

경부선 (독산~금천구청간) 철도횡단 압입추진 실시설계 및 철도횡단 안전성 검토용역

철도횡단 안정성 검토 종합 보고서

2012. 10.



아리수 남부수도사업소

목 차

제 1 장 과업 개요

| | |
|---------------------|---|
| 1.1 과업명 | 1 |
| 1.2 과업목적 | 1 |
| 1.3 과업내용 | 1 |
| 1.4 과업현황 | 1 |
| 1.5 검토내용 및 방법 | 2 |
| 1.6 적용공법 검토 | 3 |

제 2 장 기술검토 의견서

| | |
|-------------------|---|
| 2.1 현 황 | 5 |
| 2.2 검 토 의 견 | 5 |

제 3 장 지반 특성

| | |
|-------------------|---|
| 3.1 조사 및 개요 | 7 |
| 3.2 지형 및 지질 | 8 |

제 4 장 유한요소 해석

| | |
|----------------------|----|
| 4.1 해석 이론 | 10 |
| 4.2 적용 프로그램 특징 | 13 |

제 5 장 적용 물성치

| | |
|---------------------|----|
| 5.1 개 요 | 19 |
| 5.2 토질정수 산정 | 19 |
| 5.3 적용 물성치 요약 | 26 |

제 6 장 안전성 평가기준

| | |
|---------------------------------|----|
| 6.1 레일면에서의 허용 부등변위량 (정상시) | 28 |
| 6.2 일반 구조물의 관리기준 | 28 |

제 7 장 해석결과 및 분석

| | |
|------------------------|----|
| 7.1 해석위치 | 32 |
| 7.2 해석모델링 (A-A') | 33 |
| 7.3 해석결과 및 분석 | 34 |

제 8 장 결론

| | |
|-------------|----|
| 8. 결론 | 37 |
|-------------|----|

제 9 장 계측관리 계획

| | |
|------------------------------|----|
| 9.1 계측 기본방향 및 계측 시스템구성 | 39 |
| 9.2 주요구간 계측계획 | 39 |
| 9.3 시공중 계측관리 및 활용계획 | 41 |
| 9.4 시공중 계측관리 자동화 | 41 |

제 10 장 철도운행선 안전관리 대책

| | |
|--------------------------|----|
| 10.1 열차운행선공사 특징 | 43 |
| 10.2 열차운행공사 주요 문제점 | 43 |
| 10.3 시공 담당별 안전관리 | 44 |

제 11 장 부록

1. 지반조사 보고서
2. 수치해석 OUTPUT
3. 지장물 관련기관 협조대상
4. 사 진 대 지

제 1 장 과업 개요

- 1.1 과업명
- 1.2 과업목적
- 1.3 과업내용
- 1.4 과업현황
- 1.5 검토내용 및 방법
- 1.6 적용공법 검토

1. 과업개요

1.1 과업명

· 경부선 (독산~금천구청간) 철도횡단 압입추진 실시설계 및 철도횡단 안전성 검토용역

1.2 과업목적

· 독산에서 금천구역 구간의 철도횡단에 대한 관부설검토

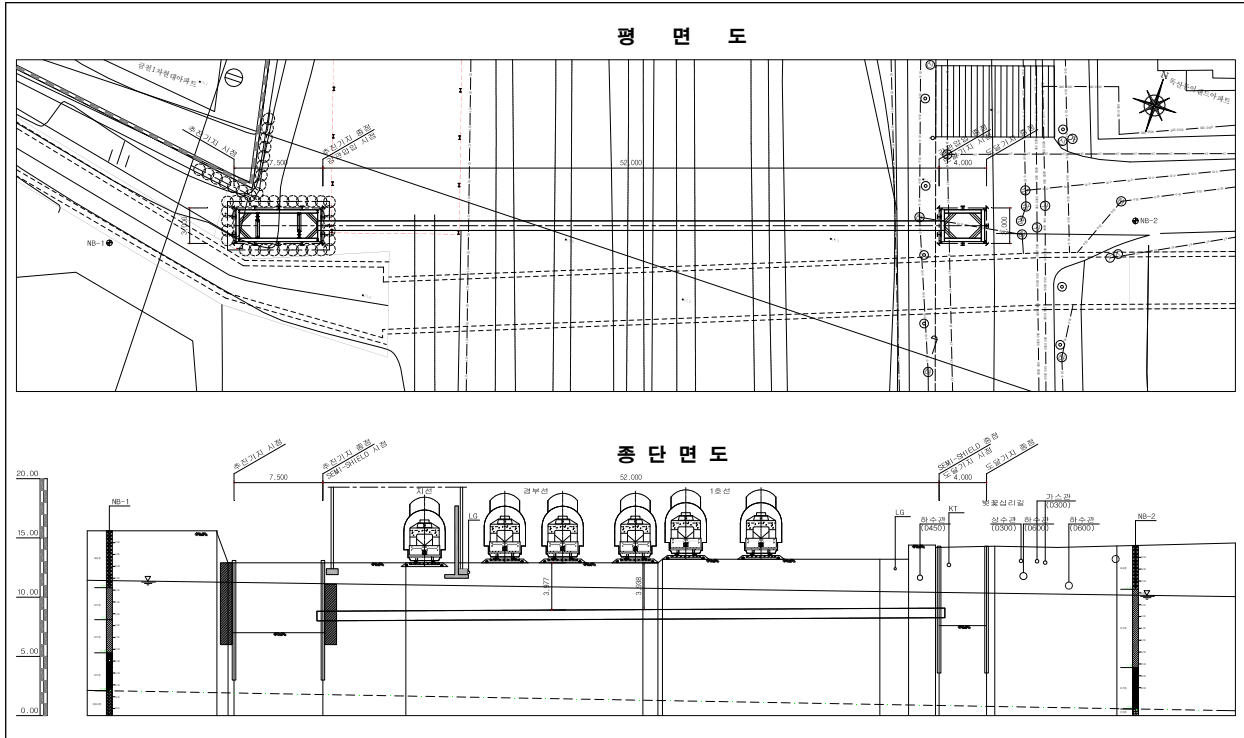
1.3 과업내용

- 흠막이 및 지반굴착 공사로 인하여 현장과 인접하여 위치하고 있는 구조물에 대한 영향 검토를 위해 유한요소 수치해석을 실시
- 해석결과를 통하여 지반침하, 시설물 영향 및 응력에 대한 검토 결과가 허용기준을 만족하는지 확인

1.4 과업현황

· 본 계획부지는 행정구역상 금천구 독산동 1131~720-4 에 위치하며, 인접하여 경부선(서기 16.8Km부근)이 위치하고 있다.





1.5 검토내용 및 방법


본 검토는 계획도면 및 기존자료를 비교·분석하여 해석을 위한 기초자료로 활용하였으며, 해석을 위한 지반의 Parameter는 토질조사를 통한 지반정보 및 각종 문헌에 나타난 토질 및 암반의 역학적 성질을 비교분석하여 가장 합리적인 조건 상태에서의 Data를 적용하였다.

각 단계별 적정성 평가를 위한 해석은 시공과정별로 구분하였다.

- ① 지반에 철도 운행하중 적용
- ② 압입추진 공법 굴착

또한, 단면해석을 위한 Program은 일반적으로 수치 해석에 있어서 적용이 우수한 유한요소법 (Finite Element Method)해석 Program인 PLAXIS V8을 이용하였으며, 정적인 상태에서의 해석 결과치를 분석하여 전력구 건설공사로 인한 철도구조물에 미치는 영향에 대한 안정성을 평가하였다.

1.6 적용공법 검토

| 구분 | 선단조정 T.P.S 공법 (특허제0413562호 선단조정이 가능한 굴착기) | Semi Shield공법 | 유압식 공법 | 지향성 압입 공법 | GIP 공법 (특허제0654272호 그라우팅노즐이 구비된 강관압입장치 및 이를이용한 압입공법) | |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 개요 | · PIPE 선단부에 장착된 T.P.S.추진기를 이용 · 굴착 및 배토하며 PIPE를 추진하는 공법 | · 원통형 실드로 선단부를 굴착하여 PIPE를 밀어 넣는 공법 | · 인력굴착에 의하여 관내토사를 제거하고 유압JACK의 압력으로 PIPE를 밀어넣는 방법 | · 소구경 DRILL HEAD와 높은 물의 압력을 사용하여 여러 가지 토질을 작업할 수 있는 공법 | · 선도관에 지반 보강용 그라우팅 노즐 장착후 유압 장비로 Pipe를 밀어 넣는 공법 | |
| 공법특징 | · 선단부의 굴착면이 폐쇄되어 막장의 안정화 가능 · 검증된 공인장비를 사용 | · 선단부가 폐쇄되어 막장의 안정화 유지 가능하고 보조수단을 사용하여 지반의 변화를 억제 | · 선굴착후 근입으로 시공하여 공법의 적용에 제한 이 다소 많고 기존 상부의 변형이 많이 발생됨. | · 벤트나이트용액을 이용하여 천공 Hole을 유지하여 로드 왕복작업으로 확공작업 | · 잔류침하방지 등으로 재해예방 및 보수 | |
| 공사 개요도 |  |  |  |  |  | |
| 적용토질 | · 토질적용 범위가 넓다(연약지반, 토사~경암) | · 연약지반, 토사~경암 | · 토사~풍화암 | · 사질토, 점성토 | · 토사, 암 | |
| 장점 · 단점 | 장점 <ul style="list-style-type: none"> · 기계식 굴착으로 정확성, 안전성 확보 가능 · 보조공법 필요없고 반복작업으로 시공관리 용이 · 장거리 굴착이 가능 · 선단부 지층에 따라 다양한 헤드 형상 적용 가능 · 추진력에 비해 공사비 저렴 · 소형추진 시공가능 · 필요시 작업장공간이 소규모로 가능함(L7m×B3m) 단점 <ul style="list-style-type: none"> · 숙련된 기능공이 필요 · 장비조립 및 수리의 기간이 소요 | 장점 <ul style="list-style-type: none"> · 기계식 굴착으로 정확성 확보 · 주변지반의 이완을 최소화시키며 굴착가능 · 경암층도 시공가능 · 추진구 폭에 대한 규모가 제한적(L8.0m×B4.0m) 단점 <ul style="list-style-type: none"> · 고압의 수전인입이 필요 · 장비비용이 높아 공사비 증가 · 전문인력이 필요 · 추진중 기계 고장의 경우 수리가 어려움 · 이수처리등 폐기물처리에 따른 환경오염 발생 · 단거리 추진시 경제적으로 시공이 어려움. · 후방설비에 필요한 작업장 면적이 확보가 필요. | 장점 <ul style="list-style-type: none"> · 현재 많이 사용되는 방식으로 시공실적 다수 · 지장물에 대한 대응이 쉬움 · 공사비는 저렴하나 지하수 영향에 대한 보강이 필요하며 이로 인한 공사비 증가 필수적임. · 강관(6M/본)추진시 타공법에 비해 작업구가 넓게 소요 (L10.0m×B5.0m) 단점 <ul style="list-style-type: none"> · 굴착 거리 제한적(장거리추진 곤란). · 지하수의 영향을 많이 받아 매우 위험 · 사질토 지반추진시 막장붕괴의 위험 · 굴착 거리 50M이상시 구배 조정 어려움 · 기능공의 숙련도에 따라 정확도 영향이 큼 · 최소구경 Ø800mm이상 · 추진외관 제질이 한정적임(스파일러강관) | 장점 <ul style="list-style-type: none"> · 공사 기간이 단축될수있다. · Locator를 이용하여 정밀한 진행방향의 조정이 용이하다. · 기존 관로의 파손위험이 적다. 단점 <ul style="list-style-type: none"> · 추진작업중 상부침하에 의한 민원발생 우려 · 대단면 Tunnel에 부적합 · 지하 수위가 높은 모래 및 자갈층에 부적합 · 추진 곡선화 되어 장거리 추진시 직관의 사용불가 · 강관등의 추진이 불가(PE관등에 제한적 적용가능) · 곡선화로 인한 본관을 강관 또는 주철관사용곤란 · 정밀도가 떨어진다 · 양반 및 호박돌층의 지반에 적용불가 | 장점 <ul style="list-style-type: none"> · 재래식 압입공법의 장점과 더불어 지반보강, 차수성 및 지수성 향상 · 잔류침하방지 등으로 재해예방 및 보수/보강비 절감 단점 <ul style="list-style-type: none"> · 도심지 주변 등 추진관 주변에 노후관이나 지장물이 산재할시 실링재 주입으로 인한 2차적인 피해우려가 있을 수 있음 · 실링재 주입을 위한 추가공사비 발생 · 친환경적인 공법이 아님 | |
| 공사 비 | 계 | · 253백만원 | · 264백만원 | · 287백만원 | · 155백만원 | · 287백만원 |
| | 직접비 | · 토질조건(보통토사) · 추진관경(외관:Ø600mm L=52M) -추진공: 192백만원(자재대, 제경비포함) · 가시설:L7.0m×B3.0m기준,H-PILE+토류판 가시설수량:118.0㎡ 271.625원/㎡×118㎡=55백만원(제경비포함) · 계략사업비:247백만원(내역서참조) | · 토질조건(보통토사) · 추진관경(외관:Ø600mm L=52M) -추진공: 192백만원(자재대, 제경비포함) · 가시설:L8.0m×B4.0m기준,H-PILE+토류판 가시설수량:142.0㎡ 271.625원/㎡×142㎡=66백만원(제경비포함) · 계략사업비:258백만원(내역서참조) | · 토질조건(보통토사) · 추진관경(외관:Ø800mm 강관 L=52M) -추진공: 197백만원(자재대, 제경비포함) · 가시설:L10.0m×B5.0m기준,H-PILE+토류판 가시설수량:177.0㎡ 271.625원/㎡×177=81백만원(제경비포함) · 계략사업비:278백만원(내역서참조) | · 토질조건(보통토사) · 추진관경(외관:Ø600mm 강관 L=100M) -추진공: 150만원/㎡(자재대, 제경비포함) 150만원/㎡×100㎡=150백만원(견적서참조) · 계략사업비:150백만원(내역서참조) | · 토질조건(보통토사) · 추진관경(외관:Ø800mm 강관 L=52M) -추진공: 197백만원(자재대, 제경비포함) · 가시설:L10.0m×B5.0m기준,H-PILE+토류판 가시설수량:142.0㎡ 271.625원/㎡×177=81백만원(제경비포함) · 계략사업비:278백만원(내역서참조) |
| 간접비 | · 철도청직원입회비:14일,과도공4인 -104,948원/인×14일×4인=5,877,088원 | · 철도청직원입회비:14일,과도공4인 -104,948원/인×14일×4인=5,877,088원 | · 철도청직원입회비:22일,과도공4인 -104,948원/인×22일×4인=9,235,424원 | · 철도청직원입회비:34일,과도공4인 -104,948원/인×10일×4인=4,197,920원 | · 철도청직원입회비:22일,과도공4인 -104,948원/인×22일×4인=9,235,424원 | |

| 구분 | 선단조정 T.P.S 공법 (특허제0413562호 선단조정이 가능한 굴착기) | Semi Shield공법 | 유압식 공법 | 지향성 압입 공법 | GIP 공법 (특허제0654272호 그라우팅노즐이 구비된 강관압입장치 및 이를이용한 압입공법) |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 공사기간 | · 추진구:7일, 도달구:3일, 총:10일 · 추진일진량:3.7m/일, 추진연장:52m, 14일소요 · 총소요일:24일 | · 추진구:8일, 도달구:3일, 총:11일 · 추진일진량:3.7m/일, 추진연장:52m, 14일소요 · 총소요일:25일 | · 추진구:9일, 도달구:3일, 총:12일 · 추진일진량:2.4m/일, 추진연장:53m, 22일소요 · 총소요일:34일 | · 추진일진량:10m/일, 추진연장:100m, 10일소요 · 총소요일:10일 | · 추진구:9일, 도달구:3일, 총:12일 · 추진일진량:2.4m/일, 추진연장:53m, 22일소요 · 총소요일:34일 |
| 비용분석 | · 공사비는 비교 공법중 2번째로, 경제성에서 우수한 것으로 판단되며 공사기간이 가장적게 소요되는 것으로 나타난다. | · 공사비는 비교 공법중 3번째이며, 후방설비 설치로 가시설 넓어 공사기간은 선단조정 공법보다 길어짐 | · 가시설 연장이 가장 넓게 확보하여야 하고 현장여건에 적용하기가 곤란하며 공사기간이 가장길게 소요되는 것으로 나타난다. | · 공사비는 비교 공법중 경제성에서 가장 우수한 것으로 판단되며 공사기간이 가장적게 소요되는 것으로 나타났다. · 추진관이 곡선으로 설치되어 반드시 본관을 연성관으로 설치하여야하며 수밀 보장이 어려움 | · 가시설 연장이 가장 넓게 확보하여야 하고 현장여건에 적용하기가 곤란하며 공사기간이 가장길게 소요되는 것으로 나타난다. |
| 현장 적용성 | · 협소한 공간의 작업장에서도 작업이 가능 · 토질조건 및 상부 중요구조물에 대해서도 안전함 · 기계식굴착기 사용, 시공속도가 빠르고 안정됨 · 타 공법에 비해 가장 경제적인. · 지하수위 적용에 유리하며 전단에 기계가 설치되어 공극부 보강은 필요없음. | · 후방설비에 필요한 작업장 면적이 확보가 필요. · 시공단가가 비싸다. · 장비고장시 수리가 어렵다. · 별도의 잔토 폐기물 처리를 하여야한다. · 전문교육이된 operator가 필요하다. · 지층변동에 따른 장비의 대처능력이 적어 소구경 추진시 토질조건에 따른 지반침하 등의 문제가 발생한다. | · 기계굴착식에 비해 공기가 길다. · 막장이 오픈된 상태로 추진하여 안전성 취약. · 인력굴착으로 인한 여굴이 많이 생긴다 · Ø800mm 이상의 추진관을 사용하여 본관부설 · 공극부를 몰탈로 충전, 기타 부대비용이 필요. · 전면부가 개방되어 지하수가 있는 경우 토사의 불안정으로 인한 보조 공법을 병행할 필요가 있다. | · 토질상태에 따라 제약이 따르며 특히 곡선시공으로 연장이 늘어나며 협소 공간에 적용 곤란 · 벤토나이트의 점성이 낮아 천공홀 유지가 어렵다. · 전기통신관로 위주의 공사로 압송관 직관을 사용하는 공사에서는 사용불가 | · 기계굴착식에 비해 공기가 길다. · 막장이 오픈된 상태로 추진하여 안전성에 취약하다 · 암 파쇄시 여굴이 많이 생김 · 800mm 이상의 추진관을 사용하여 본관부설 · 공극부를 몰탈로 충전 기타의 부대비용 발생 · 전면부가 개방으로 지하수가 높은경우 시공불가 |
| 공사실적 | · 광역상수도 철도추진공사:한국수자원공사 · 상수도 철도추진공사:경산시 · 경의선 복선구간추진공사:철도청 · 그외 다수(공사실적증명서첨부자료참조) · 첨부자료 : 실시설계보고서 부록-4 | · 다양한 실적이 있음. | · 다양한 실적이 있음. | · 철도추진 관련된 실적은 없음. | · 관로 서해안고속도로확장공사:한국도로공사 · 배수관로 국도추진:국토관리청 · 그외 다수 |
| 검토의견 | <p>· Semi Shield공법은 선단조정 T.P.S 공법보다 작업공간이 크며, 이로 인한 가시설(추진구간의 흠막이 시설)이 커지고, 공사비 및 공기의 상승이 요구 된다. 또한 이수처리등 폐기물처리에 따른 환경 오염의 문제점을 내포하고 있다.</p> <p>· 지향성압입공법은 곡선에 의한 추진이 필요하여 본관의 관중을 한정지어서 시공할 수밖에 없는 단점이 있으며 향후 토압에 의한 관의 변형이 우려되고 수밀을 보장할 수 없음.</p> <p>· GIP공법은 관거 절단 및 용접 접합을 시행하여 공사비가 증가와 이로 인한 공사기간이 길어지는 단점이 있으며 현재 조사된 사항으로는 철도추진 실적이 없는 것으로 조사됨.</p> <p>· 유압식공법은 현장여건이 협소하여 추진기지 설치가 곤란하고 외관을 최소한 강관 Ø800mm이상을 사용하여야 하나 זאת은 관거 절단 및 용접 접합을 시행하여 공사비가 증가와 이로 인한 공사기간이 타 공법보다 길어지는 단점이 있다.</p> <p>· 선단조정TPS공법은 현장여건상 협소한 공간에서도 공사가 가능하고 경제성 및 시공성, 시공기간을 단축시킬 수 있어 민원의 최소화로 가장 유리하다고 판단되며 철도청 및 그 외 다수의 철도추진 실적을 보유하고 있어 증명된 공법임.</p> <p>· 본당 6.0m인 강관은 절단 및 용접접합 개소가 많아 시공소요기간이 길어 본 과업에서는 전진구 길이가 짧아 외압강도 및 접합이 우수한 레진코크리트추진관으로 선정함.</p> | | | | |
| 채택안 | ○ | | | | |

제 2 장 기술검토 의견서

2.1 현 황

2.2 검토 의견

2. 기술 검토 의견서

2.1 현 황

가. 공 사 명 : 경부선 (독산~금천구청간) 철도횡단 압입추진 공사

나. 위 치 : 서울특별시 금천구 독산동 1131~720-4

다. 부지현황

‘경부선 (독산~금천구청간) 철도횡단 압입추진 공사’는 경부선 철도를 횡단하여 상수도를 설치하는 공사로서 철도 노반의 안정성을 도모하기 위하여 선단조정T.P.S 추진공법을 계획하였다.

선단조정T.P.S 추진은 철도노반 기준으로 GL.-4.30m 토피를 유지하여 철도를 횡단하도록 설계하였음.

현장의 지반정보는 기존 지질자료를 참고하였으며 안양천 일대의 두꺼운 퇴적층을 기준으로 안정성 검토를 하였으며 지하수위는 GL.-2.0m에 위치하고 있다.

2.2 검토 의견

‘경부선 (독산~금천구청간) 철도횡단 압입추진’에 따른 인접하여 위치하고 있는 경부선 철도에 대한 안정성 검토를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

가. 유한요소 해석의 시공단계에 따른 최대 침하량은 0.51mm로 미소하게 나타나 허용 한계 침하량 (2.0mm) 이내인 것으로 검토되어 강관압입 굴착에 따른 인접구조물에 미치는 영향은 적을 것으로 예상된다.

나. 따라서, 본 ‘경부선 (독산~금천구청간) 철도횡단 압입추진 공사’에서는 설계시 계획된 과정에 의한 시공이 이루어질 경우 인접지반 및 구조물의 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단되며, 굴착시 구조계산에 의해 산정된 벽체 변위를 관리 기준값으로 설정하여 이상의 변위가 발생되지 않도록 철저한 계측관리 및 시공관리가 요구된다. 또한 공사 기간이 길어질 경우에는 예상 변위 발생량보다 다소 많은 변위가 발생할 수 있으므로 시공 관리를 철저히 하여 설계시에 계획된 토류구조물의 강성 및 지지 역할이 확보될 수 있도록 유의하여야 한다. 아울러 본 검토에서 산정된 침하량은 이론적인 해법에 근거한 것으로 참고 자료로 활용하고 계측기기를 공사전에 설치하여 정기적으로 관찰함으로써 실제 시공상태와 계측 결과를 비교하여 안정성 여부를 확인하면서 공정을 진행시키는 것이 바람직한 것으로 사료됨.

㈜ 동 해 중 합 기 술 공 사

토질 및 기초 기술사 ○ ○ ○ (인)

제 3 장 지반특성

3.1 조사 및 개요

3.2 지형 및 지질

3. 지반 특성

3.1 조사 및 개요

경부선(독산~금천구청역간) 철도횡단 압입추진 실시설계 및 철도횡단 안정성 검토 지반조사

3.1.1 조사목적

본 조사는 『경부선(독산~금천구청역간) 철도횡단 압입추진 실시설계 및 철도횡단 안정성 검토』를 위한 지반조사로써 철로 및 도로하부에 관로시설을 비개착굴착공법으로 설치하기 위하여 추진구 및 도달구 위치에 시추조사 및 현장시험(표준관입시험) 등을 실시하였으며, 이를 통하여 각 지층의 구성 상태, 토층의 두께 및 구성물질 등의 지층분포 특성과 지층별 상대밀도, 연경도 및 지지층의 특성 등 제한적인 지반 공학적 특성을 파악하여 최적의 설계 및 시공이 가능한 지반정보를 제공하고자 한다.

3.1.2 조사지역 위치

📍 조사지역의 현황은 다음과 같다.



3.1.3 조사기간

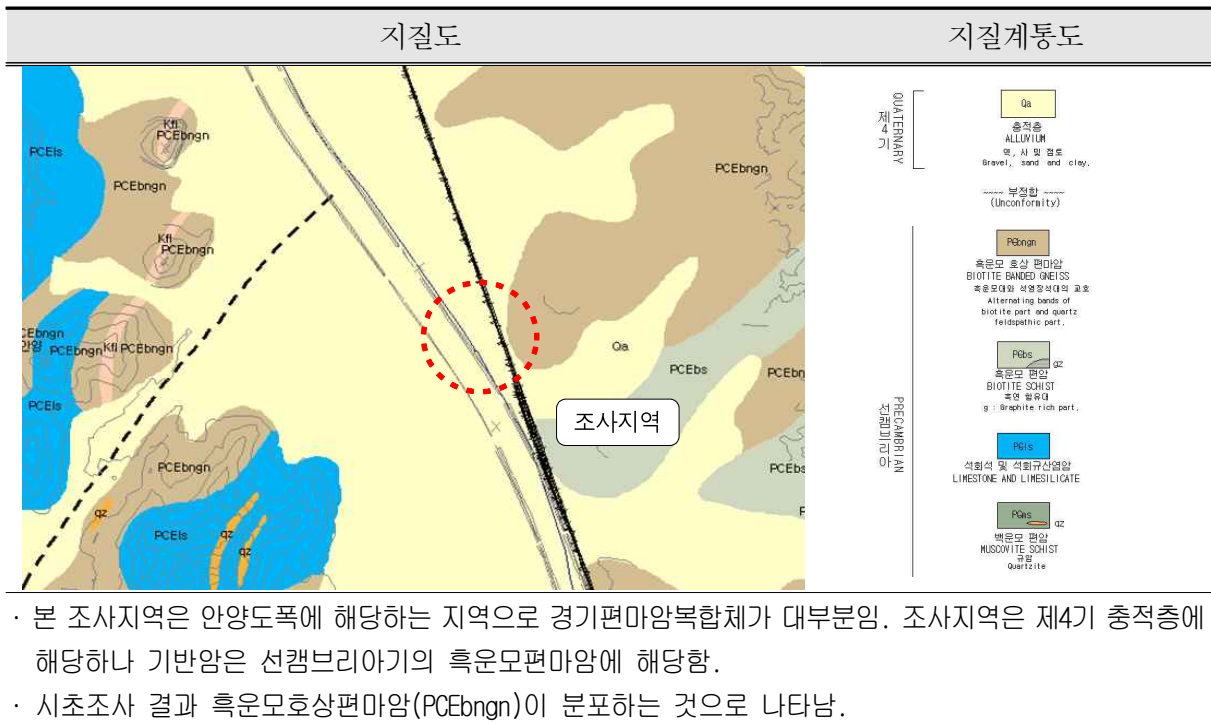
| 구 분 | 조 사 기 간 |
|---------------|-----------------------------|
| 시추조사 및 현장조사 | 2012. 09. 26 ~ 2012. 09. 27 |
| 성과분석 및 보고서 작성 | 2012. 10. 5 ~ 2012. 10. 10 |

3.2 지형 및 지질

3.2.1 지형분포 특성



3.2.2 지질분포 특성



제 4 장 유한요소 해석

4.1 해석 이론

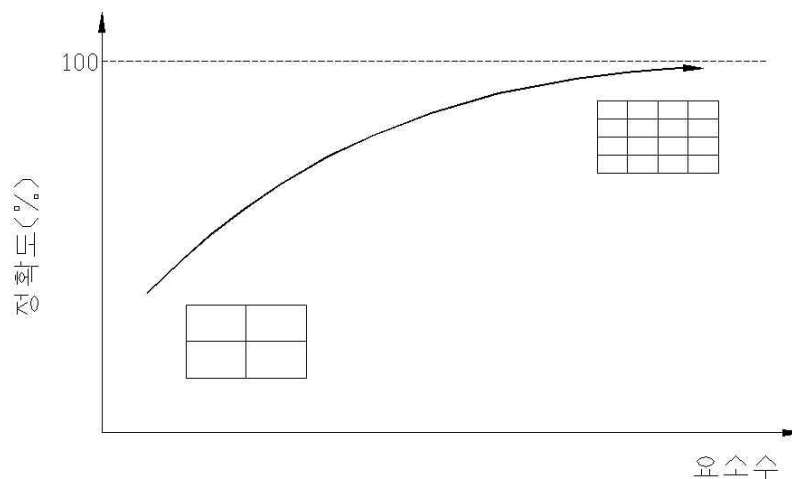
4.2 적용 프로그램 특징

4. 유한요소해석

4.1 해석 이론

유한요소법(Finite Element Method)은 초기에는 복잡한 구조물의 응력해석을 위해 개발되었으나, 그 후 발전을 거듭하여 연속체 역학(Continuum Mechanics)분야 등 광범위한 분야에서 사용되고 있으며, 구조물에 대해 요소의 공통되는 점, 선 및 면 등에서 여러 가지 경계조건을 사용하여 수식을 만들고 이를 이용해 구조물 전체에 대한 연립 대수 방정식을 만들어 해를 구한다. 유한요소법을 이용한 안정성 검토는 설계의 비용과 시간을 줄이고 경제성을 고려한 최적설계에 이용되고 있다.

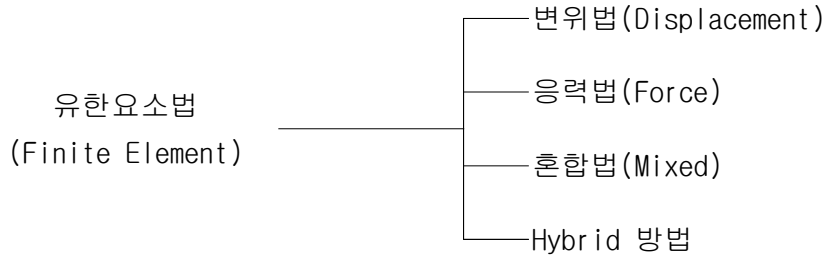
유한요소법은 1930년대에 개발된 Matrix이론을 사용하여 1960연대에 영국과 미국에서 개발되어 이론화 및 상용화가 이루어진 것은 컴퓨터의 발전이 이루어진 1970년대 이후이다. 기본적인 사고방식은 복잡한 형상의 구조라도 작은 요소로 자른다면 하나하나의 요소에 걸리는 힘과 변위의 관계는 아주 간단한 식으로서 근사할 수 있다는 것이다. 이것을 계산기의 힘을 빌어, 구조전체에 걸쳐 중첩한 후, 복잡한 구조를 해석하겠다는 방법이다. 다시 말하면 일반적으로 공학 문제는 물리적인 현상에 대한 수학적 모델이다. 수학적 모델은 경계 조건(boundary condition)과 초기 조건(initial condition)을 가지는 미분 방정식으로 주어진다. 구조물을 유한개의 절점(node)으로 가정한 후, 각 절점들 사이에 서로 유기적인 관계를 맺어주는 요소(element)를 구성하여 전체 구조물을 절점들의 변위를 미지수로 하는 연립방정식으로 나타낼 수 있다. 이를 수학적으로 계산하여 외력에 의한 각 절점에서의 변위를 구함으로써 변위, 변형률, 응력 등의 결과 값을 수치적인 근사 해법으로 구하는 것이다.



<그림 3.1> 분할요소(mesh)의 수와 정확도

4.1.1 유한요소법의 구분

유한요소법은 변위법과 응력법으로 크게 둘로 구분되고 이 두 방법을 절충한 혼합법과 Hybrid 방법 등이 있다.



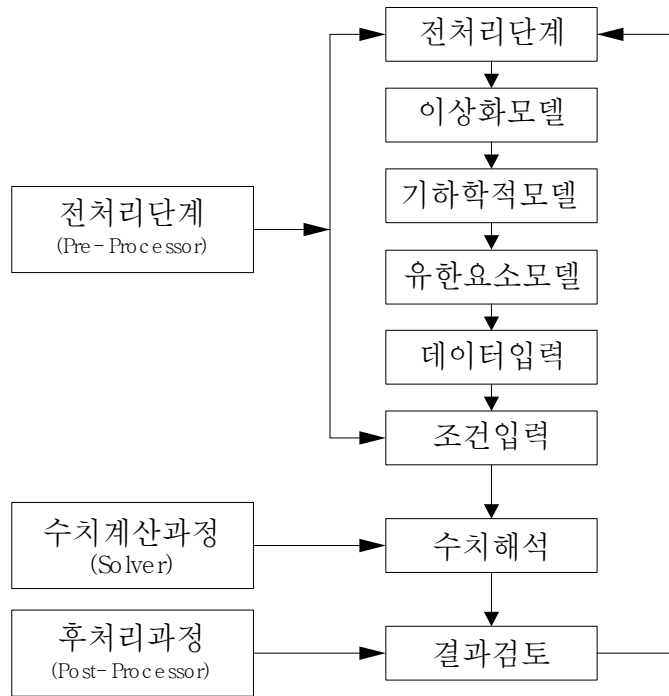
<표 3.1> 유한요소법의 구분

| 구 분 | 특 징 |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 변위법 | • 요소내 연속적인 변위를 절점 변위로 표현하고 최소 포텐셜 에너지 원리에 입각하여 평형 방정식을 구성하여 절점변위를 주된 미지수로 하여 해를 구하는 방법 |
| 응력법 | • 요소내 응력 분포를 가정한 뒤 최소 보완 에너지 원리에 입각하여 적합 방정식을 구성하여 요소내 응력을 주된 미지수로 하여 해를 구하는 방법 |
| 혼합법 Hybrid 방법 | • 부분적으로 변위와 응력을 동시에 가정하여 행렬방정식을 구성하는 방법 |

4.1.2 유한요소법의 특징

| 구 분 | 특 징 |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 해석방법 | • 지반을 특정한 크기를 갖는 한정된수의 요소로 이상화된 연속체로 간주 • 외력의 변화에 따른 지반의 변형특성은 응력-변형을 구성법칙에 의해 결정 • matrix를 구성하여 각 node에서 미지수를 음해(Implicit)법으로 동시에 구함 |
| 장 점 | • 각각의 요소에 대해 서로 다른 방정식으로 문제를 풀기 때문에 다른 물질로 구성된 물체를 모델링하기 편리 • 기하학적 형상, 하중 및 경계조건 등에 제한이 없다. • 지반의 비균질성, 비등방성, 시간의존성 등 복잡한 구성 법칙이 간단히 해결가능 • 지하굴착 및 터널굴착 등 단계시공이 이루어지는 토류구조물의 단계해석이 가능 |
| 단 점 | • 초보자가 사용하지 쉽지만, 결과의 신뢰성 평가는 경험이 필요하다 • 국부 응력 해석 시에는 일반적으로 모델링이 어렵다 • 실제 구조물을 유한요소 모델로 이상화시키기 위해서는 많은 경험과 지식이 필요하다 • 대형구조물인 경우 높은 컴퓨터의 성능이 필요하다 |
| 프로그램 | • MIDAS/GTS, SMAP, DIANA, ABAQUS, PLAXIS |

4.1.3 유한요소 해석의 기본 단계



<그림 3.2> 유한요소해석 흐름도

■ 전처리 단계

- 해의 영역을 유한요소로 만들어 이상화한다. 즉, 절점과 요소로 문제를 분할한다.
- 형상함수(Shape function)가 요소의 물리적 거동을 표현한다고 가정한다. 즉, 근사 연속 함수는 요소의 해를 표현한다고 가정한다.
- 요소에 대한 방정식을 만든다.
- 전체 문제를 풀기 위해 요소를 조합하여 전체 강성행렬을 만든다.
- 경계조건, 초기 조건, 하중을 부과한다.

■ 수치계산 과정

- 절점에서 응력이나 변위값 결과를 얻기 위해 선형 또는 비선형 연립 대수 방정식으로 푼다.

■ 후처리 단계

- 유한요소법을 통하여 얻어진 구조물의 변위, 응력 및 안정성 등을 평가

4.2 적용 프로그램 특징

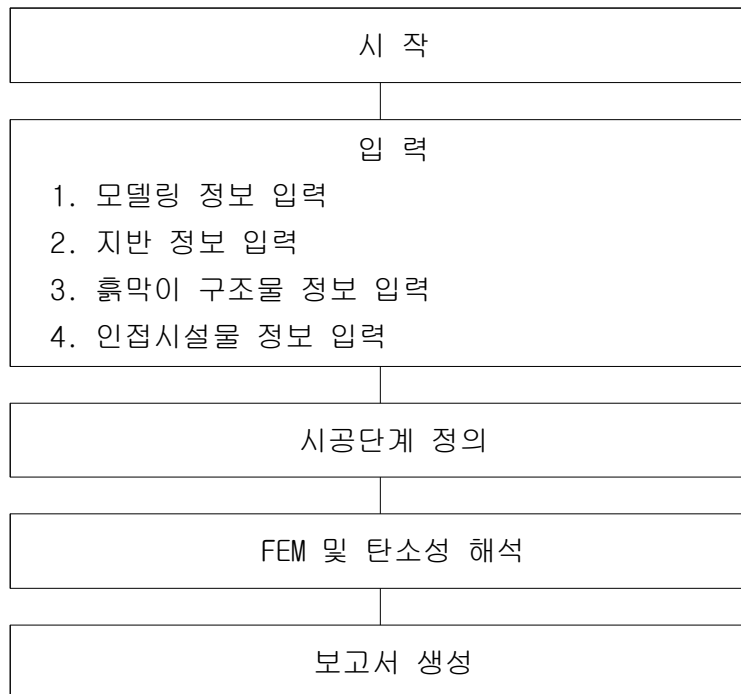
· 유한요소 프로그램인 PLAXIS는 네덜란드 PLAXIS사에서 개발한 2차원 지반공학 전용 유한요소해석 프로그램으로 한계상태 개념을 이용할 수 있도록 만들어져 있으며, 2차원 평면변형률조건과 축대칭 조건에 대해서 배수, 비배수, 압밀문제를 해석할 수 있도록 되어있다. 이 Program에서 사용되어지는 구성방정식은 Linear Elastic, Mohr-Coulomb, Soft-Soil(Cam-Clay) Method, Hardening soil model, Soft-Soilcreep model로 이루어져 있으며 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 흙의 배수조건은 배수, 비배수, 비간극재의 조건을 고려할 수 있다.
- ② 제방의 단계 성토, Tunnel, 제방 및 Dam의 침투수, 연약지반의 압밀, 연약지반상의 보강(Geotextile)제방, 단계별 지하굴착 등을 해석할 수 있다.
- ③ Beam 요소로 구조물[콘크리트 벽체, 토류벽(H-pile, Sheet-pile 등)]요소, Fixed Anchor요소로 Strut 요소 및 Node-Anchor로 Earth Anchor요소 등을 모형화하여 해석할 수 있다.
- ④ 지반공학적인 제반문제에 대하여 15절점 또는 6절점 삼각형 요소로 해석할 수 있다.
- ⑤ Plane Strain, Axisymmetry 해석을 수행할 수 있는 유한요소 프로그램이다.

<표 3.2> 적용분야

| 구 분 | 내 용 |
|-----------------------------|-------------|
| 토류벽 (가시설) 압 입 굴 착 터 널 | ① 굴착 안정성 해석 |
| | ② 주변지반 침하해석 |
| | ③ 지하수 영향 검토 |

4.2.1 프로그램 해석과정



<그림 3.3> PLAXIS 해석 흐름도

4.2.2 해석기능 및 재료모델

• PLAXIS 프로그램에서 제공하는 재료모델 및 응력-변형 구성모델은 실무분야에서 시공단계해를 적용하는데 최적의 해석환경과 다양한 하중과 경계조건을 제공하고 있다.

<표 3.3> PLAXIS 프로그램의 지반해석 종류

| 해석 구분 | 해석 내용 |
|---------------------------------|----------------------------------|
| (1) Static Analysis | Linear Elastic Analysis |
| | Nonlinear Elastic Analysis |
| | Elstoplastic Analysis |
| (2) Construction Stage Analysis | |
| (3) Seepage Analysis | Steady-State Seepage Analysis |
| | Transient-State Seepage Analysis |

<표 3.4> PLAXIS 프로그램의 구성모델

| 구 분 | 재료모델 | 비 고 |
|-----|-------------------|-----|
| (1) | Cam-Clay | |
| (2) | Modified Cam-Clay | |

가. Cam-Clay모델

이 구성방정식은 Cam-Clay라는 이상적인 점성토를 가지고 한계상태라는 개념에 소산에너지의 관계식을 도입하여 소성증분이론에 의하여 변형과 응력 관계를 제안 하였다. 흙은 소성마찰 재료로써 마찰력에 의해 저항하고 흙을 연속적으로 전단하면 최대강도를 발휘하고 나서 전단변형 만 누적되는 유동상태에 이르는데 이 상태가 한계상태라고 정의하고 흙이 탄소성상태가 되는 조건을 p, q, e 공간에서 정의되는 Roscoe 조건으로 나타내고 이 곡면의 경계를 GSL(Critical State Line)이라 하며 이는 응력경로에 의존하지 않고 유일하게 결정된다. 또한 소성변형 증분 벡터는 이 항복곡면과 직교한다는 가정 아래 유도된 것이다.

Cam-Clay모델을 구성하는데는 다음 3가지 가정을 세운다.

1) 가정

- ① 체적변형률증분(d_v^e)은 일부는 회복 가능하지만 전단변형률증분(d_s^e)은 회복 불가능하다.
- ② 항복곡면은 소성포텐셜면이다. 즉 변형률 증분벡터는 항복곡면에 직교한다.
- ③ 전단 중에 소비되는 일은 전부 마찰로 소비된다.

다음 가정들을 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

가정

$$\textcircled{1} \quad \delta \varepsilon_v = \delta \varepsilon_e^v + \delta \varepsilon_s^p, \quad \delta \varepsilon_s = \delta \varepsilon_s^p$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{\delta \varepsilon_e^v}{\delta \varepsilon_e^p} = -\frac{1}{dq/dp'}$$

$$\textcircled{3} \quad p' \cdot \delta \varepsilon_v^p + q \cdot \delta \varepsilon_s^p = Mp' \delta \varepsilon_s^p$$

한계상태에서는 $\delta \varepsilon_v^p = 0$ 이므로 가정 ③에 의해서 $q = Mp'$ 이고 M 은 CSL(한계상태선)의 경사이다. 또한 한계상태에서는 흙은 마찰유체와 같다고 보기 때문에 M 은 마찰계수와 같은 개념으로 이해할 수 있다.

또 가정②에서 $\delta \varepsilon_v^p = 0$ 라고 하면 $dq/dp' = 0$ 이 되고 한계상태선과 항복곡면과의 교점에서의 점선의 기울기는 0이 된다.

가정 ②, ③에서

$$\frac{dq}{dp'} = \frac{\delta \varepsilon_v^p}{\delta \varepsilon_s^p} = -\left(M - \frac{q}{p'}\right) \dots\dots\dots (2.40)$$

한계상태선과 탄성벽의 교점 F 가 p' - q 면에 투영한 점의 $p=0$ 때의 p 값을 p_F 라고하고 위 식 (2.36)을 적분하면 다음과 같은 항복곡선의 수학적 표현이 얻어진다.

$$\frac{q}{Mp'} + \ln\left(\frac{p'}{p_F}\right) = 1 \dots\dots\dots (2.41)$$

$e - \ln p$ 면에서 제하곡선의 일반적인 표현식은 식 (2.38)과 같다.

$$e = e_k - k \ln p' \dots\dots\dots (2.42)$$

여기서, k : 제하곡선(팽윤곡선)의 경사

e_k : $\ln p' = 1$ 일 때의 k 의 값

하나의 제하곡선위에 세운 곡면 즉 탄성벽과 한계상태선의 교점 F 에 있어서의 간극비를 e_x 라 하면 다음 식 (2.39)로 나타낼 수 있다.

$$e_k = e_x + k \ln p_x' \dots\dots\dots (2.43)$$

한편 한계상태선은 $q = Mp$ 로 표시되고 p_x, e_k 는 이 위에 존재하므로 다음과 같은 관계를 가진다.

$$e_x = \gamma - \lambda \ln p_x \dots\dots\dots (2.44)$$

위 식에서 e_x, e_k 를 소거하여 항복곡면식에 대입하면 항복곡선을 연결하는 Roscoe면의 표현식은 식 (2.41)과 같다.

$$q = \frac{Mp}{\lambda - k} [\gamma + \lambda - k - e - \lambda \ln p] \dots\dots\dots (2.45)$$

위에서 살펴본 Cam-Clay 모델의 수학적 표현은 유효응력경로를 사용하여 압축상황에 따라 변화되는 전단응력의 변화 및 간극비의 변화를 관찰할 수 있는 공간응력좌표의 표현의 표현방식은 매우 합리적이고 더욱이 항복곡면을 경계로 하여 탄성거동과 비탄성거동의 영역이 구별되고 이들을 수식화 함으로써 재하에 의한 점성토의 거동을 예측하는 것이 가능해졌다. 다음 그림 2.7은 Cam-Clay 모델에서의 항복곡면이다.

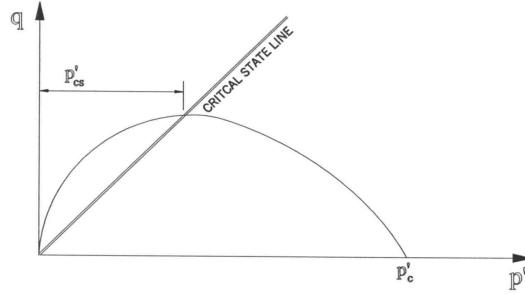


그림 2.10 Cam Clay Yield Locus

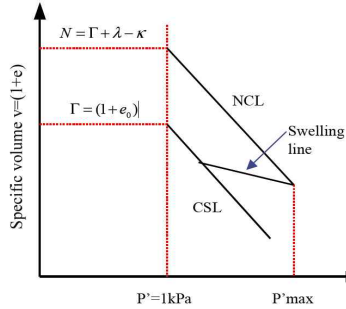


그림 2.11 공간에서의 Cam-Clay 모델

나. Modified Cam-Clay 모델

수정 Cam-Clay 모델(Burland 1965, Roscoe and Burland 1968)은, Original Cam-Clay 모델에 대한 두가지의 차이점을 나타내고 있다. 항복계적과 K0값(정지토압계수)의 예측. 수정 Cam-Clay 모델에서는 항복계적의 형상을 타원형으로 표현하는 것이다. 이와 같이 항복계적의 형상 차이로 인해, 등방 정규압밀선(NCL)과 한계상태선(CSL) 사이에 연직위치가 차이를 나타내는 것이다. 수정 Cam-Clay 모델의 항복함수 f는 다음과 같다.

$$f = p \left\{ 1 + \left(\frac{q}{Mp} \right)^2 \right\} - p_c = 0 \quad \dots\dots\dots (2.46)$$

여기서 $p = (1/3)\delta_{ij}\sigma_{ij}$, $q = (2/3)S_{ij}S_{ij}$

소성증수 A는

$$A = \frac{\frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \cdot d\sigma_{ij}}{\left(\frac{\partial f}{\partial \epsilon_{kl}^p} + \frac{\partial f}{\partial K} \frac{\partial K}{\partial \epsilon_{kl}^p} \right) \frac{\partial f}{\partial \sigma_{kl}}} \quad \dots\dots\dots (2.47)$$

식 (22)로부터,

$$\frac{\partial f}{\partial p} = 1 - \frac{q^2}{M^2 p^2}, \quad \frac{\partial f}{\partial q} = \frac{2q}{M^2 p}, \quad \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} = \frac{3S_{ij}}{M^2 p} + \left\{ 1 - \frac{q^2}{M^2 p^2} \right\} \frac{S_{ij}}{3}$$

따라서,

$$A = \frac{\lambda - k}{1 - e_0} \frac{1}{p_c} \left\{ \frac{2(q/p)}{M^2 (q/p)^2} dq + dp \right\} \quad \dots\dots\dots (2.48)$$

수정 Cam-Clay 모델에서의 응력-변형률관계로부터, 소성변형률 증분은,

$$d\epsilon_{ij}^p = \Lambda \cdot \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}}$$

$$= \frac{\lambda - k}{(1 + e_0)M^2 p_c} \left\{ \frac{2(q/p)}{M^2 - (q/p)^2} dq + dp \right\} \cdot \left(\frac{3}{p} S_{ij} + \frac{M^2 - (q/p)^2}{3} \delta_{ij} \right) \quad (2.49)$$

또한, 축대칭 조건하에서의 소성체적변형을 증분과 소성 전단변형을 증분은 다음식으로 주어진다.

$$dv^p = \frac{\lambda - k}{(1 + e_0)p_c} \left\{ \frac{2(q/p)}{M^2 - (q/p)^2} dq + dp \right\} \cdot \left(1 - \frac{q^2}{M^2 p} \right) \dots\dots\dots (2.50)$$

$$d\gamma^p = \frac{\lambda - k}{(1 + e_0)p_c} \left\{ \frac{2(q/p)}{M^2 - (q/p)^2} dq + dp \right\} \cdot \frac{q^2}{M^2 p} \dots\dots\dots (2.51)$$

이상에서 설명한 수정 Cam-Clay 모델의 장점과 단점을 요약하면 다음과 같다.

- 장점

- 흙의 압밀과 전단에 관한 현상을 통일적으로 설명할 수 있다.
- 변형과 파괴를 분리할 필요 없이 통일적으로 설명할 수 있다.
- 사용하는 파라메타의 수가 적고, 일반 토질역학에서 사용하는 토질정수가 그대로 사용되어진다.
- 이용된 항복곡면(타원형)에는 이론적 근거가 있다.

- 단점

- 이론 구축이 삼축시험 자료를 토대로 행해지므로, 중간주응력의 영향을 고려할 수 없다.
- 약간의 과압밀-정규압밀영역에서의 토질을 대상으로 하고 있으므로, 현저하게 과압밀된 흙의 거동은 설명하기 어렵다.
- 이방성의 영향을 전혀 고려할 수 없다.
- 탄성영역과 소성영역을 항복곡면에서 분리하는 탄소성 압밀이론을 이용하고 있으므로 항복곡면내(탄성영역)에서의 반복하중을 작용시켜도 소성변형이 발생하지 않는다.
- 정지토압계수 K0값이 일반적으로 알려진 값과 약간 다르다.
- 점성을 고려하지 않기 때문에 크리프 등의 시간의존성 거동에 대한 표현이 불가능하다.
- 관련 흐름법칙(Associated Flow Rule)을 사용하고 있다.

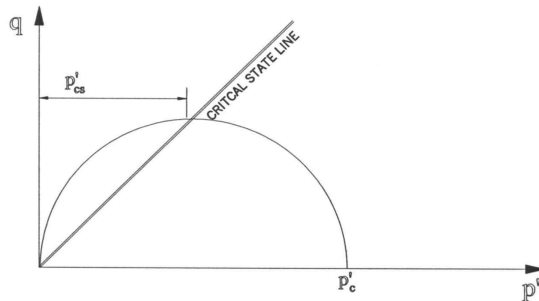


그림 2.12 Modified Cam-Clay Yield Locus

제 5 장 적용 물성치

5.1 개요

5.2 토질정수 산정

5.3 적용 물성치 요약

5. 적용 물성치

5.1 개요

굴착으로 인해 지반의 평형상태가 흐트러질 경우에 나타는 지반거동을 억제하기 위해 흙막이 구조물을 계획하고 이를 설계 검토하는 과정 중 가장 어려운 과제중의 하나가 해석하고자 하는 지반의 물성치를 결정하는 것이다. 해석에 적용하는 지반물성치의 질은 정교한 해석방법과 관련하여 볼 때 매우 중요하다. 즉, 아무리 좋은 해석적인 방법을 사용한다 하더라도 부정확한 입력 자료를 사용하면 부정확한 해석결과를 유발시킨다. 해석에 적용하기 위한 지반 물성치를 얻기 위해서 어떠한 방법을 사용하더라도, 그러한 방법은 주어진 목적에 합당하여야 만이 사용될 수 있다 다시 말해서 공사목적에 부합되도록 현장조사 방법이 주의 깊게 계획되어야 하며, 아울러 해석에 사용한 지반물성치의 결정은 가능한 한 정석적인 자료보다는 정량적인 자료이어야 한다. 이러한 측면에서 본 현장의 지반굴착이 인접지반 및 구조물에 미치는 영향을 검토하기 위해 필요한 지반 물성치를 각종 문헌에 명시되어 있는 기본적 성질 및 여러 학자들이 제안한 상관관계와 본 사업부지의 신축공사를 위해 금회 실시된 지반조사를 토대로 토질 및 암반의 역학적 성질을 비교분석하여 가능한 합리적인 조건 상태에서 토층조건에 맞게 산정하였다.

5.2 토질정수 산정

5.2.1 항목별 지반정수 산정방법

가. 토사층 및 풍화대층

| 구 분 | 지반정수 | 산 정 방 법 |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 기본물성 | 단위중량 (γ) | <ul style="list-style-type: none"> 실내시험 결과에 의한 선정방법 : 불교란 시료 단위중량 측정, 현장밀도시험 경험적 추정방법 - 풍화암층의 경우 $N > 50/100$이므로 매우 조밀한 토사층으로 간주하여 추정 |
| | 포아송비 (ν) | <ul style="list-style-type: none"> 포아송비(Static Poisson's Ratio, ν) - 기존 문헌자료, 토질종류 및 조성상태에 따른 일반적인 범위값 비교 추정 (Roy E. Hunt, 1984, Braja M. Das, 1995) |
| 역학물성 | 강도정수 (c, ϕ) | <ul style="list-style-type: none"> 실내 및 현장시험 결과에 의한 산정방법 - 풍화암층 : 공내전단시험(BST) 경험적 추정방법 - 풍화암층의 경우 $N > 50/100$이므로 매우 조밀한 토사층으로 간주하여 추정 - 기존 적용사례 및 문헌자료를 이용하여 추정 |
| | 변형계수 (E) | <ul style="list-style-type: none"> 정적 지반변형계수(E) : 공내수평재하시험 결과에 의한 산정 방법 경험적 추정방법 - N치에 의한 산정방법 (Schmertmann(1978) 제안식, Bowles(1988) 제안식, 도로교 시방서 제안식) - 문헌 자료를 이용한 추정 (Roy E. Hunt, 1984, Braja M. Das, 1995) |
| 침투류해 석 지반정수 | 투수계수 (k) | <ul style="list-style-type: none"> 현장투수시험, 지표투수시험, 수압시험 |

나. 기반암층

| 구 분 | 지반정수 | 선 정 방 법 |
|---------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 기본물성 | 단위중량 (γ) | <ul style="list-style-type: none"> 암석시료에 대한 비중시험결과 이용 기존설계 적용사례 검토 |
| | 포아송비 (ν) | <ul style="list-style-type: none"> 포아송비(Static Poisson's Ratio, ν) <ul style="list-style-type: none"> 실내암석시험결과 기존 경험식 (Tsuchiya, 김교원) |
| | 측압계수 (K_0) | <ul style="list-style-type: none"> 현장시험 : 수압파쇄시험 결과 분석 |
| 연속체 해석설계 지반정수 | 변형계수 (E) | <ul style="list-style-type: none"> 실내 및 현장시험 결과에 의한 산정 방법 공내재하시험에 의한 방법 RMR에 의한 추정방법 <ul style="list-style-type: none"> Bieniawski, Serafim & Pereira, 김교원, Aydan, Mohammad 제안식 Q-value에 의한 추정방법 <ul style="list-style-type: none"> Barton & Grimstad 제안식 GSI와 일축압축강도에 의한 추정방법 <ul style="list-style-type: none"> Hoek-Brown 제안식 실내암석시험에 의한 무결함 암석(Intact Rock) 탄성계수를 이용한 보정방법 <ul style="list-style-type: none"> Nicholson & Bieniawski, Mitri, Cording, Hornish 제안식 실내시험결과와 경험식을 이용한 산정방법 <ul style="list-style-type: none"> Hoek-Brown 파괴기준식 → Monte Carlo Simulation 통계처리 수행 |
| | 강도정수 (c, ϕ) | <ul style="list-style-type: none"> RMR에 의한 추정방법 <ul style="list-style-type: none"> Bieniawski, Still, Trueman, 김교원 제안식 실내암석시험에 의한 무결함 암석(Intact Rock) 탄성계수를 이용한 보정방법 <ul style="list-style-type: none"> Tsuchiya 제안식 실내시험결과와 경험식을 이용한 산정방법 <ul style="list-style-type: none"> Hoek-Brown 파괴기준식 → Monte Carlo Simulation 통계처리 수행 |

5.2.2 토사층 설계지반정수 선정

가. 단위중량(γ) 및 강도정수(c, ϕ) 산정

● 관련문헌조사

| 구 분 | 재료 종류 | 단위중량 (tf/m^3) | 내부마찰각 ϕ ($^\circ$) | 점착력 (tf/m^2) | 통일분류 |
|---------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------|
| Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation (Hunt, 1984) | 자갈~모래섞인 자갈 | 1.97~2.21 | 32~40 | 0 | GW, GP |
| | 실트질 모래~자갈섞인 모래 | - | 29~37 | 0 | SW, SP, SM |
| | 모래질 실트 | - | 27~33 | - | ML |
| 지반공학회(1991) | 풍화토 | - | 25 | 2.0 | - |
| 사면안정학술발표회(1996) | 풍화토 | - | 30 | 1.0 | - |
| 봄학술발표회(1997) | 풍화토 | 1.8 | 30 | 3.0 | - |
| 서울지역 (서울시 (1996)) | 풍화토 | 1.7~2.0 | 25~30 | 0.0~1.0 | - |

● 도로설계요령(2001)

| 종 류 | 재료의 상태 | 단위중량 (tf/m ³) | 내부마찰각 ϕ (°) | 점착력 (tf/m ²) | 통일분류 |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------|
| 자 갈 | • 조밀하거나 입도가 좋은 것 | 2.0 | 40 | 0.0 | GW, GP |
| | • 조밀하지 않거나 입도가 나쁜 것 | 1.8 | 35 | 0.0 | |
| 자갈섞인 모 래 | • 조밀한 것 | 2.1 | 40 | 0.0 | GW, GP |
| | • 조밀하지 않은 것 | 1.9 | 35 | 0.0 | |
| 모 래 | • 조밀하거나 입도가 좋은 것 | 2.0 | 35 | 0.0 | SW, SP |
| | • 조밀하거나 입도가 나쁜 것 | 1.8 | 30 | 0.0 | |
| 사 질 토 | • 조밀한 것 | 1.9 | 30 | 3.0 이하 | SM, SC |
| | • 조밀하지 않은 것 | 1.7 | 25 | 0.0 | |
| 점 성 토 | • 굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감) | 1.8 | 25 | 5.0 이하 | ML, CL |
| | • 약간 무른것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감) | 1.7 | 20 | 3.0 이하 | |
| | • 무른것(손가락이 쉽게 들어감) | 1.7 | 20 | 1.5 이하 | |
| | • 굳은 것(손가락으로 세게 눌러 조금 들어감) | 1.7 | 20 | 5.0 이하 | |
| 점 토 및 실 트 | • 약간 무른것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감) | 1.6 | 15 | 3.0 이하 | SM, SC |
| | • 무른것(손가락이 쉽게 들어감) | 1.4 | 10 | 1.5 이하 | |

● PILE DESIGN and CONSTRUCTION PRACTICE(M.J.Tomlinson, 1993)

| 구분 | Soil type, compactness & consistency | γ_t (tf/m ³) | γ_{sub} (tf/m ³) | C (tf/m ²) |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Cohesive and organic soils | Soft plastic clay | 1.6~1.9 | 0.6~0.9 | 2~4 |
| | Firm Plastic clay | 1.75~2.0 | 0.75~1.1 | 4~7.5 |
| | Stiff plastic clay | 1.8~2.1 | 0.8~1.1 | 7.5~15 |
| | Soft slightly plastic clay | 1.7~2.0 | 0.7~1.0 | 2~4 |
| | Firm slightly plastic clay | 1.8~2.1 | 0.8~1.1 | 4~7.5 |
| | Stiff slightly plastic clay | 2.1~2.2 | 1.1~1.2 | 7.5~15 |
| | Stiff to very stiff clay | 2.0~2.3 | 1.0~1.3 | 15~30 |
| | Organic clay | 1.4~1.7 | 0.4~0.7 | - |
| | Peat | 1.05~1.4 | 0.05~0.40 | - |
| Cohesionless soils | Loose gravel with low sand content | 1.6~1.9 | 0.9 | 28~30 |
| | Medium dense gravel with low sand content | 1.8~2.0 | 1.0 | 30~36 |
| | Dense to very dense gravel with low sand content | 1.9~2.1 | 1.1 | 36~46 |
| | Loose well-graded sandy gravel | 1.8~2.0 | 1.0 | 28~30 |
| | Medium-dense well-graded sandy gravel | 1.9~2.1 | 1.1 | 30~36 |
| | Dense well graded sandy gravel | 2.0~2.2 | 1.2 | 36~45 |
| | Loose clayey sandy gravel | 1.8~2.0 | 1.0 | 28~30 |
| | Medium-dense clayey sandy gravel | 1.9~2.1 | 1.1 | 30~35 |
| | Dense to very dense clayey sandy gravel | 2.1~2.2 | 1.2 | 35~40 |
| | Loose coarse to fine sand | 1.7~2.0 | 1.0 | 28~30 |
| | Medium-dense coarse to fine sand | 2.0~2.1 | 1.1 | 30~35 |
| | Dense to very dense coarse to fine sand | 2.1~2.2 | 1.2 | 35~40 |
| | Loose fine and silty sand | 1.5~1.7 | 0.7 | 28~30 |
| | Medium-dense fine and silty sand | 1.7~1.9 | 0.9 | 30~35 |
| Dense to very dense fine and silty sand | 1.9~2.1 | 1.1 | 35~40 | |

● 재료 종류별 개략적인 토질정수

| 종 류 | | 재료의 상태 | | 단위체적당 중량 (t/m ³) | 내부 마찰각 φ (°) | 점착력 C (t/m ²) | 분류기호 통일분류 |
|--------------------------------|-----------------|----------------------------------|----------|------------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------|
| 흙 쌓 기 | 자갈 및 자갈섞인 모래 | 다진 것 | | 2.0 | 40 | 0 | GW, GP |
| | 모래 | 다진 것 | 입도가 좋은 것 | 2.0 | 35 | 0 | SW, SP |
| | | | 입도가 나쁜 것 | 1.9 | 30 | 0 | |
| | 사질토 | 다진 것 | | 1.9 | 25 | 3 이하 | SM, SC |
| 점성토 | 다진 것 | | 1.8 | 15 | 5 이하 | ML, CL MH, CH | |
| 자 연 지 반 | 자갈 | 밀실한 것, 입도가 좋은 것 | | 2.0 | 40 | 0 | GW, GP |
| | | 밀실하지 않는 것, 입도가 나쁜 것 | | 1.8 | 35 | 0 | |
| | 자갈섞인 모래 | 밀실한 것 | | 2.1 | 40 | 0 | GW, GP |
| | | 밀실하지 않는 것 | | 1.9 | 35 | 0 | |
| | 모래 | 밀실한 것, 입도가 좋은 것 | | 2.0 | 35 | 0 | SW, SP |
| | | 밀실하지 않는 것, 입도가 나쁜 것 | | 1.8 | 30 | 0 | |
| | 사질토 | 밀실한 것 | | 1.9 | 30 | 3 이하 | SM, SC |
| | | 밀실하지 않는 것 | | 1.7 | 25 | 0 | |
| | 점성토 | 굳은 것 (손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감) | | 1.8 | 25 | 5 이하 | ML, CL |
| | | 약간 무른 것 (손가락으로 중간정도의 힘으로 들어감) | | 1.7 | 20 | 3 이하 | |
| | | 무른 것 (손가락이 쉽게 들어감) | | 1.7 | 20 | 1.5 이하 | |
| | 점토 및 실트 | 굳은 것 (손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감) | | 1.7 | 20 | 5 이하 | CH, MH, ML |
| 약간 무른 것 (손가락 중간정도의 힘으로 들어감) | | 1.6 | 15 | 3 이하 | | | |
| 무른 것 (손가락이 쉽게 들어감) | | 1.4 | 10 | 1.5 이하 | | | |

- 1) 지하수위이하에 있는 흙의 단위체적당 중량은 표의 값에서 1.0을 뺀 값으로 한다.
- 2) 채석은 자갈과 같은 값으로 한다.
- 3) Tunnel 버력이나 암괴등은 입경이나 간극에 비해 다르기 때문에 과거의 실적이나 현장실험에 의해 결정한다.
- 4) 입도가 나쁜 모래란 입경이 가지런한 모래를 말한다.
- 5) 점성토 점토 및 실트의 구분에서 N치의 추정은 대체로 다음과 같은 범위이다.
사질의 것 (N = 8~15), 약간의 연질의 것 (N = 2~4)

● 경험식에 의한 강도정수 산정

| 제안자 | 내부마찰각 ϕ (°) | 점착력 (tf/m ²) | 비 고 |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Dunham | $\phi = \sqrt{12N} + 15$ | $c = 2 + N/4$ | 동근입자로 입도분포 불량 |
| | $\phi = \sqrt{12N} + 20$ | | 동근입자로 입도분포 양호 모난입자로 입도분포 불량 |
| | $\phi = \sqrt{12N} + 25$ | | 모난입자로 입도분포 양호 |
| Meyerhof | $\phi = 0.25N + 32.5$ | - | |
| Ohsaki | $\phi = \sqrt{20N} + 15$ | $c = N/1.44$ | $\phi \leq 45^\circ, N > 4$ |
| Pack | $\phi = 0.3N + 27$ | $c = N/1.64$ | - |
| 도로교시방서 | $\phi = \sqrt{15N} + 15$ | $c = (0.1 \sim 0.6)N$ | - |

나. 변형계수(E) 및 포아송비(ν) 산정

● 문헌자료 검토

· Hunt의 제안(Geotechnical Engineering Analysis & Evaluation, p134)

| 토 층 상 태 | | 변형계수 (tf/m ²) | 포아송비 (ν) |
|---------|-------|---------------------------|----------------|
| 모 래 | 느 슨 | 1,000 ~ 3,000 | 0.20 ~ 0.35 |
| | 중간 조밀 | 3,000 ~ 5,000 | |
| | 조 밀 | 5,000 ~ 8,000 | |
| 자 갈 | 느 슨 | 3,000 ~ 8,000 | 0.30 ~ 0.40 |
| | 중간 조밀 | 8,000 ~ 10,000 | |
| | 조 밀 | 10,000 ~ 12,000 | - |

· Bowles(Foundation Analysis & Design 5th, p123~125)

| 구 분 | 변형계수 (tf/m ²) | 포아송비 (ν) |
|-------------|---------------------------|----------------|
| 느스한 모래 | 1,000 ~ 2,500 | 0.20 ~ 0.35 |
| 조밀한 모래 | 5,000 ~ 8,100 | 0.30 ~ 0.40 |
| 실트질 모래 | 500 ~ 2,000 | - |
| 연약한 점토 | 200 ~ 2,500 | 0.40 ~ 0.50 |
| 중 간 점토 | 1,500 ~ 5,000 | |
| 견고한 점토 | 5,000 ~ 10,000 | |
| 느스한 모래섞인 자갈 | 500 ~ 1,500 | 0.30 ~ 0.40 |
| 조밀한 모래섞인 자갈 | 1,000 ~ 2,000 | |

· Braja M. Das(Principles of Foundation Engineering, p179)

| 구 분 | 변형계수(tf/m ²) | 포아송비(ν) |
|-------------|--------------------------|-------------|
| 느슨한 모래 | 1,000 ~ 2,400 | 0.20 ~ 0.40 |
| 중간정도 조밀한 모래 | 1,700 ~ 2,800 | 0.25 ~ 0.40 |
| 조밀한 모래 | 3,500 ~ 5,500 | 0.30 ~ 0.45 |
| 실트질 모래 | 1,000 ~ 1,700 | 0.20 ~ 0.40 |
| 모래 및 자갈 | 6,900 ~ 17,200 | 0.15 ~ 0.35 |
| 연약한 점토 | 400 ~ 2,100 | 0.20 ~ 0.50 |
| 중간굳기 점토 | 2,100 ~ 4,100 | |
| 견고한 점토 | 4,100 ~ 9,700 | |

● 경험식에 의한 방법

- Schmertmann(1978)의 N치에 의한 변형계수 산정 제안식

| |
|----------------------------------------------------------------------------------|
| 토질종류별 콘 관입치(q_c)와 지반변형계수값의 관계를 토대로 콘 관입시험치(q_c)와 표준관입 시험치(N)와의 관계로 적용한 식 |
| $E = \alpha N$ |
| 여기서 E : 지반변형계수(tf/m ²) α : 토질에 따라 다른 상수 |

| 구 분 | 실트 또는 모래질 실트 | 세립 또는 중립 모래 | 조립 모래 | 자갈질모래 또는 자갈 |
|-----------------------------|--------------|-------------|-------|-------------|
| α (단위 : tf/m ²) | 40 | 70 | 100 | 120~150 |

- Bowles(1988)의 N치에 의한 변형계수 산정 제안식

| 토 질 종 류 | 모래 | 점토질 모래 | 실트질 모래 | 자갈섞인 모래 |
|---------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| 산정공식 | $E_s = 50(N+15)$ | $E_s = 32(N+15)$ | $E_s = 30(N+6)$ | $E_s = 120(N+15)$ |

- 도로교 표준 시방서 : $E = 280N$ (tf/m²)

- Hisatake의 제안 : $E = 50N+700$ (tf/m²)

5.2.3 풍화암 설계지반정수 선정

가. 단위중량(r_t) 및 강도정수(c, ϕ) 산정

📖 관련문헌조사

🔍 풍화암층 문헌자료에 의한 일반적인 범위

| 구 분 | 단위중량 r_t (tf/m ³) | 점 착 력 C (tf/m ²) | 내부마찰각 ϕ (°) |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| NAVFAC(1971) | - | - | 29.0~37.0 |
| 지반공학회 학술발표(1997) | 2.0 | 5.0 | 30.0 |
| 지반공학회 학술발표(1998) | 2.6 | 8.0~9.0 | 25.0 |
| 도로설계 실무편람(1996) | - | 10.0 | 30.0 |
| 서울지역 (서울시 (1996)) | 2.0~2.2 | 1.0~3.0 | 30.0~35.0 |
| GSI 방법 | - | 9.6 | 30.0 |

🔍 Hunt(Geotechnical Engineering Investigation Manual, 1984)

| 암 종 | 풍 화 정 도 | 점 착 력 C (tf/m ²) | 내부마찰각 ϕ (°) |
|-----|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| 화강암 | Decomposed | 0.0 | 27.0~31.0 |
| | Weathered | - | 26.0~33.0 |
| | Partly Weathered | - | 27.0~31.0 |
| | Relatively Sound | - | 29.0~32.0 |
| | Decomposed, Fine-grained | 0.0 (포화된 경우) | 25.0~34.0 |
| | Decomposed, Coarse-grained | - | 36.0~38.0 |
| | Decomposed, Remolded | - | 22.0~40.0 |
| 섬록암 | Weathered | 3.0 | 22.0 |
| 안산암 | Decomposed | - | 30.0 |

나. 변형계수(E) 및 포아송비(ν) 산정

📖 기존 문헌 검토

| 제 안 자 | 변형계수(tf/m ²) | 포아송비 (ν) | 비 고 |
|---------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Braja M. Das (1995) | - | 0.30~0.45 | |
| Roy E. Hunt (1984) | - | 0.30~0.40 | |
| Tsuchiya | - | $\nu = 0.3 - (y - 1.28) / 95$ | $y = (\log E_p(\text{kgf/cm}^2) - 2.25) / 0.35$ |
| 서울지역 (서울시, 1996) | 10,000~20,000(탄성계수) | 0.30~0.35 | |

5.2.4 기반암의 설계지반정수 산정

● 경험적 사례

| 구 분 \ 암 종 | | 경 암 | 보 통 암 | 연 암 |
|--------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 탄성파 속도 | | 4.5km/sec이상 | 4.0~4.5km/sec | 3.5~4.0km/sec |
| 암 질 상 태 | | 경도가 아주 좋고 균열이 적으며 풍화 변질이 않된 상태 | 균열 및 절리가 다소 발달되어 있으나 풍화가 않된 상태 | 풍화작용으로 암상에 층리 및 절리가 발달되어 있는 암체로서 파쇄질 |
| 관찰에 의한 판 정 | | 망치가 튕겨나옴. 강하게 칠 경우 신선한 면으로 갈라진다. | 강하게 치면 균열면이나 절리면을 따라 크게 갈라진다. | 망치로 쉽게 갈라진다. 비교적 균열면으로 소편으로 갈라진다. |
| 보링 상태 | 채 취 율 | 90% 이상 | 70% 이상 | 40~70% |
| | 시 료 | 20cm 이상 | 5cm 이상 | 5cm이하 세편 |
| | 균열상태 | 주상 코아 | 다소의 세편 포함 | 다량의 세편 포함 |
| 탄성 계수 | 초 기 시 (t/m ²) × 10 ³ | (250~2,500) 500 | (10~1,000) 50 | (10~500) 10 |
| | 파 괴 시 (t/m ²) × 10 ³ | 50 | 5 | 1 |
| 포아 송비 | 초 기 시 | (0.17~0.3) 0.3 | (0.2~0.3) 0.3 | (0.2~0.35) 0.35 |
| | 파 괴 시 | 0.45 | 0.45 | 0.45 |
| 점 착 력 (t/m ²) | | (10~500) 300 | (5~300) 150 | (2.5~200) 50 |
| 내부 마찰각 (°) | | (35~50) 45 | (20~50) 45 | (20~45) 45 |
| 단 위 중 량 (t/m ³) | | (2.6~2.7) 2.5 | (2.6) 2.4 | (2.5~2.56) 2.0 |

5.3 적용 물성치 요약

본 과업부지에 적용한 지반 물성치를 요약하면 다음과 같다.

가. 적용 지반 물성치

| 지 층 | 단위중량 (kN/m ³) | 탄성계수 (kN/m ²) | 점 착 력 (kN/m ²) | 내부마찰각 (deg.) | 포아송비 | 비 고 |
|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|------|-------------|
| 매 립 토 | 17.00 | 12,000 | 0.0 | 27 | 0.30 | 자갈섞인 실트질 모래 |
| 퇴 적 토 | 18.00 | 19,000 | 2.0 | 28 | 0.33 | 모래섞인 실트질점토 |
| 퇴 적 토 | 18.00 | 19,000 | 2.0 | 28 | 0.33 | 실트질점토 |

나. 추진관 물성치

| 구 분 | 단위중량 (kN/m ³) | 탄성계수 (kN/m ²) | 포아송비 |
|-----|---------------------------|---------------------------|-------|
| 추진관 | 74.50 | 210,000,000 | 0.015 |

제 6 장 안전성 평가기준

6.1 레일면에서의 허용 부등변위량 (정상시)

6.2 일반 구조물의 관리기준

6. 안정성 평가기준

6.1 레일면에서의 허용 부등변위량 (정상시)

● 철도 설계기준2011(노반편), 8-72

| 변위의 방향 | 열차속도 (km/hr) | 어긋남 (mm) | 꺾임각 θ (1/1000) | | | |
|--------|-----------------|-------------|-----------------------|---------|---------|---------|
| | | | 평행 이동에 대해 | | 꺾임에 대해 | |
| | | | L < 30m | L ≥ 30m | L < 30m | L ≥ 30m |
| 연 직 | 120 | 2 | 7.5 | 9 | 9 | 9 |
| | 150 | | 5 | 6 | 6.5 | 7 |
| | 200 | | 4.5 | 4 | 5.5 | 4.5 |
| 수 평 | 120 | 2 | 4 | 5.5 | 5 | 6 |
| | 150 | | 3 | 3 | 3.5 | 4 |
| | 200 | | 2.5 | 2 | 3 | 2.5 |

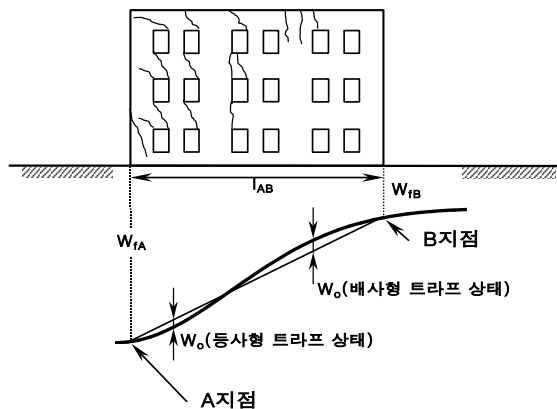
6.2 일반 구조물의 관리기준

6.2.1 각 변위(Angular distortion)

각 변위는 구조물의 전단비틀림 수준을 나타내며 지표침하에 의해 구조물에 발생하게 되는 강체 기울어짐(Rigid Body Tilt)을 제외한 구조물상의 두개의 관심 지점을 연결하는 직선의 회전각으로 표현된다. 일반적으로 계산된 각 변위는 두 지점간의 평균값이며 다음과 같이 표현된다.

$$\text{각 변위} = \frac{(w_{f_A} - w_{f_B})}{l_{AB}}$$

여기서, $w_{f_{A,B}}$ 는 A, B 지점의 지표침하량, l_{AB} 는 A지점과 B지점의 수평거리를 나타낸다.



<그림 5.5> 각 변위 모식도

많은 학자들에 의해 제안되고 있는 구조물의 각 변위에 대한 허용한계치는 아래의 표와 같다.

<표 5.6> 구조물 종류별 각 변위 허용 한계치

| 구 조 물 | 허용 한계치 | | Notes | Reference |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 피복된 벽돌벽의 끝단에 위치한 기둥기초 | 사질토 또는 견고한점토질 | 소성 점토 | | Polshin and Tokar, Wahls |
| | 1/150 (0.007) | 1/1000 (0.001) | | |
| 침하에 민감한 기계 하부 기초의 작업곤란 한계 | 1/750 | | | Bjerrum |
| 경사진 부재를 가진 빌딩 골조의 위험 한계 | 1/600 | | | |
| 균열을 허용할 수 없는 빌딩에 대한 안전 한계 | 1/500 | | | |
| 토목용과 산업용 건물의 기둥기초, 강구조물, 보강콘크리트 구조물 | 1/500 | | | Polshin and Tokar, Wahls |
| 칸막이 벽에 첫 균열이 예상되는 한계 | 1/300 | | | |
| 빠대 구조물내의 하중지지벽 또는 칸막이벽, 원형강재, 원유 또는 액체저장 탱크 | 1/300 | | 일차 균열 발생 | Skempton and McDonald, Bjerrum |
| 고가 크레인의 작업 곤란이 예상되는 한계 | 1/300 | | | Polshin and Tokar, Wahls |
| 강성 고층빌딩의 전도가 눈에 띄일 수 있는 한계 | 1/250 | | | |
| 부등침하 발생에 변형이 일어나지 않는 구조물 | 1/200 | | | |
| 칸막이 벽돌벽의 안전 한계 빠대 구조물내의 하중지지벽 또는 칸막이벽, 원형강재 원유 또는 액체저장 탱크 | 1/150 | | 구조적 손상 발생 추정, 칸막이나 벽돌벽에 심각한 균열발생 | Skempton and McDonald, Bjerrum |
| 일반적인 건물의 구조적 손상이 예상되는 한계 | 1/150 | | | |
| 연성 벽돌벽에 대한 안전 한계 | 1/150 | | | |

6.2.2 건물의 최대침하량 및 부등침하량

구조물의 최대침하량은 구조물 내의 각 벽체의 최대침하량으로 세분화시킬 수 있으며, 그 정의는 각 벽체내 임의의 지점에서 발생하는 최대침하량을 의미하고 아래식에 의해 표현할 수 있다.

$$\text{구조물 최대침하량}_A = \text{Max}[w_1, w_2, w_3, w_4, \dots, \dots]$$

여기서, 구조물 최대침하량_A는 A벽체의 최대침하량, $\text{Max}[w_1, w_2, w_3, w_4, \dots, \dots]$ 는 A벽체내 임의의 지점의 최대침하량을 의미한다.

건물의 부등침하량은 구조물 내의 벽체 양끝점의 지표침하량 차이를 나타내는 값으로 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{부등침하량}_A = w_1 - w_2$$

여기서, 부등침하량 A는 A벽체의 부등침하량, w_1, w_2 는 A벽체 양 끝점의 지표침하량 ($w_1 \geq w_2$)이다.

<표 5.7> 구조물 종류별 최대침하량 및 부등침하량 허용한계치

| 구 조 물 | 허용한계치 | | Notes | Reference |
|--------------------------------|-------|------|----------------------|------------------------|
| 빌딩 구조물 | 사질토 | 점토 | | |
| | 30mm | 45mm | 최대부등침하량 | Skempton and MacDonald |
| | 50mm | 75mm | 최대 침하량 | |
| 벽돌 벽체의 건물 | 80mm | | L/H : 2.5 (최대침하량) | Polshin and Tokar |
| 철근 콘크리트나 철근 | 100mm | | L/H : 1.5 | |
| 블럭으로 보강되고 블럭 벽체를 가진 건물 뼈대 | 150mm | | | |
| 뼈대 건물 | 100mm | | | |
| 굴뚝, 사이로, 탑 등의 견고하게 보강된 콘크리트 기초 | 300mm | | | |

<표 5.8> 구조물의 종류에 따른 허용침하량 (Sowers, 1962)

| 침하 형태 | 구조물의 종류 | 허용 기준치 |
|--------|---------------------------------------------|------------------------------------|
| 최대 침하량 | 배수시설, 출입구 석적 및 조적구조, 뼈대구조 굴뚝, 사이로, 매트 | 15~30cm 2.5~5.0cm 5.0~10.0cm |
| 부등 침하량 | 철근콘크리트 뼈대 구조 강 뼈대구조(연속) 강 뼈대구조(단순) | 0.003S 0.002S 0.005S |

제 7 장 해석결과 및 분석

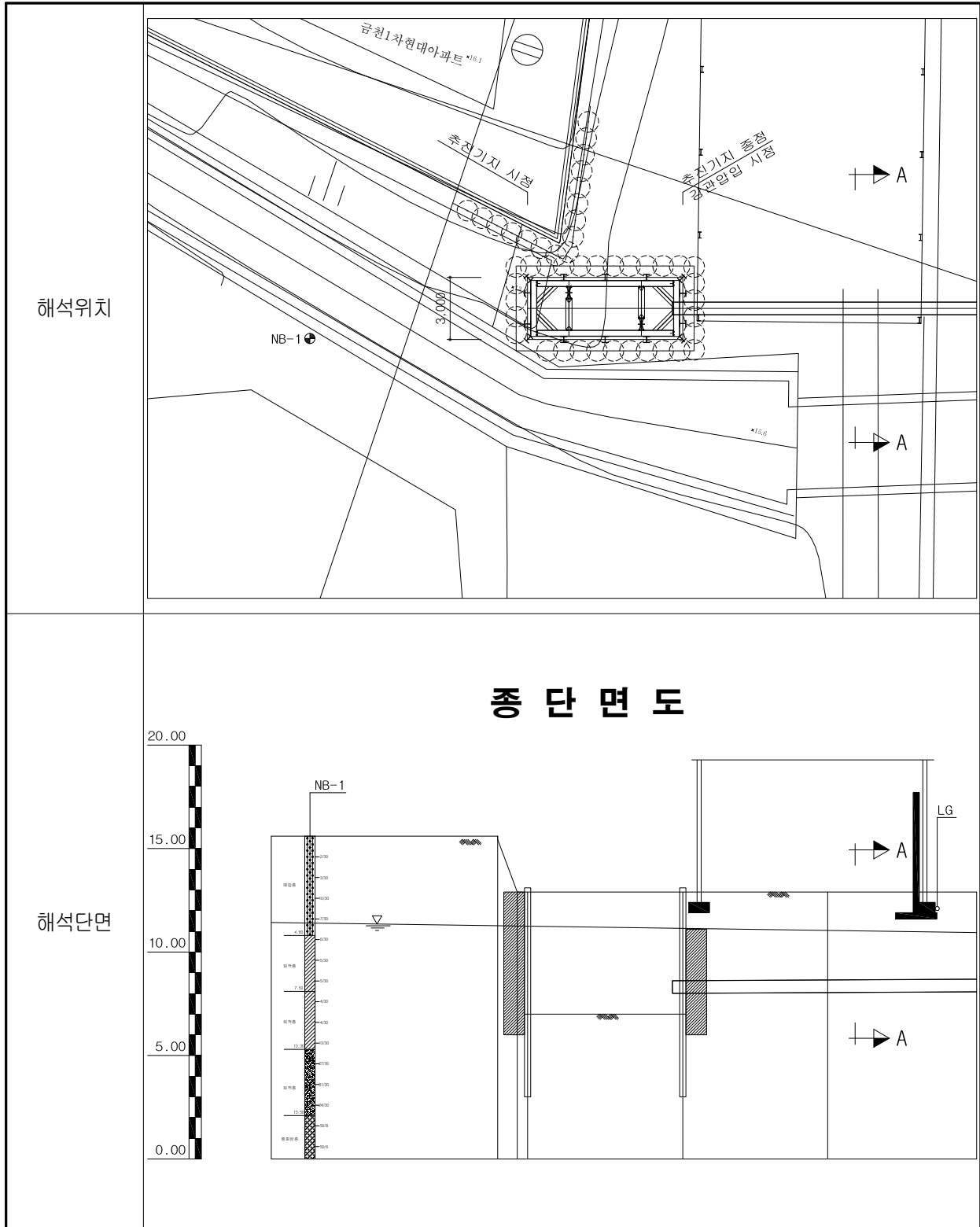
7.1 해 석 위 치

7.2 해석 모델링 (A-A')

7.3 해석결과 및 분석

7. 해석결과 및 분석

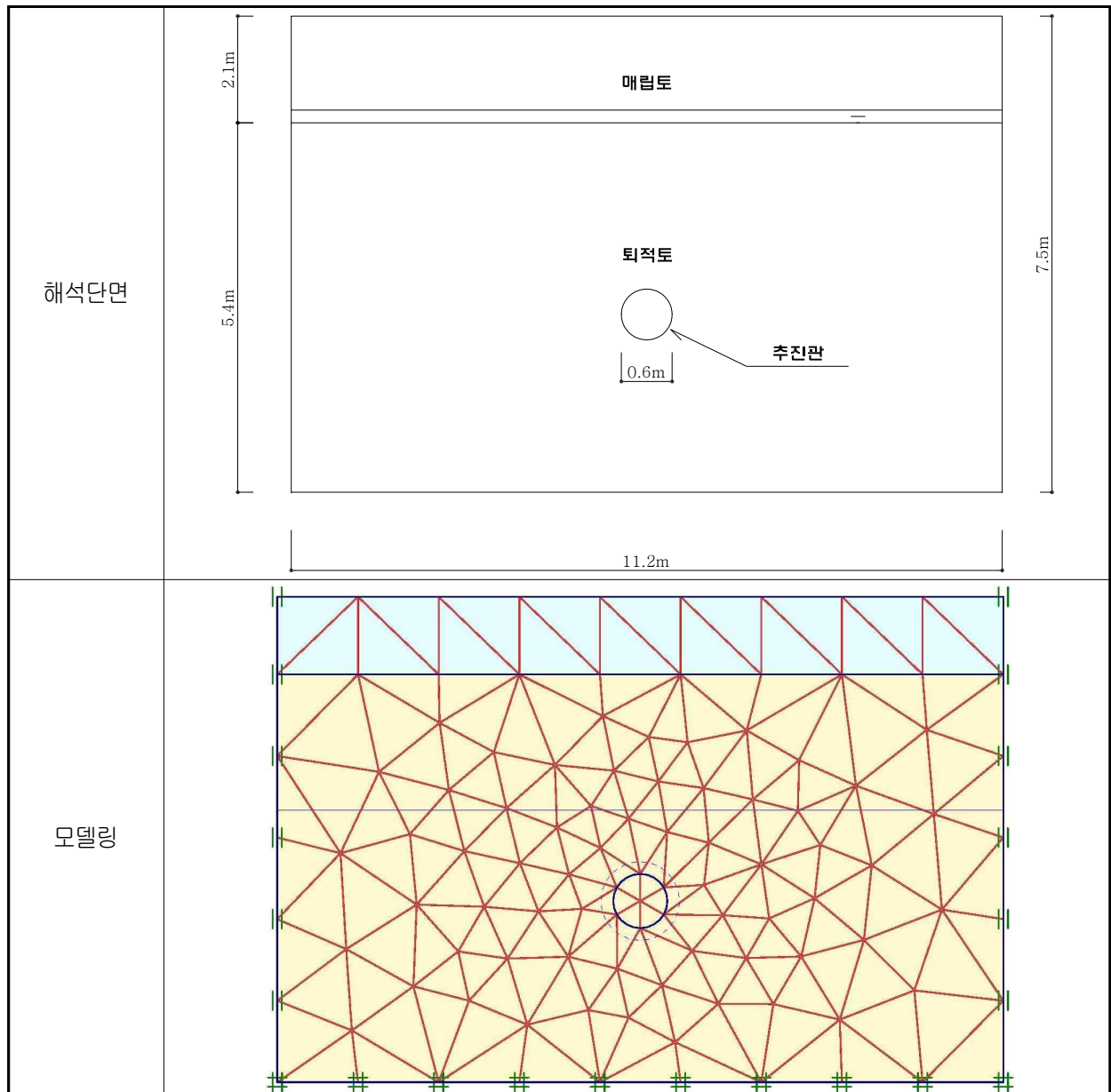
7.1 해석위치



7.2 해석모델링 (A-A')

굴착으로 인한 지반의 응력 변화가 거의 없는 영역은 전력구 터널형상에 따라 다르지만 일반적으로 터널 폭의 3~4배까지이다. 따라서 터널의 해석 범위는 터널 상부는 지표면까지, 측면은 터널 폭의 4배 이상, 하부는 터널 높이의 3배 이상을 취하여 해석 대상으로 하였다.

가. 해석단면 및 시공순서

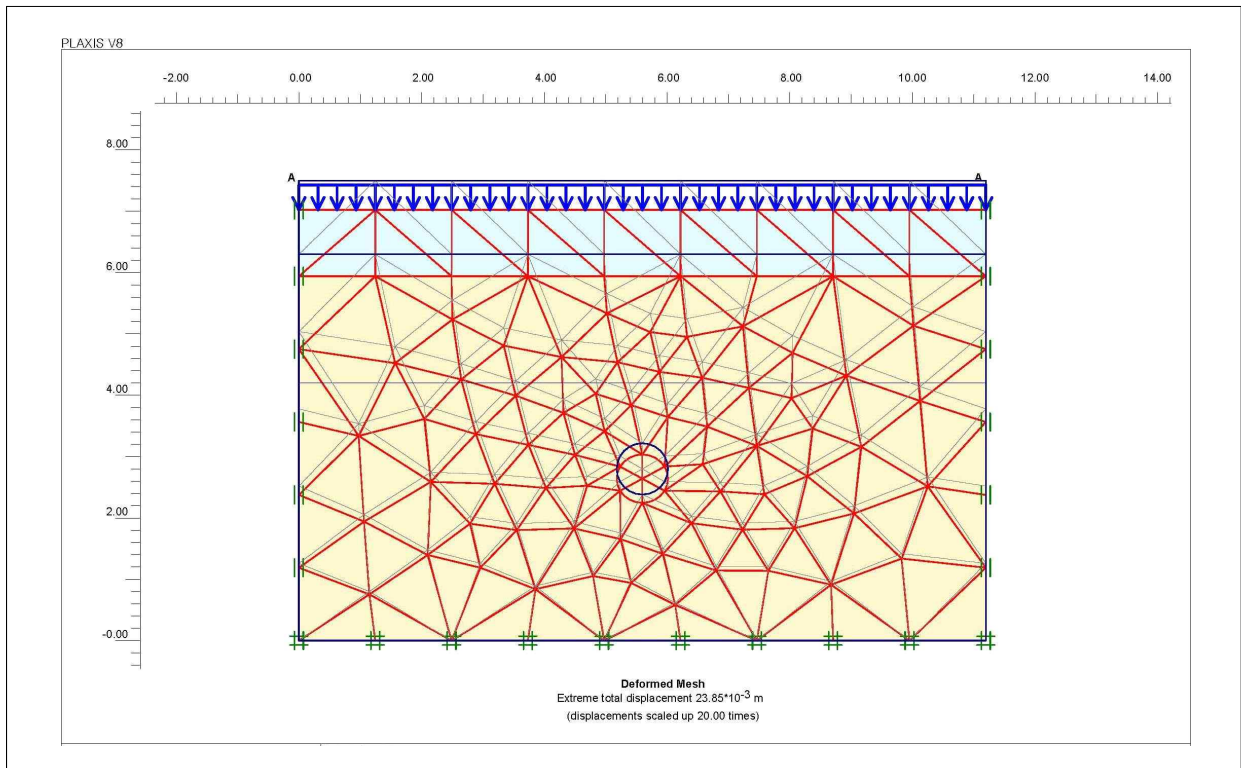


| 구 분 | STEP | 해 석 과 정 |
|---------|------|---------|
| A-A' 단면 | 0 | 원지반모델링 |
| | 1 | 철도하중 재하 |
| | 2 | 압입추진 굴착 |

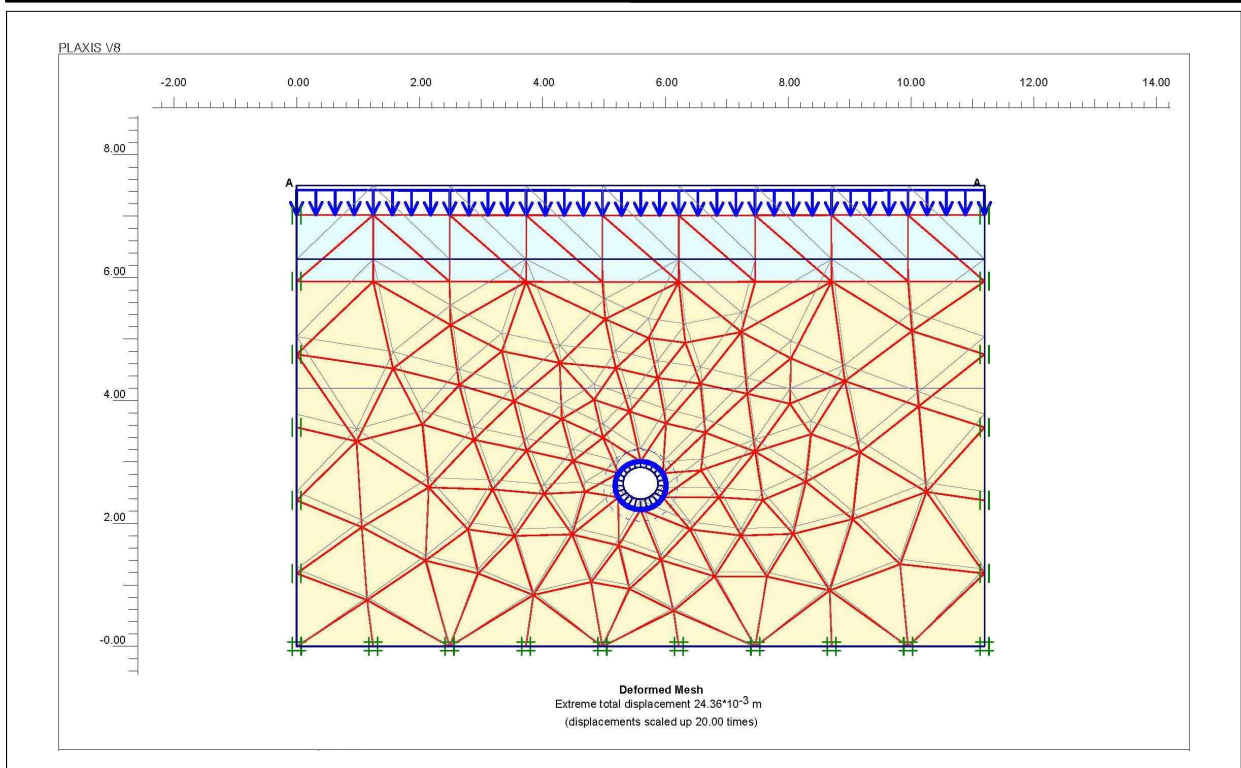
7.3 해석결과 및 분석

가. 수치해석 결과

철도하중 재하시 변위



압입추진 굴착시 변위



나. 하중재하 및 하중조합

1) 상재하중

설계상 필요 없다고 생각되는 경우에도 경사면을 제외하고 궤도에 의한 15kN/m²의 상재하중과
옹벽으로부터 궤도가 떨어진 거리에 따라 열차 활하중에 의한 상재하중을 적용한다.

(철도설계기준2011(노반편), 6-11)

| 구 분 | 상재하중(kN/m ²) | 비 고 |
|-----|--------------------------|-------------------------------------|
| q1 | 15 | 궤도하중에 의한 상재하중(kN/m ²) |
| q2 | 35 | 열차 활하중에 의한 상재하중(kN/m ²) |

2) 하중조합

설계단면력을 산정하기 위해서는 사용하중에 하중계수를 곱한 극한(설계)하중들의 하중조합
에 의하여 설계한다. (철도설계기준2011(노반편), 6-2)

$$U = 1.4(D+L+H) = 1.4(q_1+q_2) = 1.4 * (15 + 35) = 70 \text{ kN/m}^2$$

여기서, D : 고정하중, L : 활하중, H : 토압

다. 해석 결과분석

| 구 분 | 압입추진으로 발생한 변위 (mm) | 허용치 (mm) | 비 고 |
|-----|--------------------|----------|-----|
| 변위 | 0.51 | 2.00 | 안 정 |

· 압입추진 굴착으로 인한 발생변위는 0.51mm로서 레일면에서의 허용 부등변위량 2.00mm 이하로 미소하게 발생하였으며,
압입추진 시공으로 인한 영향은 크지 않을 것으로 판단됨.

제 8 장 결 론

8. 결 론

‘경부선 (독산~금천구청간) 철도횡단 압입추진’ 에 따른 인접하여 위치하고 있는 경부선 철도에 대한 안정성 검토를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 가. 본 과업지역의 지반정보 검토결과 지층 분포상태는 지표로부터 매립토, 퇴적토, 풍화암, 연암의 층서를 보이며 지하수위는 철도노면에서 GL.-2.0m에 위치하고 있다.
- 나. 본 검토단면의 추진관의 위치심도는 GL.-3.98m에 위치함.
- 다. 유한요소 해석의 시공단계에 따른 최대 침하량은 0.51mm로 미소하게 나타나 허용 한계 침하량 이내 인 것으로 검토되어 압입추진 굴착에 따른 인접구조물에 미치는 영향은 적을 것으로 예상된다.
- 라. 따라서, 본 ‘경부선 (독산~금천구청간) 철도횡단 압입추진 공사’ 에서는 설계시 계획된 과정에 의한 시공이 이루어질 경우 인접지반 및 구조물의 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단되며, 굴착 시 구조계산에 의해 산정된 벽체 변위를 관리 기준값으로 설정하여 이상의 변위가 발생되지 않도록 철저한 계측관리 및 시공관리가 요구된다. 또한 공사 기간이 길어질 경우에는 예상 변위 발생량보다 다소 많은 변위가 발생될 수 있으므로 시공 관리를 철저히 하여 설계시에 계획된 토류구조물의 강성 및 지지 역할이 확보될 수 있도록 유의하여야 한다. 아울러 본 검토에서 산정된 침하량은 이론적인 해법에 근거한 것으로 참고 자료로 활용하고 계측기기를 공사전에 설치하여 정기적으로 관찰함으로써 실제 시공상태와 계측 결과를 비교하여 안정성 여부를 확인하면서 공정을 진행시키는 것이 바람직하다.

제 9 장 계측관리 계획

9.1 계측 기본방향 및 계측 시스템 구성

9.2 주요구간 계측계획

9.3 시공중 계측관리 및 활용계획

9.4 시공중 계측관리 자동화

9. 계측관리 계획

9.1 계측 기본방향 및 계측 시스템구성

가. 계측 기본방향

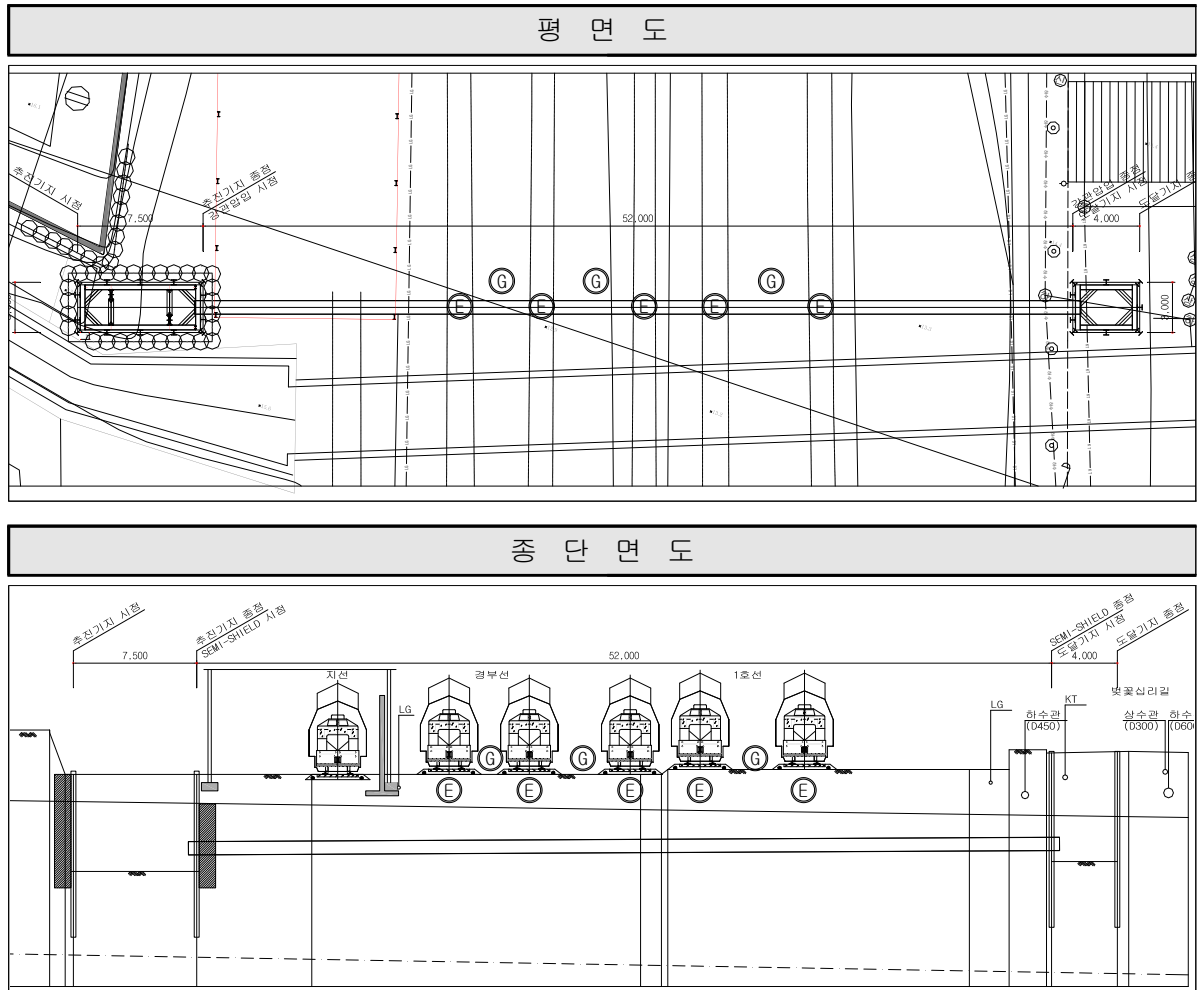
| | |
|--------|-----------------------------------|
| 발전 기지 | · 굴착시 인접구조물 영향분석 및 안정성 관리계측 |
| 압입추진구간 | · 압입추진 굴착시 상부 철로의 영향분석 및 안정성 관리계측 |
| 도달 기지 | · 굴착시 인접구조물 영향분석 및 안정성 관리계측 |

나. 계측시스템구성

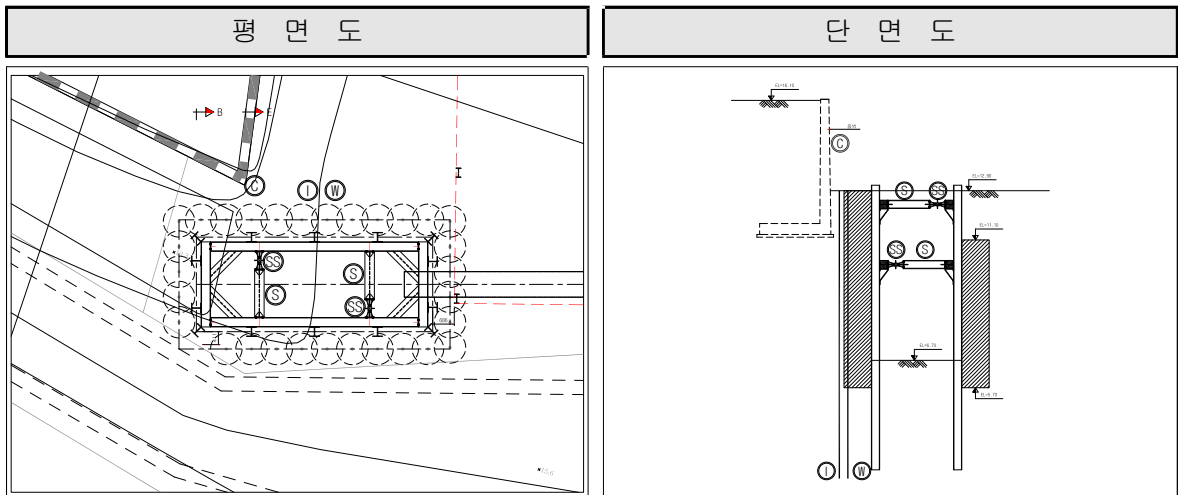
| 구 분 | 무선자동화 계측시스템구성 |
|--------|-------------------------------------------|
| 특 징 | · 무선계측기에 의한 데이터 측정 · 중계기를 거쳐 무선 데이터 송신 |
| 적용성 검토 | · 개방공간에서 사용성 양호 |
| 적용 구간 | · 가시설 및 지상 지장물 계측 |

9.2 주요구간 계측계획

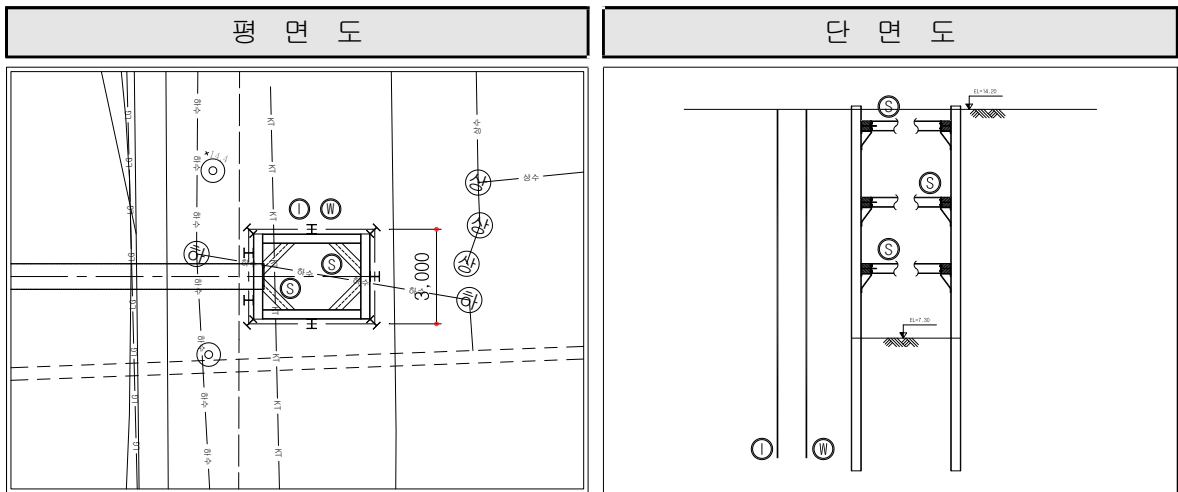
가. 압입추진 구간



나. 발진 기지



다. 도달 기지



| | |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 현황특성 및 고려사항 | <ul style="list-style-type: none"> · 압입구간 및 발진기지, 도달기지를 고려한 계측계획 · 발진기지에 인접한 옹벽 및 우수암거를 고려한 계측계획 · 안정성 검토부 위치와 연계하여 추진관 접속부에 설치 · 가시설 단면의 계측 및 점검으로 구조적 안정성 확보 |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

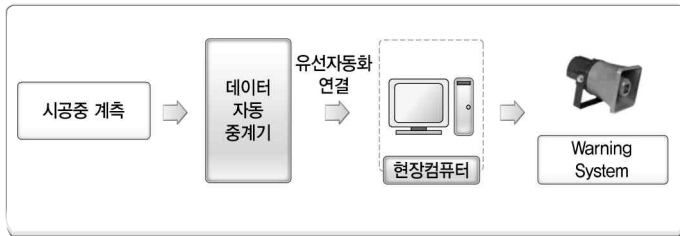
| 계 측 장 비 구 성 | 구 분 | 발진기지 | 압입추진구간 | 도달기지 | 구간 총계 |
|-------------|-------------|-------------|--------|------|-------|
| | | 지중경사계 (I) | 1 | - | 1 |
| | 지하수위계(W) | 1 | - | 1 | 2 |
| | 지표침하계 (G) | - | 3 | - | 3 |
| | 변형율계 (S) | 4 | - | 3 | 7 |
| | 버팀보축력(SS) | 4 | - | - | 4 |
| | 건물경사계 (C) | 1 | - | - | 1 |
| | 선로침하계 (E) | - | 5 | - | 5 |

9.3 시공중 계측관리 및 활용계획

| 관 리 기 준 | 계측관리 체제 | 시공관리 및 대책 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Level I 주의수준 ($1.0 \leq F.S < 1.2$) | · 계측기기점검 및 재측정 · 원인분석 및 보고 | · 침하, 가시설 및 인접건물균열 파악 · 대책공법 검토 |
| Level II 경고수준 ($0.8 \leq F.S < 1.0$) | · 계측 빈도·측점 증가 및 강화 · 이상원인 및 관리기준치 검토 | · 현장점검강화 · 대책공법 실시여부판정 : 지반 및 지보재 보강 등 |
| Level III 위험수준 ($F.S < 1.8$) | · 보조공법에 의한 대책공 여부 결정 · 설계 적정성 판정 | · 대책공법 실시 · 지반보강 등 추가공법 시공 |

9.4 시공중 계측관리 자동화

- 시공중 주요단면의 계측 자동화 구축
- 시공사, 감리단, 계측사, 전문가 그룹간의 신속하고 원활한 의사결정
→ 안전하고 경제적인 시공
- 계측결과 비상사태시 경고 전파로 피해확산 방지



제 10 장 철도운행선 안전관리대책

10.1 열차운행선공사 특징

10.2 열차운행선공사주요 문제점

10.3 시공 담당별 안전관리

10. 철도운행선 안전관리대책

10.1 열차운행선공사 특징

10.1.1 작업환경

- 1) 열차운행 노선과 인접 또는 접촉
- 2) 대형사고잠재요인(안전관리 소홀로 인한 열차탈선 등)

10.1.2 법적환경

- 1) 철도안전법 : 철도보호지구에 관한 조항
- 2) 국유철도건설규칙 : 철도 시설물 건설 기준
- 3) 철도운영자 관련 규정 : 선로지장업무, 선로차단 절차 등
- 4) 철도공단 관련규정 : 안전관리절차서

10.1.3 업무수행환경

- 1) 열차운행 시스템 지식
- 2) 철도건설 시공에 관한 실무지식(철도용어의 정의, 차단/운전협의절차, 운전명령서 등)

10.2 열차운행공사 주요 문제점

10.2.1 시공전 사전협의 소홀

- 1) 차단승인 미준수(승인된 시간보다 미리 작업착수)
- 2) 충분한 운전협의 없이 작업착수(운전협의 미시행, 불명료)

10.2.2 안전 기본수칙 미준수

- 1) 준비 작업시 본작업 착수(차단시간 미준수)
- 2) 굴착 작업시 지하매설물 지장(사전파악 소홀)
- 3) 미자격자 투입(열차감시자, 건널목관리자, 장비운전자 등)
- 4) 공구, 자재 탈락으로 열차운행선 지장

10.2.3 기타

- 1) 감리/시공 책임자 운행선 시공관련 지식 및 경험 부족
- 2) 철도공사 특수성 인식부족
- 3) 공사장 뒷정리 소홀(공구, 자재 방치로 열차운행선 지장)

10.3 시공 담당별 안전관리

가. 안전관리자

1) 안전관리자 자격요건

- 철도시스템에 대한 지식과 경험
- 운행선 취약점 분석 및 대처능력

2) 안전관리자 역할

- 공사현장 취약점 사전분석 및 대처
- 차단작업 승인사항/운전협의 사항 숙지 및 전 작업자에게 교육
- 2인 1조 작업원칙 준수
 - 열차운행선 작업에 있어서 작업인원은 최소한 2명 이상
 - 1명은 작업, 1명은 열차감시
 - 작업 완료시까지 2인의 업무연계 지속적 유지
- 작업자 안전관리
 - 당일 작업 중 방심하기 쉬운 취약사항(주의사항) 교육
 - 장비운전자 및 열차감시자 안전수칙 숙지 여부 확인
 - 차단작업 승인사항 등 열차운행과 관련한 주의사항 교육
- 작업현장 안전시설물 확인·점검
 - 작업현장 600m 전방에 공사예고 표지판 설치
 - 열차운행선 방호물 설치 적정성
 - 열차감시자 배치 및 구비장비 적정성
 - 작업을 위한 가설물(작업대 등) 안전성 여부
 - 운행선 근방에 황산, 화약 등 위험물 또는 인화물질 방치 여부
- 기타 주요 사항
 - 계절별(우기, 동절기 등) 공사현장 사고우려개소에 대한 조사 및 책임자에게 보고
 - 매 작업 종료 후 작업장 뒷정리 상태 확인

나. 열차감시자

1) 열차감시자 자격요건

- 열차운행시스템에 대한 지식
- 위험상황에 대한 판단 및 순발력, 사명감

2) 열차감시자 역할

- 열차감시에 필요한 지식과 요령 숙지
- 공사구간의 열차통과 시각표 휴대
- 역 운전취급자와 상시 통화체제 유지
- 규정된 장비(확성기, 무전기, 전호기, 전호등 등) 휴대 및 기능확인
- 열차감시에 적당한 장소인지 근무위치 확인
- 열차 발견시부터 경보음을 울려 작업자들을 안전하게 대피

3) 열차감시자 요령

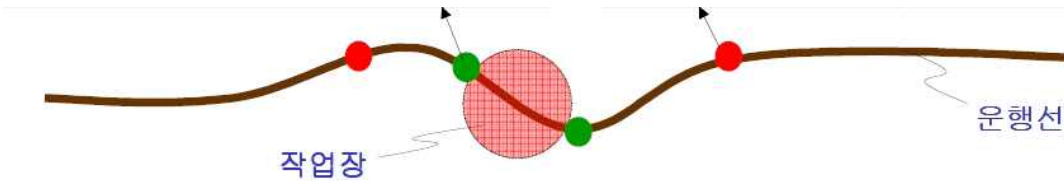
① 확성기(싸이렌), 무전기, 전호기, 전호등(燈)류 등의 안전장비 휴대

② 휴대한 안전장비 기능확인

③ 작업구간의 열차 통과시각표를 휴대하여 열차접근 시각 예측

④ 모든 작업자가 경보음을 충분히 들을수 있는 감시위치 (원거리 관찰이 가능한 직선상 지점)

⑤ 곡선이나 장애물 등 지형적인 형편으로 원거리를 관찰할 수 없을 때는 감시자를 추가로 배치



⑥ 열차 발견시부터 경보음을 울려 작업자 대피

⑦ 역 열차운용관계자와 상시 통화체제 유지

다. 장비운전자

1) 장비운전자 자격요건

- 열차운행시스템 및 관련규정에 대한 지식
- 장비 기계적 구조 및 조작에 관한 지식
- 장비운전취급과 관련한 법·D규정 자격요건 구비

2) 장비운전자 역할

- 작업전 사용장비 점검 및 기능확인
- 작업과 관련한 운전명령 및 운전협의사항 숙지
- 운전예정선로(역 구내) 사전 파악 (신호기/전철기/구내선도 등)
- 철도운영자 관련규정 준수
- 운행 중 역 운전취급자 및 감리자와 수시로 무선통신
- 운행 중 지적환호 및 전·후방 주기적 감시

3) 장비운전중 주의사항

- 장비이동시 역 운전취급자 승인(협의) 하에 이동
- 작업구간이 아니거나 승인 이외의 구간 이동 금지
- 장비에 규정된 하중 이상의 중량물 적재 금지
- 장비에 트로리 또는 화차 연결시 견인정수 준수
- 작업장내 복수장비 투입시 장비간 충분한 안전거리 확보
- 정확한 신호판단- 정상신호인지 또는 공사에 의한 임시신호인지 (명확치 않을 경우 역 운전취급자에게 확인 후 장비 이동)
- 규정속도 준수
 - 역 구내운전 25km/h 이하
 - 폭풍우, 안개 등 전방시야 장애시 10km/h 이하
- 운행 중 지적환호 및 전·후방 주기적 감시

- 작업 완료 후 “작업완료 통보서” 작성 등 역 관계자와 행정처리 마무리
- 운행이 종료된 장비에 대한 안전한 유치 (차륜막이, 운전실 쇄정 등)

라. 감독책임자

1) 감독책임자 자격요건

- 열차운행시스템 지식 및 철도건설 시공절차 실무경험
- 시공관련 공단 절차서 및 철도운영자 규정에 관한 지식
- 위기상황 발생시 통제 및 조치요령에 대한 판단력
- 열차감시자, 장비운전자 등 특수 직무수행자의 직무 이해

2) 감독책임자 역할

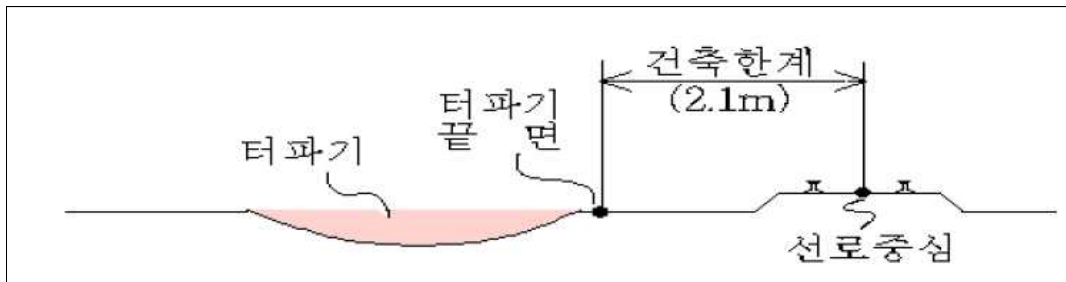
- 당일 작업과 관련한 작업자 안전교육
- 당일 작업과 관련한 운전명령 및 운전협의사항 숙지 업무착오로 운전명령에 해당 작업사항이 명시되어 있지 않을 경우, 그렇다 하더라도 차단 등 작업승인이 나지 않은 것으로 간주됨 (임의작업 금지)
- 당일 작업과 관련한 작업자 안전교육
- 당일 작업과 관련한 운전명령 및 운전협의사항 숙지 업무착오로 운전명령에 해당 작업사항이 명시되어 있지 않을 경우, 그렇다 하더라도 차단 등 작업승인이 나지 않은 것으로 간주됨 (*임의작업 금지)
- 운전명령 적정성 여부 판단 운전명령이 당일 작업 상황에 맞지 않거나 상황변화로 적용이 어려울 경우 운전명령 취소 요청, 차단승인 재 요구 (*부적절한 작업시행 금지)
- 작업현장 구내선로, 신호상태, 매설물 등 작업관련 정보 파악
- 작업자 보호 안전차단막, 운행선 보호 차단막 등 안전설비 확인
- 열차감시자 배치 · 휴대장비 적정성 · 주의사항 교육
- 장비이동 계획 사전파악 및 장비운전자 주의사항 교육
- 작업 중 의심사항 발견시 철도운영자와 상시 통신
- 공단 안전관리절차서 및 철도운영자 관련규정 준수

3) 시공관련 공단절차서 발체

시공사는 작업 착수 전 작업자와 열차운행선을 보호하기 위하여 다음과 같은 요령으로 방호물을 설치한다.

- ① 방호물은 국유철도건설규칙에서 정한 건축한계 (선로 중심으로부터 2.1m) 외방에 설치 장소가 협소할 경우 지원업무수행자의 확인과 승인을 얻어 차량한계 (선로 중심으로부터 1.8m) 외방에 설치
 - ② 차량한계 외방에도 방호물 설치가 어려울 경우에는 선로차단 승인을 얻은 후 작업하는 것을 원칙
 - ③ 방호물은 차단막, 그물망, 안전테이프 등의 재료를 사용할 수 있으며 작업자가 쉽게 식별할 수 있는 형태
 - ④ 방호물은 태풍 등의 충격으로 훼손되지 않도록 견고하게 설치
- 시공사는 공사에 필요한 모든 건설장비·자재들을 건축한계 외방에 보관하고 비산 우려가 있는 물품은 밀폐된 상태로 보관하여야 한다.
 - 화약류, 황산 등의 위험·유해물은 열차운행선 인접 개소에 보관하지 않는 것을 원칙으로 한다. 다만, 작업상 불가피하게 필요한 경우에는 지원업무수행자의 확인과정을 거쳐 관계법령에 저촉되지 않도록 보관·취급한다.

- 가설시설물(토류관, 동바리, 비계, 거푸집 등) 등은 건축한계 경계를 침범하지 않도록 시공한다. 가설시설물 등은 변형·부식 또는 심하게 손상된 재료를 사용하지 말아야 하고 열차운행선로로 전도될 우려가 없도록 충분한 버팀목으로 고정되어 있어야 한다.
- 열차운행선 인접개소에서 터파기할 때, 터파기 끝 면이 건축한계를 침범하지 않도록 작업하여야 한다. 건축한계를 침범할 우려가 있을 경우에는 차단승인 후 작업하는 것을 원칙으로 한다.



- 터파기할 때 운행선노반에 변형이 일어나지 않도록 흙막이 지보공이나 방호막을 설치한다. 지하수가 과도하게 용출될 때에는 작업을 중지하고 열차운행에 영향을 줄 우려가 있는지 여부를 지원업무 수행자에게 확인을 받고 배수 등의 안전조치를 취한 후 작업한다.
- 열차운행선 인접 구간에서 비탈깎기 등의 작업시 낙반이나 토사물이 건축한계 범위를 침범되지 않도록 한다. 만일 침범될 우려가 있을 경우 열차운행선 근방에 안전막이나 휀스 등의 차단막을 사전에 설치한 후 작업한다.
- 선로횡단 지하도 공사시 운행선로를 지지하는 지지보와 기둥은 외관상 균열이나 처짐(굴곡)이 없어야 한다. 또한 열차 주행시 자갈 등의 비산물 낙하방지를 위하여 해당 구간의 선로 부근에 낙하방지턱 등의 안전설비를 설치한다.
- 모든 선로횡단 지하도 진입로 전·후에는 통과 차량의 높이를 제한하는 표지를 설치한다.
- 임시 건널목을 설치할 경우 관계규정에 의한 안전장치를 구비하여 관리한다.
 - ① 임시 건널목은 보행자나 통행 차량이 전방 시야를 확보하여 안전하게 통과할 수 있도록 건널목 진입로를 완만하게 경사지게 하거나 평탄하도록 시공
 - ② 보행자나 통행 차량의 안전을 위하여 시공사는 임시 건널목 안내인 배치
 - ③ 임시 건널목 진입로 전·후 건축한계 외방에 전차선 높이 제한표지 설치
- 선로횡단 과선교나 고가로 공사시 고가를 지지하는 지지보와 기둥은 외관상 균열이나 처짐(굴곡)이 없어야 한다. 또한 열차운행 선로에 물체의 낙하방지를 위하여 그물망, 휀스 등의 안전설비를 설치한다.
- 공사 완료 후 시공사는 열차운행선 인근의 폐자재나 폐기물을 완전히 제거하고 지원업무 수행자는 작업장 뒷정리 상태를 확인한다.
- 시공사는 태풍, 장마, 폭우에 대비하여 다음과 같은 안전관리 사항을 준수하여야 한다.
 - ① 작업현장 및 열차운행선 인근에 빗물이 유입되지 않도록 사전에 배수시설을 정비하여야 한다.
 - ② 지반이나 토사가 열차운행선에 유입될 우려가 있는 개소에는 사전에 사물을 제거하거나 덮개를 씌울 수 있도록 대비 하여야 한다.

③ 교량이나 지하도 등의 시설물에 빗물 흐름을 방해할 수 있는 부착물들을 사전에 제거하거나 정비 하여야한다.

● 시공사는 해빙기에 대비하여 다음과 같은 안전관리 사항을 준수하여야 한다.

① 열차운행선에 인접한 지하굴착 또는 옹벽에 심한 균열이나 유출수가 있을 경우에는 원인 분석 및 대책을 수립하고 응급조치를 시행 하여야 한다.

② 절개지·사면에 낙석위험이 있을 경우 사전에 이를 제거하거나 낙석피해가 없도록 열차운행선 근방에 안전차단막 설치 하여야 한다.

③ 해빙으로 인하여 지반이 침하되어 열차운행선의 노반 변형이 우려될 경우 원인분석 및 대책을 수립하고 응급조치 시행 하여야 한다.

● 시공사는 동절기에 대비하여 다음과 같은 안전관리 사항을 준수 하여야 한다.

① 폭설 또는 강풍에 비산되지 않도록 작업 물품들은 열차운행선과 충분히 격리하여 보관하고 취약한 부착물은 사전 제거 하여야 한다.

② 임시 건널목과 같이 열차운행선과 인접한 통로에는 결빙이 되지 않도록 미끄럼방지 조치 하여야 한다.

③ 동파로 인하여 열차운행에 지장을 주지 않도록 열차운행선에 인접한 배수 설비 및 옥외배관은 적절한 보온장치를 설치 하여야 한다.

④ 열차운행선 인접구간에서 일체의 소각행위를 금지 하여야 한다.

⑤ 열차운행선 인접구간에 가연성 물품을 보관하고 있을 경우 소화기 등의 소화장비 비치 하여야 한다.

마. 감리책임자

1) 감리책임자 자격요건

- 열차운행시스템 지식 및 철도건설 시공절차 실무경험
- 시공관련 공단 절차서 및 철도운영자 규정에 관한 지식
- 운행선 변경, 차단작업, 운전협의 등 행정절차에 관한 지식
- 국유철도건설규칙 등 철도관련 법령 지식

2) 감리책임자 역할

- 당일 작업과 관련한 명확한 운전협의 (“운전사항협의담당자” 자격자 외 운전취급사항 협의 금지)
- 운행선 변경, 차단작업 승인 등 시공에 필요한 사전 행정처리
- 시공전 작업현장의 전반적 안전설비 확인 (안전차단막, 전기접지 상태, 지지보강재, 고소작업대 등)
- 구내선로 확인 및 장비이동 계획 수립 (장비운전자에 선로상태 및 이동계획 주지교육)
- 감리업무 수행지침서 및 관계법령 준수

3) 감리관련 공단절차서 발체

① 운전명령

- 운전명령과 관련한 사항은 시설절-14에 명기된 바에 따른다.

② 운전협의

- 운전사항협의담당자는 시관절-27에 의한 자격요건을 갖추어야 한다.
- 운전협의를 문자로 표현하기 어렵거나 혼선 우려가 있을 경우 또는 구내가 복잡하여 장비운전취급자가 진로 확인에 어려움이 예상될 경우 작업장소 및 장비이동 계획을 구내평면도에 도식하여 상호간 착오가 없도록 협의 내용을 명확히 한다.

- 기타 운전협의를 관한 내용이나 절차는 시관절-13에 명기된 바에 따른다
 - 감리사는 5.2, 5.3과 관련한 내용을 시공사에 충분히 주지시키고 이를 준수 토록 확인·감독한다.
- ③ 차단작업
- 감리사는 작업 전 작업원들에게 운전협의내용, 안전관리수칙, 차단작업시 주의사항 등을 교육하고 시공사는 이를 준수하여야 한다.
 - 특히 장비운전취급자에 대해서는 장비이동 예정 진로, 장비운전시 주의 사항 등을 숙지하고 있는지 확인한다.
 - 감리사는 협의된 사항이라 하더라도 예기치 못한 변수에 대비하여 본 작업 착수 전 운행선 이상유무 여부를 역장 등 관계처에 확인한 후 작업원이 투입될 수 있도록 확인·감독한다.
- ④ 열차운행선 인접공사
- 감리사는 작업원들에게 안전관리수칙, 작업시 주의사항 등을 교육하고 시공사는 이를 준수하여야 한다.
 - 감리사는 시공사 작업 중 다음 사항에 대하여 확인·감독한다.
 - 안전 표지판 설치 상태
 - 열차운행선 방호물 설치 상태
 - 열차감시 적정성 여부
 - 건설장비·자재 보관 상태
 - 가설시설물 건축한계 침범 여부
 - 터파기 건축한계 침범 여부
 - 열차운행선 지장 우려가 있을 때 방호물 설치 검토
 - 안전설비 설치 상태
- ⑤ 계절별 안전관리
- 감리사는 시공사의 계절별 안전관리 대책을 검토하고 적절한 시기에 이를 시행토록 지도하고 시행상태를 확인·감독한다
- ⑥ 비상대비
- 감리사는 예기치 못한 비상사태에 대비하여 응급복구용 자재·복구장비 및 인력 동원계획을 수립한다. 응급복구용 장비는 시공사가 보유하고 있지 않더라도 동원이 가능한 인근업체의 복구장비(기중기, 크레인 등) 소재를 파악하여 유사시 긴급 출동을 요청할 수 있도록 대비하여야 한다. 이에 관하여는 공단의 「철도공사 사고보고 및 처리(안관절-05)」에 명시된 바에 따른다.
 - 감리사는 공사와 관련한 유관기관의 비상연락망을 비치하여 비상사태 발생시 신속히 연락될 수 있도록 대비하여야 한다.