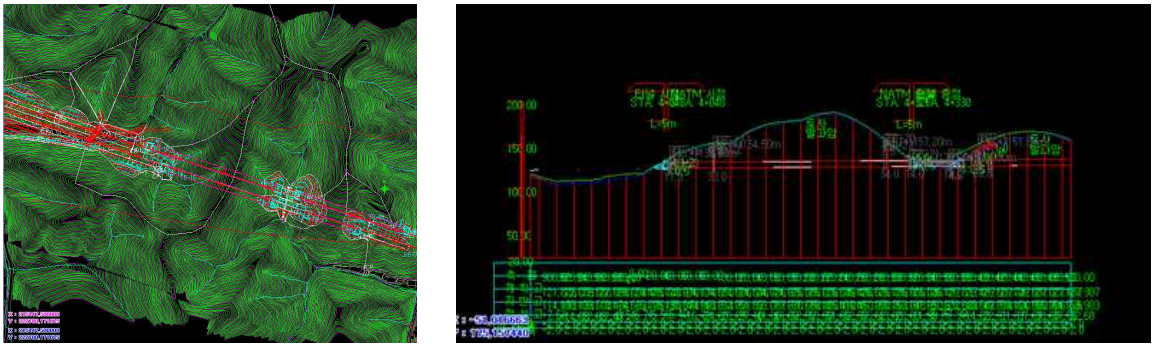


그림 3.7 지형도 및 종단면도 작성 예시

- 시스템 등록 자료 정리(부록 # 의 양식 참조) : 온라인 암판정 통합운영시스템의 터널 3D 모델 및 DB 구축을 위하여 필요한 기본 자료로 센터에서 제공하는 양식에 맞게 작성하여야 하며 작성 내용은 다음과 같다.

  – 터널구조물 설계를 통해서 계획된 스테이션별 좌표, TM, 거리, 계획고(터널 굴착 바닥면) 및 지보패턴

  – 지형정보 입력자료(시추조사결과)

표 3.4 지형정보 입력자료(시추조사결과) 예시

시추공 No.	X	Y	표고	토사	풍화암	연암	경암
TH-30	186874.26	202019.98	79.6	3.5	0	0	31.5
TH-31	186914.7756	202061.2858	62.6	0.8	5.9	15.3	11
TH-32	186887.69	201995.83	87.1	2.3	2	17	32
TH-43	186266.0395	201741.3528	79.8	5.2	0	0	20.6

(2) 터널 시공 중 현장에서 수행해야 하는 주요 업무는 다음의 각 호와 같다.

① 시공자료 등록 : 시공 중 관리 및 암판정 수행을 위한 기초자료로 활용하기 위하여 검측서, 계측데이터 및 결과, 스테이션별 지보패턴, 굴착 및 보강 현황을 시공된 스테이션에 따라서 업로드 및 업데이트 하여야 한다.

② 디지털 맵핑 수행 및 자료 업로드 : 터널 굴착 중 매 굴착면에 대한 막장 관찰조사를 실시하여 막장관찰도를 작성하고 해당 막장(굴진면)에 대한 사진과 함께 업로드하여야 한다. 또한 위험구간을 대상으로는 레이져 스캐닝 실시 후 해당 자료를 업로드하여야 한다. 디지털 맵핑 자료의 자료 등록(업로드) 방법은 부록 # 참조하도록 한다.

- 디지털 페이스 맵핑 자료(mdb, xml 형식) : 막장 관찰조사를 통해 작성된 디지털 맵핑 자

료를 업로드하여 터널 시공 구간에 대한 전반적인 지질 및 지반특성을 파악, 암판정 수행을 위한 기초자료로 활용

- 레이저 스캔 맵핑 자료(dat 형식) : 레이저 스캐닝을 통해 획득한 막장(굴진면) 점군(point cloud)자료를 업로드, 온라인 암판정 통합운영시스템의 분석 모듈을 이용하여 막장(굴진면) 기하학적 정보에 대한 정량적/정성적 분석 실시, 위험구간의 암판정 수행을 위한 기초자료로 활용
- 막장(굴진면) 사진 : 굴진면 전체, 천단부, 좌측 및 우측부 사진 촬영 후 디지털 페이스 맵핑 자료와 함께 업로드

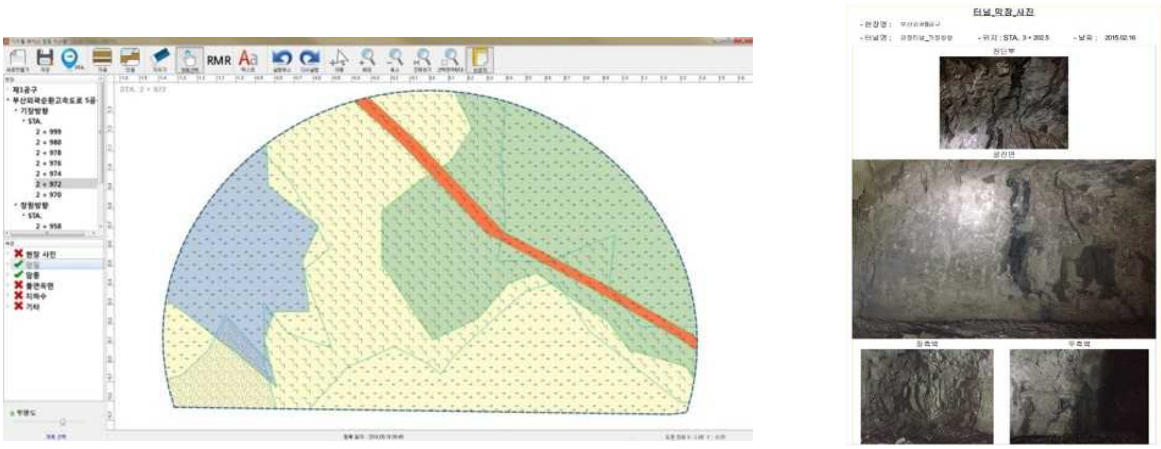


그림 3.8 디지털 맵핑 자료(좌측) 및 막장(굴진면) 사진 등록(우측) 예시



그림 3.9 막장(굴진면) 점군자료 예시

③ 굴진면 다시점 이미지 취득 및 자료 업로드 : 위험구간을 대상으로는 온라인 암판정 수행 시 굴진면(막장) 지반조건의 정밀한 관찰을 위하여 이미지 기반 굴진면 3D 모델의 활용이 필요하다. 따라서 현장에서는 위험구간을 대상으로 해당 모델을 생성하기 위한 다시점 이미지 취득을 수행한 후 자료를 업로드하여야 한다.

- 이미지(JPG 등 이미지 형식) 취득 방법은 부록 # 참조)
- 자료 등록(업로드) 방법은 부록 # 참조)

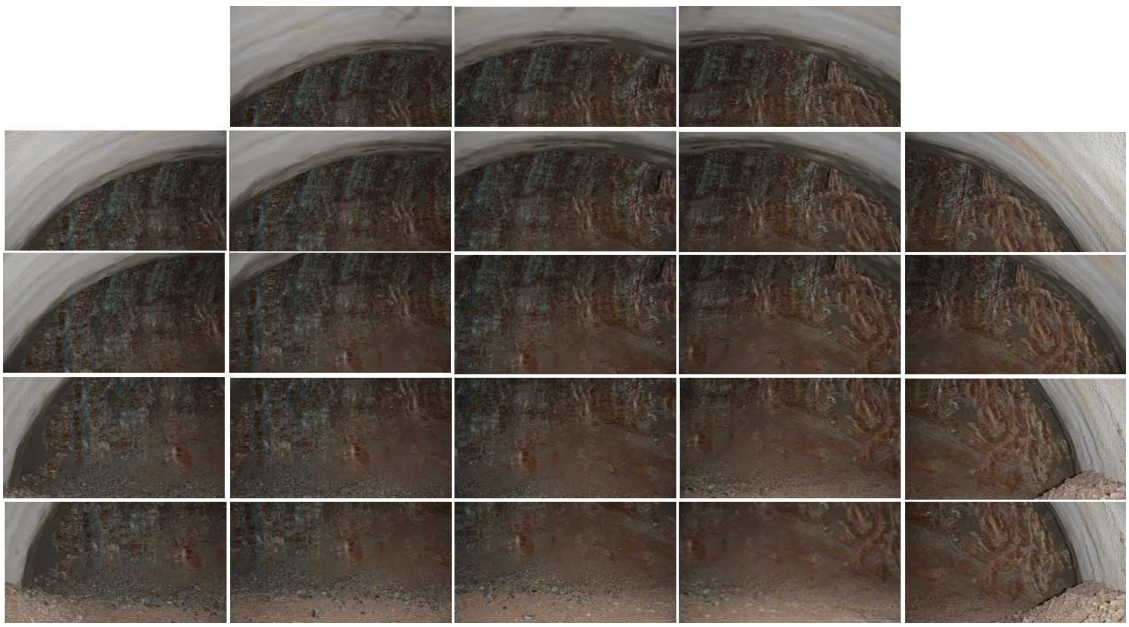


그림 3.10 굴진면 다시점 이미지 예시

④ 굴진면 안전감시 수행 및 자료 업로드 : 작업자의 안전성 확보를 위하여 위험구간을 대상으로 굴착 직후 발생하는 천단부 및 굴진면 변위를 굴진면 안전감시시스템(FSMS, Face safety minitoring system)을 이용하여 계측하고 그 결과를 시스템에 업로드하여야 한다.

- mdb, xml, csv 형식 데이터 및 png 형식 이미지 파일
- 자료 등록(업로드) 방법은 부록 # 참조)

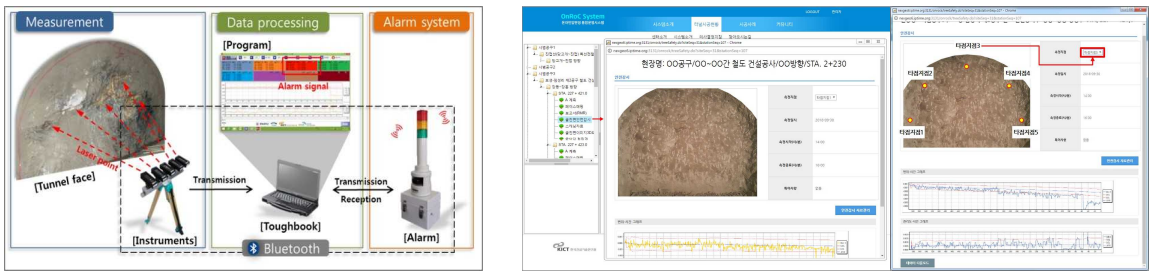


그림 3.11 굴진면 안전감시시스템 구성(좌측) 및 웹시스템 자료 등록(우측) 예시

⑤ 온라인 암판정 회의시스템 운용 : 온라인 암판정 진행 중 실제 현장 조건에 대한 추가적인 정보획득과 확인을 위해서 암판정 위원은 터널 막장에 위치한 현장 전문가와의 실시간 화상회의를 요청할 수 있다. 이때 현장의 온라인 암판정 업무 관리자는 실시간 영상전송 및 음성공유가 가능한 시스템을 설치하여 운용하여야 한다.

- 시스템 설치, 운용 및 이용방법은 부록 # 참조)



그림 3.12 터널 내부 및 외부 구간의 실시간 영상전송 및 음성공유시스템 구성도

3) 시공 중 붕괴사고 발생 시

(1) 터널 시공 중 붕괴사고가 발생한 경우에는 사고 원인조사 및 붕괴사례 DB 구축을 통해 사고예방, 사고원인 결정, 유사 사고의 재발 방지 등을 도모하여야 한다.

(2) 터널 시공 중 붕괴사고 발생 시 보고, 조사 및 위원회 소집은 다음 절차에 따라 진행 하여야 한다.

① 터널 공사 시공사 또는 감리원은 사고 발생 시 온라인 암판정 센터에 사고 발생 보고를 한다.

② 센터 담당자는 사고 발생 보고 접수 후 센터장에게 해당 사실을 보고하고 센터장은 붕괴사고의 규모, 원인 등을 종합적으로 판단하여 센터 직원의 현장 파견 필요성 여부를 검토한다.

③ 센터 직원의 파견이 필요한 경우 센터 파견자를 선정하고 파견자는 현장파견 후 현장조사를 실시한다.

④ 파견자는 현장조사 실시 후 현장 조사 보고서를 작성하고 사고 원인에 대한 정량적 분석을 위한 체크리스트를 작성한다.

표 3.5 터널 붕괴사고 원인의 정량적 분석을 위한 체크리스트 양식

사고 발생 요인			주요 내용	사고 발생 요인의 가중치
대분류	중분류	소분류		
자연적	기후・기상적	기상	태풍, 호우 등 기상적 요인	[1] [2] [3] [4] [5]
	지형・지질적	지형	표고, 경사, 토피고 등 지형적 요인	[1] [2] [3] [4] [5]
		지질	단층대, 슬레이크, 싱크홀 등 지질적 요인	[1] [2] [3] [4] [5]
인위적	기술적	과실	장비 조작 미숙, 부주의, 매뉴얼 미숙지 등	[1] [2] [3] [4] [5]
		기술	설계 및 시공 불량, 감리 불량 등	[1] [2] [3] [4] [5]
		재료	시공 재료의 기준 미충족, 부식, 파손 등	[1] [2] [3] [4] [5]
	관리적	절차	인허가 절차 미준수 등	[1] [2] [3] [4] [5]
		점검, 관리	점검 미실시, 관리 미흡 등	[1] [2] [3] [4] [5]
		교육, 훈련	안전교육 및 훈련 미흡 등	[1] [2] [3] [4] [5]
		통제	현장 통제 미흡 등	[1] [2] [3] [4] [5]
		사후대응	인명사고 발생 시 대응 미흡 등	[1] [2] [3] [4] [5]
	정책적	제도	관련기준 미비 또는 모호 등	[1] [2] [3] [4] [5]
		매뉴얼	기관별, 단계별 역할 매뉴얼 미흡 등	[1] [2] [3] [4] [5]

⑤ 파견자 및 현장 담당자는 붕괴사고 현장에 대한 붕괴사례 DB를 작성하여 온라인 암판정 통합운영시스템에 등록한다(붕괴사례 DB에 등록이 필요한 정보는 대상 지반의 암종, 리스크유형, 리스크원인, 현장사진, 계측결과 등이며 자세한 입력 항목 및 입력 방법은 부록 # 을 참조한다).

⑥ 발주처 및 감리원은 온라인 암판정 센터로 온라인 암판정 위원회 소집을 요청한다(붕괴사고 복구 및 추가적인 보강공법 선정 등을 위하여 필요하다고 판단되는 경우).

⑦ 센터의 암판정 운영지원팀은 현장의 요청에 따라서 암판정 위원 현황을 파악하고 암판정 위원을 배정한 후 암판정 일정을 현장에 공지하여야 한다.

⑧ 온라인 암판정 회의는 센터에서 개설한 온라인 암판정 회의시스템을 통해 진행하여야 한다. 또한 센터의 암판정 운영지원팀은 암판정 위원의 요청 시 암판정 대상 굴진면 확인을 위한 실시간 영상전송을 위하여 터널 내 “가상현장회의시스템”을 운영하여야 한다.

⑨ 온라인 암판정 회의 진행 후 각 위원은 암판정 결과를 시스템에 등록하고 위원장은 모든 위원의 결과를 취합하여 최종 의견을 시스템에 등록하여야 한다.

⑩ 온라인 암판정 위원회에서 도출된 결과는 세터장의 최종 결재를 득한 후 결과를 현장에 통보하고 해당 정보는 온라인 암판정 통합운영시스템을 통해 공유하여야 한다.

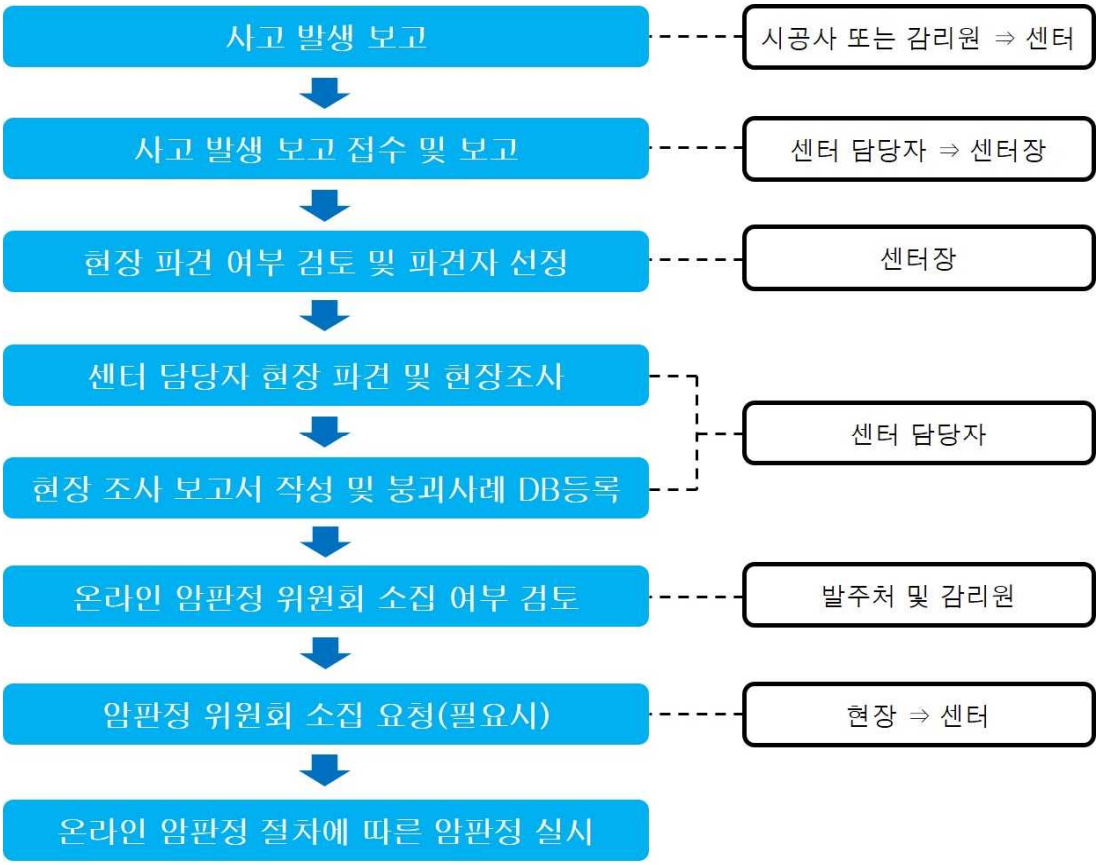


그림 3.13 터널 시공 중 붕괴사고 발생 시 센터와 현장의 임무 수행 절차

제4장 온라인 암판정에 대한 교육 및 연구개발

4.1 교육

4.1.1 온라인 암판정 통합운영시스템 교육

(1) 온라인 암판정 센터에서는 정확하고 원활한 암판정 수행을 위하여 온라인 암판정 위원, 터널 공사 관련자 등을 대상으로 교육을 수행하여야 한다.

(2) 터널 공사 현장 기술자, 감리원, 온라인 암판정 위원 등에 대한 교육은 터널공사 전에 이루어질 수 있도록 한다.

(3) 교육은 온라인 암판정 센터 및 현장에서 할 수 있으며 교육자의 여건에 따라 결정하여 진행한다.

(4) 온라인 암판정과 관련된 주요 교육 내용은 다음과 같다.

① 온라인 암판정 진행 절차 및 방법

② 온라인 암판정 통합운영시스템에 대한 전반적인 사용 방법

※ 온라인 암판정 신청, 온라인 암판정 수행, 온라인 암판정 결과 보고 등

③ 온라인 암판정 통합운영시스템 사용을 위한 기본정보 입력 방법

※ 터널모델 생성 기초자료(터널평면선형자료, 터널종단선형자료, 터널 단면 등), 지반조사 보고서, 터널 보고서, 터널해석보고서, 설계도면, 시방서 등

④ 터널 공사중 굴착면 정보 데이터 입력 방법

※ 디지털 페이스 맵핑 자료, 계측자료, 터널 표면 입체 가시화 모델 자료, 굴진면 안전감지 자료, 레이져 스캔 맵핑 자료 등

⑤ 온라인 암판정 결과 보고서 작성 및 이의신청 방법

⑥ 기타 온라인 암판정과 관련된 사항 등

(4) 온라인 암판정 통합운영시스템 활용을 위한 교육예산은 온라인 암판정 센터에서 지원한다.

4.1.2 암판정 전문가 양성 교육

(1) 온라인 암판정 센터에서는 국내 터널공사 품질 향상을 위하여 매 굴진면마다 진행되는 암판정(암반선 확인) 전문가를 양성하기 위한 교육을 수행할 수 있다.

(2) 암판정 전문가 양성을 위한 교육 대상은 발주처, 설계사, 시공사, 감리사, 학계, 연구계 등

지반공사(터널, 사면, 기초 등)와 관련된 업무를 수행하고 있거나 예정인 기술자를 포함하여 교육이수를 희망하는 자에 대하여 수행한다.

(3) 암판정 전문가 양성을 위한 교육은 교육연구개발 담당자가 진행하며 필요한 경우, 외부전문가를 초빙하여 수행할 수 있다. 외부전문가에 대해서는 소정의 비용을 지급한다.

(4) 암판정 전문가 양성을 위한 교육은 온라인 암판정 센터 내에서 진행하며 교육 여건이 마련되지 않을 경우, 외부시설을 활용하여 교육을 수행한다.

(5) 암판정 전문가 양성을 위한 주요 교육 내용은 다음과 같다.

① 지질학 및 지질공학 기본 사항

- 암석의 생성 및 순환, 암석의 종류 및 광물 조성, 암반의 공학적 특성
- 일반적인 지질 구조 종류 및 특징
- 암석의 풍화

② 국내 암종 분포 현황 및 특징

- 지역별 주요 암종 분포 및 특징
- 지역별 지질구조 종류 및 특징

③ 암반분류 방법 및 지보량 산정 방법

- RMR 및 Q-system
- 터널 지보재 종류 및 특징
- 터널 지보 패턴 결정

④ 시공중 터널 현장 암판정 실습

- 터널 굴진면 RMR 및 Q-system 판정
- 터널 공사 일반 공정 견학

⑤ 기타 사항 등

(6) 암판정 전문가 양성을 위한 교육 예산은 교육수혜자가 부담하는 것을 원칙으로 한다. 필요한 경우, 온라인 암판정 센터에서 지원할 수 있다.

※ 필요한 경우 : 온라인 암판정 통합운영시스템을 적용하는 현장의 기술자가 교육을 요청하는 경우 등

4.2 연구개발

(1) 온라인 암판정 센터에서는 온라인 암판정 통합운영시스템 사용자의 의견을 반영하여 시스템 개선 및 관련 지침 개정 위한 연구를 진행할 수 있다.

(2) 발주처, 설계사, 시공사, 감리사 등 온라인 암판정 통합운영시스템 사용자는 온라인 암판정 센터에 시스템의 문제점, 요구사항 등 다양한 의견을 제시할 수 있다.

(3) 온라인 암판정 센터에 접수된 의견은 온라인 암판정 센터 및 외부전문가의 검토를 거쳐 제안된 의견의 적절성 여부를 판단하고 시스템 개선에 반영하여야 한다.

(4) 온라인 암판정 센터 자체 인력으로 시스템 개선이 어려운 경우에는 연구 · 용역 등을 통해 개선하여야 한다.

(5) 연구 · 용역이 필요한 사항에 대하여 온라인 암판정 센터의 운영예산에 반영하도록 하며 예산 범위 내에서 외부 위탁 연구 및 용역을 추진할 수 있다.

(6) 온라인 암판정 센터에서는 지반공사와 관련된 암판정에 관한 국내외 기술 동향, 정책 변화 등을 연구하여 암판정 기술 발전을 위한 연구에 참여할 수 있다.

(7) 안전한 터널 시공 및 온라인 암판정 통합운영시스템의 사용 확장을 위하여 여러 건설공사 관련 제도 개선 및 해외 시장 진출 등과 관련된 업무를 추진할 수 있다.

온라인 암판정 지침(안)

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport
KAIA 국토교통 과학기술진흥원
KICT 한국건설기술연구원

목 차

제1조 목적 ---- **I-1**

제2조 적용범위 ---- **I-1**

제3조 용어의 정의 ---- **I-1**

제4조 온라인 암판정 위원회 구성 및 통합운영시스템 시행 ---- **I-2**

제5조 온라인 암판정 요청 요건 ---- **I-3**

제6조 온라인 암판정 요청시 필요 자료 ---- **I-3**

제7조 온라인 암판정 절차 ---- **I-5**

제8조 이의신청 및 재검측 ---- **I-6**

제9조 암판정 결과 보고 및 제출자료 ---- **I-6**

제10조 설계변경요청 ---- **I-7**

제11조 후속업무 ---- **I-8**

제12조 암판정 교육 등 ---- **I-8**

붙 임 ---- **I-11**

[붙임 1] 온라인 암판정 위원회 구성 ---- I-12

[붙임 2] 온라인 암판정 통합운영시스템 등록 자료 ---- I-13

[붙임 3] 암판정 검측요청서 및 답변서 ---- I-16

[붙임 4] 암판정 보고서(터널) ---- I-17

[붙임 5] 암판정 보고서(터널 갱구부) ---- I-18

[붙임 6] 온라인 암판정 업무흐름도 ---- I-19

[붙임 7] 암반분류 방법 ---- I-20

[붙임 8] 지보량 산정 방법 ---- I-34

[붙임 9] 위험지반 지반정수 데이터베이스(예) ---- I-37

[붙임 10] 위험지반 세부 암판정 기준 ---- I-40

제1조 목적

1. 본 지침은 터널공사에서 암판정 업무를 온라인 암판정 통합운영시스템을 이용할 수 있도록 제반 기준 및 절차를 정립하여 신속하고 신뢰도 높은 암판정 수행을 지원하는 데 목적이 있다.

제2조 적용범위

1. 온라인 암판정 지침은 터널 건설공사 현장 중에서 온라인 암판정 통합운영시스템을 사용하는 현장에 적용한다.
2. 온라인 암판정은 터널 갱구비탈면을 포함한 터널 구간을 기본 대상으로 한다.
3. 온라인 암판정 지침을 적용하는 현장은 온라인 암판정 통합운영시스템 사용을 위한 데이터 취득 및 제반 업무 비용을 터널 공정에 반영하여야 한다.

제3조 용어의 정의

1. 본 지침에서 사용하는 용어는 다음과 같은 용어 정의에 따른다.
   ① 막장면(또는 굴진면): 터널굴진방향에 대한 굴착면을 말하며 거의 연직에 가까운 면을 말함. 막장면 후방 20~30m 구간의 굴착 작업이 주로 실시되는 영역은 막장(굴착부)이라고 함
   ② 온라인 암판정: 온라인 암판정 통합운영시스템을 이용하여 터널 갱구를 포함한 굴착 등의 터널공사에서 나타나는 암반의 특성을 파악하여 공학적인 암반분류와 암반선을 신속하고 통일성 있게 판정하는 것을 말함
   ③ 온라인 암판정 통합운영시스템(OnRoC(online tunnel rock classification) system): 암반등급평가와 안전에 관련된 터널 설계, 시공 등 정보를 통합 관리하는 데이터베이스를 구축하고 자료를 분석하여 암판정 의사결정을 지원하고 터널시공 중 온라인상에서 암판정 업무 처리가 가능하도록 운영되는 시스템
   ④ 온라인 암판정 센터: 온라인 암판정 통합운영시스템을 적용한 현장에서 시스템 운영이 원활하게 이루어질 수 있도록 지원하는 조직
   ⑤ 디지털 페이스 맵핑: 굴진면의 암질, 암종, 불연속면 특성, 지하수 상태 등의 정보를 디지털 기반의 데이터베이스로 확보하기 위하여 전자야장을 이용하여 조사하는 기법
   ⑥ 레이저 스캔 맵핑: 굴진면의 풍화상태, 불연속면의 기하학적 정보 등을 정확하고 정량적

으로 조사하기 위하여 레이저스캐너를 이용하여 조사하는 기법

⑦ 터널 표면 입체 가시화 모델: 온라인상에서 굴진면과 굴진면 주변 지반의 종류, 구조적 특성 및 지하수 상태 등을 파악할 수 있도록 제공되는 3차원 입체모델을 의미하며 다시점 촬영으로 취득된 고해상도 이미지로부터 깊이 정보를 갖는 3차원 모델을 형상화한 후 실사 이미지를 텍스쳐 맵핑하여 생성함

⑧ 굴진면 안전감지 시스템: 레이저 거리측정기를 이용하여 굴진면 상의 여러 지점에서 동시 측정되는 변위를 실시간으로 분석하고, 사전 설정된 경보기준에 따라 관리자 및 작업자에게 실시간 경보를 발령할 수 있는 시스템

⑨ 위험지반 지반정수 데이터베이스: 단층대, 습곡대, 풍화대 등 위험지반으로 분류되는 지반의 물리적 및 역학적 특성, 야외노두의 산출상태, 지질학적 생성특성 등을 위치정보를 기반으로 구축한 데이터베이스

⑩ 책임감리원: 발주처와 감리용역 계약에 의해 감리회사 대표자를 대신하여 현장에 상주하면서 당해 공사전반에 대한 감리업무를 총괄하는 자

⑪ 현장대리인: 발주처와 공사 계약에 의해 시공회사 대표자를 대신하여 현장에 상주하면서 당해 공사전반에 대한 시공업무를 총괄하는 자

⑫ Q-System: 정량적인 암반분류 방법 중 하나이며, RQD, 절리군수, 불연속면 거칠기, 불연속면 변화정도, 지하수에 의한 감소계수, 응력감소계수 등을 반영하여 암반을 분류하는 방법

⑬ RMR(Rock Mass Rating System): 정량적인 암반분류 방법 중 하나이며, 암석의 강도, RQD, 불연속면의 간격, 불연속면의 상태, 지하수 상태, 불연속면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반 상태를 분류하는 방법

제4조 온라인 암판정 위원회 구성 및 통합운영시스템 시행

1. 책임감리원은 공사 착공과 동시에 온라인 암판정 위원회를 구성 · 운영하고(붙임 1), 온라인 암판정 센터의 협조를 받아 온라인 암판정 통합운영시스템을 현장에 설치하여야 한다.
2. 온라인 암판정 통합운영시스템 운영을 위하여 설계자료와 시공자료(붙임 2)를 온라인 암판정 통합운영시스템에 등록하여야 한다.
3. 온라인 암판정은 특별한 사정이 없는 한 현장대리인의 요청을 접수한 날로부터 1일 이내에 시행하여야 한다. 단, 책임감리원(직감현장 책임감독)이 긴급하다고 판단한 경

우에는 즉시 발주기관 절차에 따라 유선 보고하고, 긴급 조치한 후 관련 자료는 온라인 암판정 위원회에 제출하여 검토를 받아야 한다.

※ 긴급함이란 터널붕괴, 변위가 수렴하지 않는 경우 등 위험징후가 관찰되어 온라인 암판정을 수행할 시간이 없는 경우

4. 온라인 암판정 통합운영시스템의 원활한 사용을 위하여 시스템이 적용되는 현장의 직원은 데이터 수집, 전송 및 관리를 위한 교육을 받아야 한다.

제5조 온라인 암판정 요청 요건

1. 현장대리인은 절취 또는 굴착 작업시 암반등급이 변화하거나 위험 구간이라고 판단될 경우, 책임감리원(책임감독)과 협의하여 온라인 암판정을 요청하여야 한다.

가. 터널

① 터널굴착 중 설계에서 계획된 지보패턴 변경지점 또는 일일검측결과(RMR값, Q값, Face Mapping 포함) 암반등급 변경 및 지질이상대 발견 등으로 인하여 지보패턴 변경이 요구된다고 판단될 경우

② 책임감리원이 현장관찰 및 일상계측을 통해 필요하다고 판단하여 암판정 요구를 지시한 경우

나, 터널 갱구비탈면

① 노출된 암반선이 설계시 추정한 암반선과 상이할 경우

- 터널 갱구 깎기 비탈면은 최종 깎기 완료 후 시행을 원칙으로 하며, 최종 깎기 작업 완료 전 비탈면 보강·보호공 시공 등 암굴착 상태 보존이 어려운 경우에는 깎기 비탈면 일부분에 대하여 암판정을 시행할 수 있다.

② 노출된 토질 또는 암질이 설계와 상이하여 절취 또는 굴착방법의 변경을 필요로 할 경우

③ 노출된 암반의 절취상태 등이 설계와 상이하여 비탈면 안정해석 또는 비탈면 보강·보호공법의 변경을 필요로 할 경우

제6조 온라인 암판정 요청시 필요 자료

1. 온라인 암판정 요청 시에는 검측요청서(붙임 3)를 제출하여야 하며 검측요청서 제출은

온라인 암판정 통합운영시스템 양식으로 대체할 수 있다.

2. 온라인 암판정 위원에게 제공하는 자료의 종류는 아래의 각호에 해당하며 온라인 암판정 통합운영시스템에 등록되는 자료는 아래 자료를 포함한다.

① 터널

- 터널 지질도
- 암반분류 Sheet(RMR, Q-system)
- Face Mapping
- 전개도 Mapping
- 막장면(굴진면) 사진 및 동영상
- 지반조사자료 (선진수평시추조사, 막장전방탄성파탐사 결과 등)
- 굴착 및 보강 현황
- 계측자료
- 디지털 페이스 맵핑 자료
- 터널 표면 입체 가시화 모델 자료
- 굴진면 안전감지 자료
- 레이져 스캔 맵핑 자료

② 터널 갱구비탈면

- 측량 성과표
- 종단면도
- 횡단면도(설계암선 및 변경암선 표시)
- 깎기비탈면 Mapping
- 평사투영(15m이상의 암 대절토 구간)
- 깎기부 사진 및 동영상
- 지반조사자료 (시추주상도 등)

3. 온라인 암판정 통합운영시스템의 효율적인 운영을 위하여 데이터 구축 및 관리는 일반구간 관리데이터와 위험구간 관리데이터로 구분할 수 있다. 일반구간 관리데이터는 굴착 암반등급이 1, 2, 3 등급에 해당하는 구간으로 디지털 페이스 맵핑과 계측자료로 구성되며 위험구간 관리데이터는 굴착 암반등급이 4, 5 등급에 해당하는 구간으로 터

널 표면 입체 가시화 모델 자료, 굴진면 안전감지 자료, 레이저 스캔 맵핑 자료가 추가로 구축, 관리되어야 한다.

제7조 온라인 암판정 절차

1. 온라인 암판정 위원은 일정계획에 따라 다음 각 호와 같이 암판정을 수행한다(붙임 6).
   ① 온라인 암판정 요청 승인
   ② 온라인 암판정 통합운영시스템 등록 자료 확인
   - 최소 10m전의 검측서(막장관찰자료 포함) 및 계측결과
   - 터널해석보고서의 패턴별 터널안정해석 결과 등 설계자료 검토
   - 필요시 원설계자의 지반조사 및 터널해석보고서 내용에 대한 의견을 포함

   ③ 온라인 암판정 통합운영시스템 접속 및 현장보고자료 확인
   - 현장사진, 동영상 등 현장 현황자료
   - 현장시험자료
   - 온라인 암판정 통합운영시스템 등록 자료

   ④ 온라인 암판정 수행
2. 암판정위원은 암판정 보고서(붙임 4, 붙임 5)를 작성하여 온라인상으로 제출하여야 한다. 단, 해당 건설공사와 관련된 설계도서, 시방서 등에 포함된 암판정 지침의 양식이 있는 경우에는 이를 우선 적용할 수 있다.
   ① 터널 암판정은 RMR, Q-system과 같은 공학적 분석을 하여야 하며 암판정 기준은 국내외 다양한 자료를 참고할 수 있다.
   ② 암판정 기록일지는 지반상태(균열 등)를 포함하여 적용패턴 또는 변경 패턴에 암판정 의견을 세부적으로 기록하여야 한다.
3. 암판정 시행 중 현장에서 시료 또는 샘플을 채취했을 경우 검측시트(Sheet)와 도면에 표시하고 필요 시, 판정 결과를 기입하여야 하며 현장대리인으로 하여금 시료 또는 샘플에 암판정 위치와 일시 및 표고를 기재하여 보관토록 조치하여야 한다.
4. 암판정 시행 중 현장에서 암질별 샘플을 채취하여 외부시험기관에 시험 위탁토록 현장대리인에게 지시한 경우, 의뢰시험 결과가 현장에 접수된 다음날까지 암판정을 완료하여야 한다.
5. 온라인 암판정 수행을 위해 암반분류 방법(붙임 7), 지보량 산정 방법(붙임 8), 위험지반 지반정수 데이터베이스(예)(붙임 9), 위험지반 세부 암판정 기준(붙임 10) 자료를 참

고할 수 있다.

제8조 이의신청 및 재검측

1. 판정결과에 이의가 있는 경우 현장대리인은 결과를 통보받은 날로부터 3일 이내에 입증자료를 첨부한 이의 신청서를 책임감리원(직감현장 책임감독)에게 제출하여야 한다. 단, 입증자료 준비에 상당기간이 소요될 경우 이의 신청서에 제출예정일을 명시하여 제출할 수 있다.
2. 암판정위원장은 이의신청이 있는 경우 특별한 사유가 없는 한 최종 입증자료 접수 후 1일 이내에 위원회를 소집, 심의하여 그 결과를 통보해야 한다. 이때 현지확인, 재검측 또는 시험이 필요한 경우 시공자는 재검측 등에 필요한 사항을 협조해야 하며, 재검측 등에 소요되는 기간만큼 심의결과 통보기한을 연장할 수 있다.
3. 재검측 등에 관한 절차와 구비서류는 최초의 암판정 절차에 따르되 특별한 시험 또는 검측이 필요한 경우에는 위원의 결의에 의하여 방법을 달리하여 판정할 수 있다. 판정결과에 이의가 있는 경우 현장대리인은 결과를 통보받은 날로부터 3일 이내에 입증자료를 첨부한 이의신청서를 책임감리원에게 제출하여야 한다. 단, 입증자료 준비에 상당기간이 소요될 경우 이의신청서에 제출예정일을 명시하여 통보할 수 있다.

제9조 암판정 결과 보고 및 제출자료

1. 책임감리원(직감현장 책임감독)은 암판정 후 다음 각 호에 해당되는 경우에는 암판정 결과를 발주기관 절차에 따라 보고하여야 한다.

   ① 터널 패턴변경에 따라 보강공법이 수반되는 경우
   ② 깎기부 비탈면 변경으로 추가용지가 발생한 경우
   ③ 절리상태, 절리방향 등에 따라 비탈면 붕괴위험으로 별도의 보강공법이 필요하거나 비탈면안정해석이 필요한 경우
   ④ 구조적인 안정성 검토 혹은 전문기관의 안전진단이 필요한 경우

2. 책임감리원(직감현장 책임감독)은 암판정 결과를 발주기관에 보고하는 경우에는 다음 서류를 첨부하여야 한다. 단, 긴박한 공법변경이 아닌 일상적인 경우는 현장설계변경

요청서 제출 시 보고한다.

① 터널 등의 암질변경 시

1) 현장 및 온라인 암판정 기록일지 및 보고서(막장면 조사 및 시험결과 포함)
2) 온라인 암판정위원 암판정 결과
3) 온라인 암판정 결과를 반영한 지질주상도
4) RMR Sheet/Q System Sheet/Face Mapping/전개도 Mapping
5) 사진대지
6) 계측자료
7) 온라인 암판정 통합운영시스템 사용 자료

② 갱구비탈면 암선 변경 결과 보고

1) 현장 및 온라인 암판정 기록일지 및 보고서
2) 온라인 암판정위원 암판정 결과
3) 온라인 암판정 결과를 반영한 종단면도, 횡단면도
4) 비파괴 시험 성과표
5) 측량성과표(감리원 확인)
6) 깎기비탈면 Mapping
7) 평사투영(15m이상의 암 대절토구간)
8) 사진대지
9) 온라인 암판정 통합운영시스템 사용 자료

제10조 설계변경요청

1. 현장대리인은 암판정 결과를 활용하여 시공계획 수립 또는 설계변경요청 등의 조치를 취할 수 있다.
2. 온라인 암판정 결과를 활용하여 현장설계 변경을 요청할 경우에는 다음 서류를 첨부하여야 한다.
   - 현장설계변경 요청서
   - 현황도
   - 공사비증감 대비표(암선변경 및 이와 관련된 시설구조의 변경, 비탈면보호, 터널보강비 포함)

· 사진대지
· 암판정 관련서류 사본일체
· 관련공문 사본

제11조 후속업무

1. 온라인 암판정 결과를 포함한 품질 기록은 규격 양식으로 온라인 암판정 통합운영시스템에 등록·보존하여 터널 유지관리 등에 활용될 수 있도록 하여야 한다.
2. 책임감리원(직감현장 책임감독)은 현장대리인에게 암판정 결과를 종합하여 통보한다.
3. 현장대리인은 암판정 결과 보고서를 작성하여 책임감리원(직감현장 책임감독)에게 제출한다.
4. 품질담당(시험관리자)의 감리요청이 있을 시 암질별 샘플을 채취하여 외부시험기관에 시험 위탁하고 그 결과를 서류 또는 파일(전자 문서)로 관리토록 한다.
5. 공사담당자가 암판정과 관련된 암판정보고서와 관련서류를 서류 또는 파일(전자 문서)로 관리토록 한다.
6. 서류 또는 파일(전자 문서)은 시공사와 감리사가 각각 보관하며, 보관 책임자는 현장대리인과 책임감리원으로 한다.
7. 기타 절차는 온라인 암판정 위원회의 결정에 따른다.

제12조 암판정 교육 등

1. 온라인 암판정 위원들로부터 효율적, 객관적인 암판정 결과를 도출하기 위해서는 적절한 암판정 제출 자료를 준비해야 한다. 이를 위하여 현장에서 온라인 암판정 자료를 준비하는 기술자 및 감리원도 온라인 암판정 절차 및 평가 기준에 대한 정보 숙지가 필요하다.
2. 온라인 암판정 위원들 사이에서도 어느 정도 일관된 암판정을 유도하기 위하여 객관적인 지표를 빠짐없이 작성하고 되도록 주관적인 평가 작성란의 사용을 최소화 하도록 하는 교육이 필요하다.
3. 온라인 암판정의 일관성 및 객관성을 확보하기 위한 “정기 또는 온라인 교육” 내용은 다음과 같다.
   - 온라인 암판정 검측요청서 작성 요령
   - 온라인 시스템 등록 자료 종류 및 내용

- 공종, 횡단면도, 지질주상도 제출 범위 및 요약서 작성 요령
- 온라인 암판정 절차 및 평가 기준
- 온라인 암판정 결과 해석 요령
- 온라인 암판정 이의신청 및 재검측 요청 요령
- 설계변경 요청 요령

붙 임

붙임 1. 온라인 암판정 위원회 구성

붙임 2. 온라인 암판정 통합운영시스템 등록 자료

붙임 3. 암판정 검측요청서 및 답변서

붙임 4. 암판정 보고서(터널)

붙임 5. 암판정 보고서(터널 갱구부)

붙임 6. 온라인 암판정 업무흐름도

붙임 7. 암반분류 방법

붙임 8. 지보량 산정 방법

붙임 9. 위험지반 지반정수 데이터베이스(예)

붙임 10. 위험지반 세부 암판정 기준

[붙임 1] 온라인 암판정 위원회 구성

구 분	내 용	비고
위원장	책임감리원 (직감현장 주감독)	
온라인 암판정 위원	■ 암판정 전문가 (아래 분야 해당자) - 토질 및 기초 기술사로 터널분야 실무 경력 5년 이상 - 지질 및 지반 기술사로 터널분야 실무 경력 5년 이상 - 화약관리 기술사로 터널분야 실무 경력 5년 이상 - 토질 또는 응용지질 전공 분야로 터널분야 실무 경력 10년 이상 - 토목, 지질, 자원 분야 박사학위 소지자로 중앙정부 또는 지방자치단체 터널분야 기술자문위원으로 5년 이상 활동	3인~5인
현장 암판정 위원	■ 인접감리공구장 또는 직감구간 감독 중 1인 ■ 기술지원 기술자 (아래 분야 해당자) - 토질 및 기초분야 - 지반 분야 ■ 계측관리자	2인~3인

※ 1. 기술사라 함은 해당 기술 분야에 관한 고도의 전문지식과 실무경험에 입각한 응용능력을 보유한 사람으로서 「국가기술자격법」 제10조에 따라 기술사 자격을 취득한 사람을 말한다.

2. 온라인 암판정 위원회는 위원장, 온라인 암판정 위원으로 구성한다.

3. 온라인 암판정 위원은 공사착공과 동시에 5인 이상으로 상시 구성·운영하고, 온라인 암판정시에는 최소 3인 이상 참석하여야 한다. (온라인 암판정 센터에 등록된 인력풀이나 건설기술인협회에 등록된 인력풀에서 최소 5인 이상 선정)

4. 온라인 암판정을 수행하기 어려운 상황이 발생한 경우, 위원장 판단으로 현장 암판정 위원만으로 암판정 위원회를 구성하여 진행할 수 있으며 그 결과는 온라인 암판정 위원의 검토를 받아야 한다.

5. 현장 암판정 위원을 구성할 때, 현장여건에 따라 현장대리인, 공사관리관, 원설계자가 참여할 수 있으며 인접감리(직감)공구가 없을 경우 외부 전문가(경력 5년 이상 토질 및 기초기술사 등)로 대체한다.

6. 온라인 암판정 위원으로 활동하기 위해서는 해당 분야의 경력을 증명해야 한다.

[붙임 2] 온라인 암판정 통합운영시스템 등록 자료

1. 설계자료

가. 온라인 암판정 통합운영시스템 터널모델 생성 기초자료 (터널평면선형자료, 터널종단선형자료, 터널 단면 등)

나. 지반조사 보고서 (터널 지질도, 주상도, 물리탐사 자료 포함)

다. 보고서 (터널 편)

라. 터널해석보고서 (갱구비탈면 안정성 검토 결과 등 포함)

마. 설계도면 (지층구분선이 있는 갱구부 계획도, 암반등급도 및 지보패턴 적용도 등 포함)

바. 시방서

사. 기타 자료

2. 시공자료

가. 검측서(RMR값, Q값, Face Mapping, 종단 Mapping, 전개도 Mapping도, 시공중 주상도, 현장 시험실에 단면별 시료 및 시험자료 등)

나. 계측결과

다. 사진 또는 동영상

라. 굴착 및 보강 현황

마. 암판정 결과

바. 온라인 암판정 통합운영시스템 운영 자료 (디지털 페이스 맵핑 자료, 터널 표면 입체가시화 모델 자료, 굴진면 안전감지 자료, 레이저 스캔 맵핑 자료)

사. 기타 자료 (전방지반 확인 자료, 시험자료 등)

3. 온라인 암판정 통합운영 시스템 데이터 형식

가. 온라인 암판정 통합운영시스템 운영을 위하여 등록되는 “굴진면 안전감지” 자료는 데이터와 이미지로 구성되며 데이터는 엑셀호환이 가능한 mdb, xml, csv 형식, 이미지는 png 형식을 사용한다.

나. 온라인 암판정 통합운영시스템 운영을 위하여 등록되는 “레이저 스캔 맵핑” 자료는 dat 형식을 사용한다.

다. 온라인 암판정 통합운영시스템 운영을 위하여 등록되는 “디지털 페이스 맵핑” 자료는 mdb, xml 형식을 사용한다.

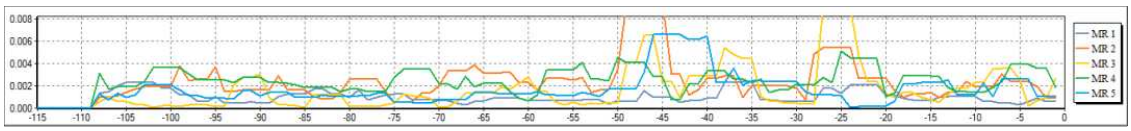
※ 온라인 암판정 통합운영시스템 등록 자료 샘플

1. 굴진면 안전감지 시스템 (FSMS, Face safety monitoring system)

- 해당 굴진면 굴착 직후부터 다음 굴진면 굴착 직전까지 굴진면에서 측정된 시간에 따른 수평 변위 값
- 시간에 따라 측정된 수평변위 값들의 시간에 따른 평균 값
- 측정된 수평변위의 분산을 나타내는 MR (moving range) 값
- 측정된 수평변위 중 이상(abnormal) 변위를 파악할 수 있는 관리 기준선(상·하한선) 값
- MR 값 중 이상 변위를 파악할 수 있는 관리 기준선(상·하한선) 값
- 상기의 데이터들을 나타낸 x-MR 관리도 그래프

※ 변위 데이터는 .csv 또는 .xlsx 등의 엑셀 파일 형태로 제공되어야 하며, 각 데이터가 필드로 구분되어 있어 계산 및 분석이 가능할 수 있어야 함.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Station	000터널	수평/수직	수평	MR	5	경사각	2	방위각	0		
2	날짜/시간	처음측정값	보정거리 값	보정거리 차이값	보정거리 평균	보정거리 UCL	보정거리 LCL	보정MR값	보정MR 평균	보정MR UCL	보정MR LCL	에러
3	2016-07-07 23:18	18.1692	18.1579	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2016-07-07 23:19	18.1697	18.1585	0.0006	0.0003	0.0003	0.0003	0	0	0	0	1
5	2016-07-07 23:19	18.1693	18.1581	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0	0	0	0	1
6	2016-07-07 23:19	18.1693	18.1581	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0	0	0	0	1
7	2016-07-07 23:19	18.169	18.1578	-0.0001	0.0002	0.001	-0.0006	0.0006	0.0006	0.0013	0	0
8	2016-07-07 23:19	18.1686	18.1574	-0.0005	0.0001	0.0011	-0.001	0.001	0.0008	0.0017	0	0
9	2016-07-07 23:19	18.169	18.1578	-0.0001	0	0.001	-0.001	0.0007	0.0008	0.0016	0	0
10	2016-07-07 23:19	18.169	18.1577	-0.0002	0	0.0009	-0.001	0.0007	0.0007	0.0016	0	1



2. 레이저 스캔 맵핑

- X값, Y값, Z값 : 좌표값
- R(red), G(green), B(blud) : 반사강도 값
- 맵핑 데이터(예)

레이저 스캔 매핑.txt

```
//X;Y;Z;R;G;B;Scalar field
-12.08300018;-4.98299980;-1.48399997;13;9;9;1874.000000
-12.08300018;-4.93300009;-1.47899997;14;9;8;1710.000000
-12.07800007;-4.92899990;-1.47599995;14;10;8;1593.000000
-12.10299969;-4.85500002;-1.46599996;11;9;7;1425.000000
-12.06799984;-4.90999985;-1.46800005;13;9;8;1904.000000
```

3. 디지털 페이스 맵핑

- 도메인 식별자
- 스테이션 Xml : 스테이션레인지, 현장사진, 암종, 암질, 노선단면, 불연속면, 지하수 등 7개의 레이어 정보

- 스테이션 Xml(예)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <FaceMapping>
    <Station>STA. 3 + 960.0</Station>
    <Time>2016.10.04</Time>
    <Child>7</Child>
    <Layer Alpha="255" PopUpMenu="False" Freeze="False" CropLink="False" Show="True" Child="0" Name="현장 사진"/>
  - <Layer Alpha="180" PopUpMenu="False" Freeze="False" CropLink="False" Show="True" Child="1" Name="암질">
      - <Container Child="1" Name="0 Boundary" RegionHitTest="True" Moveable="False" GroupSignType="0" GroupShow="True">
          - <Shape Show="True" Name="0 Boundary" Antialias="True" InsideHitTest="False" SignType="0" ShapeType="폴리곤">
              - <Property>
                    <LineColor>#000000</LineColor>
                    <LineStyle>1</LineStyle>
                    <LineWidth>1</LineWidth>
                    <FillColor>#ffffff</FillColor>
                    <FillStyle>0</FillStyle>
                    <Reference/>
                    <PatternType>0</PatternType>
                </Property>
              + <PointList Count="109">
            </Shape>
        </Container>
    </Layer>
  + <Layer Alpha="180" PopUpMenu="False" Freeze="False" CropLink="False" Show="True" Child="1" Name="암종">
    <Layer Alpha="255" PopUpMenu="True" Freeze="False" CropLink="False" Show="True" Child="0" Name="기타"/>
  + <Layer Alpha="255" PopUpMenu="True" Freeze="True" CropLink="False" Show="True" Child="110" Name="노선단면">
    <Layer Alpha="255" PopUpMenu="False" Freeze="False" CropLink="False" Show="True" Child="0" Name="불연속면"/>
    <Layer Alpha="255" PopUpMenu="False" Freeze="False" CropLink="False" Show="True" Child="0" Name="지하수"/>
</FaceMapping>
```

[붙임 3] 암판정 검측요청서 및 답변서

검측요청서

발송 : 시공사

수신 : 감리계약자

문서번호 :

다음의 작업을 검측, 승인하여 주시기 바랍니다.

공 종	
위 치	
검측부위	
검측일자	
요 청 자	확인자

첨 부 :

서명 . . . . . 날자 . . . . .

현장 대리인

검측 요청서에 대한 답신

(감리 계약자로부터 시공사에게)

발송 : 감리 계약자

수신 : 시공사

문서번호 :

감리 계약자는 다음 작업에 대하여 검측할 것입니다.

공 종	
위 치	
검측부위	
검측일자	
요 청 자	승인 미승인
미승인사	
답 신 자	확인자

첨 부 :

서명 . . . . . 날자 . . . . .

책임감리원(직감현장 주감독)

[붙임 4] 암판정 보고서(터널)

암판정 보고서(터널)

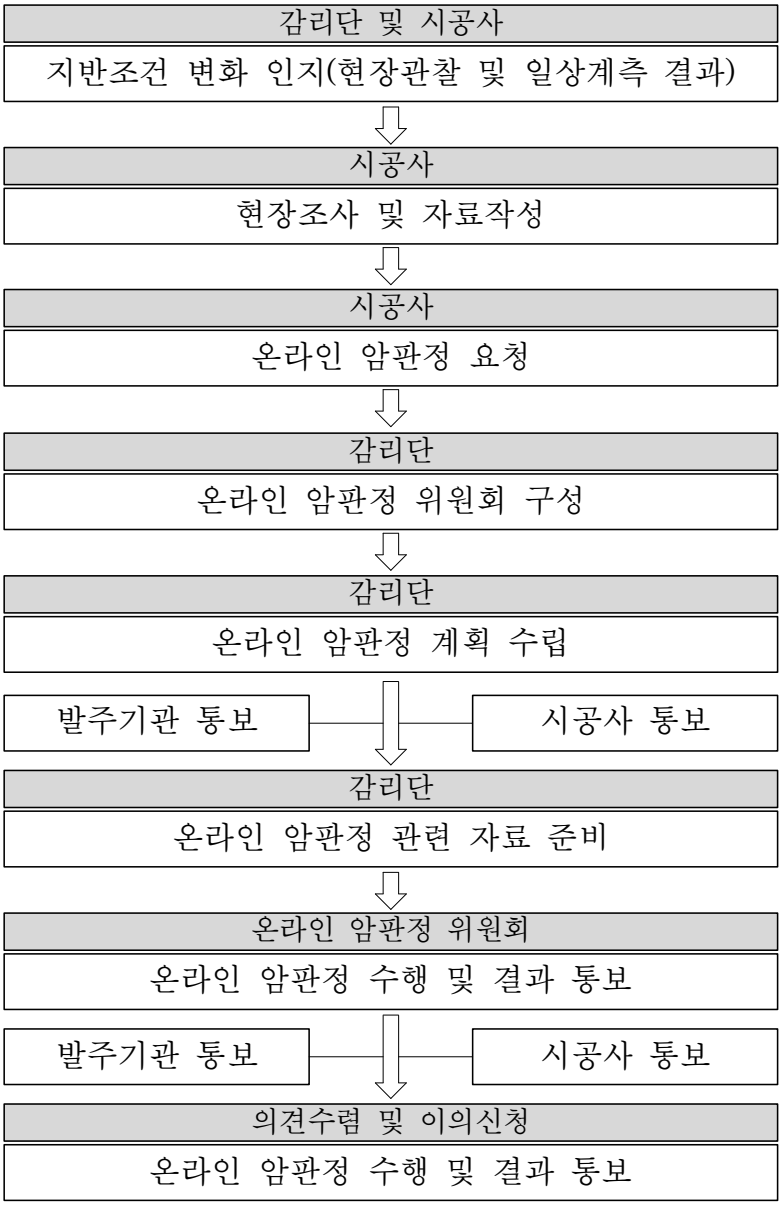
터널 명	위치	암반 분류	굴착 패턴		비고
			설계굴착패턴	변경굴착패턴	

[붙임 5] 암판정 보고서(터널 갱구부)

암판정 보고서(터널 갱구부)

일 시			장 소		
공구별					
도급회사			책임감리원		
위 치	km ~ km (m)				
암판정					
암판정	결정암 위원장				
구분	풍화암	연암	경암	소속 및 직위	성명
위원					
위원					
위원					
위원					
위원					
참석대상인원	명	참석인원	명	불참인원	
주요공법 결정					
작성자	책임감리원 또는 주감독	서명 _____		일자 _____	

[붙임 6] 온라인 암판정 업무흐름도



[붙임 7] 암반분류 방법

1. 국내 암반분류

■ 국내에서는 1982년 서울지하철 3, 4호선의 시공에 NATM 공법을 적용한 이후 도로, 지하철, 철도 등의 터널에 경험적 암반분류를 근간으로 하는 NATM 공법의 적용이 확대되었음
■ 시공시의 막장을 관찰하여 결정한 암반등급과 보강패턴과 관계를 통계 · 분석하여 도출된 RMR과 Q-System을 원용하고 있음

○ 국내 암반분류 기준

구 분	분류 목적	분류 요소	검 토	비 고
토목표준품셈	토 공	■ 탄성파 속도(자연, 암석) ■ 내압강도 ■ 암석종류	■ 암편의 일축압축강도 기준이 너무 높음 ■ 연암 이하의 일축압축강도는 가공의 수치임	건설교통부
용역협회기준	시추암석 분 류	■ 탄성파속도, ■ 일축압축강도	■ 시추주상도상의 암석종류 기재 시 이용	한국 기술용역협회
서울시 표준지반분류	토목공사	■ SPT, TCR, RQD ■ 일축압축강도, ■ 절리면 간격	■ 정성적 기준임	서울특별시
서울지하철	터 널	■ SPT, TCR, RQD ■ 일축압축강도, ■ 절리면 간격 ■ RMR과 연계	■ 서울시 표준지반분류를 근간으로 한 것으로 RMR과 연계 시 등급 간격이 일정치 않음	서울지하철 9호선 설계기준(안) (1997)
고속철도	터 널	■ 일축압축강도, ■ 탄성파속도 ■ 변형계수 ■ 지반강도비 ■ TCR, RQD ■ 현장, 육안관찰	■ RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 지반등급 결정 가능성 제공	고속철도 시 방 서 지반분류(안)
한국도로공사	터 널	■ RQD, RCR, RMR ■ Q-System ■ 탄성파속도 ■ 일축압축강도	■ 기존 암반분류 기준을 이용하며, RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 지반등급 결정 가능성 제공	

2. 외국의 암반분류

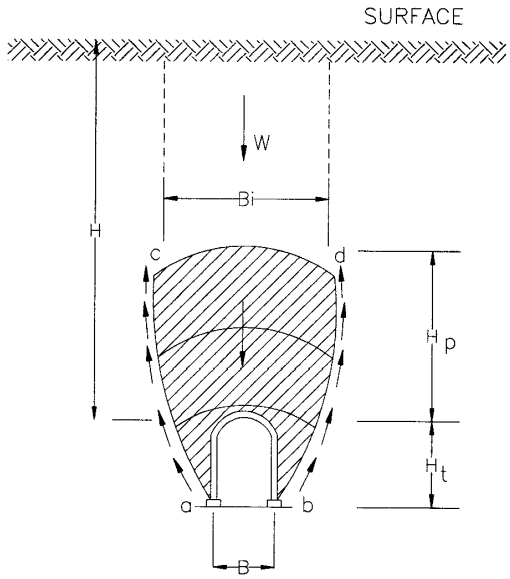
- 1940년대 중반부터 암반분류가 도입된 이래 터널, 댐, 사면 등을 대상으로 하는 각종 공사에서 암반조사, 시험, 계측 기술의 진보와 더불어 수치해석 기법이 발달됨에 따라 여러 암반분류 시스템이 발전
- 이들 중 RQD, RMR과 Q-System을 이용한 암반의 분류방법이 가장 많이 사용

○ 외국의 암반분류법 및 분류요소

분류방법	제 안 자	평 가 요 소																	
		암석종류	풍화변질정도	파쇄상황	층리편리상태	절리간격	절리상태	절리·균열의방향	시추코아	암석강도	변형특성	팽창·압출의정도	햄머타격	탄성파속도	지반강도비·지압	코아채취율	RQD	코아채취율	용수의정도	지반의안정성
암반하중법	Terzagh,i 1946 Rose, 1982			○		○				○		○					◎			
Rabcewicz의 암반분류	Rabcewicz & Pacher, 1957			○						○		○								
Müler의 암반분류	Muiler, 1963		○			○														
RQD	Deere, 1967					○	○	○									◎			
RSR	Wickham, 1974	○				○	○	○		○										
RMR	Bieniawski, 1974					○	○			○							◎		○	
Q-System	Barton, 1974		○							○					◎		◎		○	
스위스 지반분류	SIA 199호, 1975																			○
오스트리아 지하공사 표준시방서	ONORM, B2203, 1975									○		○								
프랑스터널협회 암반분류	AFTES, 1975	○								○		○								
일 본 국유철도기준		○												◎		◎				
일 본 도로협회기준		○	○		○	◎	○		◎				○	◎				○		
일 본 도로공단기준		○	○		○	◎			◎				○	◎	◎			○		
일본농림 수산성기준				○		○				◎				◎	◎					
일본수자원 개발공단기준		○	○			◎	○			◎			○	◎						

○ 암반하중법

■ 이완 영역은 터널 상단의 Terzaghi의 이완 토압을 Deere(1970)가 보완한 것이며 이완 영역에 대한 모식도는 다음 그림과 같음



< 터널의 이완 토압 (Terzaghi, 1946) >

- Terzaghi 암반하중 분류

암반의 상태	암반 하중의 높이 H_p (m)	RQD	적 용
1. 무결함 암반	0	95～100	■ Spalling과 Popping이 있을 때 얇은 라이닝
2. 단단한 층상 혹은 편암상	0～0.5B	90～99	■ 주로 Spalling대책으로 간단히 지보, 하중은 장소에 따라 변화할 가능성이 있음
3. 괴상, 보통 절리	0～0.25 (B+H_t)	85～95	
4. 보통 파쇄, 약층 있음	0.25～0.35 (B+H_t)	75～85	■ 측압 없음
5. 심한 파쇄, 약층 있음	0.35～1.10 (B+H_t)	30～75	■ 측압이 낮거나 전혀 없음
6. 완전 파쇄, 화학변화 없음	1.10 + (B+H_t)	3～30	■ 적당한 측압, 바닥에서 침투수가 용출할 경우에는 지보 하부를 연속 지보로 하던가 원형 지보로 해야 함
7. 압출성, 중정도의 깊이	(1.10～2.10)+(B+Ht)	0～3	■ 큰 측압, Invert Struts나 필요한 원형 지보가 적당
8. 압출성, 깊은 심도	(2.10～4.50) (B+H_t)	-	
9. 팽창성 암반	(B～H_t)에 관계없이 75 m 이상	-	■ 원형 지보가 필요, 극단의 경우 가축 지보를 씀

○ RQD에 의한 암반분류

■ 코어회수율 (TCR : Total Core Recovery)을 발전시킨 개념인 RQD(Rock Quality Designation)는 절리의 발달 간격을 나타내는 지수로서 암반특성을 파악하는 중요한 판단 요소
■ 과업구간에서 실시한 시추조사 자료에서의 RQD를 산정

제 안	■ Deere (1966)
평가 방법	■ RQD (%) = (10 cm 이상인 Core 길이의 합 / 총 시추 길이) × 100
장 점	■ 신속하게 불연속면의 간격을 정량화, 주관적인 차이가 적음
단 점	■ 절리의 방향성, 밀착성, 충전물, 지반응력 등을 고려할 수 없음

- 암반등급 기준 (Deere, 1966)

암 질	굴착 방법	선택 가능한 지보형식		
		강 지 보	록 볼 트	숏크리트
매우 양호 RQD>90	TBM	■ 불필요하나 경우에 따라 소형 철재 지보 ■ 암반하중(0.0~0.2)B	■ 불필요하나 경우에 따라 설치	■ 불필요하나 경우에 따라 국부적으로 타설
	천공 발파	■ 불필요하나 경우에 따라 소형 철재지보 ■ 암반하중(0.0~0.3)B	■ 불필요하나 경우에 따라 설치	■ 불필요하나 경우에 따라 국부적으로 타설 두께 50~70 mm
양 호 75<RQD<90	TBM	■ 경우에 따라 CTC 1.5~1.8 m의 소형 패턴 철재 지보 ■ 암반하중(0.0~0.4)B	■ 경우에 따라 CTC 1.5~1.8 m의 패턴 볼트	■ 불필요하나 경우에 따라 국부적으로 타설 두께 50~70 mm
	천공 발파	■ CTC 1.5~1.8 m의 소형 철재 지보 ■ 암반하중(0.3~0.6)B	■ CTC 1.5~1.8 m의 패턴 볼트	■ 경우에 따라 국부적으로 타설, 두께 50~70 mm
보 통 50<RQD <75	TBM	■ CTC 1.5~1.8 m의 소형 혹은 중형 철재 지보 ■ 암반하중(0.4~1.0)B	■ CTC 1.2~1.8 m의 패턴 볼트	■ 천장부에 타설, 두께 50~100 mm
	천공 발파	■ CTC 1.2~1.5 m의 소형 혹은 중형 철재 지보 ■ 암반하중(0.6~1.3)B	■ CTC 0.9~1.5 m의 패턴 볼트	■ 천장부와 측벽부에 타설, 두께 100 mm 이상
불 량 25<RQD <50	TBM	■ CTC 0.9~1.5 m의 중형 원형 철재 지보 ■ 암반하중(1.0~1.6)B	■ CTC 0.9~1.5 m의 패턴 볼트	■ 천장부와 측벽부에 타설, 두께 100~150 mm 록볼트와 병용
	천공 발파	■ CTC 0.6~1.2 m의 중형 또는 대형 철재지보 ■ 암반하중(1.3~2.0)B	■ CTC 0.6~1.2 m의 패턴 볼트	■ 천장부와 측벽부에 타설, 두께 150 mm이상, 록볼트와 병용
매우 불량 RQD<25 (압착성 혹은 팽창성 암반 제외)	TBM	■ CTC 0.6 m의 중형 또는 대형 철재 지보 ■ 암반하중(1.6~2.2)B	■ CTC 0.9 m의 패턴 볼트	■ 전체 면에 타설, 두께 150 mm이상 록볼트와 병용
	천공 발파	■ CTC 0.6 m의 대형 원형 철재 지보 ■ 암반 하중(1.6~2.2)B	■ CTC 0.9 m의 패턴 볼트	■ 전체 면에 타설, 두께 150 mm 이상 중형 또는 대형 철재 지보와 병용

○ RMR에 의한 암반분류

■ 각 터널구간의 터널 단면 암반 상태의 RMR 분류 항목
① 일축압축강도
② RQD
③ 절리 간격(빈도)
④ 절리 상태
⑤ 지하수 조건
⑥ 절리방향과 터널 굴진방향과의 상관관계
■ RMR = (암석강도 + RQD + 불연속면 간격 + 불연속면 상태 + 지하수 조건)의 평점 - 불연속면의 방향에 의한 평점
■ 이 암반분류에 따라서 각 암반등급별로 터널 굴착단면이 지보없이 자립할 수 있는 시간인 무지보 자립시간(Stand-up Time)과 터널의 최대 안정 폭을 산정할 수 있음
■ RMR분류법은 발파에 의한 시공의 보강 지침이므로 TBM(Tunnel Boring Machine)으로 시공할 때에는 발파보다도 보강 지보량이 적으므로 RMR값과 RSR값의 상관관계로부터 RSR값으로 환산한 후 보정지수를 구하여 보정된 RSR값을 구하고 또 RMR값으로 환산하는 방법을 적용해야 함

- 평가순서

(1) 현장조사 및 실내시험을 통하여 각 변수에 평점을 할당
- 최악의 조건보다는 대표적인 조건을 평가
- 절리간격에 대한 평점 산정은 3개의 불연속군이 형성된 암반에 적용
(두 개의 불연속군만이 존재할 때는 보수적인 산정값이 얻어짐)

(2) 분류변수들에 대한 평점이 산정되면 열거된 5개의 변수들에 대한 평점을 합하여 분석중인 구조지역 암반에 대한 기본 평점을 결정
- 기본 평점을 계산하는 이 단계를 분리하여 다루는 이유는 절리의 방향성에 대한 영향이 터널(광산), 사면, 기초 등과 같은 적용 분야에 따라 달라지기 때문
-『불연속면 방향의 평가』는 정량적으로 주어지지 않고 '양호'와 같이 정성적으로 기술 토목터널의 경우에는 불연속면 방향성에 대한 보정만으로 충분

(3) 보정된 암반평점(RMR 값)에 따라 암반을 5등급으로 분류

- 항목 및 평점 (Bieniawski, 1989)

분류 매개변수		구 분						
1	점하중강도 (MPa)	> 10	4~10	2~4	1~2	1 미만의 구간은 일축압축시험결과 적용		
	일축압축강도(MPa)	> 250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	< 1
	평 점	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD(%)	90~100	75~90	50~75	25~50	< 25		
	평 점	20	17	13	8	3		
3	절리간격	> 2 m	0.6 ~ 2 m	0.2 ~ 0.6 m	60~200 mm	< 60 mm		
	평 점	20	15	10	8	5		
4	불연속면 상태	거 침 불연속, 밀 착, 신 선	약간거침, 이격 < 1 mm, 약간풍화	약간거침, 이격 < 1 mm, 심한풍화	매끄러운면, 이격 1~5 mm, 홈두께<5 mm, 연속	연약한 홈두께>5 mm, 이격 >5 mm, 연속		
	평 점	30	25	20	10	0		
5	지 하 수 (l /min)	완전건조	습 윤 (< 10)	젖 음 (10~25)	물방울 떨어짐 (25~125)	물이 흐름 (> 125)		
	평 점	15	10	7	4	0		

- 불연속면의 세부 평점표

구 분	평 점				
불연속면의 길 이	< 1 m	1~3 m	3~10 m	10~20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0
간 격	밀착	< 0.1 mm	0.1~1.0 mm	1.0~5.0 mm	> 5.0 mm
	6	5	4	1	0
거 친 정 도	매우 거침	거침	약간 거침	평평함	매끄러운 경면
	6	5	3	1	0
절리 충진물 (Gouge)	없음	단단함 < 5 mm	단단함 > 5 mm	연함 < 5 mm	연함 > 5 mm
	6	4	2	2	0
풍 화 정 도	신선한 암반	약간 풍화	보통 풍화	심한 풍화	토사 상태
	6	5	3	1	0

- 절리방향성에 의한 보정 기준

절리의 주향과 경사		매우 유리	유 리	양 호	불 리	매우 불리
평점	터널	0	-2	-5	-10	-12
	기초	0	-2	-7	-15	-25
	사면	0	-5	-25	-50	-

- 평점에 의한 암반등급 분류

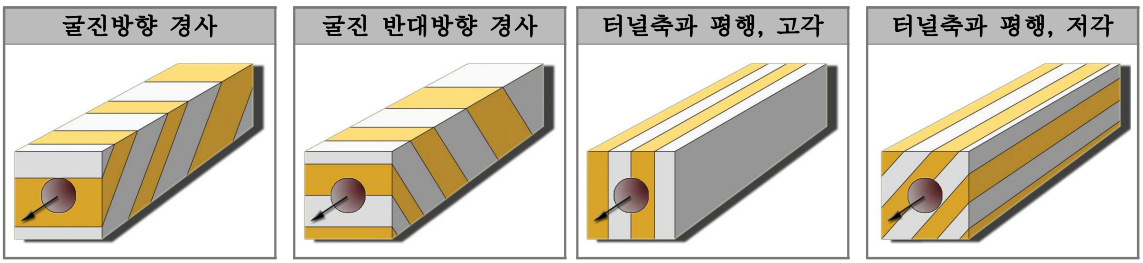
평점합계	100~81	80~61	60~41	40~21	≤ 20
등급	I	II	III	IV	V
구분	매우 우수	우 수	양 호	불 량	매우 불량

- 암반등급에 따른 암반특성

분 류 번 호	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
평균 자립시간	15m Span에 20년	10m Span에 1년	5m Span에 1주일	2.5m Span에 10시간	1m Span에 30분
암반의 점착력	> 400 kPa	300~400 kPa	200~300 kPa	100~200 kPa	<100 kPa
암반의 마찰각	> 45°	35°~ 45°	25°~ 35°	15°~ 25°	< 15°

- 절리방향과 터널 굴진방향 관계

터널에 대한 불연속면 방향성(주향, 경사)의 영향				불연속면의 주향이 터널축과 평행한 경우에 대한 경사각 영향		주향이 불규칙하고 경사각이 0~20°
굴진방향으로 경사		굴진 반대방향으로 경사				
경사각 45~90°	경사각 20~45°	경사각 45~90°	경사각 20~45°	경사각 45~90°	경사각 20~45°	
매우 유리	유 리	양 호	불 리	매우 불리	양 호	양 호



- 평가 항목별 지반조사 자료 활용

No.	분류 항목		지반조사 자료의 활용
1	일축압축강도		■ 실내 암석시험(일축압축강도, 점하중강도)값을 우선 적용 ■ 시추코어 관찰, 해머 타격에 의한 정성적인 분석 실시 ■ 동일 지층 및 암상에 대한 자료 참고
2	RQD		■ 시추코어 측정(암반분류 구간의 평균값 적용) ■ Televiewer, BIPS탐사 자료 검색으로 코어의 손상 여부 확인
3	불연속면의 간격		■ 주상도 자료 우선 적용 ■ 지표지질조사 자료(Scanline기법에 의한 불연속면 조사자료) 참조 ■ Televiewer, BIPS탐사 자료 활용 ■ RQD와 불연속면 간격과의 상관관계 검토(Priest & Hudson (1976))
4	불연속면 상태	연속성	■ 지표지질조사 자료 (조사선 기법에 의한 불연속면 조사자료)의 활용
		간 극	■ 시추코어 관찰 ■ Televiewer, BIPS 탐사자료 참조 ■ 지표지질조사 자료 참조
		충진물	■ 시추코어 관찰 ■ Televiewer, BIPS 탐사자료 참조 ■ 지표지질조사 자료 참조
		거칠기	■ 시추코어 관찰 ■ 실내시험 결과 (JRC) 참조
		풍화도	■ 시추코어 관찰
5	지하수		■ 수압시험에 의한 투수계수 결과 활용(IAEG : Anon(1979)의 등급 참조) ■ 유동시험 자료 참조(흐름의 속도와 방향성 참조) ■ 불연속면의 빈도, 점토 물질, 충진물, 파쇄대의 발달상태 참조 ■ 경험적 분류 (10-4 mm/s 이상 : Flow, 10-6 mm/s 이상 : Drip, 10-7 mm/s 이상 : Wet, 10-8 mm/s이상 : Damp, 10-8 mm/s 미만 : Dry)
6	불연속면 방향에 대한 점수 보정		■ Televiewer, BIPS탐사 자료의 평사투영해석(터널구간) 결과 적용 ■ 지표지질조사, 구역별 조사선 조사(Line Scanning), 주요 절리군(set 1~3)의 통계처리 자료 활용 ■ 지질 평면, 단면도 상에서의 지질구조 검토

○ Q-system에 의한 암반분류

- Q-system의 특징

■ NGI(Norwegian Geotechnical Institute)의 Barton(1974, 1993)에 의해서 제시된 방법으로 스칸디나비아 지역에서 200여 개의 기 시공된 터널의 보강실적을 통계처리 하여 암반 상태와 보강과의 관계를 분석하였는데, 이로써 암반상태를 정량적인 수치(Q값)로서 판단하고 이에 상응하는 보강방법과 보강량을 결정하는 방법
■ 암반의 전단강도에 보다 주안점을 둔 암반분류이고, 현장응력을 고려함
■ 절리의 방향성은 고려 안함 : Barton(1974)은 터널공사 시 암반의 전단강도나 변형은 J_n, J_r, J_a 등의 요소와 관계가 있고, 터널방향과 절리방향과의 관계는 영향이 작다고 판단하여 이를 암반분류의 요소로 고려하지 않았음
■ 대단면 터널에 보다 적합하고, 또한 유동성이거나 팽창성 암반 등과 같은 매우 취약한 지층에도 적합한 암반분류 방법
■ 세밀한 암반분류에 따라 보다 구체적이고 체계적인 보강방안이 제시되는 장점이 있음
■ 다음과 같은 단점으로 인하여 일반적으로 Q-system 분류는 RMR 분류보다는 제한적으로 사용되는 경향
■ 조사될 6가지 요소들은 암석의 노출이 양호한 경우 또는 터널굴착 중 막장관찰 등 직접적인 암반의 조사가 선행되어야하므로 설계단계에서 시추조사 결과만으로 6가지 요소를 신뢰성 있게 판단하기 곤란한 단점
■ Q값 산정을 위한 6개 요소의 평가를 위해서는 많은 지식과 경험에 의한 정밀성과 숙련성이 요구되며 6개의 요소를 곱하거나 나누어 산출되므로 개인차에 따라 분석결과의 오차가 달라지는 경향이 있음

- Q-system의 내용

■ Q값은 터널공사에 영향을 미치는 암반특성을 6요소로서 대표하여, 각 요소를 몇 등급으로 나누어서 수치화하고 이에 할당된 값을 서로 곱하거나 나누어 구함
■ 여기에서 고려되는 6요소는 RQD(%), 절리군의 수(J_n), 절리면의 거친 정도(J_r), 절리면의 변질도(J_a), 지하수의 유입상태에 따른 감소지수(J_w), 응력의 감소지수(SRF : Stress Reduction Factor)이며 이 요소들에 해당되는 값들을 서로 곱하거나 나누어서 종합적으로 Q값을 산출
■ 6요소들은 각각 2가지 요소를 서로 결합하여 암괴의 크기, 암괴내의 전단력, 활성응력(Active Stress)의 3가지 항목으로 나뉘어 짐

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

여기서, RQD/J_n = 암반의 지질구조를 나타내는 것으로서 암괴의 크기를 나타냄
(J_n은 우세한 절리군만 고려)
J_r/J_a = 암괴 사이의 절리면 전단강도 특성을 의미
(현장관찰이나 Tilt Test 또는 Profile Gauge를 사용하여 추정)
J_w/SRF = 암반의 응력상태를 나타내는 활성응력(Active Stress)을 의미
(일반적으로 깊이에 따라서 추정)

■ Q값은 0.001(극히 불량, Exceptionally Poor) ~ 1,000(극히 우수, Exceptionally Good)의 9 등급으로 분류됨

- Q-system 분류표

평 가 요 소	점 수	비 고
1. 암질지수(Rock Quality Designation)	RQD	
A. 매우 불량 B. 불량 C. 양호 D. 우수 E. 매우 우수	0～25 25～50 50～75 75～90 90～100	1. RQD가 10 이하(0 포함)일 때는 10으로 계산함 2. 간격이 5면 충분한 정확도를 가짐
2. 절리군의 수(Joint Set Number)	J_n	
A. 괴상, 절리가 없음 B. 하나의 절리군 C. 하나의 절리군과 부분적인 절리 D. 두개의 절리군 E. 두개의 절리군과 부분적인 절리 F. 세 개의 절리군 G. 세 개의 절리군과 부분적인 절리 H. 네 개 이상의 절리군과 불규칙적인 절리, 절리가 심하게 발달, 각설탕 구조 I. 토양과 같이 파쇄된 암석	0.5～1.0 2.0 3 4 6 9 12 15 20	1. 터널 교차부($3.0\times J_n$) 2. 터널 입구부($2.0\times J_n$)
3. 절리의 거칠기(Joint Roughness Number)	J_r	
a) 절리면간의 접촉 b) 100 mm 이내의 전단으로 절리면 양쪽이 접촉 A. 불연속성의 절리 B. 거칠거나, 불규칙, 기복이 있음 C. 부드럽고 기복이 있음 D. 평활면, 기복이 있음 E. 거칠고 불규칙한 판상 F. 부드럽고 판상 G. 평활면, 판상 c) 전단 시에도 절리면의 접촉이 없음 H. 절리의 벽면이 접촉할 수 없을 정도로 점토광물이 충전 I. 절리의 벽면이 접촉할 수 없을 정도로 모래, 자갈, 파쇄대가 두껍게 존재	 4.0 3.0 2.0 1.5 1.5 1.0 0.5 1.0 1.0	1. 관련 절리군의 평균 간격이 3 m보다 큰 경우에는 1.0을 더함 2. 방향경향이 뚜렷한 선형(Lineation)을 갖는 평평한 평활면의 절리는 J_r=0.5를 사용

- Q-system 분류표 (계속)

평 가 요 소	점 수	비 고
4. 절리면의 변질 정도(Jonint Alteration Number)	J_a	ϕ_r(대략값)
a) 절리면의 접촉하고 있는 상태		
A. 변질이 없고 완전히 밀착, 단단한 불투수 충전물	0.75	-
B. 변질되지 않은 절리 벽면, 표면에 얼룩	1.0	25～35°
C. 약간 변질된 절리 벽면, 연화되지 않은 광물의 피복, 사질입자, 점토성이 없는 풍화암	2.0	25～30°
D. 실트 혹은 사질점토의 피복, 연화되지 않은 작은 점토의 파면	3.0	20～25°
E. 연화되었거나 마찰력이 적은 점토성이 광물의 피복 (고령토, 운모, 형석, 활석, 석고 등), 팽창성 절토 (연속적인 피복, 1～2 mm나 그 이하의 두께)	4.0	8～16°
b) 10 cm 이내의 전단으로 절리면 양쪽이 접촉		
F. 사질, 입자, 무점토성 풍화암 등	4.0	25～30°
G. 심하게 과압밀화 된 불연화성 점토광물의 충전 (연속적이거나 5 mm 이하의 두께).....(1)	6.0	16～24°
H. 보통 또는 약간 과압밀된 불연화성 점토광물의 충전 (연속적이거나 5 mm 미만의 두께).....(2)	8.0	12～16°
J. 몬모릴로나이트 같은 팽창성 점토의 충전(연속적이거나 5 mm 이하의 두께), Ja 값은 팽창성 점토 입자의 크기, 수분의 혼입량의 비율에 따라 변화....(3)	8.0～12.0	6～12°
c) 전단시 절리면이 밀착되지 않음		
K. 풍화 또는 파쇄된 암석의 대상 분포 및 구역(점토 조건에 대한 설명은 G, H, J 참조)	6, 8, 또는 12	6～24°
L. 실트나 사질점토가 대상으로 분포, 작은 점토 파편(불연성)	5.0	-
M. 두껍고 연속적인 점토의 대상 분포나 구역(점토 조건에 대한 설명은 G, H, J 참조)	10, 13 또는 13～20	6～24°
5. 지하수에 의한 계수(Joint Water Reduction Factor)	J_w	개략수압 (MPa)
A. 건조 혹은 소량의 유출(국부적 5 l /min 미만)	1.0	< 0.1
B. 보통 정도의 유출과 수압, 때때로는 절리 내 충전물이 유출	0.66	0.1～0.25
C. 충전물이 없는 절리를 갖는 견고한 암석에서의 대량의 유출과 높은 수압	0.5	0.25～1.0
D. 대규모 유출과 압력, 상당량의 절리 내 충전물 유출	0.33	0.25～1.0
E. 발파 시 극히 유출과 높은 수압이 작용하나 시간의 경과와 함께 감소	0.1～0.2	> 1.0
F. 시간의 경과와 관계없이 계속적인 극히 많은 유출과 높은 수압 작용	0.05～0.1	> 1.0

- Q-system 분류표 (계속)

평 가 요 소	점 수	비 고	
6. 응력감소계수(Stress Reduction Factor)	SRF		
a) 터널을 굴착 시에 암반을 이완시킬 가능성이 있는 연약층이 공동과 교차하는 경우			
A. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약층이 다수 존재, 주변암반이 매우 이완됨(굴착심도와는 관계없음)	10.0	■ 문제가 되는 전단대가 공동과 교차하지 않고 다만 영향을 미치는 경우는 SRF를 25~50% 감소시킴 ■ 이방성이 심한 초기응력 조건 : $5 \le \sigma_1/\sigma_3 \le 10$일 때는 σ_c를 $0.75\sigma_c$로, $\sigma_1/\sigma_3 > 10$일 때는 σ_c를 $0.5\sigma_c$로 감소시킴 (여기서 σ_c : 단축압축강도, σ_t : 인장강도, σ_1 : 최대주응력, σ_3 : 최소주응력) ■ 지표에서 터널 천반부까지의 깊이가 터널 폭 보다 적을 때 자료는 거의 없음(이때 SRF는 2.5에서 5까지 증가시킴, H 참고)	
B. 점토 또는 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약층이 단 1개일 때(굴착심도 50 m미만)	5.0		
C. 점토 또는 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약층이 단 1개일 때(굴착심도 50 m이상)	2.5		
D. 견고한 암반에 다수의 전단대(점토 없음), 주변 암반은 이완됨(굴착심도와 관계없음)	7.5		
E. 견고한 암반 내에 전단대가 1개일 때(점토 없음, 굴착 심도 50 m 미만)	5.0		
F. 견고한 암반 내에 전단대가 1개일 때(점토 없음, 굴착 심도 50 m이상)	2.5		
G. 이완되고 열린 절리, 절리가 심하게 발달됨(심도와 관계없음)	5.0		
b) 견고한 암석에서 암반응력이 문제가 되는 경우	σ_c/σ_1	σ_θ / σ_c	SRF(new)
H. 지표부근, 낮은 응력	> 200	< 0.01	2.5
J. 적당한 응력	200~10	0.01~0.3	1.0
K. 높은 응력에서 대단히 견고한 구조(일반적으로 안정성에는 유리하나 벽면의 안정성에는 불리할 가능성이 있음)	10~5	0.3~0.4	0.5~2
L. 1시간이후에 보통정도의 slabbing발생(괴상암반)	5~3	0.5~0.65	5~50
M. 수분내에 암반파쇄발생(괴상암반)	3~2	0.65~1.0	50~200
N. 격렬한 암반파쇄, 즉각적인 변형발생(괴상암반)	< 2	> 1.0	200~400
c) Squeezing Rock 즉 높은 암반응력의 영향으로 소성변형이 일어나는 경우	σ_θ / σ_c	SRF	
O. 중정도의 Squeezing이 일어나는 암반	1~5	5~10	
P. 격렬한 Squeezing이 일어나는 암반	> 5	10~20	
d) 팽윤성 암반 즉 물의 유무에 따라 화학적 팽윤성을 일으키는 암반	SRF		
Q. 중정도의 팽윤성 암반	5~10		
R. 격렬한 팽윤성 암반	10~15		

- Q분류의 적용에 관한 기술

■ 절리군의 수를 나타내는 지수 J_n은 절리가 육안으로 식별 가능하고 평행하게 발달되어 있는 경우에는 통계분석을 통한 절리군을 산정하여 그 결과를 그대로 적용하면 되나, 육안식별이 곤란한 경우에는 시추코어의 전체 절리 수를 감안하여 적용
■ 전단강도를 나타내는 지수 J_r과 J_a는 기 조사한 절리 또는 점성토가 충진된 절리와 관계되나 암반의 구조가 안정되어 있는 경우 J_r/J_a는 최대값을 쓰고, 불안정하고 불연속면이 심하게 변질되었거나 충전물의 상태가 불량한 경우 J_r/J_a을 Q값을 평가하는데 작은 값을 적용
■ 불연속면의 틈새에 점토를 함유하고 있는 경우, SRF는 벽면이 이완되는 상태에 해당되는 값을 사용하고 이 때 암의 응력은 암반강도에 크게 주요하지 않으나, 절리수가 적고 충진점토 등이 없는 조밀구조 암반의 경우 암반 안정성은 응력/강도의 비에 따라 달라짐
■ σ_c와 σ_t(압축, 인장강도)는 지하구조물이 물에 잠기는 경우에는 포화 상태에서 시험
■ 또한 노출되어 풍화, 부식된 상태에서 측정하는 것이 더 합리적인 결과를 얻음

- 수정 Q값에 의한 분류

■ 1986년 Grimstad 등에 의해 NMT의 본질적 요소인 습식 강섬유 숏크리트 적용에 적합하도록 수정
■ 1990년 NGI에서는 현장 및 시추조사로부터 얻어진 자료를 효과적으로 표시하기 위한 Geotechnical logging chart를 작성
■ 1993년 Grimstad와 Barton 등은 노르웨이 내 1,050여개의 터널 현장에서 조사된 자료를 분석하여 Q분류 중 SRF의 분류 기준을 수정
■ 터널의 유효크기는 Span, 직경, 높이를 굴착지보비(ESR)로 나누어서 구할 수 있음

Q값의 이용	산 정 식
터널의 유효크기 (Equivalent dimension)	$D_e = \frac{B(\text{터널 굴진장,직경 또는 높이})}{ESR(\text{Excavation Support Ratio})}$
무지보 최대 스팬의 산정	최대스팬(무지보) = $2(ESR)\ (Q)^{0.4}$
천정부 영규지보압력(Proof) 산정	$P_{roof} = \left(\frac{2.0}{J_r}\right) Q^{-1/3}$: 절리군 수 3개 이상 $P_{roof} = \frac{2}{3} J_n^{1/2} J_n^{-1} Q^{-1/3}$: 절리군 수 3개 미만
록볼트 길이(L) 산정	$L = \frac{2+0.15B}{ESR}(m)$
탄성파속도의 추정	$V_p = \log Q + 3.5(km/sec)$
수치해석 시 암반의 변형계수 추정	$E_{mass} = 10 \times Q^{1/3}$

- 용도에 따른 ESR값

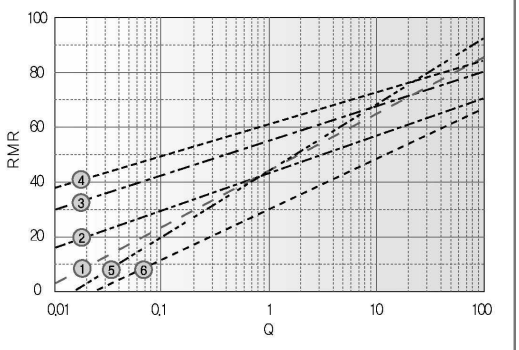
터널의 설치 목적	ESR
■ 임시적인 광산 터널	3 ~ 5
■ 영구적인 광산터널, 수력발전소 도수터널(양수발전소의 고압 수압관터널 제외) 대단면 터널 굴착을 위한 시험터널, 운반갱도 및 막장면	1.6
■ 저장소, 용수처리 공장, 소규모 고속도로 및 철도터널 완충수조(surge chamgers), 진입 터널(access tunnel)	1.3
■ 저발전소, 대규모 고속도로 또는 철도터널, 민방위용 공동, 출입구, 터널 교차부	1.0
■ 지하 핵발전소, 철도역, 공장	0.8

- RMR과 Q의 상관관계

분류방법	분류기준 요소	배 점 방 법	비 고
RMR	① 일축압축강도(15) ② RQD(20) ③ 절리간격(20) ④ 절리의 상태(30) ⑤ 지하수(15) ⑥ 절리의 방향(-12)	①+②+③+④+⑤+⑥ ( ) : 최대배점	■ 절리의 간격 및 상태, 방향 등 3요소를 경험적 판단으로 평가
Q-System	① RQD ② 절리의 수(Jn) ③ 절리면 상태(Jr) ④ 절리의 풍화정도(Ja) ⑤ 지하수(Jw) ⑥ 응력 저감요소(SRF)	$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$	■ 터널 시공 시 육안으로 식별될 수 있는 요소로 판단

- 기존 제안 상관식 비교

① Bieniawski(1976) : RMR = 9LnQ + 44 (R^2=0.77)
② Rutledge(1978) : RMR = 13.5LogQ + 43 (R^2=0.81)
③ Moreno(1980) : RMR = 5.4LnQ + 55.2 (R^2=0.55)
④ Clarke(1981) : RMR = 5LnQ + 60.8
⑤ Abad(1984) : RMR = 10.5LnQ + 44 (R^2=0.66)
⑥ K.Goel(1995) : RMR = 8LnQ + 30 (R^2=0.92)



[붙임 8] 지보량 산정 방법

1. RMR에 의한 지보량 산정

Bieniawski(1973)가 개발한 RMR 분류법은 암반의 등급에 따라 터널의 평균 자립시간과 폭, 소요 지보량, 변형계수, 암반의 점착력과 마찰각 등을 추정할 수 있는 장점이 있으나, 지보량 산정에 있어서 개별요소의 영향이 크지 않고, 절리군이 작을 때 보수적인 평가가 이루어지며 분류 항목간의 경계가 불확실하다는 단점도 있다.

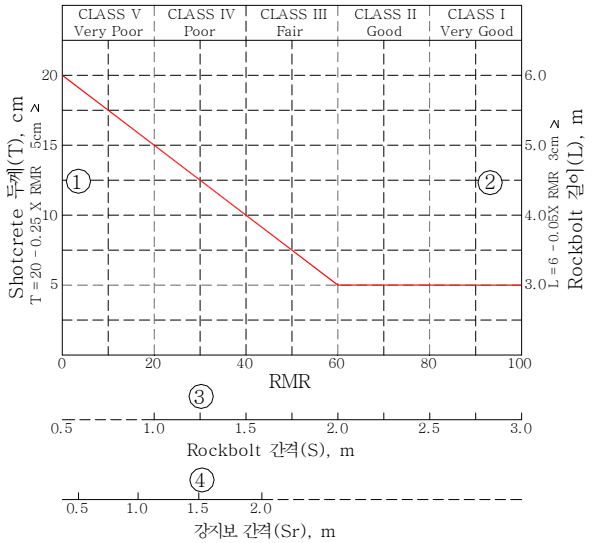
[RMR 분류에 의한 지보형식]

암 반 등 급	굴 착 형 태	록 볼 트(D25)	숏 크 리 트	강 지 보
매우양호 (Ⅰ) RMR : 81~100	• 전단면 굴착 • 3m 굴진	• 국부적인 록볼트 설치	-	-
양 호 (Ⅱ) RMR : 61~80	• 전단면 굴착 • 1.0~1.5m 굴진 • 막장 20m후방까지 완전한 지보	• 천단부 : -길이 : 3m -간격 : 2.5m -필요시 와이어매쉬 설치	• 천단부 : 필요한 곳에 t=50mm	• 불필요
보 통 (Ⅲ) RMR : 41~60	• 상부반단면 굴착 • 1.5~3.0m 굴진 • 발파직후 지보설치 • 막장 10m후방까지 완전한 지보	• 천단부및 측벽 : -길이 : 4m -간격 : 시스템 -천단부 와이어매쉬 설치	• 천단부 : t=50mm~100mm • 측벽부 : t=100mm	• 불필요
불 량 (Ⅳ) RMR : 21~40	• 상하반단면 굴착 • 1.0~1.5m 굴진 • 굴착과 동시에 지보설치 • 막장 10m후방까지 완전한 지보	• 천단부및 측벽 : -길이 : 4~5m -간격 : 1~1.5m -와이어매쉬 설치	• 천단부 : t=100~150mm • 측벽부 : t=100mm	• 필요한 곳 • 1.5m 간격 • 소형 강재지보
매우불량 (Ⅴ) RMR : < 20	• 다단면 굴착 • 상단면 0.5~1.0m 굴진 • 굴착과 동시에 지보설치 • 발파후 가능한 빨리 숏크리트 타설	• 천단부및 측벽 : -길이 : 5~6m -간격 : 1~1.5m • 와이어매쉬 설치 • 인버트에도 록볼트 설치	• 천단부 : t=100mm~200mm • 측벽부 : t=150mm • 막장면 : t=50mm	• 0.76m 간격 • 중형 또는 대형 강재지보 • Steel Lagging 설치 • 필요시 훠폴링 • 인버트 폐합

※ 터널형상 : 마제형, 폭 10m, 수직응력 25MPa 이하, 천공발파시 적용 예 (Engineering Rock Mass Classifications. Z. T Bieniawski, p62)

① RMR에 의한 지보범주

[RMR값에 따른 지보량 산정표]



1) 록볼트 길이(m)
L = 6 - 0.05 × RMR ≥ 3
(RMR < 80)

2) 록볼트 설치 간격(m)
S = 0.5 + 0.025 × RMR ≥ 1
(RMR < 80)

3) 숏크리트 두께(㎜)
T = 200 - 2.5 × RMR ≥ 50
(RMR < 80)

4) 강지보공 간격(m)
Sr = 0.375 + 0.375 x RMR
(RMR < 40)

2. Q-System에 의한 지보량 산정

① 터널 유효직경(De) 결정

- ESR(Excavation Support Ratio : 굴착지보비)은 굴착목적과 용도, 안정성 요구정도에 따라 다음 표와 같다.
- 터널 규모와 용도의 함수인 유효크기(De : Equivalent Dimension)는 다음 식에 의해 산정 된다.

$$De = \frac{Span\ (B\ or\ H)}{ESR}$$

여기서, B : 터널 폭(m)
H : 터널 높이(m)
Span : 터널 폭과 높이 중 큰 값 사용

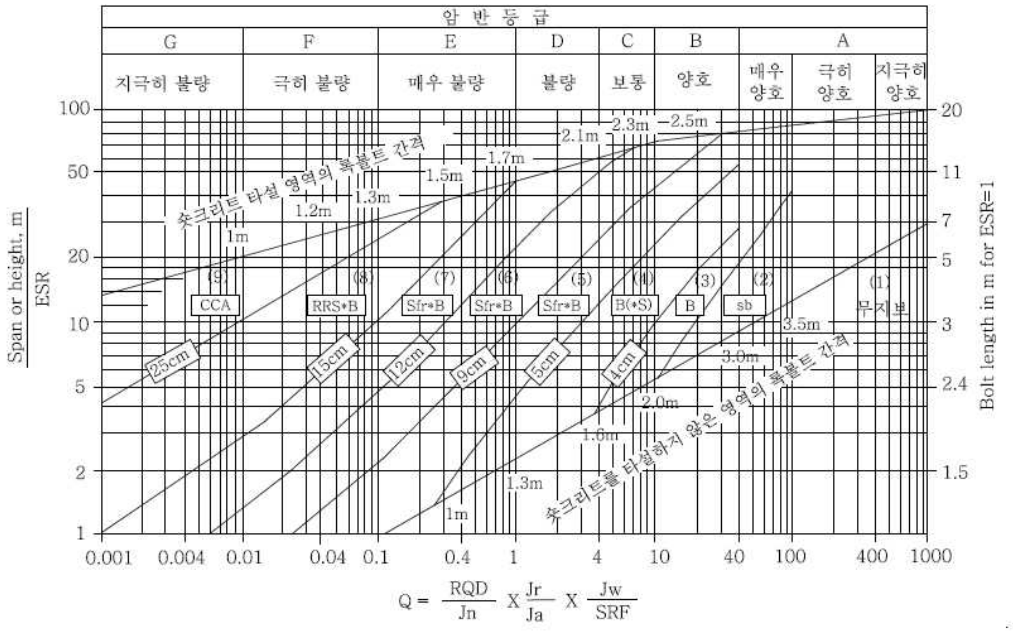
[터널 사용목적에 따른 ESR]

사 용 목 적	ESR	설계적용		
		용 도	SPAN (m)	De (m)
A. Temporary mine openings.	3~5			
B. Permanent mine openings, water tunnels for hydro power (excluding high pressure penstocks), pilot tunnels, drifts and headings for large excavations.	1.6			
C. Storage rooms, water treatment plants, minor road and railway tunnels, surge chambers, access tunnels.	1.3			
D. Power stations, major road and railway tunnels, civil defence chambers, porta intersections.	1.0			
E. Underground nuclear power stations, railwaystations, sports and public facilities, factories.	0.8			

② Q-System에 의한 지보범주

[Q값에 따른 암반분류 및 지보패턴]

■ Grimstad & Barton(1993)은 현대적인 터널설계에서 강섬유보강 숏크리트의 사용이 증가하고 있는 추세에 맞추어 초기의 지보지침 도표를 개정하여 9개의 범주의 지보설계 지침을 제안하였다.



REINFORCEMENT CATEGORIES	
1) Unsupported	6) Fiber reinforced shotcrete and bolting, 9～12cm, Sfr*B
2) Spot Bolting, sb	7) Fiber reinforced shotcrete and bolting, 12～15cm, Sfr*B
3) Systematic Bolting, B	8) Fiber reinforced shotcrete >15cm, reinforced ribs of shotcrete and bolting, Sfr,RRS*B
4) Systematic Bolting,(Unreinfoced shotcrete,4～10cm), B(*S)	
5) Fiber reinforced shotcrete and bolting, 5～9cm, Sfr*B	9) Cast concrete lining, CCA

[붙임 9] 위험지반 지반정수 데이터베이스(예)

1. 위험지반 지반정수 DB

- 위험지반의 분포범위, 산출상태 및 역학적 특성은 암종, 지역, 위해요소 등에 의해 다양하게 나타나므로 지질조사 및 시공을 수행한 현장을 대상으로 표준화된 위험지반 지반정수 DB 구축이 필요함.
- 위험지반에 대한 기재와 분류의 표준화 및 위험지반 지반정수 DB를 구축함으로써 온라인 암판정 의사결정 지원이 가능하고 현장기술자의 설계 활용이 촉진됨.
- 위험지반 지반정수 DB를 통하여 개별 현장에서 획득하기 어려운 지반정수를 공동으로 활용하는 것이 가능해 짐에 따라 지반 구조물 설계 시 적정지보설계를 유도하여 붕괴사고 예방 및 경제적 시공에 도움이 됨.

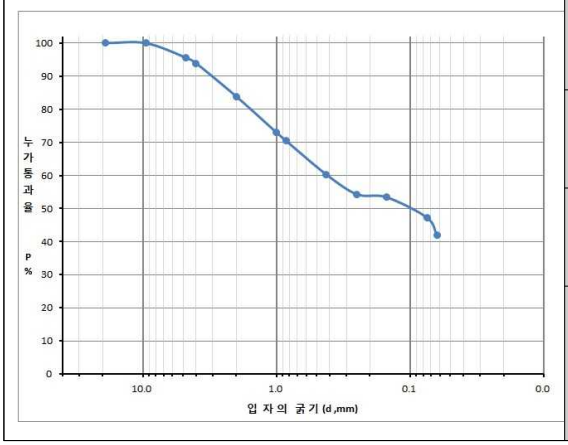
(1) 위험지반 지반정수 데이터베이스 샘플(066 시료)

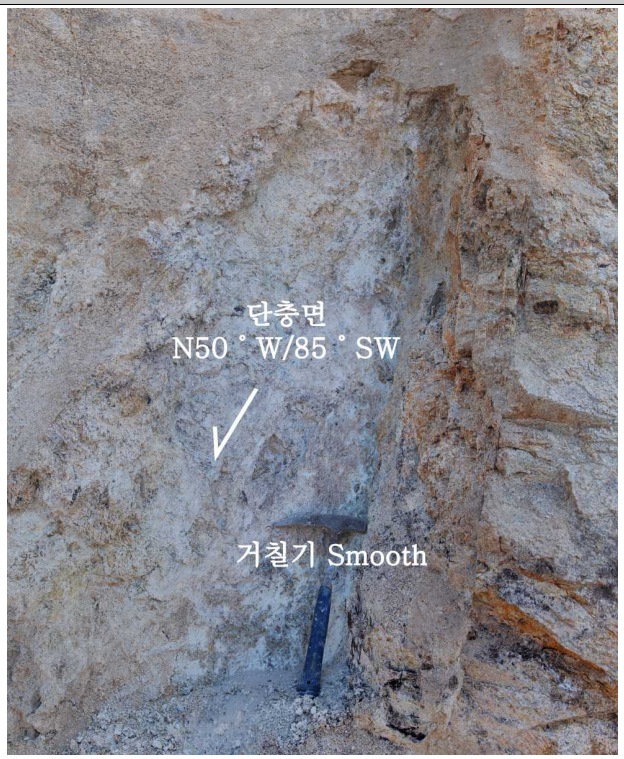
시료 번호	066	지역 번호	CB008-1
지역		위도	경도
충북 청주시 서원구 남이면 문동리 480-14		36° 54′ 84″	127° 48′ 13″

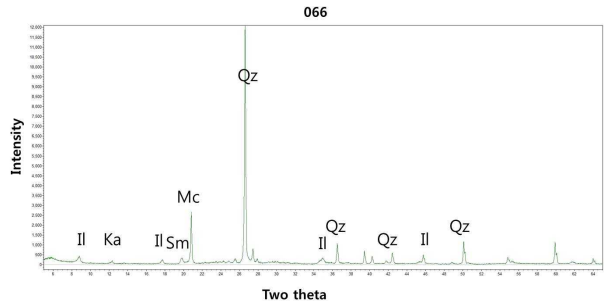
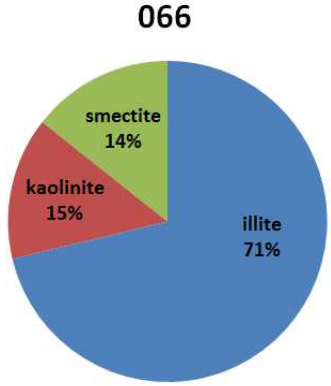
암 종	화성암	☑ 화강암 ☐ 현무암 ☐ 안산암 ☐ 유문암 ☐ 섬록암 ☐ 응회암 ☐ 반려암 ☐ 반암 ☐ 기타 화성암
	변성암	☐ 편마암 ☐ 편암 ☐ 천매암 ☐ 슬레이트 ☐ 규암 ☐ 혼펠스 ☐기타 변성암
	퇴적암	☐ 사암 ☐ 이암 ☐ 셰일 ☐ 역암 ☐ 석회암 ☐ 기타 퇴적암
샘플 상태	파쇄양상	☑ 점토화 ☑ 단층활면 ☑ 토사화 ☐ 암편협재 ☐ 각력포함 ☐ 탄질협재 ☐ 절리발달 ☐ 엽리발달 ☑ 단층파쇄대 ☐ 기타
	풍화도	☑ 완전풍화 ☐ 심한풍화 ☐ 보통풍화 ☐ 약한풍화 ☐ 신선

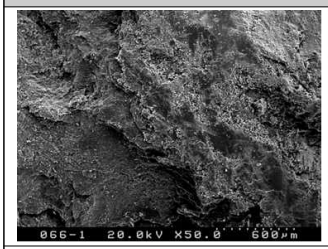
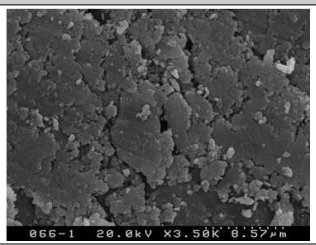
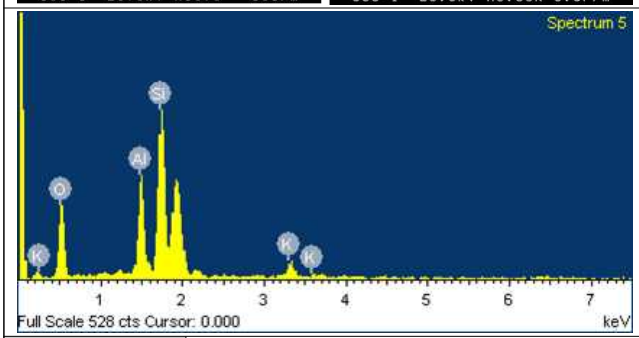
색상			지질도폭	지질연대
light	grayish	white	청주(5만)	신생대 제4기/중생대 쥬라기 경계

건조단위중량(kN/m³)	포화단위중량(kN/m³)	공극률(%)	마찰각(∅)	점착력(kPa)
13.3~17.5	20.3	32.94~49.19	25.2	16.4

입도 분포 곡선	비중	2.62
	균등계수(C_u)	
	곡률계수(C_g)	-
	투수계수(Hazen)	-
	투수계수(Sheperd)	33.2554

산출상태 및 이미지 정보	
 	
기재사항	사면노두주향경사: 사면연장 100m, 높이 15~20m 단층면주향경사: 단층면 N50W/85SW, 단층조선 10/300

XRD 분석 결과		
	광물	조성비(%)
	Quartz	52.2
	Illite	22.3
	Montmorillonite (CP)	4.5
	Kaolin	4.5
	Albite(low)	27.7
	Kaolin	7.4
기재사항	-	

SEM 분석 결과			
 	광물	무게비(%)	원자비(%)
	Element	Weight%	Atomic%
	O K	49.51	63.47
	Al K	14.64	11.13
	Si K	32.10	23.44
	K K	3.75	1.97
	-	-	-
기재사항	좌 : 표면이 거칠고 미세입자로 구성 50 배율 우 : 일라이트가 치밀한 기질을 형성함. EDS분석은 가운데에 실시함. 3500배율		

[붙임 10] 위험지반 세부 암판정 기준

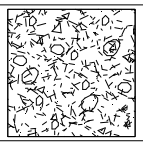
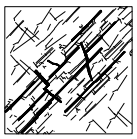
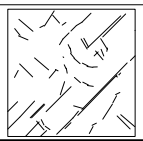
1. 위험지반 세부 암판정 기준

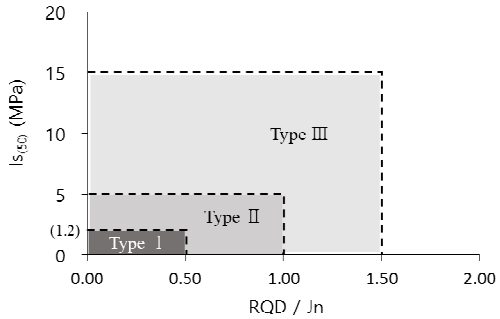
- 기존의 암반분류 방법인 RMR과 Q-system으로는 다양한 형태를 보이는 위험지반(RMR: 30이하, Q: 0.1이하)을 평가하기 어려움.
- 위험지반 세부 암판정 기준은 지질학적 상태, 슈미트해머 값, 절리군 수(Jn), RQD를 이용하여 암반을 정량적으로 분류하고, 암반의 강도를 추정할 수 있음.

2. 위험지반 세부 암판정 기준 내용

- 위험지반은 지구조적 매커니즘에 따라 “Disintegrated rock”과 “Decomposed rock”의 2가지 풍화유형으로 분류됨.
- 취성 매커니즘에 의해 물리적 풍화를 받은 “Disintegrated rock”은 불연속면의 특성을 결정할 수 있는 RQD와 Jn (joint set number)을 이용하여 3가지 type으로 분류됨.
- 연성 매커니즘에 의해 화학적 풍화를 받은 “Decomposed rock”은 암반의 풍화도를 결정할 수 있는 슈미트해머 test 결과를 이용하여 5가지 type으로 분류됨.
- “Disintegrated rock”과 “Decomposed rock”에서 세부적으로 분류한 각 type의 지질학적 특성은 공학적 특성과 함께 명확히 구분되며, type 별 점하중강도 및 일축압축강도를 추정할 수 있음.

[Disintegrated rock의 암반분류 도표]

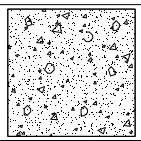
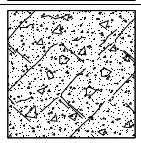
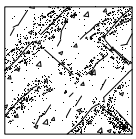
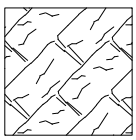
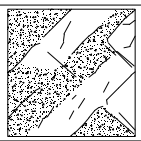
Type	Geological condition	Description
I		- 암반이 대부분 crushed - 일부 구간은 점토 및 토사화되어 자립성을 완전히 상실 - 손으로 쉽게 암반으로부터 암석 분리 가능 - RQD/Jn: 0~0.5 (대부분의 RQD는 0), Is_{50}: 1 MPa 이하
II		- Heavily jointed and broken - 암석은 Fresh 또는 약간 변색 및 변질되어 있고, 원암의 조직과 구조 유지하고 있음. - 몇몇 암반은 불연속면을 따라서 vein, 토사 및 점토대와 같은 weak layer 존재 - 불연속면 내 토사 또는 점토 등의 충전 - 해머 타격시 5~10cm 크기의 암편으로 쉽게 부서짐. - RQD/Jn: 0.5~1.0, Is_{50}: 1~4 MPa
III		- Blocky - 불연속면 내에 부분적으로 토사 또는 점토 등이 충전됨. - 암석 자체의 강도는 상당히 높으나, 암반 내 facture가 부분적으로 발달 (RQD <15). - RQD/Jn: 1.2~1.6, Is_{50}: 2~14 MPa

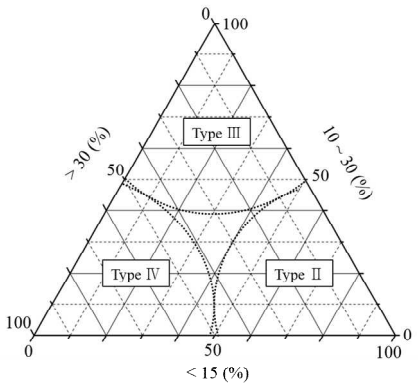


1) Q system에 근거한 RQD와 Jn 산정
2) 각 type에 따른 Is_{50} 범위 또는 값 산정
3) $Is_{50} = 1.8\ (RQD / Jn)^2 + 1.6\ (RQD / Jn) + 0.5$

※ RQD < 15 이하일 때 이용을 추천함.

[Decomposed rock의 암반분류 도표]

Type	Geological condition	Description
I		- Residual soil - 원암의 조직과 구조가 거의 파괴되어 육안상 관찰이 어려움. - 자립성이 거의 없으며, 손에 의해 쉽게 부서짐. - 슈미트해머 값이 측정되지 않음.
II		- 육안상 거의 토사화되어 있음. - 부분적으로 원암의 조직과 구조가 관찰됨. - 암석은 손에 의해 쉽게 분리됨. - 슈미트해머 값 < 15: 50% 이상 - R_{max} / R_{min} < 2.0
III		- 육안상 심한풍화 상태 - 약한 강도를 가지는 암석이 형태를 유지하고 있음. - 원암의 조직과 구조가 뚜렷히 관찰됨. - 암석 표면은 토사로 얇게 피복되어 있음. - 연성변형에 의해 부분적으로 sheared 되어 있음. - 해머 타격시 암편 내지 암석으로 쉽게 부서짐 - 슈미트해머 값 15 ~ 30: 50% 이상 - R_{max} / R_{min} < 2.0
IV		- 육안상 풍화가 상당히 진행된 상태 - 암석 표면은 갈색으로 산화되어 변색 및 변질되어 있음. - 원암의 조직과 구조가 뚜렷히 관찰됨. - 연성변형에 의해 부분적으로 sheared 되어 있음. - 몇몇 암반의 경우 부분적으로 신선한 상태의 암석이 존재함. - 슈미트해머 값 > 30: 50% 이상 - R_{max} / R_{min} < 2.0
V		- 차별풍화로 인해 암석과 토사가 함께 존재함 - 불연속면을 따라 두꺼운 토사대가 존재함. - 슈미트해머 값의 range가 넓음. - R_{max} / R_{min} > 2.0



1) 굴진면을 6개 구역으로 나누어 각 구역에서 슈미트해머 test 수행하여 평균값 각각 산정
2) 슈미트해머 평균값 > 10이상 중 최댓값(R_{max})과 최솟값(R_{min}) 산정
3) R_{max} / R_{min} > 2.0 → Type Ⅴ
4) 슈미트해머 값 " Not measured " 100% → Type Ⅰ
5) 좌측의 삼각도표(triangular diagram)를 이용해 type Ⅱ ~ Ⅳ 분류
※ 각 변의 %는 굴진면에서 측정한 슈미트해머 값의 분포 비율을 의미
6) 슈미트해머 평균값을 이용해 Is_{50} 산정
7) Is_{50} = 0.002 $(R)^2$ + 0.01 (R) + 0.17

디지털 페이스 맵핑 시스템 사용자 매뉴얼

2017. 07.

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport

KAIA 국토교통 과학기술진흥원

KICT 한국건설기술연구원

목 차

제1장 디지털 페이스 맵핑 시스템 ---- J-1

1.1 디지털 페이스 맵핑 시스템 소개 ---- J-1

1.2 디지털 페이스 맵핑 시스템 특징 ---- J-1

1) 양질의 터널 지반정보 획득 및 활용 ---- J-1

2) 지반 정보 데이터베이스 구축 ---- J-1

1.3 제품 구성 ---- J-1

1.4 시스템 요구사항 ---- J-1

1.5 Digital FaceMapping System 화면 구성 ---- J-2

1) Site Manager ---- J-2

2) Object Manager ---- J-3

3) Object Tap ---- J-3

4) FaceMap Viewer ---- J-3

5) Object Project Manager ---- J-3

1.6 FaceMapping ToolBar 구성 ---- J-4

1) Site Manager 선택 ---- J-4

2) Object Manager ---- J-4

1.7 Digital Face Mapping System 사용 방법 ---- J-6

1) 현장 정보 내리기 ---- J-6

2) 스테이션 추가 ---- J-8

3) 현장 사진 ---- J-11

4) 세부 사진 ---- J-12

5) 절리 그리기 ---- J-14
6) 지하수 그리기 ---- J-16
7) RMR 입력 ---- J-17
8) 스테이션 저장 ---- J-18
9) 스테이션 삭제 ---- J-18
10) 업로드 ---- J-19
11) 암종/암질 삭제 ---- J-20
12) FaceMap Clear ---- J-20

제2장 이전 굴진면 페이스맵핑 ---- J-21

제3장 굴진면 생성 ---- J-23

제4장 3D 불연속면 절리 연장성 분석 미굴진 구간 예측 ---- J-25

제5장 Digital Face Mapping System 주요 분석 기능 ---- J-29

5.1 풍화도 index 분석 ---- J-29

5.2 불연속면 자동추출 기능 ---- J-31

5.3 미굴진구간에 대한 암반등급 분석 ---- J-32

제1장 디지털 페이스 맵핑 시스템

1.1 디지털 페이스 맵핑 시스템 소개

○ 디지털 페이스 맵핑 시스템은 NATM 터널로 대표되는 우리나라 터널 시공현장의 특성에 맞추어, IT 기술을 기반으로 터널 지반정보를 효율적으로 입력하고 터널시공 품질 향상에 도움을 주는 터널분야 전문 지반정보 솔루션입니다.

○ 디지털 페이스 맵핑 시스템을 활용하면 NATM 터널 시공의 핵심이라고 할 수 있는 발파 직후의 지반조사 및 암반 평가 과정을 보다 신속하고 효율적으로 진행할 수 있으며, 결과적으로 터널 공사의 시공 안정성과 경제성을 확보할 수 있습니다.

1.2 디지털 페이스 맵핑 시스템 특징

1) 양질의 터널 지반정보 획득 및 활용

○ 터널 막장면 지질조사(Face Mapping) 모듈을 이용하면, 기존의 형식적이고 획일적인 터널 지반조사에서 탈피하여 보다 정확하고 상세한 지반 정보를 생산함으로써 합리적이고 안정적인 터널 시공을 가능하게 합니다.

2) 지반 정보 데이터베이스 구축

○ 터널 시공 중 취득되는 지반정보를 전산화하여 데이터베이스로 구축함으로써 터널 지반정보에 대한 접근성과 활용성을 한층 높여줍니다.

1.3 제품 구성

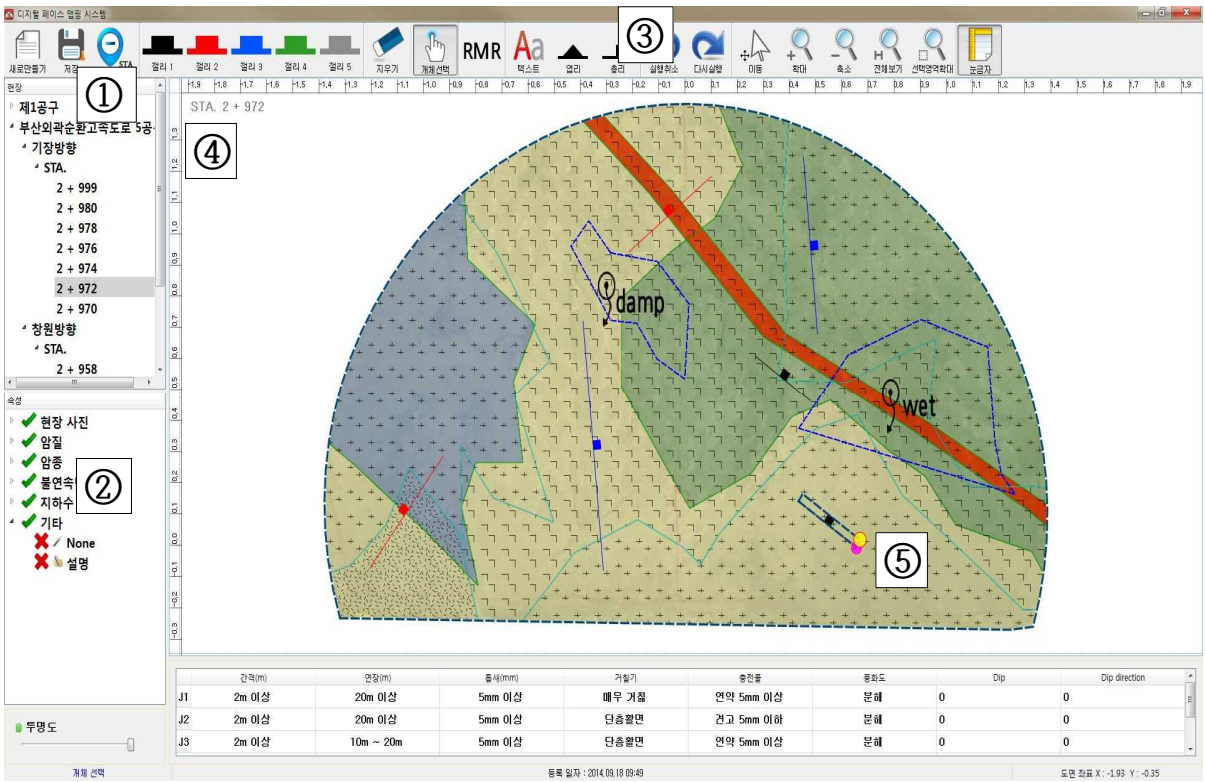
- System install CD X 1장
- System User Guide X 1권
- Tablet PC X 1대

1.4 시스템 요구사항

- OS : Microsoft Windows XP SP2 이상

- CPU : Pentium 4 이상
- RAM : 1G 이상
- HDD : 최소 500MB 이상의 여유 공간
- ODD : CD-ROM Drive 이상
- ACC : S펜
- 네트워크 카드

1.5 Digital FaceMapping System 화면 구성



1) Site Manager

- 프로그램 내에 저장된 페이스 맵핑 자료를 목록으로 보여줍니다.
- 서버에 저장된 현장데이터를 불러와 목록을 보여줍니다.
- 불러온 목록을 선택 하여 시스템에 내리기 가능합니다.
- 목록 선택 시 페이스 맵핑 그리기 모드로 변화됩니다.

2) Object Manager

- 막장에 그려진 모든 개체들의 목록을 보여줍니다.
- FaceMapping 창에 추가 가능한 개체들로는 암종, 암질, 절리, 지하수,
- 막장 사진 등이 있으며, 추가로 관찰자 설명을 추가할 수 있는 기타 드로잉 개체들이 있습니다.
- 각각의 개체들에 투명도를 설정할 수 있어, 각각의 개체 레이어를 쉽게 판별 가능합니다.
- 막장 사진은 한번에 하나의 사진만 설정 가능합니다.
- 기타 항목에 세부사진 최대 3장을 설정 가능합니다.

3) Object Tap

- Object Layer의 선택 및 Object 개체들을 생성/제거할 수 있는 명령어들의 집합입니다.
- 각각 Object Layer의 맞는 명령어 집합을 표현합니다.
- Object Manager에서 선택된 개체 Layer에 필요한 개체들을 추가합니다.
- Undo/Redo 기능을 제공해 사용자 실수에 의한 작업 에러를 복구할 수 있습니다.

4) FaceMap Viewer

- 막장의 개체들을 드로잉하고 결과를 시각적으로 보여주는 창입니다.
- 모든 개체들은 펜 및 마우스를 이용하여 그릴 수 있으며, 추후 사이즈 변경이나 위치 이동이 가능합니다.(암종/암질의 위치 이동은 불가능)
- 줌인/줌아웃 기능과 눈금자를 이용하여 정확한 개체 위치 설정이 가능합니다.

5) Object Project Manager

- 개체 고유의 특성을 설정하는 창입니다.
- 개체의 투명도 등의 모든 개체들의 공통 특성 및 절리 개체 특유의 특성 설정이 이 창에서 이루어집니다.
- 설정된 냉용은 창이 Close될 시 자동적으로 DB에 저장됩니다.

1.6 FaceMapping ToolBar 구성

1) Site Manager 선택

- 터널 명 클릭 시



- STA. 클릭 시



- 페이스 맵핑 자료 클릭 시



2) Object Manager

- 현장사진 클릭 시



■ 암질 클릭 시



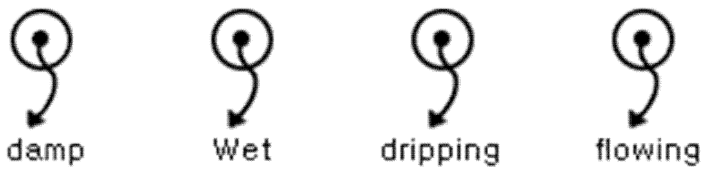
■ 암종 클릭 시



■ 불연속면 클릭 시



■ 지하수 클릭 시

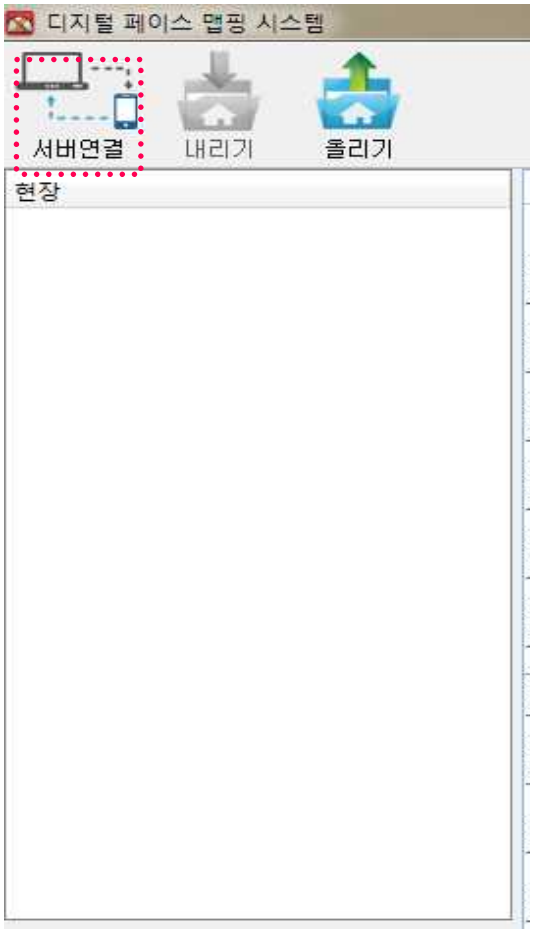


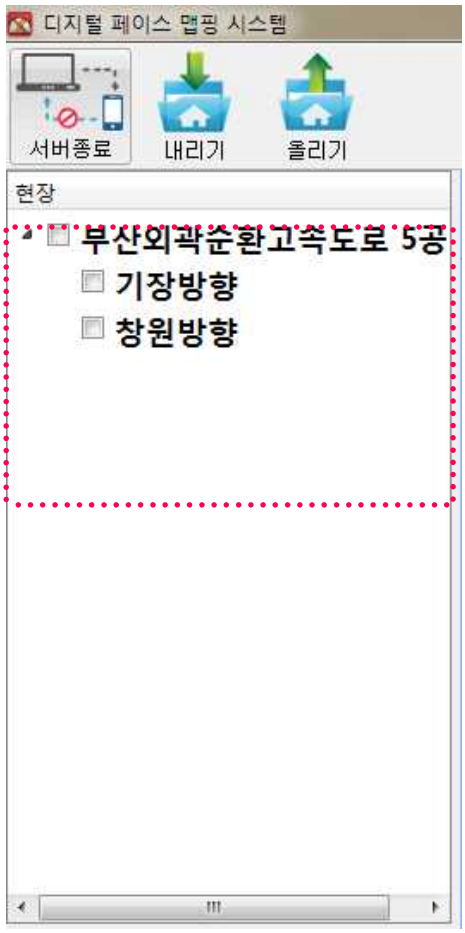
1.7 Digital Face Mapping System 사용 방법

1) 현장 정보 내리기

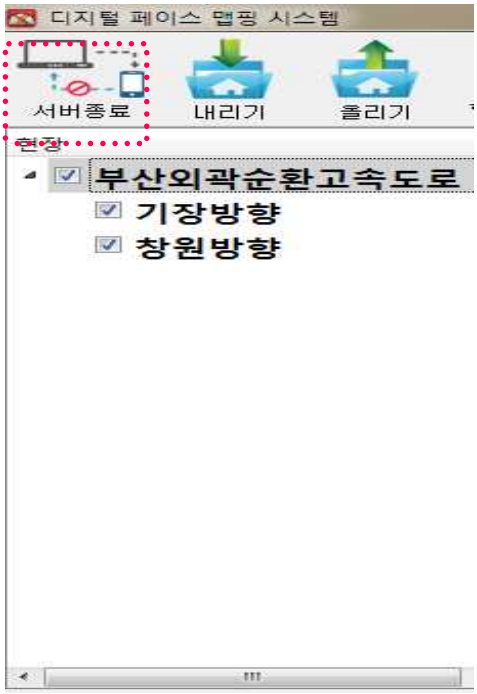
○ 페이스 맵핑을 입력하기 위해 현장 데이터를 테블릿PC에 저장합니다.

○ 저장된 현장 데이터는 삭제하기 전까지 유지됩니다.





- 서버연결 툴바를 클릭합니다.
- 서버연결 실패 시 연결실패 메시지박스 표현한다. 서버 정보 확인 후 다시 접속합니다.
- 서버 접속 성공 시 Sit Manager에 서버에 등록된 현장 데이터 목록으로 표현됩니다.

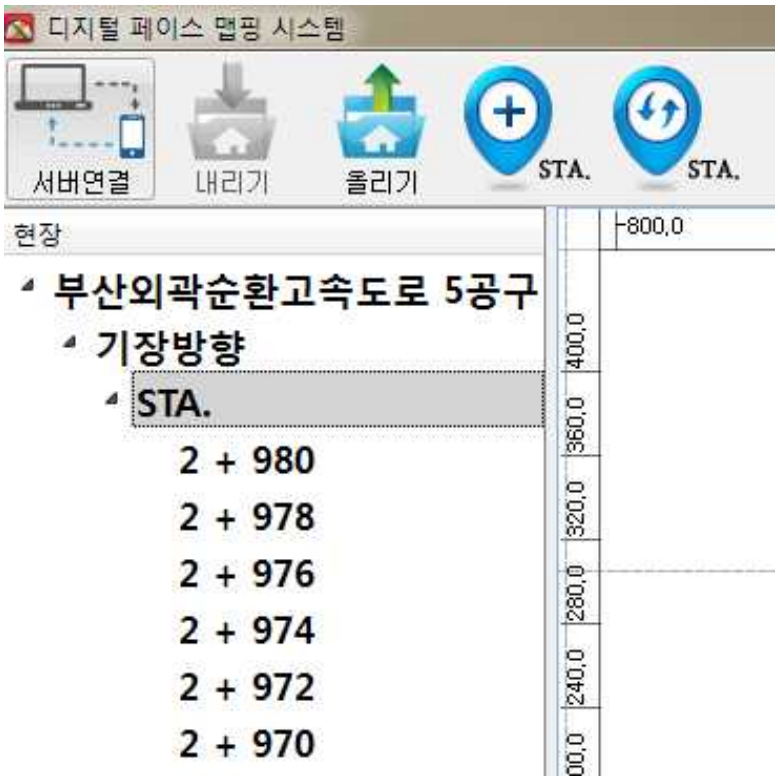




- 내리기가 완료가 되면 Site Manager에 서버에 등록된 페이스 맵핑 자료까지 테블릿PC에 저장되며 Site Manager에 표현됩니다.

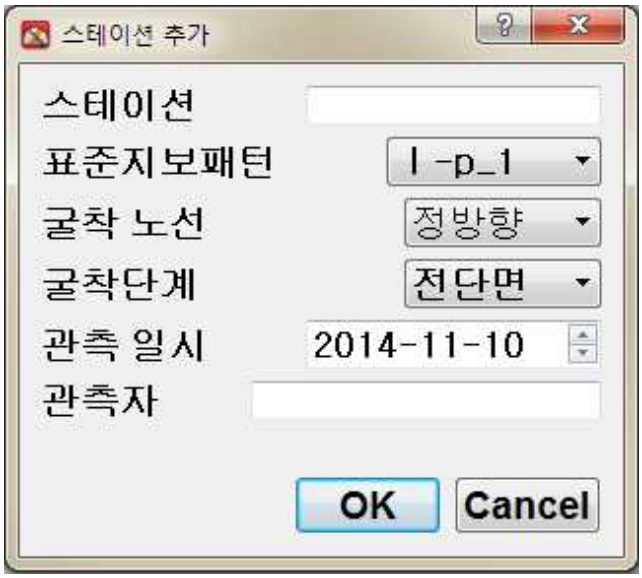
2) 스테이션 추가

○ 새로운 스테이션의 데이터를 생성하는 기능입니다.



- Site Manager에서 STA. 항목을 선택 시 툴바에 

스테이션 추가 툴바가 생성됩니다.
- 스테이션 추가 버튼을 클릭합니다.



- 스테이션 명 텍스트 박스를 클릭 시 화상 키보드가 생성이 되며 화상 키보드를 이용하여 스테이션 명을 입력합니다.
  - 예시로 스테이션 명 2983 입력



- 스테이션 입력 후 나머지 항목을 입력 한 후 OK 버튼을 누릅니다.



- 입력한 스테이션 명이 Site Manager에 추가된 걸 확인합니다.
- 스테이션 명 순서 변경시 

스테이션 변경 툴바를 누릅니다.

3) 현장 사진

○ 굴진면의 사진을 촬영하는 기능입니다.

○ 굴진면을 촬영하면 사진이 터널 경계선에 맞추어 사진 표현합니다.



- 툴바에서 

사진 선택합니다.
- 굴진면과 경계선을 맞추어 오른쪽 하단에 있는  촬영 버튼을 클릭합니다.
- 테블릿PC 카메라가 후면과 전면 카메라가 있기 때문에 카메라 방향을 바꿀때는  카메라 회전 버튼을 눌러 방향을 바꿉니다.
- 카메라의 밝기와 대비를 조절할 때는  카메라 설정 버튼을 눌러 조절합니다.



4) 세부 사진

○ 굴진면 촬영 후 추가적인 굴진면의 세부사진을 촬영하는 기능입니다.

○ 최대 3장까지 저장할 수 있습니다.

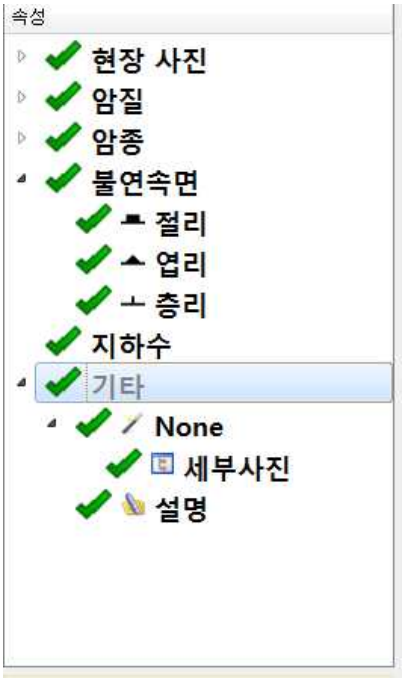


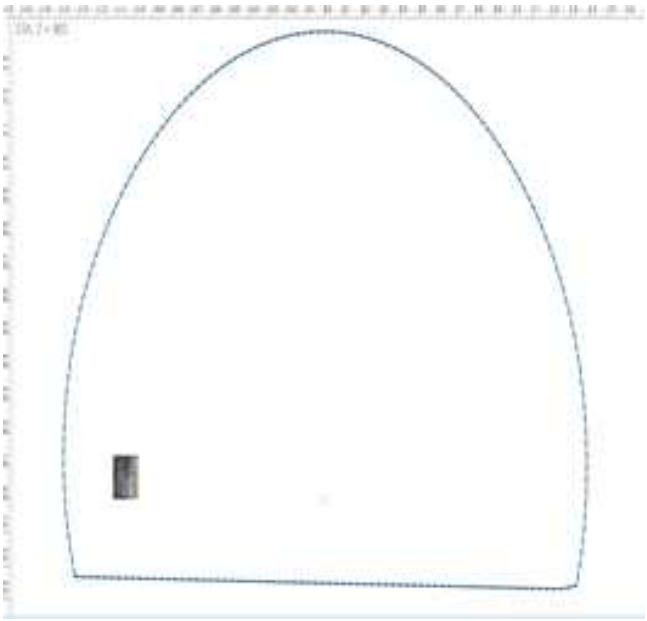
- 툴바에서 

세부사진 선택합니다.
- 굴진면에서 세부사진을 찍을 영역을 지정합니다. 선택하는 방법은 펜으로 사각형 시작점을 찍고 이동한 뒤 끝점을 찍으면 사각형 영역이 생성됩니다.

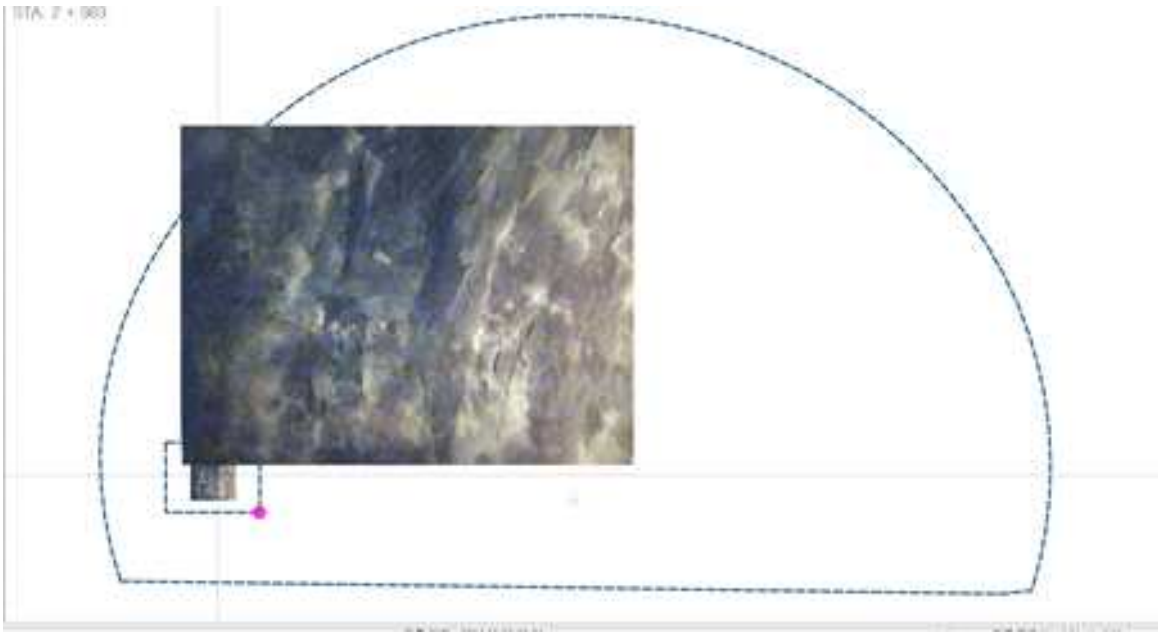


- 원하는 굴진면에 카메라를 맞추어  촬영버튼을 눌러 촬영합니다.
- Object Manager에 기타 항목에 “세부사진”이라고 추가됩니다.





- 촬영한 이미지가 화면에 표현됩니다.



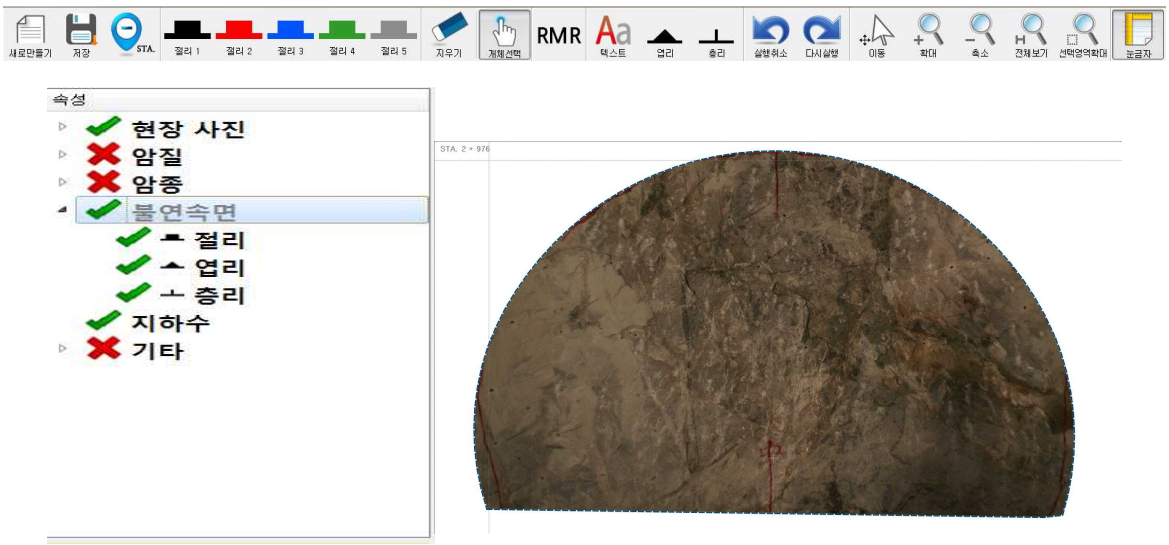
- 화면을 세부사진 이미지를 클릭 시 팝업창으로 촬영한 이미지를 표현합니다.

5) 절리 그리기

○ 굴진면의 절리를 입력하는 기능입니다.

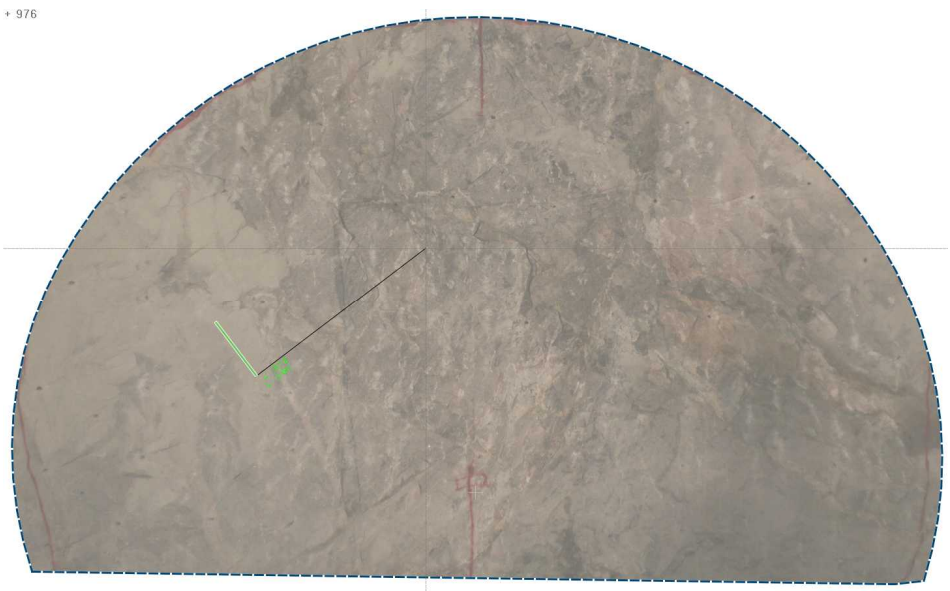
○ SET 1 ~ 5까지 절리속성을 제공합니다.

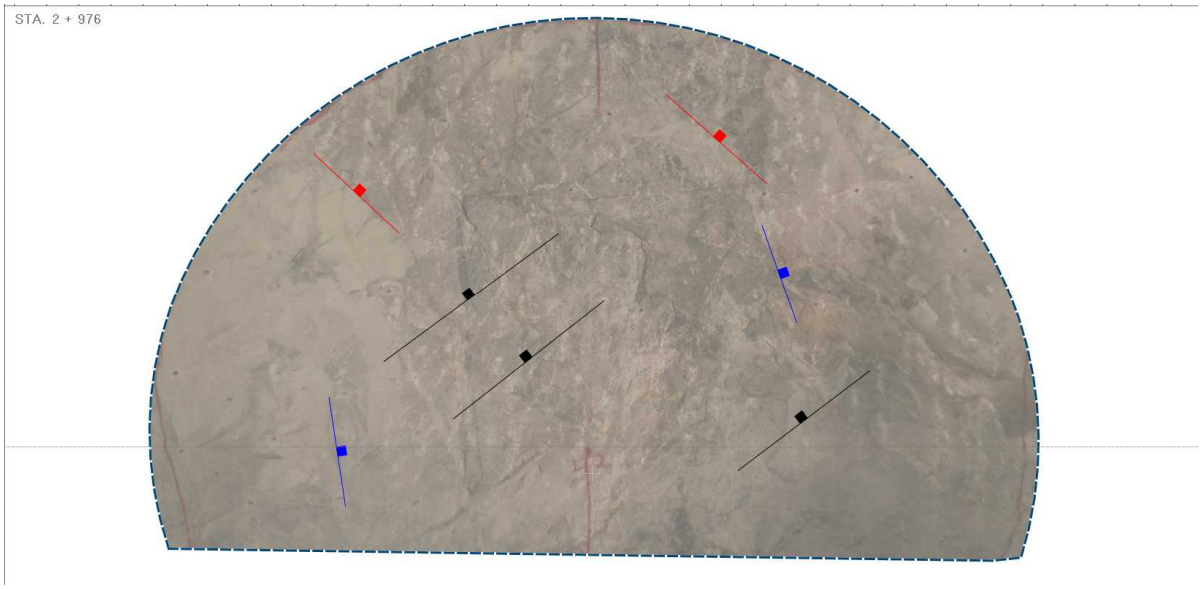
■ Object Manager의 불연속면 항목을 선택합니다. 아래와 같은 툴바 생성됩니다.



■ 툴바에서 5가지 절리 중 하나의 절리 툴바를 클릭합니다.

■ FaceMap Viewer에서 절리의 위치에 클릭하고 길이를 펜을 움직여 길이를 설정 후 펜을 화면을 누르면 절리 객체 생성합니다.





- 절리 객체의 설정값을 수정합니다. (간격(cm), 연장(m), 틈새(mm), 거칠기, 충전물, 풍화도, Dip, Dip direction)
- 절리 객체의 설정값은 콤보박스로 설정되어 클릭하여 지정된 값을 클릭하여 설정합니다.

	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	거칠기	충전물	풍화도	Dip	Dip direction
J1	2m 이상	10m ~ 20m	5mm 이상	매우 거칢	연약 5mm 이상	중간 풍화	0	0
J2	2m 이상	20m 이상	5mm 이상	단층활면	견고 5mm 이하	약간 풍화	0	0
J3	2m 이상	20m 이상	5mm 이상	단층활면	연약 5mm 이상	중간 풍화	0	0

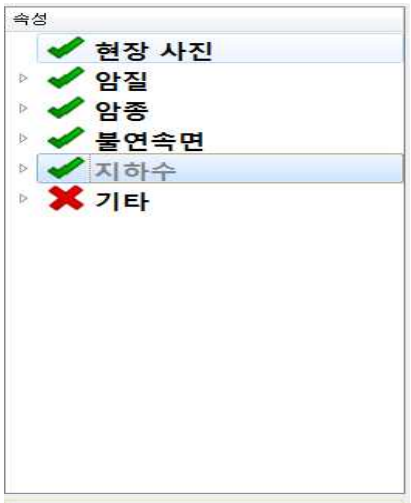
6) 지하수 그리기

○ 굴진면의 지하수 영역을 입력하는 기능입니다.

○ 4가지 지하수 심볼을 제공합니다.(damp, wet, dripping, flowing)

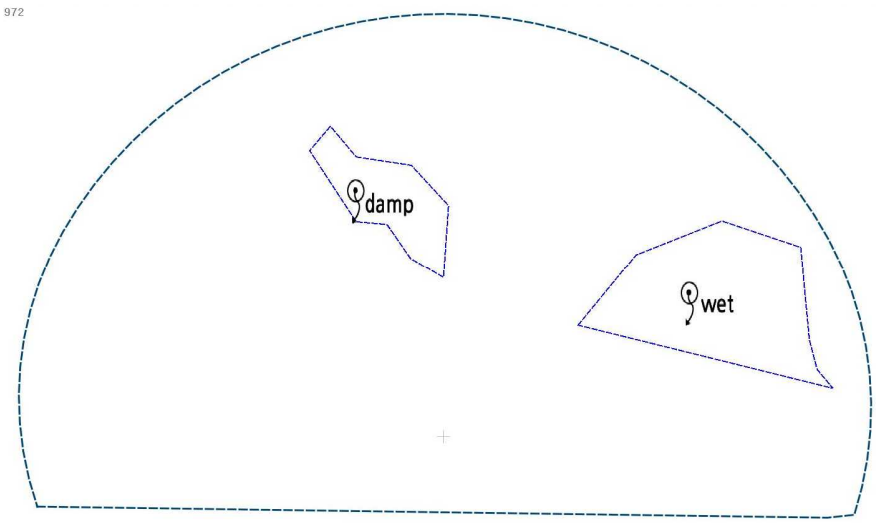
■ Object Manager의 지하수 항목을 선택합니다. 아래와 같은 툴바가 생성됩니다.





■ 툴바에서 4가지 지하수 중 하나의 지하수 툴바를 클릭합니다.

■ FaceMap Viewer에서 지하수의 위치에 클릭하여 지하수 영역을 설정 후 더블 클릭시 지하수 객체 생성합니다.

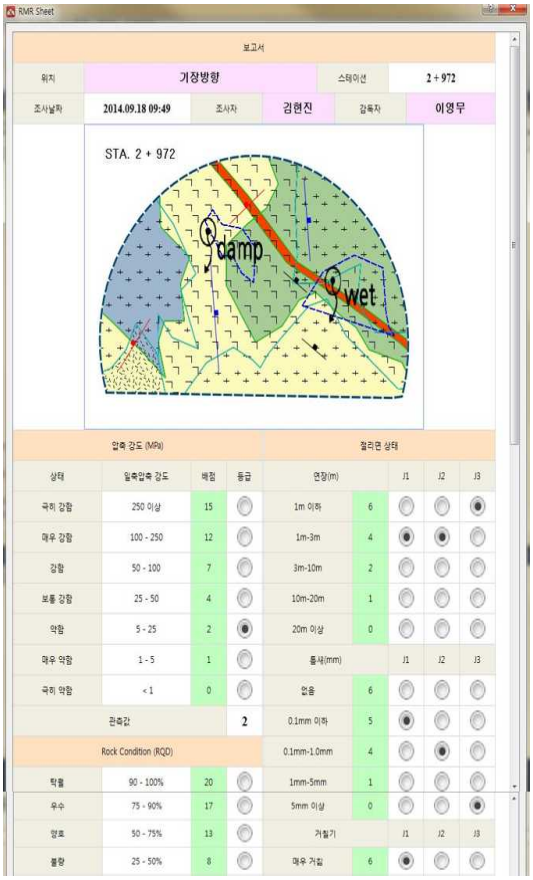


7) RMR 입력

○ 굴진면의 RMR 항목을 입력하여 등급을 표현하는 기능입니다.

○ 항목 점수를 입력 시 실시간으로 등급을 표현합니다.

■ 툴바에서 RMR RMR 항목을 선택합니다.





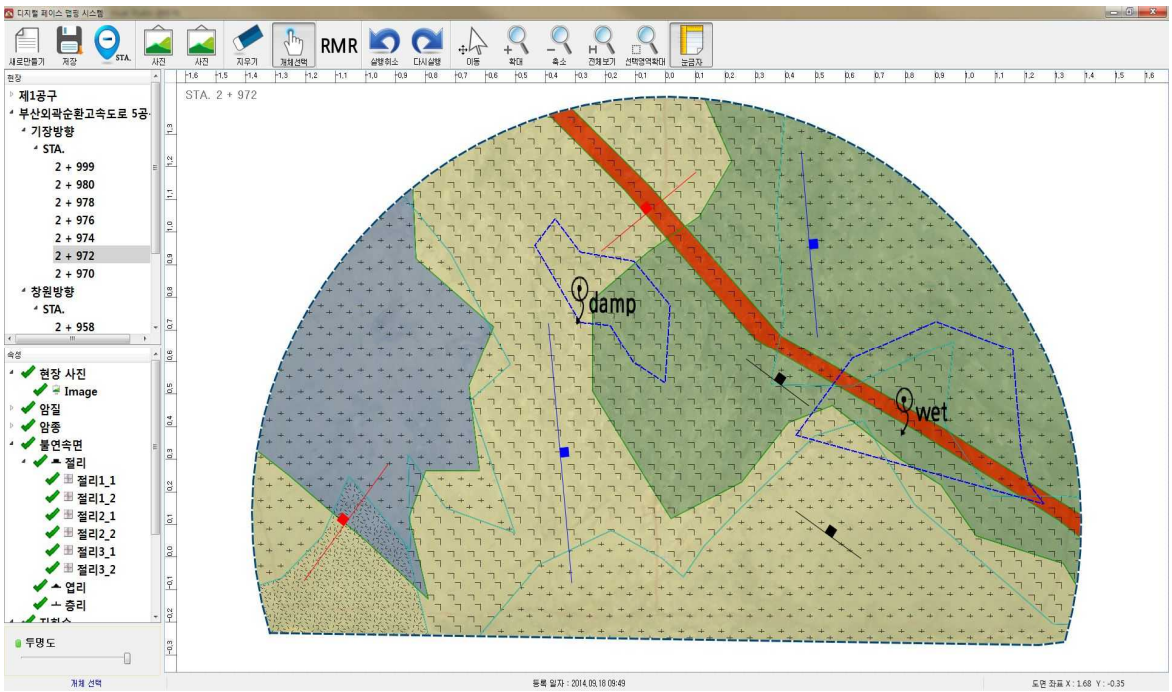
■ 항목을 점수를 체크하고 설명하고 OK 버튼을 눌러 저장합니다.

8) 스테이션 저장

○ 입력 항목을 완료 후 테블릿 PC에 저장되는 기능입니다.

■ 툴바에서 

저장 버튼을 누릅니다.

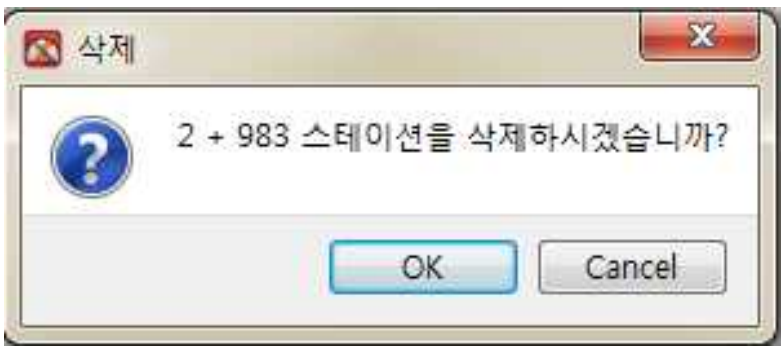


9) 스테이션 삭제

○ 테블릿 PC에 저장된 스테이션 정보를 삭제하는 기능입니다.

■ 툴바에서 

버튼을 누릅니다.

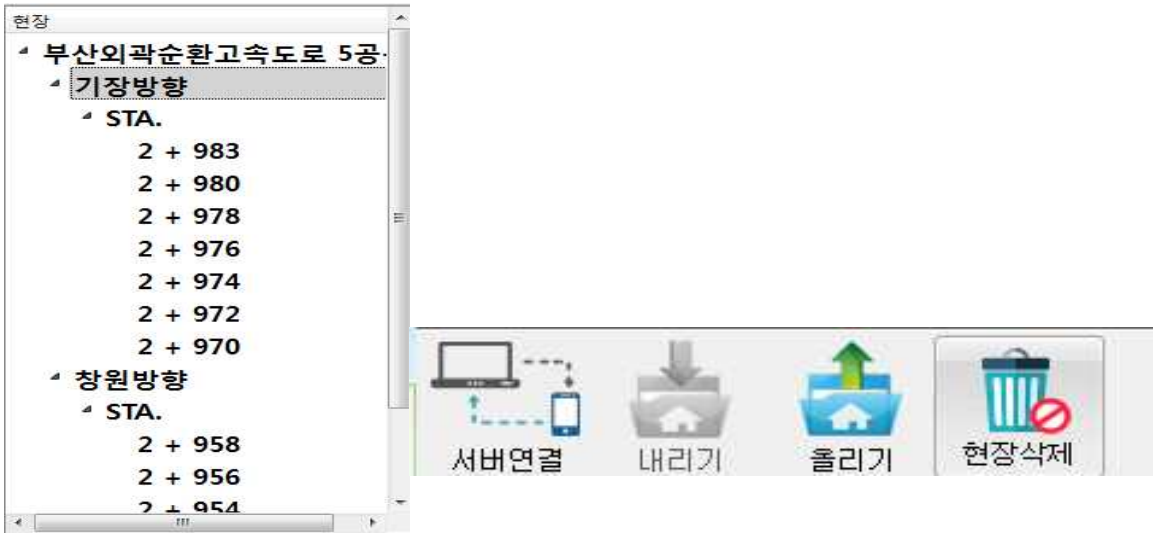


■ 경고 창이 나타나며 OK 버튼을 누르면 삭제되며 Site Manager 목록 갱신이 됩니다.

10) 업로드

○ 테블릿PC에서 입력한 굴진면 데이터를 서버 프로그램에 업로드 기능입니다.

■ Site Manager에서 터널명을 클릭하면 서버 툴바로 생성됩니다.



■ 서버 툴바에서 

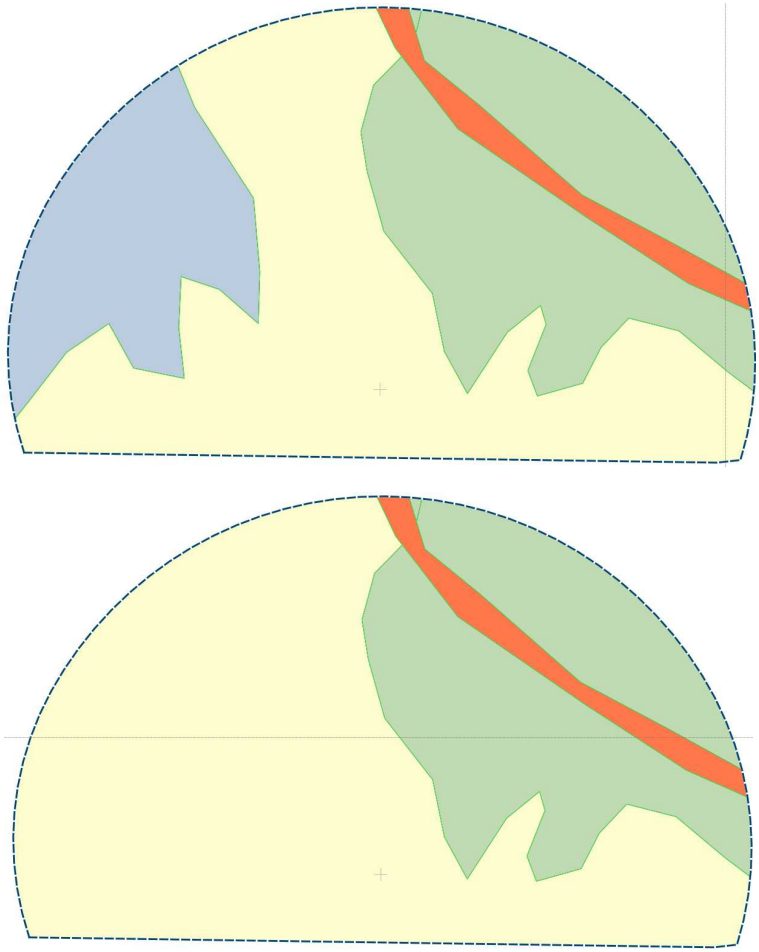
올리기 툴바를 클릭합니다.

■ 테블릿PC에 있는 굴진면 데이터는 서버에 업데이트가 됩니다.

11) 암종/암질 삭제

- 툴바에서 

지우기을 선택한 후 암종 경계를 선택하면 선택된 PolyLine이 삭제되면서 암종/암질이 합쳐집니다. 이 과정을 반복해 특정 암종/암질을 삭제할 수 있습니다.



- 암종경계는 경계라인의 교차점에서 두 개의 PolyLine으로 나눠지므로 각각의 PolyLine을 모두 선택해 삭제해 주어야 합니다.

12) FaceMap Clear

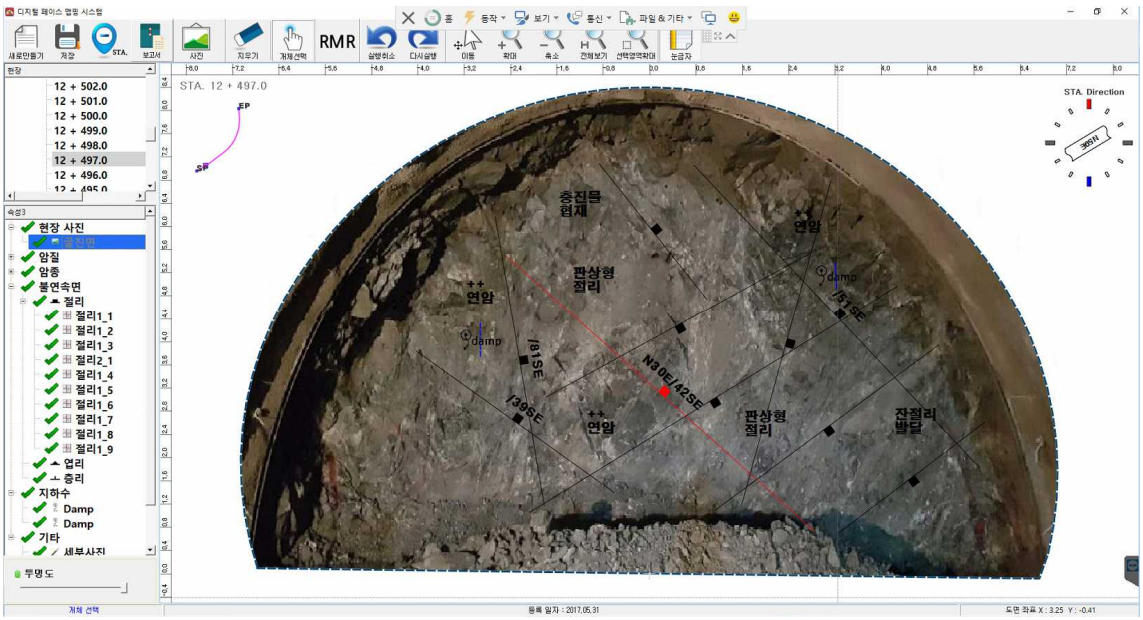
○ 툴바에서 

새로만들기를 클릭하면 기존 그려진 모든 개체들을 삭제할 수 있습니다.

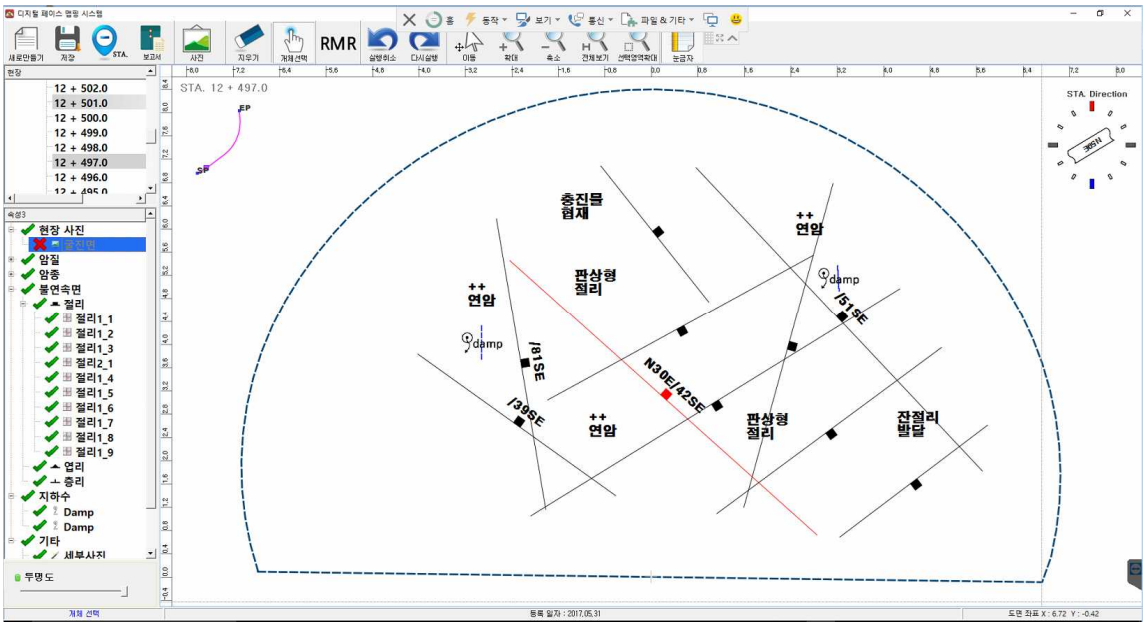
제2장 이전 굴진면 페이스맵핑

○ 미굴진 구간 불연속면 예측을 위해서는 이전 굴진면에 대한 암질, 암종, 불연속면 등의 지질정보가 필요합니다. 따라서 분석 대상 위치의 이전 굴진면에 대한 지질/지반 정보를 확인합니다.

○ 시스템을 활용한 맵핑 결과

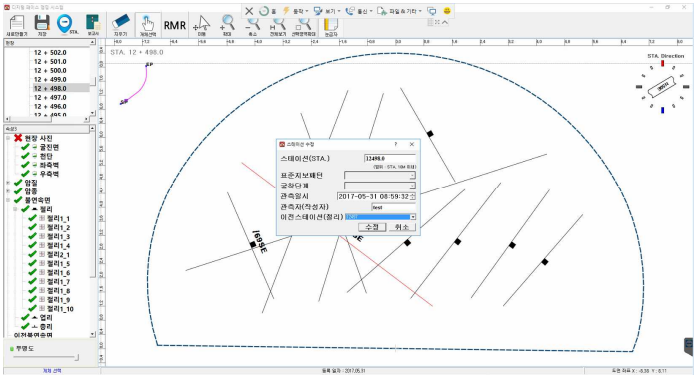


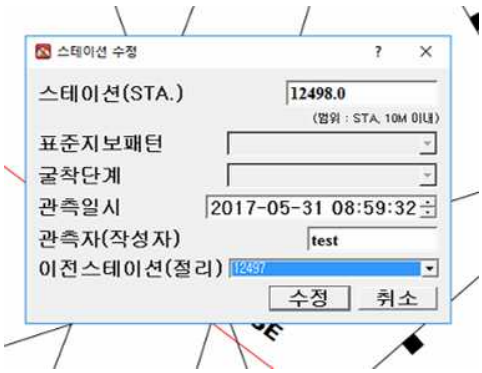
○ 시스템을 활용한 맵핑 결과



제3장 굴진면 생성

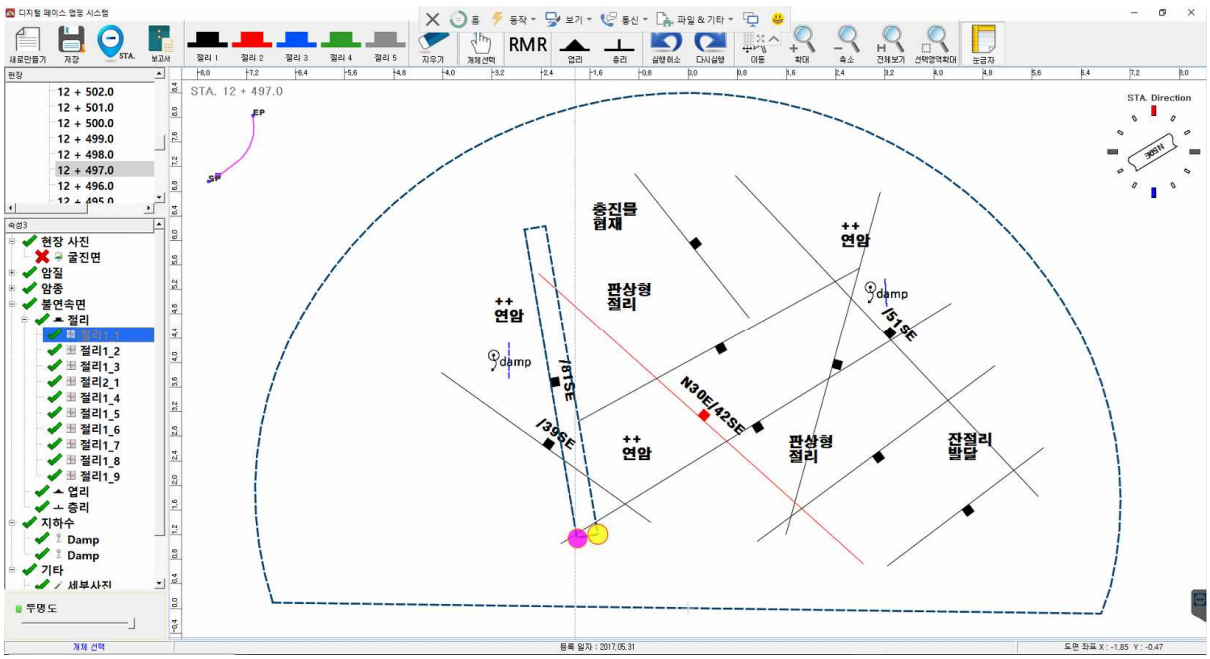
○ 이전 굴진면이 도시되 상태에서 새로운 굴진면 생성 화면상에서 『이전스테이션(절리)』를 클릭하고 해당 스테이션 번호를 호출하면, 불연속면 정보를 중첩하여 도시할 수 있습니다.





○ 객체 관리트리에서 절리를 활성화 시킨 후 불연속면(절리)를 선택하면 아래 그림과 같이 여러개의 불연속면이 나열되며, 개개 절리별로 고유ID코드가 부여된 상태에서 특정 불연속면을 클릭하면 외곽선이 도시되면서 선택이 완료 됩니다.

○ 분석 대상 불연속면 선택

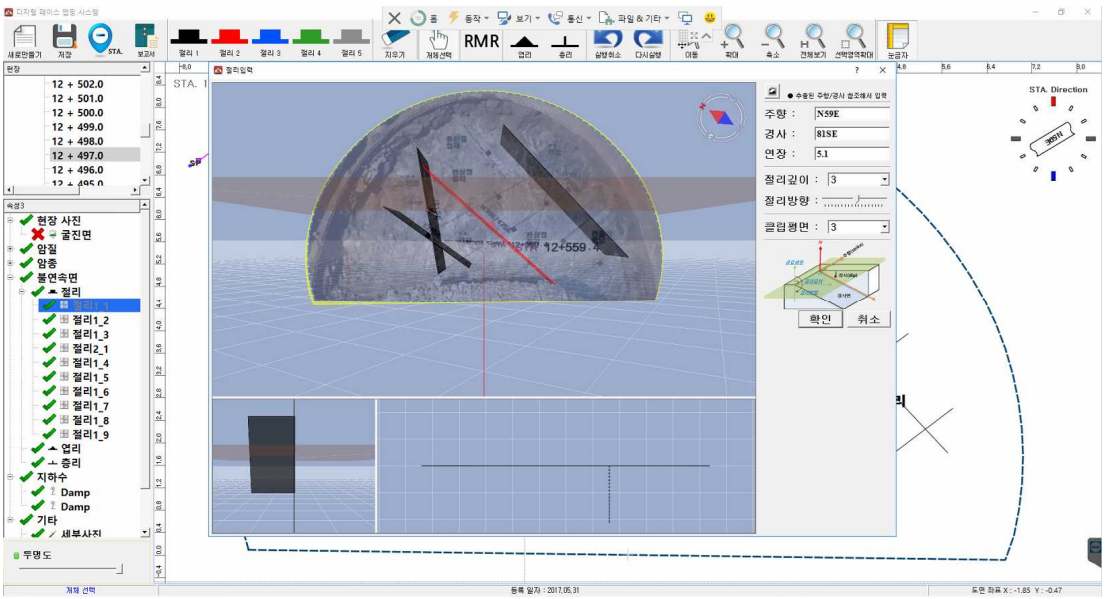


○ 관심 불연속면이 선택된 이후에는 불연속면의 방향성 및 연장 파라메터를 조정하여 다음 굴지면상에서 분포하는 절리분포 양상을 분석하게 됩니다.

제4장 3D 불연속면 절리 연장성 분석 미굴진 구간 예측

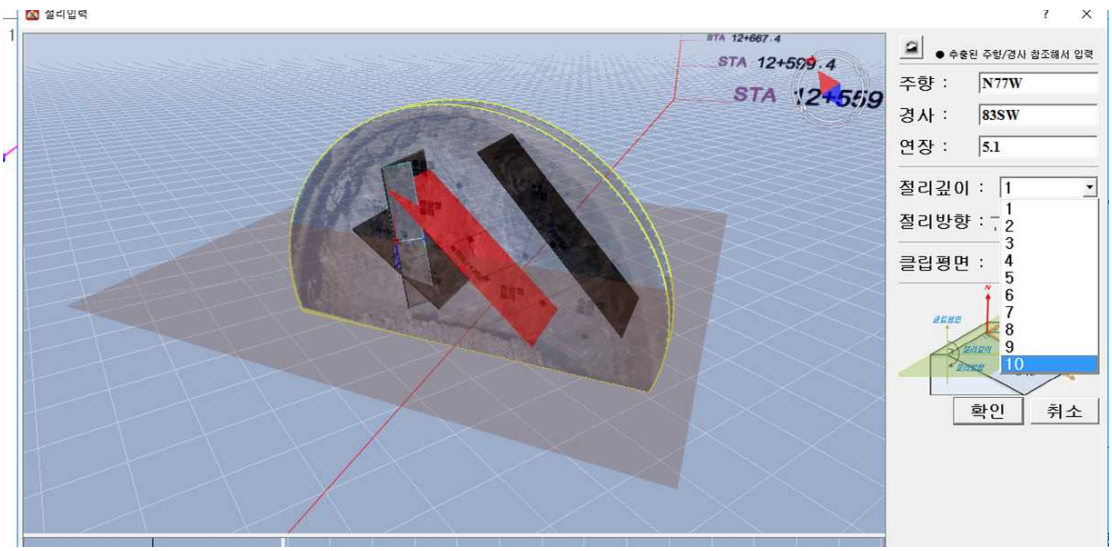
○ 이전 굴진면 불연속면을 다음 가상 굴진면에 연장 시켜 분포 양상을 예측하는 모듈로써, 절리길이 파라메터를 변화시켜 다음 굴지면과 중첩시켜 도시함으로써 불연속면의 분포양상을 예측해 볼수 있습니다.

○ 3D 절리 생성 모듈



○ 이전 굴지면과 예측 굴지면을 해당 스테이션 간격에 따라 동시에 도시한 후 절리면을 연장시켜 불연속면의 중첩 양상을 분석하게 됩니다.

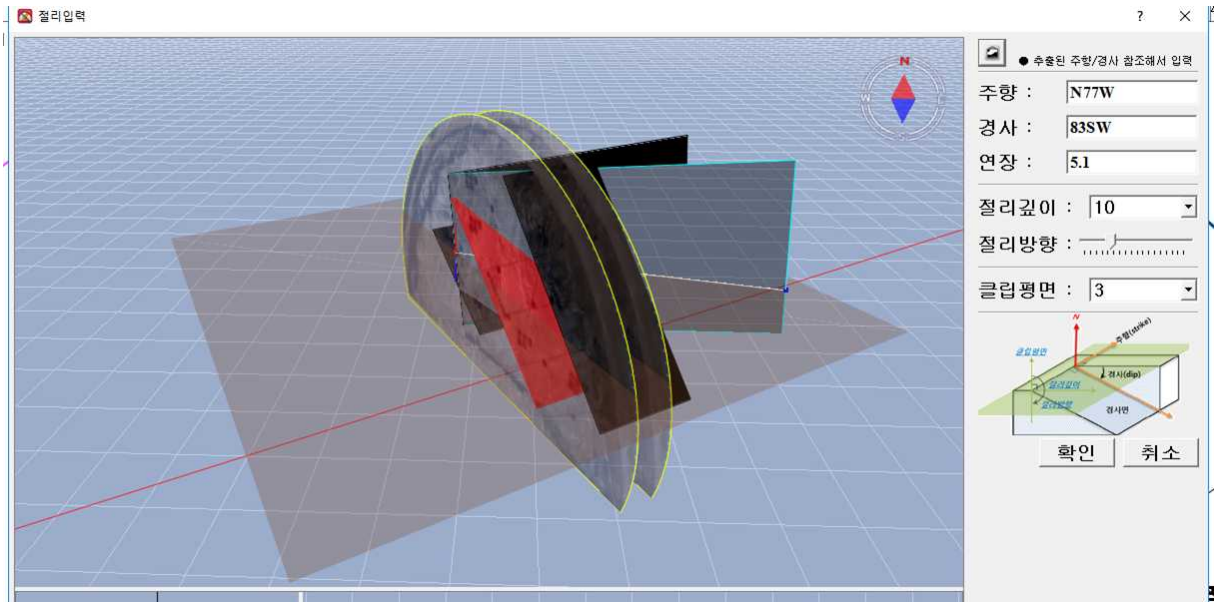
○ 이전 굴진면과 본 굴진면 도시 및 연장성 parameter 설정



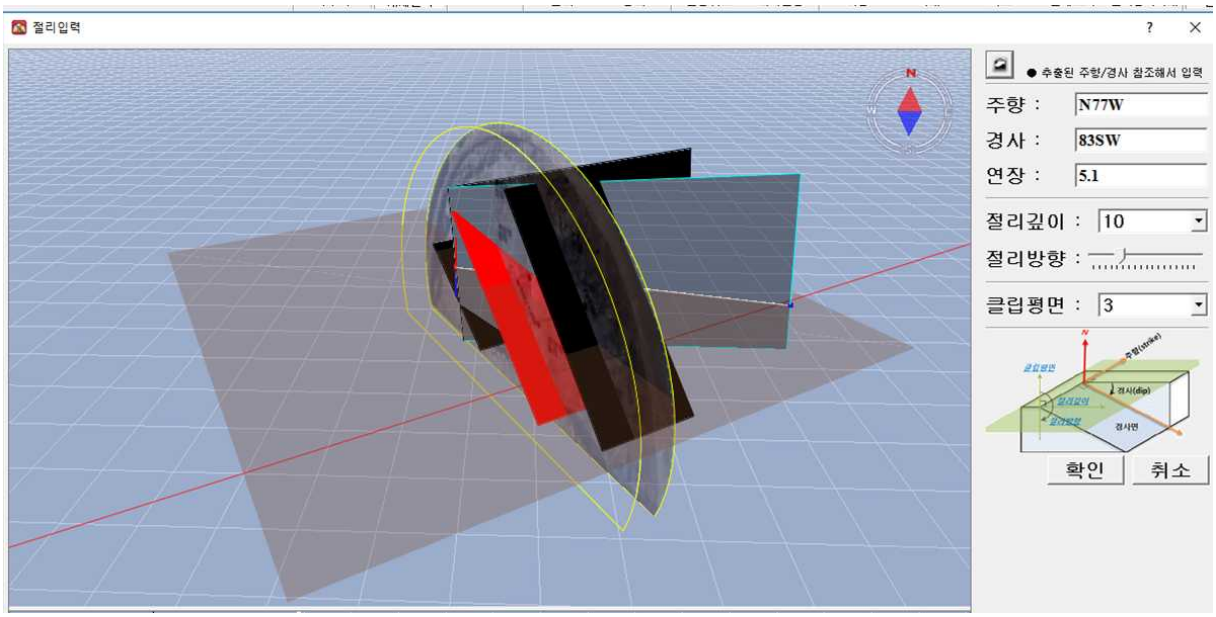
○ 두개의 굴지면이 동시에 도시된 상태에서 원래의 불연속면의 방향성을 변화시켜 가면서 조사자는 불연속면의 적절한 분포 방향을 예측하게 됩니다.

○ 보다 명확하게 화면상의 시인성을 향상시키기 위해서는 이전 굴지면의 투명도를 조절하여 분석대상 굴진면에 도시되는 절리면의 분포를 보다 명확하게 도시할 수 있습니다.

○ 이전 굴진면과 본 굴진면 도시 및 방향성 조정

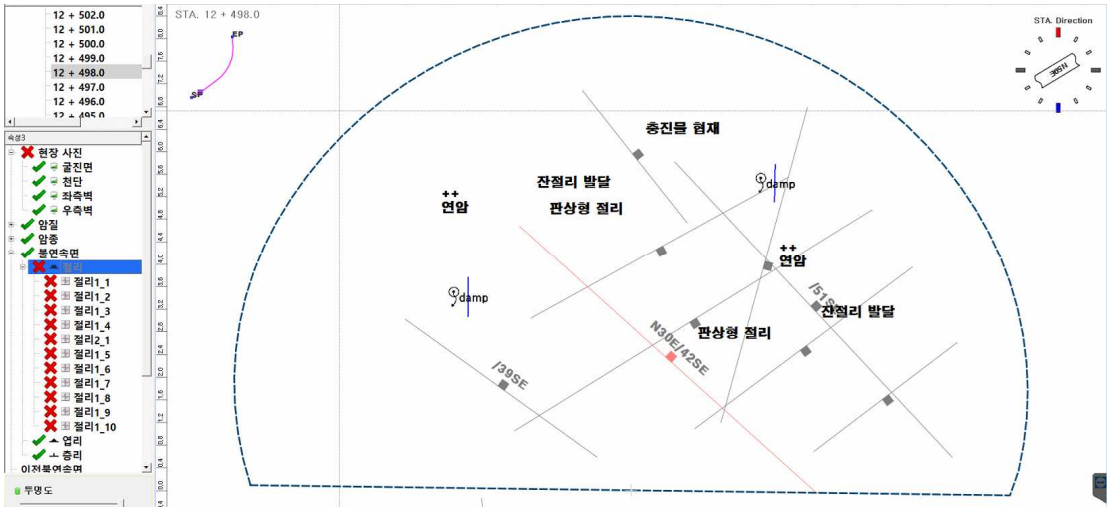


○ 이전 굴진면 투명도 조정 및 굴진면 도시

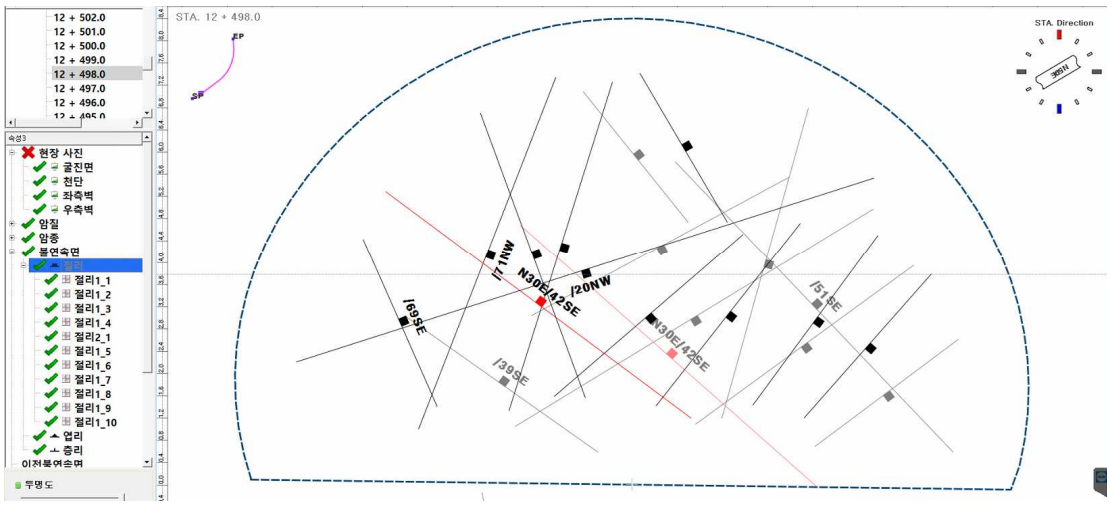


○ 이전 굴진면으로 부터 예측된 불연속면(회색 절리)이 중첩된 2D 맵핑화면을 바탕으로 다음 가상 굴진면의 절리분포 양상을 합리적으로 추정 할 수 있다.

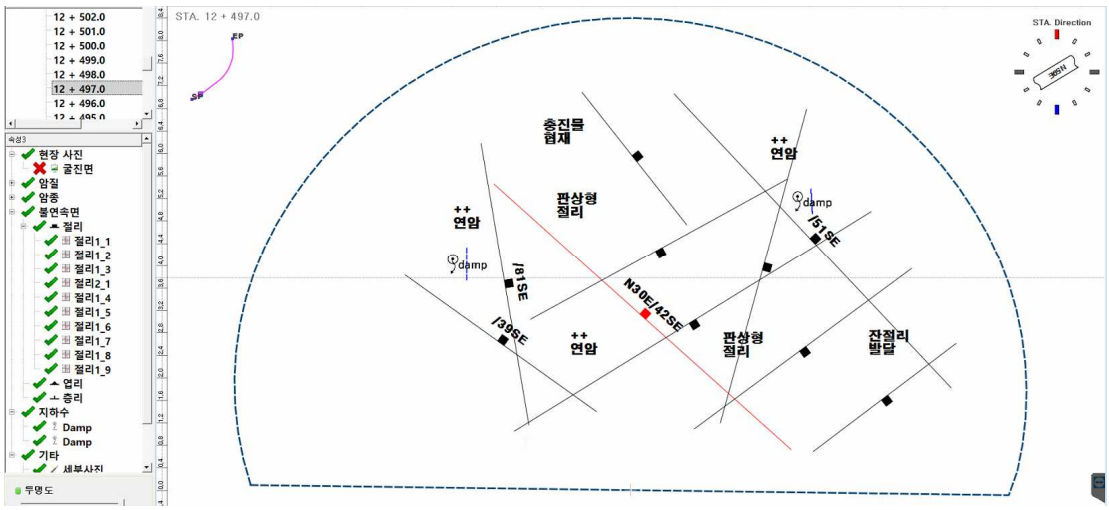
○ 이전 굴진면 절리 분포 양상



○ 이전 굴진면과 미굴진 구간 불연속면 중첩 도시



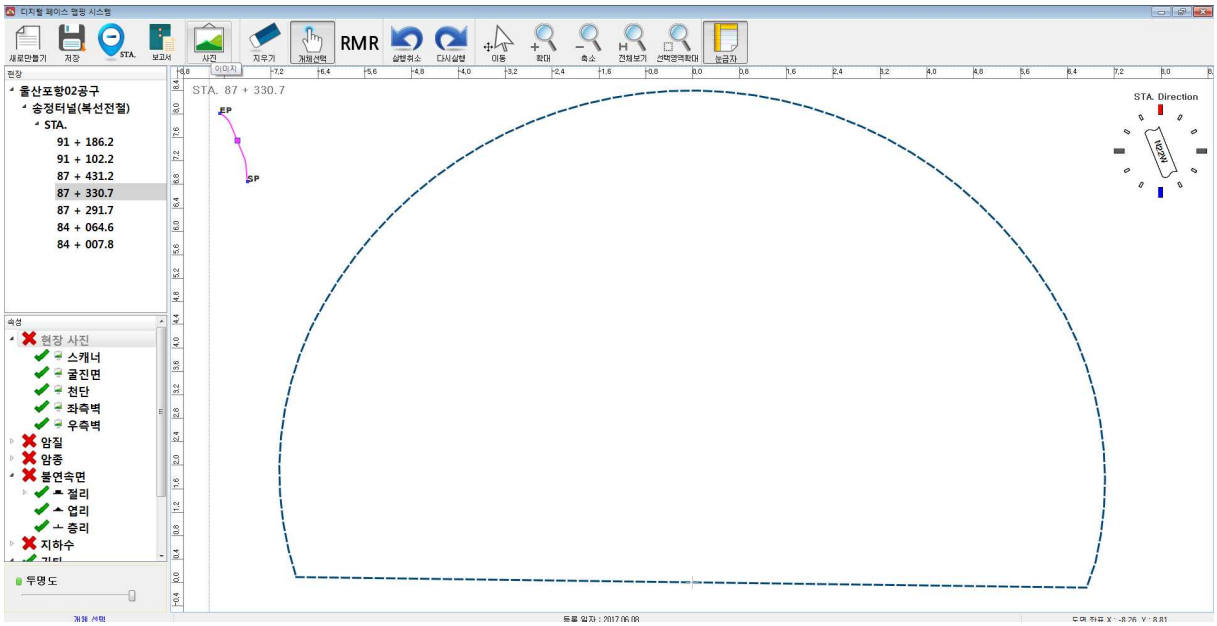
○ 미굴진 구간 불연속면 예측

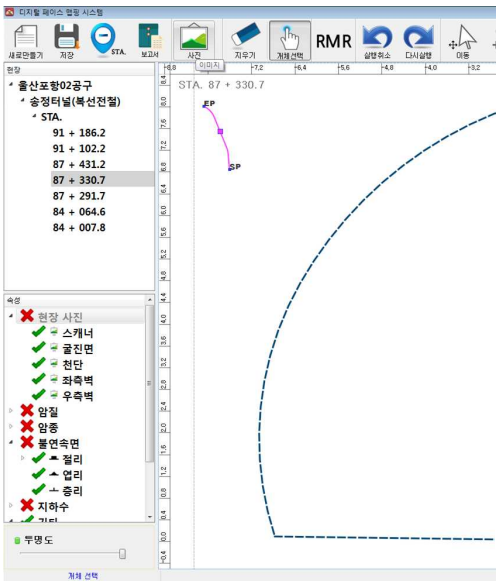


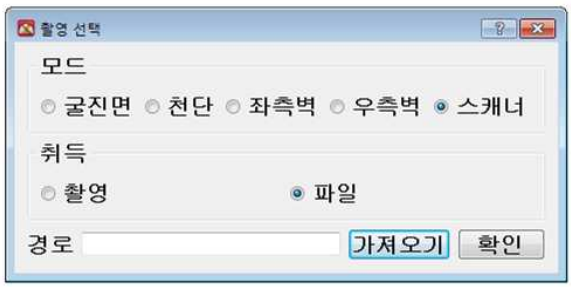
제5장 Digital Face Mapping System 주요 분석 기능

5.1 풍화도 index 분석

○ 풍화도 index분석을 위해 레이저스캐너 정보를 읽어 테블릿 pc에 저장합니다.

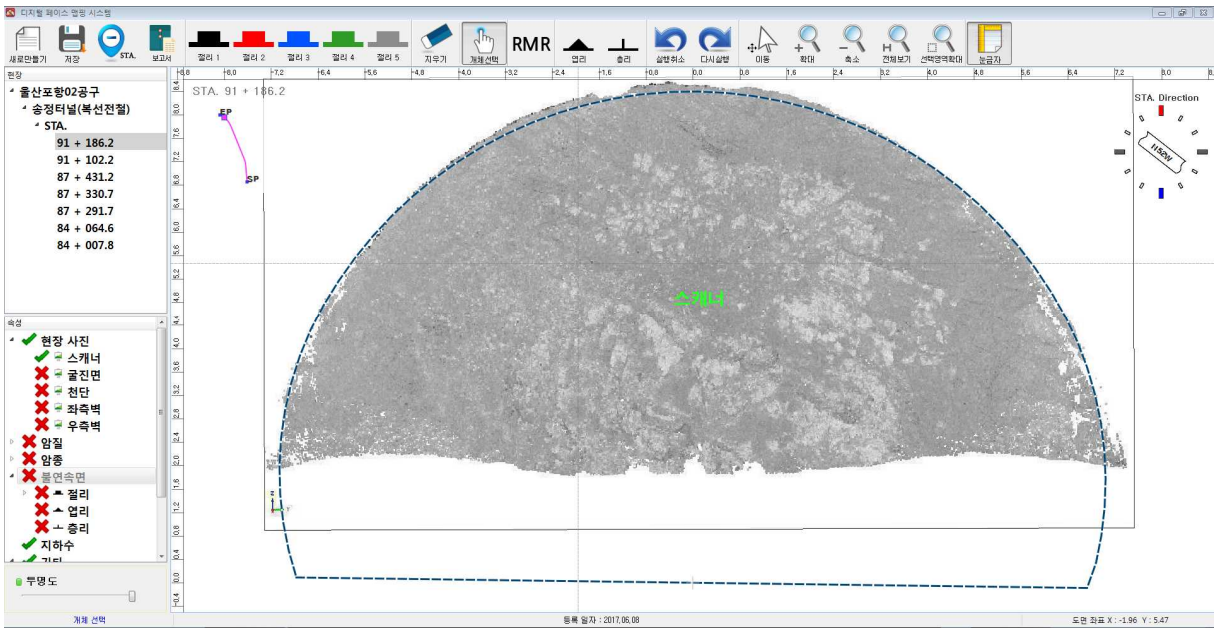




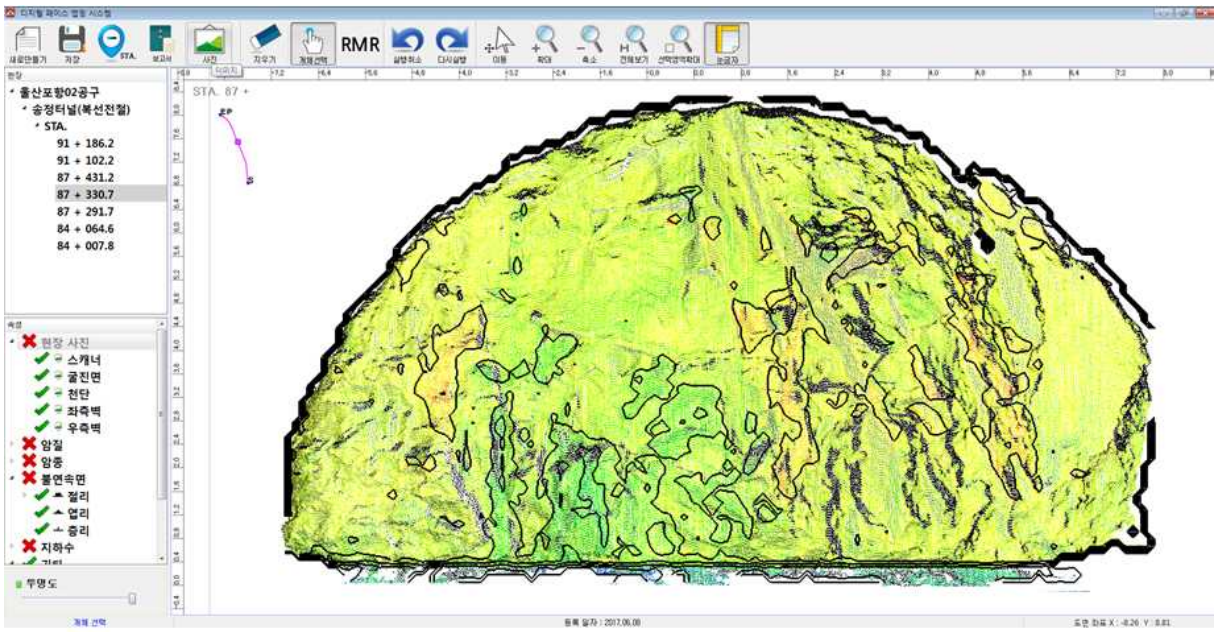


■ 사진 아이콘을 클릭하여 레이저스캐너 정보 파일을 프로그램으로 업로드합니다.

○ 풍화도 index분석을 업로드된 레이저스캐너 자료에 대한 분석을 수행하여 굴진면작성시 참조하여 작성합니다.



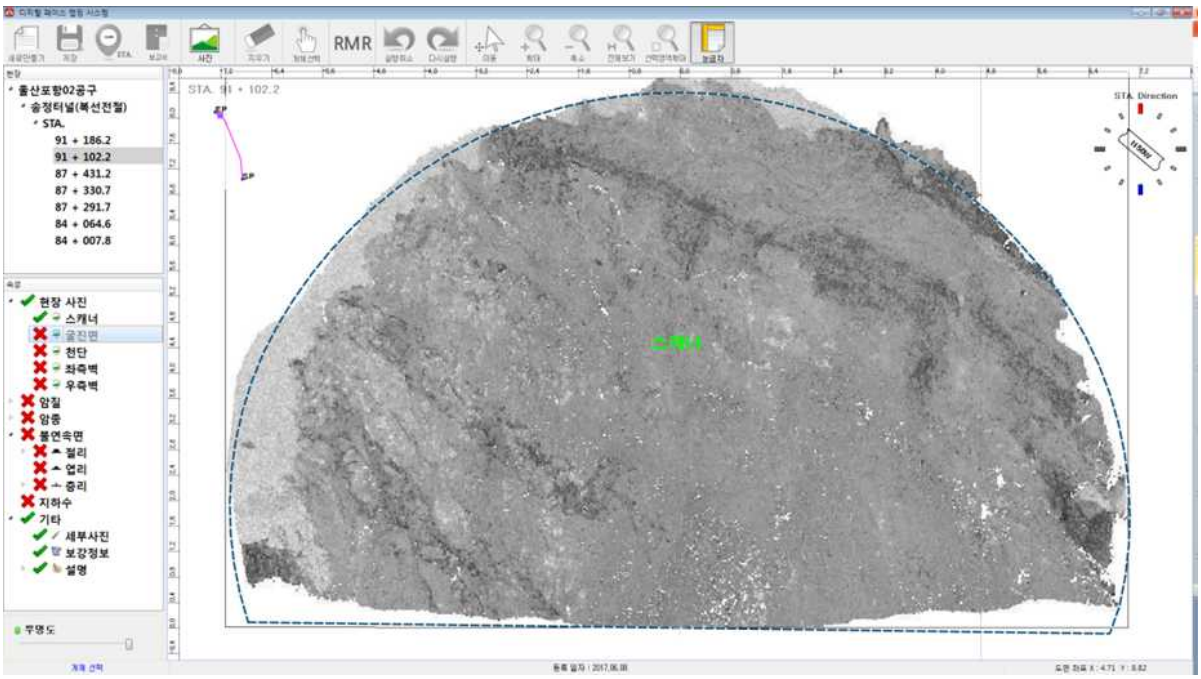
■ 사진 아이콘을 클릭하여 레이저스캐너 정보 파일을 프로그램으로 업로드합니다.



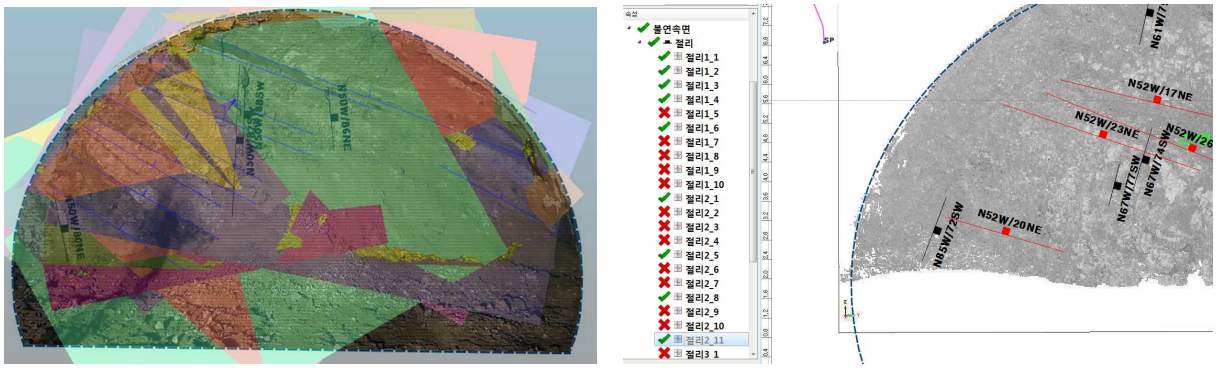
■ 로딩된 레이저스캐너 점군자료에 대한 풍화 index 영역 추출작업을 수행하여 암질설정 시 참고자료로 활용합니다.

5.2 불연속면 자동추출 기능

○ 불연속면 자동추출 기능을 이용함으로써, 굴진면에 분포하는 절리나 단층에 대한 방향성 자료를 신속히 분석할 수 있습니다.



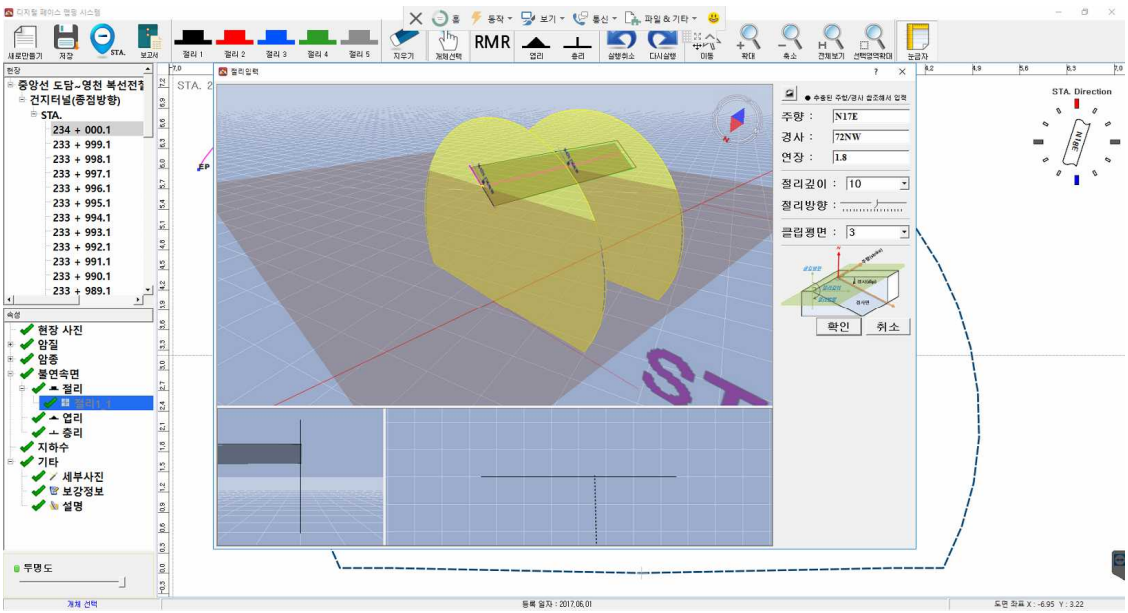
■ 해당 굴진면에 대한 레이저스캐너 점군자료를 업로시킨 상태에서 불연속면 추출 분석을 수행합니다. 불연속면 분석 아이콘을 클릭하여 해당 절리면추출 분석과정을 실행할 수 있습니다.



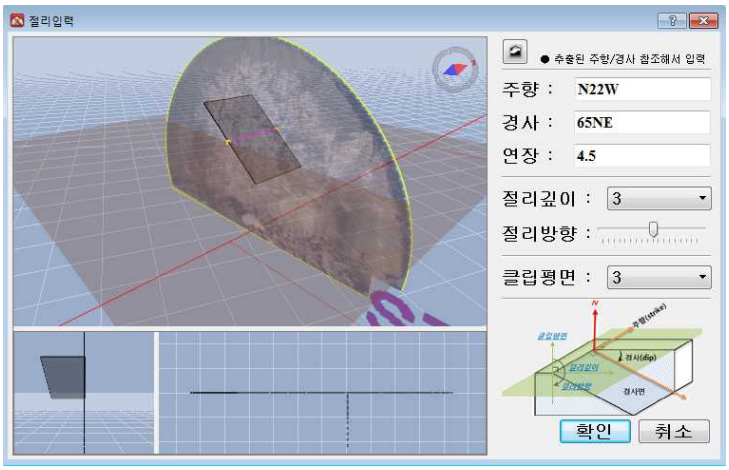
■ 시스템에 의해 추출된 불연속면에는 지질적인 불연속면과 발파에 의한 인공절리 및 미소 평면 등이 포함될수 있습니다. 사용자는 현장의 지질적인 상태를 고려하여 추출된 다수의 면중에 지질적 불연속면만을 취사 선택하여 기입합니다.

5.3 미굴진구간에 대한 암반등급 분석

○ 미굴진 구간에 대한 전방지질을 예측하기 위해서, 기 조사구간에 대한 불연속면의 분포 경향을 전방으로 연장하여 굴진면 지질상태를 추정하는 기능을 수행합니다.

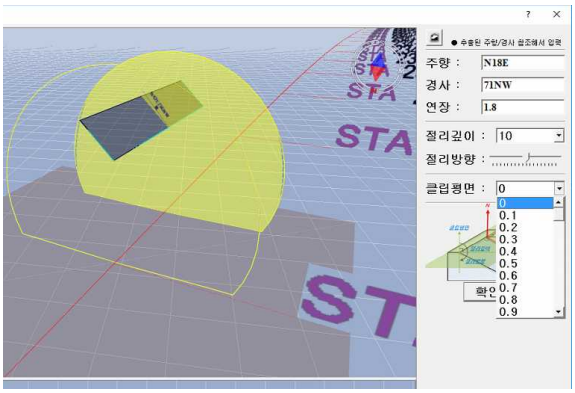


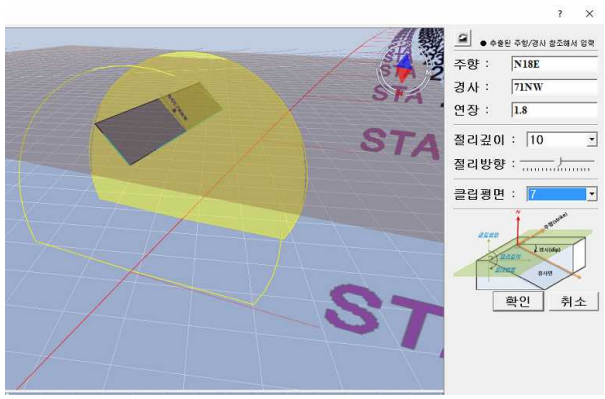
■ 합리적인 전방 지질의 불연속면 추출을 위해 조정 가능한 3개의 파라미터를 제공합니다.





■ 절리깊이는 0~5까지 조절 가능하고, 큰 값 일수록 절리면의 연장성을 증가하게 됩니다. 절리방향은 -90도부터 +90도까지 조절이 가능하며, 굴지면상의 절리trace를 hinge로 하여 방향을 조절함으로써, 절리면의 주향/경사각을 변경할 수 있습니다.





■ 클립평면은 절리면의 주향/경사각을 추출하는데 있어서의 방향벡터를 추출하기 위한 가상의 수평면으로써, 0~7까지의 단계조절이 가능하며, 터널 표준단면상의 바닥에서 부터 천단까지 이동하며, 불연속면이 평면상에 맺히는 절리방향을 표시하는데 활용됩니다.