

❖ 유 티 리 티 터 널 기술위원회

Annual Technical Report

~ 소구경 해저터널 설계기준 수립 ~

2017

■ 목 차 ■

제1장 총 칙	1
1.1 적용범위	1
1.2 참조 법규 및 관련 기준	1
1.3 용어의 정의	2
제2장 계 획	9
2.1 계획 일반	9
2.2 해저 터널식 전력구 계획	9
제3장 조 사	14
3.1 조사 일반	14
3.2 입지환경 조사	14
3.3 지반조사	16
3.4 시험	20
3.5 시공 중 보완조사	22
3.6 지반침하(함몰) 및 공동 조사	22
3.7 지반조사 성과의 정리	23
제4장 해저 쉘드TBM터널 설계	27
4.1 쉘드TBM 적용 일반	27
4.2 쉘드TBM 장비선정 및 성능의 검증	28
4.3 커터디스크의 선정 및 교환	31
4.4 막장압 및 뒤퇴압 관리	31
4.5 뒤퇴압 주입재 및 테일 실	33
4.6 쉘드TBM 세그먼트라이닝	34
4.7 쉘드TBM 부대시설	38
4.8 긴급 대처공법	40
제5장 해저 쉘드TBM터널 수직구 및 접속부 설계	41
5.1 작업장 및 수직구	41
5.2 굴착 및 가시설	42
5.3 수직구 라이닝	43

5.4 접속부 설계	44
제6장 터널 안정성 검토	46
6.1 안정해석 일반	46
6.2 안정성 해석 방법	46
6.3 안정해석 및 침하영향 검토	47
6.4 설계안전성(DFS) 검토	48
제7장 방수 및 배수	49
7.1 배수형식 선정	49
7.2 허용누수량	50
7.3 집수정 계획	51
7.4 지수재	52
제8장 계 측	55
8.1 시공중 일상계측	55
8.2 시공중 정밀계측	56
8.3 쉘드TBM 장비의 계측	57
8.4 유지관리 계측	58
제9장 부대공	59
9.1 공사중 환기	59
9.2 공사중 전기	59
9.3 환기, 조명, 방재	60

■ 표 목 차 ■

Fig.

<3.1> TBM 터널의 주요 설계항목에 필요한 조사(예)	25
<3.2> 굴진 성능 예측 모델 및 시험	26
<7.1> 터널의 방수 등급별 허용누수량	50
<7.2> 집수정 유효 용량	51
<7.3> 집수정내 펌프계획	52
<7.4> 배수펌프의 양수량과 연속운전시간	52
<7.5> 가스켓의 시험 방법 및 재료 기준	53
<7.6> 수평창 지수재의 시험 방법 및 특성치 기준	54
<7.7> 시험 결과 합격 기준	54

<8.1> 쉘드TBM 장비의 계측항목(I)	57
<8.2> 쉘드TBM 장비의 계측항목(II)	57
<9.1> 쉘드TBM터널의 접지저항.....	60

제1장 총 칙

1.1 적용범위

- 1.1.1 이 설계기준은 해저 터널식 전력구의 계획, 조사, 설계에 대한 기준으로 한국전력공사에서 시행하는 지중송전선로 전력구 설계에 적용한다.
- 1.1.2 설계를 위한 조사의 제한성 및 실제 지반 변화의 다양성 등 해저에 건설되는 터널식 전력구의 특성으로 인하여 설계내용을 현장 여건에 적합하도록 변경하는 경우에도 본 기준을 적용하여야 한다.
- 1.1.3 해저 터널식 전력구 공사와 관련되는 사항으로서 본 기준에서 규정하지 않은 사항은 다른 관련 설계기준에서 정하는 바에 따라야 하며, 특수한 조건의 경우에는 별도의 검토를 통하여 전력구의 계획, 조사, 설계에 반영할 수 있다.
- 1.1.4 본 설계기준은 터널식 전력구가 해저에 건설되는 조건을 기준으로 하고, 이 조건에 적합한 시공법인 쉴드TBM 공법이 적용되는 경우를 기본으로 작성되었으며 계획, 조사, 설계의 주요 고려사항은 다음과 같다.
- (1) 해저터널은 육상의 경우와는 달리 지층변화와 지하수위의 변화에 의한 문제점 발생 시 공사 중 보완이 어려우므로 사전 조사결과를 토대로 쉴드TBM 장비를 선정하고 선형계획을 수립하여야 하며, 지반조사의 한계를 보완하기 위해 막장전방 예측시스템을 검토하여 적용할 수 있다.
 - (2) 설계 단계에서 위험요소를 사전에 발굴하고 위험성을 평가하는 설계안전성 검토를 수행하고 해저 터널 전력구 공사 단계별 위험요인 저감을 위한 대책을 수립하여야 한다.
 - (3) 해저구간 굴착 시에는 높은 지하수압 또는 침투수압이 작용하는 경우가 많고 파쇄대, 풍화대 등 연약지반을 통해 예상치 못한 지하수(해수)가 유입되는 등 위급상황이 발생할 수 있으므로 이를 고려한 막장면 압력관리시스템 및 시공조건에 적합한 쉴드TBM 장비를 선정하여야 한다.
 - (4) 해저 터널식 전력구 공사의 시공품질과 안전성을 확보할 수 있도록 설계단계에서 해저 지반조건과 수압조건에 적합한 그라우팅 공법, 뒤통음 주입방식, 세그먼트라이닝, 지수재 등을 검토 적용하여야 한다.

1.2 참조 법규 및 관련 기준

1.2.1 해저 터널식 전력구 건설 시 준수하여야 하는 관련 법규 및 기준을 모두 검토하여 해당 내용에 위배되지 않도록 설계하여야 한다.

1.2.2 해저 터널식 전력구의 계획, 조사, 설계에 있어서 검토 대상이 되는 주요 법규 및 관련 지침은 다음과 같다.

- (1) 환경오염 방지 및 환경보전 관계 : 대기환경보전법, 자연환경보전법, 자연공원법, 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률, 조수보호 및 수렵에 관한 법률, 소음·진동관리법, 수질환경보전법, 해양오염방지법, 수도법, 하수도법, 광업법, 지하수법, 철도건설법, 폐기물관리법 및 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률, 토양환경보전법, 환경정책기본법, 환경영향평가법 등
- (2) 재해방지 관계 : 사망사업법, 택지개발촉진법, 농어업재해대책법, 자연재해대책법, 재난 및 안전관리 기본법, 지하안전관리에 관한 특별법 등
- (3) 국토개발 관계 : 국토기본법, 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 등
- (4) 하천 관계 : 하천법, 공유수면관리 및 매립에 관한 법률, 지하수법, 온천법 등
- (5) 도시계획 관계 : 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 등
- (6) 도로 및 교통 관계 : 도로법, 철도건설법, 도시철도법 등
- (7) 군사 관계 : 군사기밀보호법, 군사기지 및 군사시설보호법 등
- (8) 문화재 관계 : 문화재보호법 등
- (9) 안전보건 관계 : 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 건설기술진흥법, 산업안전보건법, 철도안전법 등
- (10) 위험물 관계 : 총포·도검·화약류 등 단속법 등
- (11) 관련 기준 및 지침 : 도로설계기준, 도로설계편람, 철도설계기준, 철도설계 지침 및 편람, 터널설계기준 등
- (12) 관련 시방서 : 가설공사 표준시방서, 건설공사 비탈면 표준시방서, 도로공사 표준시방서, 도시철도(지하철)공사 표준시방서, 콘크리트 표준시방서, 조경공사 표준시방서, 터널표준시방서 등

1.3 용어의 정의

1.3.1 본 설계기준에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- 가동률(TBM utilization) : 기계식 굴착장비에서 장비 유지관리 및 커터 교체 등에

소요되는 시간을 제외한 전체 시간에 대한 장비의 가동시간 비율을 의미한다.

- 개방형(open) 쉘드TBM : 터널 굴진면과 맞닿는 커터헤드부의 전부 또는 대부분이 개방되어 있는 쉘드TBM을 말한다.
- 개방형(open)TBM : 무지보 상태에서 기기전면에 장착된 커터의 회전과 주변 암반으로부터 추진력을 얻어 터널 전단면을 절삭 또는 파쇄하여 굴진하는 터널굴착기를 말한다.
- 경사 : 주향(strike)과 직각을 이루는 지질구조면(층리면, 단층면, 절리면 등 불연속면)의 기울어진 방향과 수평면이 이루는 사잇각을 말한다.
- 계측 : 터널굴착에 따른 주변 지반, 주변 구조물 및 각 지보재의 변위, 응력의 변화를 측정하는 방법 또는 그 행위를 말한다.
- 굴진율(advance ratio) : 기계식 굴착장비의 단위시간당 굴진장을 의미하며, 단위시간의 계산 시 작업시간과 휴식시간을 모두 고려한다.
- 굴착방법 : 지반을 굴착하는 수단을 말하며 인력굴착, 기계굴착, 파쇄굴착, 발파굴착 등이 있다.
- 기계굴착 : 쇼벨, 로드헤더, 브레이커, 굴착기, 전단면 굴착기(TBM) 등을 이용하여 터널을 굴착하는 방식을 말한다.
- 내공변위 : 터널굴착으로 발생하는 터널 내공의 변화량으로 통상 내공단면의 축소량을 양(+)의 값으로 한다.
- 단층(fault) : 지각의 응력에 의하여 생긴 일정 규모 이상의 전단파괴면에서 양측에 상대적으로 어긋남을 가지는 선상 또는 대상의 부분을 말한다.
- 디스크커터(disk cutter) : TBM 등의 기계굴착기에 부착되어 회전력과 압축력에 의하여 암반을 압쇄시키는 원반형의 커터를 말한다.
- 롤링(rolling) : TBM 장비의 회전축을 중심으로 회전방향과 회전반대방향으로 번갈아가며 장비가 요동하는 현상을 말한다.
- 마모도(abrasivity) : 커터의 마모 비율을 의미하며, 일반적으로 단위 절삭부피당 커터의 무게감소량을 의미한다.
- 물리탐사 : 물리적 수단에 의하여 지질이나 암체의 종류, 성상 및 구조를 조사하는 방법으로서 탄성파탐사, 전기비저항탐사, 중력탐사, 자기탐사, 전자탐사 및 방사능탐사 등이 있다.
- 맨홀(manhole) : 케이블의 인입, 인출, 접속 등의 공사와 점검 기타 보수작업을 용이하게

할 수 있도록 시설한 구조물을 말한다.

- 밀폐형 쉴드TBM : 격벽을 갖고 있으며 굴진면과 격벽 사이의 챔버(chamber)내를 버력, 토사 또는 이수로 채우고 버력, 토사 또는 이수에 필요로 하는 압력을 유지시켜 굴진면의 안정을 도모하는 구조의 쉴드TBM을 말한다.
- 바닥부 : 터널단면의 바닥 부분을 말한다.
- 발진터널 : TBM의 초기 굴착 시 TBM 본체의 발진을 위한 터널로서 발파공법에 의하여 굴착하며, 일반적으로 TBM 본체길이 정도의 터널이 필요하다.
- 버력 : 터널굴착 과정에서 발생하는 암석덩어리, 암석조각, 토사 등의 총칭이다.
- 변형여유량 : 굴착에 따른 지반변형이 있더라도 계획 내공단면이 확보될 수 있도록 미리 예상되는 지반변형량 만큼 여유를 두어 굴착하는 내공 반경방향의 여유량을 말한다.
- 불연속면(discontinuities in rock mass) : 암반 내에 존재하는 절리, 층리, 엽리, 단층 또는 파쇄대 등에서 나타나는 연속성이 없는 면을 총괄하여 일컫는 말이다.
- 섬유보강 슛크리트(fiber reinforced shotcrete) : 슛크리트의 역학적인 특성을 보완하기 위하여 강 또는 기타 재료의 섬유를 혼합하여 타설하는 슛크리트를 말한다.
- 세그먼트(segments) : 터널라이닝을 구성하는 단위조각의 부재를 말하며, 사용하는 재료에 따라 강재 세그먼트, 철근으로 보강한 콘크리트 세그먼트, 주철 세그먼트 및 합성 세그먼트 등으로 구분되고 주로 쉴드TBM터널에 사용된다.
- 슛크리트(shotcrete) : 굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어내어 소정의 위치에 부착시키는 콘크리트를 말한다.
- 쉴드TBM(shield TBM) : 주변 지반을 지지할 수 있는 외판(원통형의 판)이 부착되어 있는 TBM을 말한다.
- 스프링 라인(spring line) : 터널단면 중 최대 폭을 형성하는 점과 만나는 수평선을 말한다.
- 습곡(fold) : 화성암, 변성암, 퇴적암에서 변형 전 평면에 가까운 면들이 변형에 의하여 물결처럼 굽어 있는 구조를 말한다.
- 시설한계 : 터널이용 목적을 원활하게 유지하기 위한 공간적 한계이며, 시설한계 내에는 시설물을 설치할 수 없도록 규제하고 있다.
- 압입깊이(penetration depth) : 기계식 굴착장비에서 사용되는 커터가 1회 진행할 때 암석 내부로 압입되는 깊이를 의미하며, 추력과 회전력에 따라 변화하는 값으로 비에너지량을 산정할 때 사용된다.

- 어깨(shoulder) : 터널의 천장과 스프링 라인의 중간부를 말한다.
- 여굴 : 터널굴착공사에서 계획한 굴착면보다 더 넓게 굴착된 것을 말한다.
- 엽리(foliation) : 변성암에 나타나는 지질구조로 암석이 재결정 작용을 받아 같은 광물이 판상으로 또는 일정한 띠를 이루며 형성된 지질구조를 말한다.
- 외판(skin plate) : 쉘드TBM에서 굴진장치, 세그먼트 조립장치 등을 감싸고 있는 원통형의 판을 말한다.
- 요잉(yawing) : TBM 장비의 진행 수직축 방향인 연직 축에 대한 장비의 좌우 방향 왕복 회전현상을 말한다.
- 용출수 : 터널의 굴착면으로 부터 흘러나오는 지하수를 말한다.
- 이렉터(erector) : 쉘드TBM의 구성요소로 세그먼트를 들어올려 링으로 조립하는 데 사용하는 장치를 말한다.
- 이수식(슬러리) 쉘드TBM : 이수에 소정의 압력을 가하여 굴진면의 안정을 유지하며, 이수의 순환에 의하여 굴착토를 액상 수송하여 굴진하는 방식의 쉘드TBM이다. 지반을 굴착하는 굴착기구, 이수를 순환시켜 이수에 일정한 압력을 가하기 위한 설비, 굴착 수송된 이수를 분리하여 이수를 소정의 소성 상태로 조정하기 위한 설비, 이수처리설비 등으로 구성된다.
- 인버트(invert) : 터널단면의 바닥 부분을 통칭하며, 원형터널의 경우 바닥부 90° 구간의 원호 부분, 마제형 및 난형 터널의 경우 터널 하반의 바닥 부분을 지칭한다. 인버트의 형상에 따라 곡선형 인버트와 직선형 인버트로 분류하며, 인버트 부분의 콘크리트라이닝 타설 유무에 따라 폐합형 콘크리트라이닝과 비폐합형 콘크리트라이닝으로 분류한다.
- 일상계측 : 일상적인 시공관리를 위하여 실시하는 계측으로서 지표침하, 천단침하, 내공변위 측정 등이 포함된 계측이다.
- 잭 스트로크(jack stroke) : 쉘드TBM의 추진과 세그먼트의 조립을 위한 잭의 유효 길이를 말한다.
- 전기비저항탐사 : 물리탐사법의 일종으로 지반 내 전류를 흘려보냄으로써 지반고유의 비저항을 측정하여 지질구조 및 지하수 분포구간 확인 등을 조사하는 방법이다.
- 전력구(電力溝) : 다회선의 케이블 및 부속재 등을 수용하고 케이블의 접속공간을 겸하는 기능을 가진 구조물을 말하며 시공 공법에 따라 개착식 전력구와 터널식 전력구로 구분한다.

- 절리(joint) : 암반에 존재하는 비교적 일정한 방향성을 갖는 불연속면으로서 상대적 변위가 단층에 비하여 크지 않거나 거의 없는 것을 말하며, 성인은 암석 자체에 의한 것과 외력에 의한 것이 있다.
- 접속부 : 단면의 형태 및 규모가 같거나 다른 터널이 서로 접속되는 구간을 말한다.
- 정밀계측 : 정밀한 지반거동 측정을 위하여 실시하는 계측으로서 계측항목이 일상계측보다 많고 주로 종합적인 지반거동 평가와 설계의 개선 등을 목적으로 수행한다.
- 주향(strike) : 불연속면(층리면, 단층면, 절리면 등)과 수평면의 교선방향을 진북방향 기준으로 측정한 방위를 말한다.
- 지구물리검층 : 지질단면 또는 시추공에 대하여 조사를 할 때 암석의 지질학적 내용과 물리적 성질을 기록하는 일을 말한다.
- 지반 : 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분이다.
- 지반조건(ground condition) : 터널주변 지반의 지형, 지질, 수리·수문 조건 등을 말한다.
- 지보재 : 굴착 시 또는 굴착 후에 터널의 안정 및 시공의 안전을 위하여 지반을 지지, 보강 또는 피복하는 부재 또는 그 총칭을 말한다.
- 지중변위 : 터널굴착으로 인하여 발생하는 굴착면 주변 지반의 변위로서 터널반경방향의 변위를 말한다.
- 지중침하 : 터널을 굴착할 때 인접지반은 침하를 일으키며 터널 천장부를 기점으로 하여 지표로 갈수록 각 지층의 침하량은 깊이별로 서로 다르게 나타나는데 이때의 깊이별 침하를 말한다.
- 지표침하 : 터널굴착으로 인하여 지표면이 침하되는 형상을 말한다. 지표침하는 터널의 종단 및 횡단방향으로 여러 곳에 침하관을 설치하여 터널굴착 시 변화되지 않는 기준점에 대한 상대적인 침하량을 측정한다.
- 지하매설물 : 지표하부에 묻혀있는 인공 구조물로서 지장물이라고도 한다.
- 천단침하 : 터널굴착으로 인하여 발생하는 터널 천장의 연직방향 침하를 말하며, 기준점에 대한 하향방향의 절대 침하량을 양(+)의 천단침하량으로 정의한다.
- 천장부(crown) : 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간을 말한다.
- 초기응력 : 굴착 전에 원지반이 가지고 있는 응력을 말한다.
- 추력(thrust force) : 커터헤드에서 굴착면으로 가해지는 추진력을 말한다.

- 측벽부(wall) : 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간을 말한다.
- 측선 : 계측을 위하여 설정한 측점 사이의 최단거리에 해당하는 가상의 선을 말한다.
- 층리(stratification) : 퇴적암이 생성될 때 퇴적 조건의 변화에 따라 퇴적물 속에 생기는 층을 이루는 구조를 말한다.
- 카피커터(copy cutter) : 곡선부에서 쉘드TBM의 원활한 추진을 위하여 내측곡선 부분에서 곡선반경방향으로 확대 굴착하기 위하여 쉘드TBM 커터헤드의 측면에 설치한 커터를 말한다.
- 커터(cutter) : TBM의 커터헤드에 토사 또는 암반의 굴착을 위하여 부착하는 금속으로 디스크커터, 커터비트, 카피커터 등이 있다.
- 커터비트(cutter bit) : 쉘드TBM의 커터헤드에 부착하는 칼날형의 고정식 비트로 본체와 팁으로 구성되어 있다.
- 커터숍(cutter shop) : TBM 작업(특히 암반부 굴착) 시 다량 소요되는 예비 커터를 보관하고, 커터를 정비하는 창고를 말한다.
- 커터헤드(cutter head) : TBM의 맨 앞부분에 배열 장착되는 디스크커터 또는 커터비트 등 각종 커터를 부착하여 회전·굴착하는 부분을 말한다.
- 케이지(cage) : 수직구(작업구)를 통하여 버력이나 작업원 등을 운반 시 사용하는 바구니 형상의 운반용구를 말한다.
- 콘크리트라이닝 : 터널의 가장 내측에 시공되는 무근 또는 철근 콘크리트의 터널부재를 말한다.
- 테이퍼링(taper ring) : 곡선부의 시공 및 선형 수정에 사용하는 테이퍼 처리한 링을 말한다. 특히, 폭이 좁은 판상은 테이퍼 플레이트링(taper plate ring)이라 한다.
- 테이퍼량 : 테이퍼링에 있어서 최대폭과 최소폭과의 차이를 말한다.
- 테일 보이드(tail void) : 세그먼트로 형성된 링의 외경과 쉘드TBM 외판의 바깥 직경 사이의 원통형의 공극을 말한다. 즉, 테일 스킨 플레이트의 두께와 테일 클리어런스의 두께의 합을 말한다.
- 테일 스킨 플레이트(tail skin plate) : 쉘드TBM 테일부의 외판(skin plate)을 말하며 일반적으로 외판보다 약간 두껍다.
- 테일 실(tail seal) : 쉘드TBM의 외판 내경과 세그먼트 간의 틈이 생기는데 이곳으로 지하수의 유입 또는 뒤채움 주입재의 역류를 막기 위하여 쉘드TBM 후단에 부착하는 것을 말한다.

- 테일 클리어런스(tail clearance) : 테일 스킨 플레이트의 내면과 세그먼트 외면 사이의 간격을 말한다.
- 토압식 쉘드TBM : 회전 커터헤드로 굴착·교반한 토사를 굴진면과 격벽 사이 챔버에 채워서 쉘드TBM의 추진력에 의하여 굴착토를 굴진면에 가압함으로써 굴진면의 안정을 유지하면서 스크류컨베이어 등으로 굴착토를 배토하는 쉘드TBM을 말한다.
- 토피 : 터널 천장으로부터 지표면까지의 연직높이를 말한다.
- 틸트 : 불연속면에 대하여 수직인 방향으로 떨어진 거리를 말한다.
- 편압 : 터널의 좌우 또는 전후 방향으로 불균등하게 작용하는 지반압력을 말한다.
- 피칭(pitching) : TBM 장비의 진행방향으로 부터 수평축에 대한 장비의 상하 방향의 회전현상을 말한다.
- 회전력(torque) : 커터헤드를 회전시키는 힘의 크기를 말한다.
- K형 세그먼트 : 쉘드TBM 작업에서 세그먼트 조립 시 마지막으로 끼워 넣는 세그먼트를 말한다.
- Q-시스템 : RQD, 절리군수, 불연속면 거칠기, 불연속면 변화 정도, 지하수에 의한 감소계수, 응력감소계수 등을 반영하여 암반을 분류하는 방법을 말한다.
- RMR(rock mass rating) 분류 : 암석강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태, 지하수 상태, 불연속면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반 상태를 분류하는 방법을 말한다.
- RQD(rock quality designation) : 시추코아 중 10 cm 이상 되는 코아편 길이의 합을 시추길이를 나누어 백분율로 표시한 값으로서 암질의 상태를 나타내는 데 사용한다. 이때 코아의 직경은 NX 규격 이상이어야 한다.
- TBM(tunnel boring machine) : 소규모 굴착장비나 발파방법에 의하지 않고 굴착에서 버력처리까지 기계화·시스템화되어 있는 대규모 굴착기계를 말한다. 일반적으로 개방형(open)TBM과 쉘드TBM으로 구분한다.
- TCR(total core recovery) : 시추 길이에 대하여 회수된 코아의 길이 비를 백분율로 표시한 값을 말한다.

제2장 계 획

2.1 계획 일반

- 2.1.1 해저 터널식 전력구의 계획은 지역 여건, 지형 상태, 지반 조건, 토지이용 현황 및 장래 전망 등 사전조사 성과를 기초로 하여 수립하여야 하며 건설계획, 예비타당성조사, 기본계획수립, 기본설계, 실시설계, 공사 집행·시공, 준공·시운전 등 단계별로 구분하여 효율적으로 추진하여야 한다.
- 2.1.2 해저 터널식 전력구를 계획할 때에는 전력구의 사용 목적, 사용 조건, 부속설비의 배치 등 계획적인 요건 뿐 만 아니라 지반조건, 해수(지하수) 조건, 지장물, 민원, 환경영향, 기존구조물에 대한 영향 등 주변 환경요건도 고려하여야 한다.
- 2.1.3 한국전력공사 전력구 설계지침 및 국가건설기준인 설계기준, 표준시방서, 전문시방서, 훈령, 예규, 지침 등을 포함한 해당 법규를 준수하여야 한다.
- 2.1.4 전력구의 구조와 형상은 전력구의 기능과 목적, 지형, 지반, 시공법, 해수(지하수) 조건 및 하중 조건 등을 고려하여 계획하며, 한국전력공사 전력구 설계지침서, 지중송전 설계기준 등을 참조하여 필요 회선수를 수용할 수 있는 적정 규모를 검토 적용하여야 한다.
- 2.1.5 해저 터널식 전력구는 비배수 시설이 되도록 설계하는 것을 원칙으로 하며, 필요한 경우에는 외부에서 유입되는 유입수를 배수할 수 있도록 집수정 및 배수시설을 설치할 수 있다.
- 2.1.6 주변현황, 지장물 및 지반상태를 세밀하게 조사하여 공사 중은 물론 유지관리 시에도 지반침하(함몰), 공동발생 등 주변환경에 유해한 영향과 민원을 최소화하여야 한다.

2.2 해저 터널식 전력구 계획

- 2.2.1 해저 터널식 전력구의 평면선형계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
- (1) 평면선형은 가능한 한 직선으로 계획하되 주변 여건, 지형 현황, 지반조건 및 전력구 연장 등을 감안하여 부득이 곡선으로 계획할 경우에는 장비의 시공성, 유지관리 측면을 고려하여야 한다.
 - (2) 용출수나 해수유입이 많을 것으로 판단되거나 조사된 지역과 단층 및 파쇄대와 같이 안정성이 우려되는 지역은 가급적 피하도록 계획하여야 한다.
 - (3) 최소곡선반경은 지반조건, 현장여건, 굴착단면의 크기, 시공방법, TBM 장비의 특성, 세그먼트 라이닝 등을 고려하여 설계하여야 한다.

- (4) 현장여건 상 평면선형이 급곡선으로 변화하거나 극단적으로 작은 곡선 반경 또는 도중에 다른 구조물 및 터널과 접촉하는 경우 굴진반력에 의한 터널의 변형방지와 세그먼트의 안정성을 고려하여야 한다. 필요한 경우에는 지반보강, TBM장비의 구조 및 세그먼트의 개량, 여굴을 고려한 뒤편 주입, 방향전환용 작업구, 지중접합 등 별도의 대책을 검토하여야 한다.
- (5) 전력구가 지상구조물, 지하구조물, 다른 터널 등 기존 시설물에 근접하는 경우 기존 시설물의 중요도 및 구조적인 특성을 고려하여 굴착공사로 인한 상호 영향을 검토하여야 하며, 장래 개발계획을 감안하여 필요시 방호공 등의 사전대책을 수립하여야 한다.

2.2.2 해저 터널식 전력구의 종단선형계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 전력구 심도는 해저 수심현황, 지층조건, 굴착단면적의 크기, 시공방법, 시공시 작업능력(기자재나 굴착토의 반출입, 작업원의 승강), 수직구(작업구) 계획의 용이성, 지하수 대책이나 수처리의 용이성, 완공 후 유지관리 등을 감안하여 결정하여야 한다.
- (2) 일반적인 최소 토피는 막장가압 시 이수의 지상분출 방지를 위해 굴착외경의 1.5배 이상을 기준으로 하지만, 심도가 얇은 경우 적절한 굴진관리 외에 지반개량 등의 보조공법을 검토하고, 고지압, 고수압 등 특수조건에서는 장비특성을 고려한 굴진면 압력관리 등 별도의 대책을 수립하여야 한다.
- (3) 종단기울기는 쉘드TBM 장비의 굴진효율을 향상시키고 시공 중 및 운영 중 용출수를 자연 유하시킬 수 있는 조건을 적용하는 것을 원칙으로 한다. 작업구나 지장물의 제약으로 급경사의 종단기울기가 검토되는 경우 배수, TBM의 추진, 시공 중의 버력 및 재료의 운반 등 작업능률 저하와 안전을 고려하여야 한다.

2.2.3 해저 터널식 전력구 단면 계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 전력구 단면은 소요 내공단면, 지형, 지질조건을 고려하여 경제성, 안전성에 적합한 단면으로 설계하여야 한다.
- (2) 내공단면은 전력구의 목적과 기능을 만족하고 평면선형이 곡선인 구간은 편경사 및 전력구의 각 시설별로 별도로 제시하는 규정에 따라 시설한계를 만족하도록 선정하여야 한다.
- (3) 단면형상은 원형을 표준으로 하되 터널의 사용 목적에 따라 다른 형상의 단면을 검토 적용할 수 있다. 이 경우 TBM 장비, 라이닝의 강도 및 형상에 따른

시공상의 문제점에 대해서도 검토하여야 한다.

- (4) 소요 내공단면을 확보할 수 있도록 상하좌우의 선형오차, 변형 및 침하 등에 의한 시공오차를 감안하여야 하며, 시공 허용오차는 굴착단면의 크기, 지반조건, 쉘드TBM의 조종성, 굴진속도, 콘크리트라이닝의 유무, 평면선형과 종단선형 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (5) TBM의 롤링(rolling), 피칭(pitching) 및 요잉(yawing) 등의 영향으로 발생하는 선형오차와 지반거동에 따른 세그먼트 링의 변형이나 침하에 대해서도 고려하여야 한다.

2.2.4 해저 터널식 전력구 시공법 계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 쉘드TBM 종류 및 공법은 적용구간의 지반조건, 해저 수심 및 지층조건, 단면, 지장물, 시공연장, 선형, 공사기간 및 사용목적 등의 설계조건과 굴착, 세그먼트 조립, 작업장 용지 및 굴착토사 처리방법 등 시공조건을 고려하여 안전하고 경제적인 시공이 가능한 형식을 선정하여야 한다.
- (2) 주변 지하구조물에 침하, 손상 등의 변위가 예측되는 경우 사용성, 안전성, 경제성, 공사기간 및 환경조건 등을 고려하여 효과적인 보조공법을 검토 적용하여야 한다.
- (3) 쉘드TBM 공법은 설계단계에서는 지층상태에 부합되는 적정 장비를 선정하고 시공단계에서는 시공기술력이 부합되어야 최대의 성과를 기대할 수 있으며, 주요 공종인 장비 제작 및 운반, 가설공사(발진 및 도달구), 조립 및 시운전, 초기굴진, 본굴진, 장비 해체 및 반출 등을 고려한 최적의 공정계획을 수립하여야 한다.

2.2.5 수직구(작업구)를 계획할 때에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 수직구 위치는 인접 건물의 피해, 교통장애 등을 고려하고, 계획노선의 동선 배치가 양호하고 노선 연장을 최소화할 수 있으며 장래 분기계획 및 케이블 설치가 유리한 곳에 계획하여야 한다. 또한 해수위의 영향을 최소화 하여 해수면의 상승에 따른 침수 우려가 없어야 한다.
- (2) 수직구 단면은 공사용 장비나 자재반입, 버력반출 등에 필요한 공간을 확보할 수 있는 크기로 하고, 케이블 수용규모, 허용 곡률반경과 수직구 내 제반 설비의 시설공간, 유지관리에 필요한 여유폭 등을 반영하여야 한다.
- (3) 수직구의 굴착, 가시설 및 지보재는 지질상태, 지하수위, 주변현황 등을 고려하여 안전성, 시공성이 확보되고 경제성이 있는 공법으로 설계하여야 한다.

- (4) 수직구 굴착 및 보강공법, 차수공법은 지반조사 결과 및 현장여건 검토 후 경제성과 안정성 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- (5) 지반조건, 현장여건, TBM장비 적용조건 등을 고려하여 수직구(작업장) 및 작업에 대한 공간계획, 버력처리장 및 설비계획, 기타 부속설비 계획을 수립하여야 한다.

2.2.6 해저 터널식 전력구의 부속설비계획 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 부속설비는 운영 시의 유지관리용 영구설비와 시공 시의 공사용 임시설비로 구분되며 시설계획, 시공 및 유지관리와의 관계를 검토하여 계획하여야 한다.
- (2) 공사용 임시설비에는 자재 반입과 저장 설비, 버력처리 설비, 급수와 배수 설비, 오수와 폐수 정화 설비, 환기와 집진 설비, 비상 급기 설비, 전기설비, 통신과 보안 설비, 방음과 방진 설비 등이 있다. 설비의 종류와 규모 결정은 공사규모, 공사기간, 공법 및 현장 여건 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (3) 작업장의 부지와 공간은 공사의 규모, 굴착공법에 따른 TBM 장비의 종류, 외부설비(환기 설비, 수전 설비, 급수 및 배수 설비, 급기 설비 등) 및 각종 가시설(커터숍(cutter shop), 레일 조립장, 컨베이어 조립장, 버력처리장, 침전지, 재료적치장 등)의 기능과 규모 등을 감안하여 계획하여야 한다.

2.2.7 해저 터널식 전력구의 조사 계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 조사는 지반조건과 입지환경조건의 조사로 이루어지며 전력구 노선 선정, 설계, 시공 및 운영 중 유지관리 등 각 단계에 필요한 지반조건과 입지 조건 등의 기초자료를 얻을 수 있도록 계획하여야 한다.
- (2) 공사의 목적, 전력구의 연장 및 단면적 등을 고려하여 조사 항목, 순서, 방법, 범위, 정도, 수량, 기간 및 정리방법 등을 결정하여야 한다.

2.2.8 해저 터널식 전력구의 계측 계획 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 계측관리계획은 굴착에 따른 지반의 거동을 파악하고 공사의 안정성과 경제성을 확보하여야 하는 공사 중 계측계획과 터널 준공 후 운영 중의 안전을 확보하기 위하여 시행되는 유지관리계측계획으로 구분하여 수립하여야 한다.
- (2) 공사 중 계측은 해저 터널식 전력구의 기능, 중요도 및 지반조건에 적합하도록 계측항목, 계측간격, 설치위치 및 측정빈도 등을 계획하여야 한다.
- (3) 유지관리계측은 전력구의 기능과 중요도에 따라 계측의 목적을 정하고, 목적에 적합한 계측계획을 별도로 수립하여야 하며 가능한 한 공사 중 계측계획과

연계하여 관리될 수 있도록 하여야 한다.

- (4) 전력구가 기존 및 장래 구조물 하부 등을 통과하여 상호영향이 예상되는 경우에는, 구조물과 그 하부지반의 상대거동 및 공동발생 여부를 확인할 수 있도록 계측계획을 수립하여야 한다.

2.2.9 해저 터널식 전력구 시공 시 환경보전을 위하여 설계단계에서 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 전력구 시공에 의하여 발생하는 주변 환경변화의 예측, 환경보전대책의 입안, 대책의 효과 확인 등을 위하여 환경조사를 수행하여야 한다.
- (2) TBM 장비의 투입에 따른 운반, 조립 및 해체계획, 버력처리 방안, 각종 설비계획과 품질, 안전 및 환경관리 대책 등 환경보전을 위한 대책을 수립하여야 한다.
- (3) 소음, 진동, 지반과 구조물의 변형, 대기와 수질오염, 교통장애, 분진, 유해가스 배출 등은 관련 관리기준치를 만족하여야 한다.
- (4) 작업장에서 발생한 오염된 물은 기준치 이하로 처리한 후 방류하도록 하여야 한다.
- (5) 해저 구간에 시공되는 조건을 고려하여 필요한 경우에는 공사 중 및 운영 중 터널 침수에 대한 대책을 수립하여야 한다.
- (6) 전력구의 가장 낮은 위치에는 전력구 내 청소수와 화재 진압수를 집수할 수 있는 집수조를 계획하여야 하며, 펌프가 설치된 모든 집수조에는 이중전원이 공급되도록 하여야 한다.
- (7) TBM 장비에 급수된 사용수 및 용출수를 집수하여 이물질질을 침전시킬 수 있는 침전설비를 갖추고 수질오염 등 환경오염이 발생하지 않도록 한다. 침전설비에 관한 세부사항은 환경 관련법에서 정하는 기준을 만족하여야 한다.
- (8) 컴프레서, 배치 플랜트, 크러셔 플랜트, 버력 저장소 등에는 방음피복과 방음벽을 계획하고 기계장비의 기초는 견고하게 설계하여야 한다.
- (9) 이수식 쉼터TBM을 적용하는 경우에는 주변 환경에 미치는 영향이 없도록 이수의 품질 및 이수 플랜트 설비 등을 검토하여야 한다.

제 3 장 조 사

3.1 조사 일반

3.1.1 해저 터널식 전력구의 설계를 위한 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 전력구의 목적, 규모 및 위치 등을 고려하여 조사의 내용, 순서, 방법, 범위, 정도, 수량 및 기간 등을 결정하여야 하며, 설계 및 시공 시 활용방법 등을 고려하여 조사 성과를 정리하여야 한다.
- (2) 설계 시의 조사 결과만으로 토질 및 암반 조건, 지질 조건, 지하수 등 지반 조건을 정확하게 파악하기 어려우므로, 시공 단계에서도 계속적인 조사를 실시하여야 한다.
- (3) 조수간만의 차이가 발생하는 해저구간은 조사 자료의 품질 향상 및 안전을 고려하여 이에 적합한 조사장비 및 자재를 선정하여야 한다.
- (4) 조사 및 시험결과를 종합적으로 판단하여 성과를 정리하고 전력구 노선의 지반조건과 시공 상의 문제가 발생할 수 있는 지형 등을 상세히 기입하여야 한다.
- (5) 과거의 침수이력, 홍수위 조사 등을 통하여 해수면 상승을 고려한 수직구 및 환기구 등의 위치와 높이의 검토에 활용 하도록 하여야 한다.

3.1.2 조사는 입지환경 조사, 지반조사 및 시공 중 보완조사로 구분하여 시행하여야 한다.

- (1) 입지환경 조사는 환경영향평가, 교통영향평가, 수리·수문조사 외에 설계 및 시공단계에서 목적물의 건설에 영향을 미치거나 이로 인해 영향을 받을 수 있는 사항에 대한 조사로서 지장물 조사, 지표 수리시설과 지하수 부존 특성 조사, 공사용 설비 조사, 보상 및 관계법규, 지형 조사, 환경 조사, 사토장 및 토취장 조사, 공사용설비 조사, 보상 조사, 관계법규 등으로 구분하여 시행하여야 한다.
- (2) 지반조사는 해저 터널식 전력구 건설의 기본계획 및 노선 선정을 위한 ‘예비조사’, 노선 결정 이후 공사 착공 전의 설계 및 시공계획을 위한 ‘본조사’, 그리고 ‘시공 중 보완조사’로 단계를 구분하여 시행함을 원칙으로 한다.
- (3) 시공 중 보완조사는 조사 결과에서 나타난 지반의 문제점과 설계 당시의 사회적 제약 또는 민원 발생으로 실시하지 못한 조사 및 시공 중 발생한 문제점에 대한 추가조사로 계획하여 실시하여야 한다.

3.2 입지환경 조사

3.2.1 지형 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 해저 터널식 전력구의 건설에 영향을 미치거나 터널 공사로 영향을 받을 수 있는 지형조건을 지형도나 항공사진 및 인공위성사진 등을 이용하여 분석하고 현장답사를 통하여 조사하여야 한다.
- (2) 해저 시공조건에 적합한 TBM 장비 및 시공법 선정 등 기본계획 수립에 필요한 자료를 습득하기 위하여 조사를 실시하며 사유지의 유무 및 토지의 이용 상황, 수직구(작업구)나 작업장의 적정 위치 확보 가능 여부, TBM 장비 및 도로망, TBM 조립, 해체 및 공사용 부지, TBM에 소요되는 전력 및 용수와 사토장 부지 등을 조사하여야 한다.
- (3) 전력구 노선선정, 쉘드TBM 형식의 선정, 라이닝 계획, 후방설비, 보조공법의 결정 등에 있어서 실질적인 시공에 영향을 미치는 주요 조사항목은 지형, 지층구조, 토질, 지하수, 지반침하이며, 이 중에서 지반침하는 중요한 요소이기 때문에 과거 지반침하 이력을 파악하고 현재의 지반침하 유무, 지하수압의 상황, 지반침하의 속도와 크기 등을 조사하여야 한다.

3.2.2 환경 및 규제법규 조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 공사에 따른 환경조건을 명확히 하도록 토지용도 및 환경규제, 기존 교통망, 개발계획, 소음, 진동 영향 등에 대하여 조사하여야 한다.
- (2) 환경 조사는 기본계획 및 노선 선정 단계에서 실시하는 광역 환경 조사와 설계 단계에서 수행하는 전력구 노선 주변 환경 조사로 구분하여 실시하여야 한다.
- (3) 광역 환경 조사는 전력구 시공 및 운용으로 인하여 자연 및 사회 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 광범위하게 실시하며 수리·수문, 기상현황, 재해현황, 토지이용현황, 교통조건, 공공 시설물, 문화재, 지하자원, 동식물상, 경관, 지역 개발계획 등을 포함하여야 한다.
- (4) 전력구 노선 주변 환경 조사는 전력구 건설로 인하여 발생하는 주변 환경의 변화 예측, 환경보전대책의 입안, 대책의 효과 확인 등을 위하여 실시하며 물이용 현황, 소음 및 진동, 지반과 구조물의 변형, 수질오염, 대기오염 등을 포함하여야 한다.

3.2.3 지장물 조사는 기존 구조물의 방호방법이나 지장물의 철거방법 검토 및 굴착으로 인한 영향 검토를 위해 실시하는 것으로써 해당 지장물의 종류, 규모, 위치, 구조, 사양, 특징 등을 조사하여야 한다.

3.2.4 사토장 조사 시에는 지형, 운반방법, 운반거리, 운반도로의 교통규제, 교통안전 등의

운반 조건과 사토장이 주변 환경에 미치는 영향, 사토 후의 토지의 형태 변화, 법규에 의한 규제 등 환경조건에 대하여 사전에 조사하여야 한다.

3.2.5 수리·수문 조사 시에는 시공 중 발생하는 용출수나 전력구 공사가 주변의 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 예측하는 데 필요한 정보가 제공되도록 실시하여야 한다.

3.2.6 공사 중 설비는 터널 입구설비, 환기 및 집진 설비, 운반설비, 골재 및 콘크리트 플랜트 설비, 수배전 설비, 용배수 설비, 임시건물 설비 등이 있으며, 공사 중 설비계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 다음 사항을 조사하여야 한다.

- (1) 지형과 지질 및 기상 : 설비기능 저해 혹은 위험가능성이 있는 지형, 지질 및 기상
- (2) 주변 환경 : 주변 환경에 영향을 미치는 공사용 설비의 소음, 진동, 배수, 교통, 분진
- (3) 전력의 사용 : 기 가설 송배전선의 용량, 주파수, 전압, 수변전의 난이, 수전까지의 소요 시간, 개략산출비용, 발전설비 등의 동력원, 공사용 장비운용 시의 소요 전력량
- (4) 화약고 설치계획 : 화약에 관한 법률이나 지방자치단체 조례 등
- (5) 용배수 : 콘크리트 혼합용수, 음료수, 기타 잡용수의 취수 조건, 터널시공에 수반한 용출수의 처리, 세척수의 방류 조건
- (6) 자재 및 버력 운반 : 기계 및 반출입, 버력운반 등에 필요한 공사용 도로, 궤도 등의 규격, 교통량, 교통규제의 현황 및 주변 도로이용 현황
- (7) 노무자재 : 터널 외부설비에 관계되는 콘크리트용 골재, 굳지 않은 콘크리트, 기타 자재의 공급경로, 공급사정의 현황 및 관리방법, 노무사정의 현황
- (8) 법규, 기타에 의한 규제 : 인접지역의 공사 유무

3.2.7 보상대상 조사는 공사를 위한 용지취득 및 공사로 인한 권리침해 등 보상대상에 관한 조사를 포함하며, 노선 선정 시 경과지 전체에 대해 지적도, 토지대장, 도시계획 확인원, 등기부 등본 등 공부발급 확인 및 용지도 등 관련도면을 작성하여 공공용지 및 사유지를 파악하여야 한다.

3.3 지반조사

3.3.1 해저 터널식 전력구의 설계를 위한 지반조사 일반기준은 다음과 같다.

- (1) 지반조사는 부지 선정을 포함한 전반적인 해저 터널식 전력구 계획, 안정성 검토,

굴착 장비 및 성능 예측을 포함한 굴착공법 평가, 환경영향 평가, 버력처리, 공사비 및 공기 예측 등 설계에 필요한 제반 정보를 제공하여야 한다.

- (2) 조사 및 시험 항목은 세부검토를 통하여 적용여부를 결정해야 하며 시료에 대한 제 시험은 공인된 시험기관에 의뢰함을 원칙으로 한다.
- (3) 조사 위치는 발주자와 사전 협의를 하여야 하며 부득이 위치를 변경할 필요가 있을 경우 승인을 받아야 한다.
- (4) 모든 조사는 타 시설물(철도 및 교량, 상수도, 가스, 전화, 전기 등)에 손상을 주지 않도록 주의하며 타 시설물에 손상 및 피해를 주었을 때는 관련기관과 협의하여 원상 복구하여야 한다.
- (5) 시추조사 및 기존의 자료를 종합 분석하여 단층, 파쇄대, 연약 지층, 암질 분포 등 지질의 제반사항이 명시된 지질도(1:1,000)를 작성하여야 한다.

3.3.2 지반조사는 예비조사, 본조사, 시공 중 보완조사로 구분하며 각 단계에서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 예비조사는 과업 범위의 지질 및 지반조건을 광역적으로 이해하여 집중적으로 해결하여야 할 지질공학적 문제점들을 정의하는 단계로서 기존 문헌 및 원격 영상 등의 분석, 지표지질조사 및 각종 현황 분석, 시험물리탐사 및 예비 시추조사 등을 수행하여야 한다.
- (2) 본조사는 기본설계 단계의 개략조사와 실시설계 단계의 정밀조사로 구분되며 예비조사에서 노출된 지질학적, 지반공학적 문제점들을 해결하고, 설계에 필요한 지질모델을 구성하는 단계로서 정밀한 시추조사 및 현장·실내 시험, 각종 물리탐사 및 추가적인 정밀 지표지질 조사 등을 수행하여야 한다.
- (3) 시공 중 보완조사는 본조사 이후 설계변경이나 지반특성의 추가확인을 목적으로 실시할 수 있다. 설계 시 구성된 지질 모델을 확인하며, 시공 중 모니터링 또는 계측 등을 시행하고 예측된 지반의 불확실성에 기초한 현장 지반 상태의 신속한 평가 및 대응을 위해 굴착 중 전방 지반 상태 관찰 및 필요에 따라 시추와 탐사 등을 수행하여야 한다.
- (4) 유지관리 시 터널 주변 환경의 변화로 구조물의 안정에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우에 대비한 지반조사를 추가로 검토하고 시행하여야 한다.
- (5) 지반조사 항목 및 조사 기준은 한국전력공사 전력구 설계기준 및 지침을 준수하는 것을 원칙으로 하되 필요한 경우 정부 및 관련 전문기관의 설계기준 및

지침 등을 참고로 하여 지반조사 항목 및 조사기준을 별도로 정하여 실시할 수 있다.

3.3.3 예비조사에서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 기존자료의 조사방법은 다음과 같다.

- ① 대상지역 지반의 개략상황을 인공위성 및 항공사진, 기존의 지반조사 자료와 지형도, 지질도, 지하매설물도, 기존구조물 도면, 지하수 현황, 폐광 및 지반공동 현황, 기타 자료를 이용하여 파악하여야 한다.
- ② 자료수집, 기록, 분석은 주의 깊게 수행하며, 지질구조, 지형구조, 지진활동, 수문학적 정보, 대상지역의 과거기록, 기타 주요 사항을 포함해야 한다. 지반의 변화가 심할 것으로 판단되는 경우에는 이를 기록, 보고하여야 한다.
- ③ 지반조사로부터 시공현장과 그 주변의 지반 및 지하수 상태와 관련된 자료를 얻을 수 있어야 한다.
- ④ 기존자료 조사는 현장답사에 우선하여 시행하여야 한다.

(2) 현장답사 방법은 다음과 같다.

- ① 현장답사는 야외조사를 통하여 지형이나 지질 및 지반 상태를 확인하거나 지역 주민들과의 청문을 통하여 과거의 지형 변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사 자료에서 나타난 사항을 확인하고 도상계획에 참고할 수 있도록 하여야 하며, 조사 수행에 영향을 줄 수 있는 제반현장 여건을 확인하여 원활한 본조사 계획 수립에 반영될 수 있도록 하여야 한다.
- ② 주요 조사내용은 지형, 지질구조, 지표수 및 지하수, 인근 구조물 유지 상태, 지하매설물, 조사위치, 장비 이동통로 등이며, 필요시에는 삽 또는 핸드오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역 전반에 걸쳐 개략적인 지반조건을 조사하고 시추계획에 반영하여야 한다.
- ③ 현장답사 결과는 정리하여 구조물 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 하여야 하며 이미 계획된 사항에 대하여는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 하여야 한다.

3.3.4 본조사에서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 지표지질조사 방법은 다음과 같다.

- ① 지표지질조사는 현장 정밀조사 이전에 지형, 토질, 지질구조, 암상과 지층, 지하수 등의 종류, 분포 및 상태 등을 개괄적으로 파악하여 본조사를 실시할

때에 기본 자료로 활용하고 본조사의 경제적 및 시간적 효율을 높이기 위하여 실시하여야 한다.

- ② 일반적으로 지표지질조사를 목적으로 하는 항공사진 판독은 1:10,000 이상의 축적으로 촬영된 항공사진의 이용을 원칙으로 하며, 인공위성 사진인 경우에는 별도의 제한이 없다.
 - ③ 지표지질조사는 터널 공사에 제한 조건으로 작용하는 층리, 절리, 습곡, 단층 및 파쇄대 등과 같은 지질구조, 지표에서 관찰되는 공동, 암중분포 등과 같은 지질특성을 파악하고 필요 시 물리탐사 결과와 비교분석하여 큰 축적의 지질도를 1차적으로 작성한 후 본조사의 효율적 계획 수립에 반영하여야 한다.
 - ④ 1차적으로 작성된 지질도는 본조사의 시추조사, 시험 결과 및 물리탐사 결과와 비교분석하여 지질구조의 특성을 보완하고 표층지반, 암질, 지하공동, 암중경계, 지하수 등의 사항을 표시한 지질평면도, 지질종단면도 등을 최종적으로 작성하여 설계에 반영하여야 한다.
- (2) 시추조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
- ① 지반종류, 지질구조, 공학적 성질, 절리분포, 지층의 구성과 지하수위를 파악하고 흐트러진 또는 흐트러지지 않은 시료를 채취하며 현장시험을 수행하기 위하여 시추조사를 실시하여야 한다.
 - ② 시추조사 위치는 관련 기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고 유관기관과 협의 후 반드시 인력 터파기나 탐사방법 등을 이용하여 지하매설물의 유무를 확인한 후에 선정하여야 한다. 또한 시추공 천공지점이 터널식 전력구 예정노선 상부에 위치하지 않도록 계획하여야 한다.
 - ③ 시추는 원칙적으로 NX 규격의 이중 코아배럴을 사용하여 실시하여야 하며, 대심도 시추 시에는 NQ 규격도 사용할 수 있다. 또한, 풍화대나 파쇄대 등에서는 코아의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코아배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다.
 - ④ 시추는 수직으로 실시하는 것을 원칙으로 하되 조사의 목적과 현장 조건을 고려하여 경사 또는 수평시추를 수행 할 수 있다.
 - ⑤ 토피가 낮은 구간에서는 충분한 시추조사 및 물리탐사 등을 시행하여 지층 변화를 상세히 파악하여야 하며, 지반침하(함몰) 영향검토 시 기초 자료로도 활용하여야 한다.

- ⑥ 시추공의 배치계획은 해저에 건설되는 터널식 전력구 공사의 특성, 현장 여건 등 제반사항을 고려하여 수립하여야 하며, 단층이나 파쇄대 등 공사에 장애가 되는 구간이나 불규칙한 지층 또는 주요구조물 등 특수한 주변여건 때문에 지반상태를 확인할 필요가 있는 경우에는 시추간격을 축소 조정하여야 한다.
 - ⑦ 시추 심도를 터널 직경 이상(1.0D)의 깊이까지 실시하는 것을 원칙으로 하되, 특정한 목적 또는 물리탐사 등으로 파쇄대·연약대 등의 존재 확인 시에는 필요한 심도까지 증가시킬 수 있다.
- (3) 지구물리탐사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
- ① 기반암의 특성, 불연속면의 위치 및 방향, 조성 물질 등 지질특성과 지하수, 지장물 등 주변 여건을 고려하여 해당 목적에 적합한 탐사법을 적용하여야 한다.
 - ② 지구물리탐사의 결과는 현장측정자료, 자료의 전산처리 결과 및 최종 해석 결과로 나타내어야 하며, 사용 장비명, 측선 및 측정점의 위치도와 현장 탐사 시 특기사항의 자세한 서술이 포함되어야 한다.
 - ③ 탐사결과를 해석한 단면은 탐사자료를 기초로 해석한 기반암의 분포, 연약대 또는 파쇄대의 발달 정도 등 도식적 또는 서술적 해석 결과가 첨부되어 설계 및 시공에 유용한 정보를 제공할 수 있어야 하며, 시추 결과 또는 지질조사 결과와의 비교해석이 포함되어야 한다.
 - ④ 물리탐사 결과의 해석은 실효성 있는 가탐심도 범위 내에서 시행되어야 하며, 이상대가 나타난 경우에는 보완조사를 시행하여 이상대의 특성과 규모를 파악한 후 암반 분류에 반영되도록 한다. 설계 단계에서 보완조사가 곤란할 경우에는 공사 중에 시행될 수 있는 조사방법을 제시하여야 한다.
- (4) 지구물리검층 시에는 다음 사항을 고려한다.
- ① 지질학적, 수문지질학적, 지반공학적 특성과 연계하여 구성 암석, 균열 상태(fracturing), 지하수 유동과 물리·화학적 성질 등의 지반정보를 얻을 수 있도록 하여야 한다.
 - ② 물리검층자료는 해석에 용이할 수 있도록 조밀하게 측정하여야 한다.
 - ③ 지구물리검층 시에는 측정 자료의 품질을 확보할 수 있도록 안정적인 측정시스템을 적용하여야 한다.

3.4 시험

3.4.1 현장시험 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 현장 지반특성을 파악하기 위한 현장시험은 시험항목별로 대상 지반에 대한 적용성을 검토하여 수행하여야 한다.
- (2) 시험항목과 빈도는 해저에 건설되는 터널식 전력구 공사의 특성, 현장 여건 등 제반사항을 감안하여 선정하여야 하며, 일반 시험항목 이외에도 필요한 목적에 적합한 시험방법을 선정하여 적용할 수 있다.
- (3) 공사의 규모나 지역 및 지질구조의 특성상 초기지압응력을 구할 필요가 있을 경우에는 지반 상태를 감안하여 적절한 방법을 선정하여야 한다.

3.4.2 실내시험 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 실내시험은 대상지반에 따라 토질시험과 암석시험으로 구분하여 시행하며 지반조건, 지질구조, 굴착방법, 설계기법 등을 감안하여 시험방법을 선정하여야 한다.
- (2) 실내시험은 원칙적으로 한국산업규격(KS) 및 건설교통부 발행 기술지도서에 제시된 시험방법에 따라서 수행한다. 단, 동 규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다.
- (3) 암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행하며, 시료의 제작 및 시험방법은 국·내외에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용하여야 한다.
- (4) 내진검토를 위한 동적지반정수 산정을 위하여 공진주시험, 비틀전단시험, 자유단공진주시험, 진동삼축압축시험 등과 물리탐사인 다운홀(downhole)탐사, 크로스홀(crosshole)탐사, S-PS검층, 음파검층, 밀도검층 등을 설계 목적에 적합하게 선정하여 수행하여야 한다.
- (5) TBM 설계를 위한 실내시험으로 암석의 종류를 구분하고 현미경 관찰 등을 통하여 광물 입자 경계 조건, 미세균열상태, 광물 입자의 배열, 광물 입자의 크기와 모양, 마모도가 강한 광물의 함량인 석영(quartz), 석류석(garnet), 녹염석(epidote) 등 광물 조성 및 미세 조직 특성을 기재하여야 한다.
- (6) TBM 터널 굴진 성능 예측을 위해서 Vicker 경도시험, 슈미트해머시험, 모아경도시험, 쇼어경도시험 등 시험 방법을 검토하여 적용할 수 있으며, 이외에도 필요한 경우 세르샤(Cerchar)마모시험, Taber 마모시험, 펀치투과시험(punch penetration test), NTNU AV-test 및

축소천공시험(miniature drill test), 취성도시험(brittleness-value test), 암석 절삭시험(rock cutting test) 등 에 대한 적용성을 검토 하여 설계 및 시공에 활용할 수 있다.

3.5 시공 중 보완조사

3.5.1 시공 중 보완조사 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 시공 중 보완조사는 예비조사와 본조사 단계에서 민원 등 부득이한 이유나 기술적 한계 등으로 인하여 충분한 조사가 시행되지 못한 경우, 또는 시공 중 지반 변화가 예상되어 추가조사가 필요한 경우에 실시하여야 하며, 현장 여건을 고려하여 필요한 지반정보가 얻어질 수 있도록 조사항목과 조사수량을 계획하여야 한다.
- (2) 시공 중 보완조사의 목적은 굴진면 전방과 굴진면 주변의 지반 상태를 파악하는데 있다. 시공 중 노출된 지반 상태나 TBM 굴진상태를 분석하여 예상치 못한 지반 변화가 추정되거나 시공 중 예측 결과가 이상치를 보일 경우 추가 조사 및 시험을 실시할 수 있다.
- (3) 시공 중 보완조사로 감지공 천공(feeler hole), 수평시추, 막장전방탐사 및 프루브드릴링(probe drilling) 등을 검토하여 적용할 수 있다.

3.5.2 해저 터널식 전력구에 쉼트TBM 장비를 적용하는 경우에는 필요한 경우터널의 막장전방 예측기술 및 설계안전성 검토 등의 시공리스크 관리기법을 검토하여 적용하여야 한다.

- (1) 지반조사의 불확실성 등으로 인해 설계 시에 확인하지 못한 연약대, 풍화대 등 취약한 지반이 출현하거나 이를 통해 지하수(해수)가 유입되는 등 위험상황이 발생할 수 있으므로 막장전방 예측기술 및 시공리스크 관리기법을 검토하여 적용하고 필요한 경우 적절한 보강대책을 사전에 수립하여야 한다.
- (2) TBM 굴진 중 막장전방 예측 시스템은 직접 확인방법인 선진수평시추, 영상장비 등과 간접 확인방법인 막장전방지반 탐사 방법, 프루브드릴링 센서를 이용하는 방법 등이 있으므로 해저 터널식 전력구 시공 장비 및 지반조건에 적합한 탐사방법을 검토 적용할 수 있다.

3.6 지반침하(함몰) 및 공동 조사

- 3.6.1 해저 터널식 전력구 계획 시 필요한 경우에는 지반침하(함몰) 및 공동의 유무, 규모, 상태 발생원인 등을 확인하기 위한 조사를 실시하여야 한다.
- 3.6.2 해저 터널식 전력구 시공 시 용출수 및 지하수위 측정 등을 통해 주변 지하수 변동을 파악하여 지반침하(함몰) 영향을 확인하여야 한다.
- 3.6.3 굴착에 의해 영향을 받을 수 있는 범위를 선정하고 이 범위에 포함되는 근접구조물 및 매설물에 대해서는 상세조사를 수행하여 지반침하(함몰) 및 공동발생 검토 등 설계 시 기초자료로 활용하여야 한다.

3.7 지반조사 성과의 정리

- 3.7.1 조사된 지반 정보를 종합하여 설계에 활용될 수 있도록 토질분류와 암반분류로 구분하여 지반조사 성과를 정리하여야 한다.
- 3.7.2 지반의 성인에 따른 분류는 응용지질도로, 지반의 공학적 분류는 지반등급도 또는 암반등급도의 형태로 작성하고 공학적 분류는 각 지층의 설계 정수를 산정하고 설계 지침을 작성하는데 활용하여야 한다.
- 3.7.2 지표지질조사 결과는 응용지질도로 정리하여야 하며, 응용지질도는 터널 구간을 포함하는 광역지질도(1:25,000)와 정밀응용지질도(1:5,000)로 구분하여 작성한다.
- 3.7.3 시추조사 결과는 일정한 양식의 시추 주상도에 정리하여야 하며, 지층설명은 색조, N치, 강도, 풍화도, 균열 상태, 암석명, TCR, RQD 등을 포함하여 상세하게 기록하고 시추 주상도와 지구물리탐사 등 관련 자료를 참고하여 터널 구간의 지질단면도를 작성하여야 한다.
- 3.7.4 채취된 시료는 일정한 규격의 시료병이나 시료상자에 정리하고 시료상자에 정리된 시추코어는 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에서 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리하여야 하며, 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록하여야 한다.
- 3.7.6 공내재하시험, 수압시험, 투수시험, 초기응력 측정시험 등 현장시험이나 지구물리탐사의 결과는 각각 그 목적에 적합한 정보가 자세히 기록될 수 있는 일정한 양식에 정리하여야 하며, 조사 의도가 명확하여야 한다.
- 3.7.7 터널 시추주상도 작성 시 RMR 평가에 필요한 최소 정보를 구분하고, 이를 만족시킬 수 있는 표준 시추주상도는 공학적 지질정보와 지층정보를 체계적으로 분리하여 작성하여야 한다.

3.7.8 암반 분류 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 조사와 시험으로부터 수집된 제반 정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사 목적에 부합되도록 다음 사항 중 필요한 사항을 선정하여 암반을 분류하여야 한다.
 - ① 압축강도
 - ② 탄성과속도
 - ③ 변형계수
 - ④ RQD
 - ⑤ 불연속면의 간격 또는 빈도
 - ⑥ 불연속면 상태(거칠기, 풍화도, 연속성, 틈새, 충전물 두께/특성 등)
 - ⑦ 불연속면의 주향 및 경사
 - ⑧ 지하수 상태
 - ⑨ 초기응력 상태
 - ⑩ 암석 종류, 풍화도, 수침 시의 특성 등 암반의 거동특성에 영향을 주는 지반특성
- (2) 암반 분류는 RMR, Q-시스템 등을 적용할 수 있으며, 특히 RMR의 경우 일축압축강도나 RQD 등과 같은 계량화가 가능한 평가요소의 경우는 Bieniawski의 제안 그래프(1989)를 이용하여 점수를 산정할 수 있다. RMR에 의한 암반 분류는 5등급으로 분류하는 것을 원칙으로 하되, 터널의 크기, 용도 및 지역특성을 고려하여 5등급 이상으로 세분화할 수 있다. 함수미고결지층 등과 같이 특수한 지반 조건이 존재할 경우에는 이를 별도의 지반등급으로 분류하여야 한다.
- (3) 가능한 현장 시추자료를 근거로 각각의 암반분류를 수행한 후 상관관계를 적용하는 것을 원칙으로 하되, 자료가 부족할 경우에는 상관관계식 $RMR=9\ln Q + 44$ (Bieniawski, 1976)와 $RMR=15\log Q+50$ (Barton, 1995)을 활용하여 상호 보완할 수 있다.
- (4) 시추가 불가하여 수행되지 않은 미시추 구간의 암반분류 시에는 다음 사항을 적용 할 수 있다.
 - ① 터널 전 구간에 대해 시추조사를 수행한다는 것이 현실적으로 불가능할 뿐만 아니라 비경제적이므로, 시추가 수행되지 않는 구간에서는 다른 조사방법에 의해 암반등급을 결정한다.

② 터널 전 구간에 대한 지반특성은 전기비저항 및 탄성과탐사와 같은 물리탐사 기법에 의하여 조사한다. 지하매질의 암반상태는 지하수 및 불연속면의 발달에 의해 크게 결정되는데, 탄성과속도에 비해 전기비저항 측정치가 이와 연관성이 높기 때문에 전기비저항 측정치를 기준으로 암반상태를 추정하는 것이 일반적이다.

③ 지하매질의 전기비저항 측정치로부터 RQD, RMR 및 Q와 같은 암반등급을 결정하기 위해서는 상관관계에 대한 분석을 통해야 하며, 이는 미시추구간의 암반등급 산정에 활용되고 있다.

④ 최근에는 미시추 구간의 암반분류를 위해 지구통계학적인 접근법인 지시크리깅 기법을 적용할 수 있다.

3.7.9 TBM 굴착공법 선정, 암반분류, 설계정수 산정 등 설계에 필요한 지반조사 및 분석 내용은 <표 3.1>과 같으며 목적하는 해저 터널식 전력구 설계에 필요한 조건을 검토하여 적용할 수 있다.

<표 3.1> TBM 터널의 주요 설계항목에 필요한 조사(예)

설계항목		설계 필요 사항	조사 및 분석
전 력 구 터 널 설 계	굴 착 공 법	• TBM 장비 적용성 검토 • 장비별 굴진율 분석 • 굴착 난이도 평가 • 굴착압 유용성 평가	• 세르샤(Cerchar) 마모시험, 편치투과시험, 선형절삭시험 • 실내 압축 시험 • 기계굴착 모델링(CSM, NTNU, QTBM) • 본선암 유용성 시험
	암 반 분 류	• TBM 설계를 위한 암반분류	• 시추코아 건설표준품셈 분류 • RMR, Q, QTBM 암반분류 • 전기비저항탐사+대심도 탄성과탐사 • 시추조사와 물리탐사결과 상관성분석 • 암반등급도 작성
	설 계 정 수	• 토사층 설계 정수 • 암반 연속체 설계 정수 • 암반 불연속체 설계 정수 • 내진 및 수리 상수	• 표준관입시험, 공내재하시험, 실내시험 • 삼축압축시험, 절리면 직접전단시험 • 수압파쇄시험 • BIPS, 텔레뷰어(televiewer), scan line조사 • 지표투수시험, 양수시험
	단 층 대 특 성	• 단층대 위치 및 규모 • 단층 최대 변위량 • 측압계수 및 지중응력상태	• 인근 지역 설계자료 분석 • 경사 시추 • 단층 최대변위량 분석 • 수압파쇄시험
	근 접 공 구 간	• 지중 및 지상 횡단구조물 현황 • 주요 근접구조물 현황 • 구조물 인접구간 3차원 지층 상태	• 격자형 시추 • 탄성과 토모그래피 탐사 • 시추공 및 실규모 시험발파 • 수직구 구간 GPR 탐사
	방 배 수 설 계	• 지하수위 강하량 • 터널 내 지하수 유입량	• 투수 및 수압시험 • 양수 시험, 수질 검증

		· 지하수 모델링을 통한 지하수 유동 분석
상부지반 안정성 검토	· 지하수위 강하량 · 지반의 공학적 특성	· 취약구간 격자형 시추 · 퇴적토층 기원분석 · 토사층 삼축압축시험, 압밀시험 · 양수시험 병행 지중침하 계측 · 그라우팅 시험시공
수직구 및 가시설 설계	· 연약지반 분포 유무 · 지층분포 현황 · 지층별 설계정수 · 지반 동적 특성	· 시추조사(수직구별 1~2공 수행) · 표준관입시험, 공내재하/전단시험 · MASW 탐사, 하향식 탄성파탐사, S-PS검층, BIPS, 텔레뷰어(televiewer)
유지관리	· 지하수 오염 및 오염원 확산 가능성	· 잠재오염원 현황 파악 · 추적자 시험 · 지하수위/수질 장기 모니터링 시스템 구축

3.7.10 TBM 굴진성능 예측을 위한 CSM, NTNU, QTBM 모델에 필요한 지반조사 및 분석 내용은 <표 3.2>와 같으며 필요한 경우 지반조사 및 시험결과를 분석하여 최적의 장비 및 체원을 선정하는데 기초 자료로 활용할 수 있다.

<표 3.2> 굴진 성능 예측 모델 및 시험

적용모델	평가 내용	평가 요소	입력치	조사 및 시험
CSM 모델	· 커터작용 하중	· 커터압입 깊이	· 일축압축강도 · 인장강도 · 인성(toughness)	· 일축압축강도시험 · 간접인장시험 · 펀치투과시험
	· 굴진 성능 예측: 최적 굴진 속도	· 순굴진 속도 (ROP)	· 광물조성 및 조직 · 밀도 및 공극율 · 엽리/층리, 절리	· 광물 분석, 암종분류 · 흡수율시험 · 불연속면 관찰
	· 커터 수명 예측	· 순굴진 속도	· 셰르샤 마모지수	· 셰르샤 마모 시험
NTNU 모델	· 굴진 성능: 기본압입량 (i0), 단위압입률 (I), 가동률, 굴진시간	· DRI	· SJ · S20	· Siever's J value test · 취성도시험
		· 등가균열계수 · 균열계수(Ks) · D R I 계 수 (KDRI)	· Fracture class · 터널과 교차각	· 단열간격 조사 · 단열방향 조사
	· 커터 수명 예측: 커터링 기본수명, 커터링 평균수명	· 커터 수명 지수 · CLI · 석영함유량	· SJ · AVS · kQ	· Siever's J value test · NTNU 마모시험 · 광물분석
QTBM	· TBM 난이도, 압 입률, 굴진율, 가 동률	· Q value	· RQD0	
		· 암반 강도 (SIGMA)	· 일축압축강도 · 점하중강도 · 단위중량	· 일축압축강도시험 · 점하중강도시험
		· CLI · 석영함유량 · m	· SJ, AVS · q(석영 함량)공극률	· Siever's J value test · NTNU 마모시험 · 광물분석
		· 막장응력		· 수압파쇄시험 · AE/DRA
합경도 모델	· 압입률, 굴착속도, 가동률, 커터소모 율	· 합경도	· 반발경도 · 마모경도	· 슈미트해머시험 · Taber 마모시험

제4장 해저 쉘드TBM터널 설계

4.1 쉘드TBM 적용 일반

4.1.1 설계 일반

- (1) 해저터널을 쉘드TBM으로 굴착할 경우의 설계기준이며, 이 기준에 기재되지 않은 사항은 별도로 정할 수 있다.
- (2) 해저 쉘드TBM터널은 조사결과를 기초로 하여 사용목적의 적합성, 안전성, 경제성, 시공성 등 기계굴착의 장점을 최대한 활용할 수 있도록 설계해야 한다.
- (3) 시공 중 관찰과 계측 결과로부터 실제 지반조건이 설계 시의 예측 지반조건과 상이할 경우는 설계변경을 통하여 조정해야 한다.

4.1.2 해저 쉘드TBM터널 설계 시 필수 고려사항

- (1) 해저 쉘드TBM터널은 해저면 아래 건설되므로 토파가 작고, 상대적으로 높은 수압조건에 놓일 수 있다. 따라서 수압에 적절히 대응할 수 있는 쉘드TBM 장비 형식의 선정 및 터널 설계를 하여야 한다.
- (2) 해저 쉘드TBM터널은 터널의 연장이 길기 때문에 마모에 따른 굴착도구의 교체 및 장비수리 횟수가 증가하게 된다. 쉘드TBM 장비 형식 및 굴착도구의 선정 시 긴 연장을 고려하여 내구성을 검토해야 하며, 장비의 유지관리를 횟수를 경감시키기 위한 대책을 강구해야 한다.
- (3) 해저 쉘드TBM터널 설계 시 상세한 조사가 선행되어야 하며, 조사결과를 분석하여 통과지층의 물리적 성질, 단층파쇄대 유무 및 규모, 만수위시 터널작용 막장압 등을 고려하여야 한다.
- (4) 해저 쉘드TBM터널의 경우 시추조사 뿐 만 아니라 기타 지반정보 및 정리조사(mapping)가 육상 터널에 비해 제한적이므로 지반조건에 대한 정보가 상대적으로 부족하다. 따라서 지질적 불확실성을 고려한 설계 및 이러한 한계를 극복하기 위한 대책을 강구해야 한다.
- (5) 해저지반 내 연약층 조우 시 막장압 저감, 커터헤드 인터벤션 시 수압 저감을 위한 별도의 지반보강그라우팅 장치를 TBM 장비 설계 시 반영하여야 한다. 보강그라우팅 장치는 막장 상부에 대한 보강그라우팅과 스킨 플레이트를 따라 수행하는 보강그라우팅을 모두 사용할 수 있다.
- (6) 단층 파쇄대와 같은 이상 지반이 예측되어 보강이 필요하다고 판단되는 경우 갱내 보강 등 적절한 통과 대책을 수립할 필요가 있다.

(7) 또한 현장조건에 맞도록 기기의 종류와 그 특성을 사전에 숙지해야 하며, 다음 사항을 검토하여 현장조건에 적합하게 해야 한다.

- ① 쉘드TBM터널 내공단면의 크기
- ② 쉘드TBM 장비의 선정
- ③ 커터헤드 설계
- ④ 쉘드TBM 조립장 및 발진기지 및 도달기지
- ⑤ 버력처리 및 운반시스템
- ⑥ 지보 및 변형 여유량
- ⑦ 세그먼트 라이닝
- ⑧ 배수 및 방수
- ⑨ 인버트
- ⑩ 보조공법
- ⑪ 가시설
- ⑫ 작업자 통로
- ⑬ 방재, 조명 및 환기
- ⑭ 수전설비 등 각종 설비
- ⑮ 부대시설 규모 및 소요 공간

(8) 터널 내진설계는 한전의 ‘송배전설비 내진설계 실무지침서’를 참조 한다.

4.2 쉘드TBM 장비선정 및 성능의 검증

4.2.1 쉘드TBM 장비는 해저터널의 고수압조건 대비하여 밀폐형(close-type)을 기본으로 적용하여야 한다. 우선적으로 슬러리 쉘드TBM 적용을 검토하며, 수압 및 지반조건, 터널크기, 연장 및 선형 등을 종합적으로 고려하여 다른 형식의 밀폐형 쉘드TBM 형식(토압식 쉘드TBM, dual type 쉘드TBM)의 적정성을 검토하여 최적의 장비를 선정한다.

4.2.2 예상치 못한 지하수 유입에 대비하여 밀폐형 쉘드TBM은 항상 굴진면에 압력(슬러리압, 토압, 공기압)이 가해지도록 제작해야 하며, 압력 센서의 설치를 통하여 소정의 압력을 유지하도록 관리할 수 있게 한다.

4.2.3 굴착기구는 굴진 중 수리·교체를 최소화할 수 있도록 충분한 내마모성을 가지도록 하며, 디스크 커터, 비트와 같은 굴착도구들의 교체작업이 챔버 내부에서 가능하도록

해야 한다.

4.2.4 해저터널에서 커터헤드 인터벤션을 위해 고압상태의 챔버 내부를 진입하기 위한 적정 수의 맨록과 감압설비 설치를 고려해야 한다.

4.2.5 커터헤드는 인스펙션, 샘플링, 수리를 위해 굴진면으로 진입이 가능하도록 제작되어야 한다.

4.2.6 슬러리 쉘드TBM

(1) 막장 전방 지반의 투수성을 고려하여 챔버내부에 공급되는 슬러리의 농도 및 점성을 조절할 수 있도록 해야 한다.

(2) 슬러리 배출 시스템은 배출되는 슬러리의 농도 및 점성을 정확하게 조정할 수 있도록 해야 한다.

(3) 슬러리 배출 파이프와 펌프 배치, 슬러리 처리시설은 쉘드TBM의 최대 속도에 부합되도록 해야 한다.

(4) 굴착토사에 굵은 입자의 자갈이나 암편 포함될 가능성이 있는 경우, 암 파쇄장치나 자갈 제어장치를 구비하도록 해야 한다.

4.2.7 토압식 쉘드TBM

(1) 커터헤드, 챔버 격벽, 스크류컨베이어에 굴착토사의 소성유동화 관리를 위한 첨가제 주입 시스템을 설치하여야 하며, 이를 통해 배토를 용이케 하고, 굴착토사의 지수성을 개선해야 한다.

(2) 막장면이 복합지반으로 이루어져 챔버 내부 압력이 감소하는 경우에 대비하여 자동으로 슬러리를 주입하여 감소한 압력을 보충할 수 있도록 보조 굴진면 지지 시스템을 설치하여 굴진면의 안정을 유지하여야 한다.

(3) 해저터널에서는 다단 스크류 컨베이어, 게이트부 긴급 지수기구 등 고수압 조건에 부합된 스크류 컨베이어 시스템을 적용해야 한다.

4.2.8 쉘드TBM 장비 본체

(1) 쉘드TBM 외경은 소요 여굴량, 세그먼트 외경, 테일 클리어런스 및 테일 스킨플레이트 두께를 고려하여 결정해야 한다.

(2) 쉘드TBM의 길이는 쉘드TBM 형식, 커터헤드의 지지구조, 세그먼트, 테일 실의 길이, 중절장치의 유무 등을 고려하여 결정해야 한다.

(3) 쉘드TBM은 쉘드테일 후미에 생성되는 테일 보이드를 생성과 동시에 그라우팅할 수 있도록 해야 한다. 이 때 그라우팅 시스템은 주입압과 주입률을 모두 컨트롤할

수 있도록 하여 쉘드TBM 굴진량에 부합되어 그라우트가 주입되도록 한다.

- (4) 테일 실은 최소 3열 이상의 와이어 브러쉬 실을 사용해야 하며, 내부 2열은 교체가 가능하도록 해야 한다. 테일 실은 인버트 부에 작용하는 하중 및, 쉘드TBM 추진과 그라우팅으로 인한 압력에 의해 변형이 생기지 않아야 하며, 터널 내부로 지하수, 그라우트, 슬러리가 유입되지 않도록 제작되어야 한다. 특히 해저터널에서는 수압이 높고, 이에 따라 그라우팅 압력이 높으므로 이에 부합되도록 해야 하며, 수밀성에 대한 검증을 할 필요가 있다.
- (5) 쉘드에 중절이 필요한 경우, 선형 뿐 만 아니라 고수압 조건을 고려하여 적절한 중절 형식 및 구조를 선정해야 하고, 이에 적합한 실(seal) 시스템을 선정·적용해야 한다. 선정한 실 시스템의 수밀성에 대한 검증을 할 필요가 있다.

4.2.9 추진기구

- (1) 쉘드TBM의 총 추진력은 총 추진 저항력에 약간의 여유를 두어 고려하여야 한다.
- (2) 쉘드TBM 잭의 선정 및 배치는 쉘드TBM의 조향성, 세그먼트의 구조, 세그먼트 조립시 시공성 등을 고려하여 결정해야 한다.
- (3) 쉘드TBM 잭의 스트로크는 세그먼트의 폭에 소요의 여유를 더한 것으로 하여야 하며, 특히 K-세그먼트의 삽입방향에 유의하여 결정해야 한다.
- (4) 쉘드TBM 잭의 추진속도는 토질 및 쉘드TBM 형식에 적합하게 결정해야 한다.
- (5) 쉘드TBM 잭 선단에 스프레더를 설치하여 세그먼트의 단면에 균등하게 추력이 분포하도록 해야 한다.

4.2.10 세그먼트의 조립기구인 이렉터는 쉘드TBM 형식과 규모, 세그먼트, 작업사이클 등을 고려하여 세그먼트 조립을 정확하고 능률적으로 할 수 있어야 하며, 이렉터의 능력은 세그먼트의 종류, 형상, 중량, 치수 및 조립순서 등을 고려하여 결정해야 한다.

4.2.11 쉘드TBM의 제작은 검증된 제작업체를 통해 설계시 요구성능을 만족할 수 있도록 제작되도록 한다.

4.2.12 쉘드TBM 장비와 백업(back-up)장비들이 현장으로 반입되기 전, 제작 공장 내에서 조립·시운전하여 설계 시 요구 성능의 만족여부와 성능 발휘여부에 대해서 확인한다.

4.2.13 쉘드TBM 장비와 백업(back-up)장비들은 운반방법이나 현장조건에 맞게 적절하게 분할하여 현장으로 반입되도록 하며, 현장 조립 후 설계시 요구 성능 및 성능 발휘여부가 공장 내 시운전시와 동일한지 확인해야 한다.

4.2.14 장비 부품들이 재활용되는 경우 새 장비와의 성능차가 발생하지 않도록 한다.

- 4.2.15 과업구간 내 고수압 구간, 파쇄대 등 위험구간이 예측되는 경우 해저구간 지반조사의 한계점을 보완하기 위해 막장전방의 지반상태를 예측할 수 있는 적합한 장치(probe drilling, 막장전방탐사 장치 등)를 쉘드TBM 장비설계 시 반영하여야 한다.
- 4.2.16 해저지반 내 연약층 조우 시 막장압 저감, 커터헤드 인터벤션 시 작용수압 저감을 위한 별도의 지반 그라우팅 장치를 TBM장비 설계시 반영하여야 한다.

4.3 디스크 커터의 선정 및 교환

- 4.3.1 커터와 비트의 결정시에는 지반조건에 적합한 커터와 비트의 종류, 형상, 재질 및 커터헤드에서의 배치를 고려하여야 한다.
- 4.3.2 디스크 커터는 소모품으로서 굴착지반의 압축강도, 경도, 석영함유율 등을 고려하여 내구성과 마모량을 정확하게 산정·검토해야 한다.
- 4.3.3 TBM 장비의 굴진효율이 떨어지기 전에 커터 또는 비트를 교환하여야 한다. 교환이 필요한 경우에는 지반조건, 수리조건을 고려하여 교환 위치를 계획해야 한다. 또한 커터가 편마모 되었거나 파손된 경우 커터의 베어링, 실링, 커터 하우스 기능의 정상여부도 점검하여 수리 후 재사용 또는 폐기를 결정해야 한다. 또한 이상 마모가 발생하는 경우 원인을 파악하여 굴진 에 반영하여야 한다.
- 4.3.4 고수압 조건에서의 커터헤드 인터벤션 수행계획을 설계단계에서부터 고려하여 막장면 지반조건, 수리조건에 따라 적절한 막장 안정방법(해상 그라우팅, TBM 갱내 전방 그라우팅, 압기 등)을 선정하여 적용해야 한다.

4.4 막장압과 뒤펀 관리

- 4.4.1 이 설계기준은 쉘드TBM의 막장압(face pressure)과 뒤펀 관리 설계에 대한 기준이다. TBM을 시공하는 경우에는 지표면이나 지하매설물 등에 미치는 영향이 최소화될 수 있도록 굴진면 압력관리(막장압관리)와 뒤펀 주입관리를 적합하게 계획하여야 하며, 필요 시 보조공법을 적용하여 안정성을 확보할 수 있다.
- 4.4.2 해저터널에서는 지반과 지하수조건이 중요하며, 토피고가 낮거나 때에 따라서는 과도한 지하수압이 상부 토압 보다 클 수 있으므로 장비의 부력 가능성을 설계단계에서 고려해야 한다.
- 4.4.3 쉘드TBM의 막장압을 산정할 경우에 한계평형과 토압이론에 의한 해석적인 방법과 2차원 및 3차원 해석에 기반한 수치적 방법이 있으며 각 방법의 한계점을 이해하고

현장 여건 및 목적에 따라 안전율을 고려하여 적절한 방법을 선정해야 한다.

4.4.4 굴진면의 안정을 위한 관리 막장압은 반드시 TBM 전구간 선형을 따라 시공 전에 준비되어야 한다.

4.4.5 굴진면의 안정을 위하여 해저 조건에서의 토압 및 수압에 저항하는 이수압력 또는 챔버 내 굴착토의 압력 등 막장압력뿐만 아니라 배토량을 관리할 수 있는 가이드를 설계단계에서 제시하여야 한다.

4.4.6 토압식 쉘드TBM의 추진과 굴진면 안정

(1) 쉘드TBM의 추진에 따른 원만한 배토가 이루어질 수 있도록 챔버 내 토압과 굴착량을 측정하여 굴착속도를 조절하여야 하며, 커터헤드의 회전속도와 추력의 크기 등을 파악하여 굴진면 안정관리를 실시하여야 한다.

(2) 토압식 쉘드TBM 시공 시 첨가제 주입장치를 통하여 굴착토를 소성 유동화 시키기 위하여 필요한 양의 첨가제를 적절한 위치에서 주입할 수 있도록 설계에 반영해야 한다.

4.4.7 이수식 쉘드TBM의 추진과 굴진면 안정

(1) 이수관리시스템은 이수에 의한 굴진면의 유지, 굴착머력의 이송, 분리 및 처리, 재순환을 포함하며, 지반조건과 시공성을 고려하여 자동화 체계로 운용되어야 한다.

(2) 굴진면의 안정을 유지하기 위한 이수의 농도와 밀도, 비중, 점성, 이수압 등은 토압과 지하수 압력을 고려하여 관리치를 설계단계에서 설정해야 한다.

(3) 막장 전면의 이수압은 송니펌프와 배니펌프의 회전속도로 조절하며, 굴착량을 측정하여 굴착속도를 조절하여야 하고, 커터헤드의 회전속도와 추력의 크기 등을 파악하여 굴진면 안정관리를 실시하여야 한다.

4.4.8 쉘드TBM의 테일 보이드로 인한 지반의 변형방지와 세그먼트에서의 누수방지, 굴진반력에 의한 세그먼트의 조기 안정성 확보를 위하여 뒤택음 주입을 실시하여야 한다.

4.4.9 세그먼트 라이닝 배면 공극에 주입하는 뒤택음 주입방법은 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

(1) 뒤택음 주입방법은 쉘드TBM 측면에서 추진으로 테일 보이드의 발생과 동시에 TBM장비에 설치된 주입관을 통해 주입하는 동시주입방법, 스킨 플레이트가 조립된 1개 세그먼트를 벗어나는 즉시 그라우트홀을 통해 주입하는 즉시주입방법,

몇 링 후방에서 세그먼트 그라우트 홀을 통해 주입하는 후방주입이 있으며, 쉘드TBM 종류와 현장지반 조건 등을 고려하여 설계하여야 한다.

- (2) 해저터널 전력구와 같이 소형단면에서는 쉘드TBM의 특성과 적용 조건에 적합한 뒤채움 주입방식을 선정하되, 만일 대형단면으로 변경이 가능하다면 테일 보이드에 의한 지반침하를 억제하기 위해 동시주입을 선호한다.
- (3) 특히 해수의 침투가 염려되는 해저터널의 경우 테일 보이드로 인하여 과도한 침하 또는 터널안정성에 영향을 미치지 않도록 적절한 주입방법을 선택하여야 한다.

4.4.10 세그먼트 라이닝 배면 공극에 주입하는 뒤채움 주입관리는 주입 압력에 의한 관리방법과 주입량에 의한 관리방법으로 구분하며, 설계에서는 두 가지 방법을 혼용하여 관리할 수 있도록 적절한 방법을 제시해야 한다.

- (1) 뒤채움 주입 후에 미충저부가 발생하거나 쉘드의 추력에 의해 세그먼트와 지반 사이에 틈이 발생하는 경우에는 추가 주입을 제시하여야 한다.
- (2) 해저터널의 경우 고수압을 극복하여 추가적인 뒤채움 압력을 가해주어야 하므로 고압 뒤채움 주입 시 지반과 세그먼트의 변형이나 이음 볼트의 절단이 생기지 않도록 설계 단계에서 검토하고 관리 압력을 제시해야 한다.
- (3) 뒤채움 주입압은 세그먼트 배면을 완전히 충전시킬 수 있도록 세그먼트에 작용하는 외압보다 약 100~200kPa 정도 큰 압력으로 설계하여야 한다.
- (4) 뒤채움 주입량은 쉘드TBM 테일 보이드 크기, 주입재의 지반에 대한 침투성, 지반의 투수성, 예상되는 여굴 등을 고려하여 설계하여야 한다.
- (5) 뒤채움 주입은 지반의 투수상태, 과굴착 등에 따라 주입량은 다르게 나타날 수 있으며 이론적인 테일 보이드 체적의 130~170% 수준으로 설계될 수 있다. 다만 자갈층처럼 투수도가 높은 경우에는 150~200% 수준으로 선정할 수 있다.

4.5 뒤채움 주입재 및 테일 실(tail seal)

4.5.1 주입재료

- (1) 뒤채움 주입재료에는 지반 조건, 해수의 상태, 쉘드TBM 형식, 주입재 특성 등을 고려하여 가장 적합한 재료를 선정하여야 한다.
- (2) 뒤채움 주입재료는 블리딩(bleeding) 등의 재료분리를 일으키지 않고 유동성을 잃지 않은 재료, 주입 후의 경화현상 등에 따라 용적감소나 용탈이 적은 재료,

지반 강도에 상응하는 균일한 강도를 조기에 얻을 수 있고 설계 강도 이상을 발휘할 수 있는 재료, 수밀성이 뛰어난 재료, 주변 환경에 기준을 만족하는 재료로 선정하여야 한다.

- (3) 이액성 주입재료는 해저 터널을 감안하여 주입 전 유동특성, 주입 중 혹은 주입 후 소성특성을 가지되, 고정된 위치에서 주입, 지하수에 의해 재료분리 방지, 경화시간 조절, 필요 시 초기강도 도달 등을 고려하여 선정해야 한다.
- (4) 이액성 주입재료를 사용하는 경우는 해저터널인 점을 감안하여 적정 젤타임을 검토하여 주입압의 상승, 주입관의 폐색, 장기간 설계수명을 만족시킬 수 있도록 해수의 성분에 의한 부식이나 용탈을 고려하여 선정해야 한다.
- (5) 해저지반에서 주입재의 적절한 품질을 유지하기 위하여 유동성, 점성, 블리딩, 응결시간, 압축강도 등을 정기적으로 측정하여야 하며, 품질에 의문이 생길 때에는 세그먼트 주입공을 통해 주입재 코아를 채취하여 주입재의 품질을 관리하여야 한다.

4.5.2 테일 실(tail seal)

- (1) 테일 실은 뒤채움 주입재의 누수방지 및 내압성, 내구성 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- (2) 테일 실은 배면의 유입수 및 뒤채움 그라우팅의 갭내 역류를 차단하기 위한 목적으로 충분한 성능을 확보하는지 검사가 필요하며, 고수압 또는 과다 유입수가 예상되는 구간에는 추가적인 보강장치를 설치할 수 있다.
- (3) 동시주입방법이나 후방주입의 경우에 과도한 뒤채움 압력으로 인해 뒤채움 재료가 TBM에 부착된 테일 브러쉬 내부까지 도달할 경우 브러쉬 손상으로 인한 해수침투 리스크가 발생할 수 있으므로 적정 압력과 장비 수선을 고려한 테일 실의 적절한 브러쉬 수량도 설계 단계에서 고려해야 한다.
- (4) 만일 해저조건에서 테일 실의 수선이 필요한 경우를 대비하여 비상용 실(emergency seal)을 준비할 수 있으며 위치는 적절히 선정되어야 한다.
- (5) 그라우트 재료나 지하수가 테일 쉴드를 통해 유입되는 것을 방지하기 위해 테일 실에는 그리스를 주입하도록 설계되어야 하며, 해수의 특징, 수압 등을 고려하여 그리스의 점도를 적절히 선택해야 한다.

4.6 쉴드TBM 세그먼트라이닝

4.6.1 설계일반

- (1) 세그먼트는 추진 책의 추력, 주변 지반의 토압, 수압 등의 하중에 견딜 수 있어야 하며, 소정의 터널 내공을 확보함과 동시에 터널의 사용목적 및 시공 조건에 따른 역할과 기능을 보유할 수 있도록 안전하고 견고하게 설계하여야 한다.
- (2) 쉘드TBM터널에서는 지반의 조건 및 터널의 단면형상, 시공법 등에 따라 터널의 역학적 거동이 상이하므로 세그먼트라이닝의 설계 시 이를 고려하여야 한다.
- (3) 세그먼트의 설계서에는 계산상의 제반 조건, 가정 및 계산과정을 명기하여야 한다.
- (4) 세그먼트는 강도설계법으로 설계하는 것을 원칙으로 하며, 필요시 검증된 유사 설계법도 적용할 수 있다.

4.6.2 세그먼트 재료

- (1) 세그먼트의 종류는 재질에 따라 콘크리트, 강재, 합성(콘크리트+강재 또는 주철) 세그먼트로, 형상에 따라 상자형, 평판형 세그먼트 등으로 분류한다.
- (2) 세그먼트 재료는 터널의 목적, 지반상태, 시공방법, 내구성 등을 고려하여 선정하도록 한다.
- (3) 세그먼트에 사용하는 재료는 한국산업규격(KS)을 표준으로 하는 것을 원칙으로 하며, 무근 및 철근콘크리트에 관해서는 국토해양부 제정 ‘콘크리트 구조기준(2012)’ 및 ‘콘크리트 표준시방서(2016)’의 규정에 따라야 한다.

4.6.3 세그먼트 구조설계

(1) 설계 개요

- ① 세그먼트의 강도, 구조, 형상 등은 터널의 용도, 지반 조건, 시공법 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- ② 상자형 또는 평판형 세그먼트를 볼트이음으로 조립한 링구조는 강성이 같은 링으로 취급할 수 있으며, 재질에 따라 콘크리트, 강재, 합성 세그먼트로 구별하여 설계하여야 한다.
- ③ 세그먼트의 형상치수는 사용 목적, 시공성, 경제성 등을 고려하여 설계하여야 한다.

(2) 구조 해석

- ① 세그먼트라이닝의 구조계산방법은 간편법, 스프링모델 및 수치해석법 등이 있으며, 구조계산은 횡단면과 종단면으로 나누어 수행하고, 시공 도중의 각

단계 및 완성 후의 상태에 작용하는 하중을 고려하여 수행하여야 한다.

- ② 터널 횡단면의 설계하중은 설계의 대상이 되는 터널구간 내의 가장 불리한 조건을 대상으로 결정하여야 한다.
 - ③ 세그먼트라이닝에 걸리는 하중 산정 시에는 추진 잭의 추력, 연직 및 수평 지반압, 수압, 자중, 상재하중의 영향, 지반반력, 내부하중, 시공 시 하중, 병설터널의 영향, 지반침하의 영향 등을 고려하여야 한다.
 - ④ 세그먼트 단면력은 그 구조특성을 고려하여 계산한다.
 - ⑤ 종단면해석 시에는 시공 단계 및 완성 후의 하중 상태와 세그먼트의 구조특성 등을 고려하여야 한다.
 - ⑥ 테이퍼링은 터널 선형, 지반 조건, 보조공법, 이음의 강성, 세그먼트의 제작성, 시공성 등을 고려하여 그 수, 폭, 테이퍼량 등을 설계하여야 한다.
- (3) 세그먼트의 연결
- ① 세그먼트의 이음구조는 소요 강도와 강성을 가짐과 동시에 조립의 확실성, 작업성 및 지수성 등을 고려하여 설계하여야 하며, 볼트 체결방식의 경우 적정 토크를 산정하여야 한다.
 - ② 세그먼트의 이음각도는 단면력의 전달, 조립의 작업성, 시공 조건 및 세그먼트의 제작성 등을 고려하여 결정하여야 한다.
 - ③ 세그먼트는 원칙적으로 수밀성을 확보하여야 한다.
- (4) 주입공
- ① 뒤채움주입을 균등하게 행하기 위하여 각 세그먼트에는 1개소 이상의 주입공을 설치한다.
 - ② 주입공의 직경은 사용하는 주입재를 고려하여 결정하나 일반적으로 내경 50mm를 기준으로 하며, 주입공을 고리로 사용하는 경우는 작업성은 물론, 작업의 안전성과 자체 하중에 대한 인발력을 고려하여 주입공의 직경과 위치를 결정하여야 한다.
- (5) 세그먼트의 운반 및 보관
- ① 소구경의 철제 세그먼트를 손으로 조립하는 경우는 고리를 필요로 하지 않으나 일반 세그먼트에서는 운반, 조립 등을 위하여 고리를 설계하여야 한다.
 - ② 세그먼트의 저장과 운반 시에는 손상이나 부식 등이 발생하지 않도록 보호해야 한다.

- ③ 운반 및 취급 중에 손상이 발생한 경우에는 손상의 정도에 따라 적합한 조치를 강구해야 한다.

4.6.4 내구성을 고려한 설계

(1) 내구성 설계 일반

- ① 세그먼트는 주어진 주변 환경조건에서 설계 공용기간 동안에 내구성을 갖도록 설계, 시공, 유지관리 하여야 한다.
- ② 설계 착수 전에 발주자와 설계자는 터널의 중요도, 환경조건, 구조거동, 유지관리방법 등을 고려하여야 한다.

(2) 내구성 설계 기준

- ① 해풍, 해수, 황산염 및 기타 유해물질에 노출된 콘크리트 세그먼트는 ‘콘크리트 구조기준(2012)’의 규정에 따르는 콘크리트를 사용하여야 한다.
- ② 설계자는 구조물의 내구성을 확보할 수 있는 적절한 설계기법을 결정하여야 한다.
- ③ 내구성 설계는 세그먼트의 외측 표면에 있는 콘크리트의 품질이 보장될 수 있도록 하여야 한다. 콘크리트의 다지기과 양생이 적절하여 밀도가 크고, 강도가 높고, 투수성이 낮은 콘크리트를 시공하고 피복 두께를 확보하여야 한다.
- ④ 세그먼트의 모서리나 연결부 등의 건전성 확보를 위한 세그먼트의 구조 상세가 적절하여야 한다.
- ⑤ 고부식성 환경조건에 있는 구조는 표면을 보호하여 내구성을 증진시켜야 한다.
- ⑥ 설계자는 내구성에 관련된 콘크리트 재료, 피복 두께, 철근과 긴장재, 처짐, 균열, 피로 및 기타 사항 등에 대한 제반 규정을 모두 검토하여야 한다.

4.6.5 내화 설계

(1) 내화 설계 일반

- ① 세그먼트는 주어진 주변 환경조건에서 설계 공용기간 동안에 내화성을 갖도록 설계, 시공, 유지관리 하여야 한다.
- ② 내화 설계는 화열의 온도, 지속시간, 사용골재의 성질 등을 고려하여 정한다.

(2) 내화 설계기준

- ① 내화를 필요로 하는 세그먼트는 내화성능의 재료나 피복재료를 사용하거나 피복두께를 증가시켜야한다.
- ② 적용된 내화공법은 구조물의 내화성을 확보할 수 있으며 세그먼트의 구조성능과

내구성능을 저해하지 않아야 한다.

4.7 쉘드TBM 부대시설

4.7.1 일반사항

- (1) 쉘드TBM 부대설비는 사용목적이나 유지관리상의 필요성에 따라 배수, 환기, 방재, 전력 등의 설비와 맨홀 등을 설계에 포함하여야 한다.

4.7.2 환기설비

환기설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- (1) 쉘드TBM터널에서의 터널 내 환기방법과 설비는 소요 환기량을 계산하고 그 결과에 따라 적합한 설계를 해야 한다.
- (2) 소요 환기량은 터널 내 최대 작업원에 대하여 필요한 소요 환기량, 분진에 의한 소요 환기량, 터널 내 장비운용에 따른 소요 환기량과 기타 소요 환기량 중 가장 큰 환기량으로 산정해야 한다.
- (3) 소요 환기량에 따라 환기팬의 용량과 풍관의 구경을 결정해야 한다. 환기방법은 소요 환기량과 풍관의 구경에 따라 터널 내 배치공간을 감안하여 송기식, 배기식, 송배기식 중 적합한 환기방법을 적용해야 한다.

4.7.3 수전설비

수전설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- (1) 수전설비는 쉘드TBM의 전력 소요량과 기타 부속설비에 필요한 전력소요량을 합산하여 계획해야 한다.
- (2) 쉘드TBM 본체용 전력공급은 쉘드TBM 굴진에 따라 고압케이블을 100~200m 마다 연결하도록 계획해야 한다.
- (3) 후속설비 및 터널내부 가시설용 전력공급은 터널의 길이에 따라 발생하는 선로손실 및 전압강하를 감안하여 800~1,000m 마다 변압기를 설치하도록 계획해야 한다.

4.7.4 급수 및 배수 설비

급수 및 배수 설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- (1) 급수설비는 소요되는 급수량을 고려하여 설계해야 하며 소요 급수량에 따라 급수펌프의 동력 및 급수관의 구경을 결정해야 한다.
- (2) 소요 급수량은 쉘드TBM 커터에 필요한 소요 급수량, 지보재 설치에 따른 소요

급수량과 기타 소요 급수량을 모두 합하여 산정해야 한다.

- (3) 급수펌프의 동력과 급수관 구경은 쉘드TBM 헤드에서의 소요압력이 유지될 수 있도록 결정해야 한다.
- (4) 배수설비는 쉘드TBM에 공급된 용수 중 퇴수되는 양과 터널 내의 지하수 용수량을 배수 할 수 있도록 하며, 지하수맥의 존재로 다량의 지하수가 존재할 경우 등의 예측하지 못한 출수에 대비하여 예비 배수설비를 계획하여 설계해야 한다.
- (5) 소요배수량은 자연용수량, 쉘드TBM 퇴수량, 지보재 설치에 따른 퇴수량과 기타 퇴수량 및 비상시 퇴수량을 모두 합하여 산정해야 한다.
- (6) 소요배수량에 따라 급수펌프의 동력과 급수관의 구경을 결정해야 한다.
- (7) 장대터널에서는 쉘드TBM 굴진에 따라 400~500m 간격을 기준으로 펌프를 설치하여 배수시켜야 한다.

4.7.5 침전설비

침전설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- (1) 침전설비는 터널 내의 배수용량에 따라 침전조의 규모 및 형태를 결정하고, 합리적인 수질 및 환경보호대책을 수립해야 한다.
- (2) 쉘드TBM 굴진 시는 발파공법에 의한 굴착에 비해 작업용수와 혼합된 석분의 배출상태가 직접배수하기 곤란한 콜로이드 상태이므로 침전설비를 반드시 설계하여 황산알루미늄을 투입, 응집시킨 후 배출해야 한다.
- (3) 해저 쉘드TBM터널에서 지하수나 해수 등 유입수가 많은 경우는 수직구 근처에 집수정과 침전설비를 설치할 수 있다.

4.7.6 비상급기 설비

비상급기 설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- (1) 비상급기 설비는 터널작업 시 터널이 매몰될 경우를 대비하여 계획해야 한다.
- (2) 비상급기 설비는 터널연장 및 대피인원 8~15명을 기준으로 공기압축기의 용량 및 급기관구의 구경을 결정해야 한다.

4.7.7 이수처리 설비

- (1) 이수식 쉘드TBM인 경우는 이수처리 설비장의 부지를 확보해야 한다.
- (2) 이수식 쉘드TBM 적용 시에는 지하수, 지표수, 해수의 오염을 방지하도록 몇 차에 나누어 처리되는 플랜트를 설계해야 한다. 이 경우 반드시 슬러지와

상급수를 분리하여 슬러지는 폐기물 처리해야 하며, 상급수는 pH 조정 후 최종 방류하거나 굴진면에 재유입하여 재사용하도록 해야 한다.

(3) 이수처리 플랜트설계 시에는 쉘드TBM의 최대 굴진속도를 보장할 수 있는 처리용량을 확보해야 하며, 긴급 상황에 대처할 수 있게 필요로 하는 예비 안정액을 확보해야 한다.

(4) 이수처리 플랜트에서 배출하는 처리수는 수질환경기준에 따른 배출허용기준을 만족하기 위하여 pH, 탁도, 배수량을 측정하고 자동 기록하는 시스템을 갖추도록 해야 한다.

4.7.8 버력처리 설비

버력처리설비 설계 시에는 다음사항을 고려해야 한다.

(1) 터널 내 버력처리 설비는 터널의 단면크기, 연장, 기울기 등을 감안하여 버력처리를 가장 효율적으로 할 수 있도록 설계해야 한다.

(2) 터널 내 버력운반은 광차와 기관차를 이용하는 궤도방법, 벨트 컨베이어 방법, 송 · 배니관을 이용하는 방법 등이 있으며 터널의 크기, 연장, 공사기간, 버력 발생량, 터널내부의 작업환경, 사토장위치 및 운반거리 등을 감안하여 결정해야 한다.

(3) 일반적으로 소구경 터널의 경우는 광차와 기관차를 사용하여 반출하는 방법, 송 · 배니관을 이용하는 방법이 유리하며, 터널연장이 길어지면 터널 내 작업환경, 안전성 등을 고려하여 버력처리방법을 결정해야 한다.

(4) 버력적재 및 운반 시는 기설치된 지보재, 가설시설 등을 손상시키지 않도록 설계해야 한다.

(5) 장비는 가급적 굴착과 동시에 굴착량 전부를 터널외부로 반출할 수 있는 운반체계로 해야 한다.

4.8 긴급 대처공법

4.8.1 TBM 굴진중 지반조건의 변화 등으로 예기치 못한 고수압이 작용할 것으로 예측되는 경우 긴급 대처공법을 설계에 반영 할 수 있다.

제5장 해저 쉘드TBM터널 수직구 및 접속부 설계

5.1 작업장 및 수직구

5.1.1 작업장 설계

- (1) 해저 쉘드TBM터널의 작업장은 터널공사의 규모, 굴착공법에 따른 기중 선정, 시공법 등을 고려하여 쉘드TBM 조립장, 수직구, 터널 외부설비, 굴착버력 처리장, 재료적치장 등을 위한 작업장 부지를 발진 수직구 부근에 확보해야 한다.

5.1.2 수직구 설계

(1) 설계일반

- ① 수직구 설계 시에는 사전에 충분한 지반조사를 실시하여 지반의 상태 및 특성을 파악하고 이를 설계에 반영한다.
- ② 수직구 굴착시 지형 및 지반조건에 적합한 장비를 선정하여 제시하고, 지하수 유입에 대비하여 안정성, 시공성을 충분히 고려한 계획을 세워야 한다. 특히, 동절기 시공 중 지표 부근의 누수로 인한 고드름 및 기타 낙하물에 대한 안전대책을 사전에 강구하여야 한다.
- ③ 수직구의 위치는 용도, 지반 및 지형조건, 해수위, 유입 지하수, 연장 및 유지관리를 고려하여 경제적으로 유리한 장소를 선정한다. 유지관리를 해야 하는 경우에는 인력 및 장비수송용 승강기를 수직구 내에 설치하며, 심도에 따른 안전대책을 수립한다.
- ④ 수직구를 작업용으로 사용하고 공사 완공 후 타목적으로 전용하지 않는 경우에는 터널 본체 및 지표에 영향을 미치지 않도록 보강, 폐쇄, 매립 등의 적절한 방안을 제시한다.
- ⑤ 수직구를 작업용으로 사용하는 경우에는 본 터널과 연결되는 갱저설비의 배치, 측량, 완성 후의 처리 등을 고려하여 위치를 선정한다.
- ⑥ 수직구를 환기, 배수, 비상용 통로 등 본 설비로 사용하는 경우에는 향후 지하시설의 확장에 대비하여 위치를 선정하며, 갱에서 배출되는 오염물질이 주변 환경에 미치는 영향을 검토하여야 한다.

(2) 수직구의 단면결정

- ① 수직구의 단면은 용도에 따른 소요 내공단면, 시공방법, 수직구 내에 설치될 모든 설비의 배치, 반입 기자재의 크기, 지반조건 등을 종합적으로 고려하여 그 크기와 형상을 결정한다.

- ② 지보설치 후의 수직구 유효단면은 지하시설 건설공사를 가장 경제적으로 수행하기 위한 시간당 버력, 인원, 소요 자재 운반량과 반입될 장비, 설비의 크기, 시간당 환기량과 각종 설비, 지반조건을 고려하여 결정한다.
- ③ 각 수직구의 규모와 형상 및 시공방법은 터널식 전력구의 발진 및 도달기지, 버력반출구, 장비 및 자재투입, 지중 케이블의 지상부 인출 등의 역할을 고려하여 결정한다.
- ④ 에어락(air lock) 설치에 따른 장비길이 증가 시 현장상황을 고려하여 수직구 직경증가, 후방설비 분할배치, 작업용 후방터널 설치 등을 검토하여야 한다.

5.2 굴착 및 가시설

5.2.1 수직구의 굴착설계

- (1) 수직구의 굴착공법은 수직구의 용도, 심도, 단면크기, 지반조건, 입지조건, 민원소지, 인접구조물, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법 등을 선정한다.
- (2) 굴착방법은 인력 또는 발파방법 외에 기계굴착 방법을 고려할 수 있다.
- (3) 수직구 내 발파계획 시 지반조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 수립한다.
- (4) 수직구 굴착 시 가시설 설치를 원칙으로 하며, 지반조건 및 지하수위를 고려하여 굴착면의 안정성을 확보할 수 있는 최적의 공법을 선정 한다.
- (5) 수직구의 굴착대상인 지층에 대수층이 있거나 유입 지하수가 많을 것으로 예상되는 경우에는 지하수위 저하, 차수, 지반강화 등의 보조공법을 계획하여야 한다.

5.2.2 수직구의 지보재 설계

- (1) 수직구 지보재는 지반조건, 함수대 유무, 단면형태, 심도, 시공법, 라이닝의 시기 등을 고려하여 안전하고 능률적으로 터널 내부작업을 수행할 수 있도록 설계한다.
- (2) 강지보재(ring wale)의 크기와 간격 결정 시 수직구 단면의 크기 및 지반조건 등을 고려하며, 지반이 양호한 경우에는 강지보재를 록볼트와 슛크리트로 대체할 수 있다.
- (3) 수직구 지보재의 설계는 지반의 급격한 변화, 지하수의 유동성 등을 감안하여 안전측으로 설계한다.

- (4) 숏크리트의 탈락방지를 위하여 철망이나 섬유보강 숏크리트를 사용한다.

5.2.3 수직구의 터널바닥 설비

- (1) 수직구의 터널바닥 설비에는 배수 설비와 버력처리 설비가 있으며, 지반조건, 본선 터널의 시공법, 수직구의 운반방법, 굴진공정 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 정한다.
- (2) 공사 중 배수 설비는 계산된 용출수 및 예상치 못한 용출수까지 고려하여 계획하며, 배수 용량 및 양정고를 고려하여 펌프 대수를 산정한다.
- (3) 배수 설비 설계 시 침전조, 저수조, 배수펌프, 터널 내 배수관, 펌프장, 배전실 및 충전실, 재료적치장 등에 대하여 검토하여야 한다.
- (4) 수직구 본체에 설치할 각종 부대시설 등은 지반조건, 운반방법 등을 고려하여 그 규모와 배치를 결정한다.
- (5) 안전설비로서 전화, 점멸장치, 사이렌 등의 비상용 경보장치와 소화기의 설치, 비상용 자재로서 가스마스크 등을 계획한다.

5.2.4 수직구의 터널외부 설비

- (1) 공사 중 전기설비는 제9장 부대공에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 수직구 내 과도한 지하수 유입으로 인하여 배수설비가 침전되는 경우를 대비하여 인원탈출을 위한 케이지 권양기와 배수펌프의 전선을 별도계통으로 나누어 배선한다.

5.3 수직구 라이닝

5.3.1 수직구의 라이닝 설계

- (1) 라이닝에 사용되는 재료는 터널의 사용 목적에 적합한 것이어야 하며, 일반적으로 콘크리트 사용을 기본으로 하고 지반 조건에 따라 콘크리트 블록(concrete block), 세그먼트(segment), 라이너플레이트(liner plate) 등을 사용할 수 있다.
- (2) 라이닝의 길이 및 두께의 설계 시에는 수직구의 용도에 적합한 단면의 크기 및 형상, 지반특성, 심도, 작용하중, 라이닝 재료, 시공법, 시공성, 기존 시공실적 등을 고려한다.
- (3) 지질구조가 복잡하지 않은 경우 적용하중이 균등하게 작용하는 것으로 간주하여 설계할 수 있다. 그러나 지질구조의 변화가 급격히 변하거나 지형 및 지반 특성상 현저하게 비대칭인 경우 편하중이 작용하는 것으로 설계한다.

- (4) 내리막 굴착 시 굴착, 발파, 버력처리 후 즉시 측벽을 라이닝으로 유지하는 경우에는 라이닝에 지반압이 작용하는 것으로 설계하며, 불량한 지반의 경우에는 측벽붕괴를 방지하기 위하여 라이닝 길이를 짧게 하고 강지보재를 추가하는 등의 대책을 강구하여야 한다.
- (5) 굴착과 라이닝을 20~30m 교대로 시공하는 경우에는 굴착 후 지반변형을 숏크리트 등으로 억제하고, 지반 상태에 따라 일정구간 일시에 라이닝을 시공하는 것으로 설계할 수 있다. 라이닝의 설계 시 지반압은 라이닝에 작용하는 것으로 설계한다.
- (6) 숏크리트와 록볼트를 시공하는 경우 콘크리트라이닝의 두께는 시공성, 단면의 크기 등을 고려하여 설계하고, 단면의 증감을 고려하여 두께도 적합하도록 증감시켜야 한다.
- (7) 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성 및 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 설계한다.
- (8) 수직구가 해수의 영향을 받는 곳에 위치할 경우 라이닝 설계에 염해대책이 추가되어야 한다.

5.4 접속부 설계

5.4.1 발진기지

- (1) 쉘드TBM터널의 초기 굴진 시 발진부에 대한 사전 지반개량 여부, 쉘드TBM의 발진반력대의 구조 및 강도, 가설 세그먼트의 해체시기, 후방설비의 배치 및 토사의 반출입방법 등을 계획한다.
- (2) 발진 시 쉘드TBM의 고정위치는 설계상의 쉘드TBM 중심 및 높이를 기본으로 결정하고, 지반이 연약하여 쉘드TBM 처짐이 예상되는 경우에는 위치를 상향 보정하도록 계획한다.
- (3) 쉘드TBM 발진에 필요한 반력대 설비는 주로 가조립 세그먼트 방식과 형강을 주재로 하는 설비 등으로 분류할 수 있으며, 필요한 추력에 대하여 충분히 견딜 수 있어야 하고, 유해한 변형을 발생시키는 일이 없게 필요한 강성을 확보하도록 설계한다.
- (4) 고출력 쉘드TBM의 경우 소규모 반력대(trust block)를 설치하여 직접 굴착하는 것도 고려할 수 있다.

5.4.2 발진터널

- (1) 쉘드TBM 최초 터널내부로 진입을 위한 벽면지지용 발진터널을 계획하여야 하며, 일반적으로 발파 등 인력굴착방법으로 굴착해야 한다.
- (2) 발진터널의 구경은 쉘드TBM이 원활히 진입할 수 있는 여유폭을 감안하여 결정하며, 쉘드TBM 구경과 여유폭 30cm의 합을 표준으로 합을 원칙으로 한다.
- (3) 발진터널의 길이는 쉘드TBM 본체의 길이와 지반상태를 감안하여 결정한다.

제6장 터널안정성 검토

6.1 안정해석 일반

- 6.1.1 해저 터널식 전력구 건설에 따른 주변 지반의 거동과 주변 시설물에 미치는 영향 및 굴착시 터널의 안정성을 사전에 검토하기 위해서 터널안정성 해석을 수행하여야 한다.
- 6.1.2 안정성 해석 및 검토 시에는 지형조건, 지반조건, 지하수조건, 터널형상, 터널위치, 시공방법 및 주변지반특성을 고려하여야 한다.

6.2 안정성 해석 방법

- 6.2.1 안정성 해석 기법은 2차원 해석이나 3차원 해석을 채택할 수 있으며 2차원 해석을 실시할 경우에는 3차원적 실제 지반거동을 고려하여야 한다.
- 6.2.2 해석 영역은 터널식 전력구의 규모와 지반조건 등을 고려하여 굴착에 따른 영향을 충분히 파악할 수 있는 범위로 설정하여야 한다.
- 6.2.3 해석 모델은 단계별 굴착의 영향이 포함되도록 하되 경계요소, 무한요소 등의 탄성경계 조건을 부여하는 경우를 제외하고는 터널 좌·우는 터널굴착폭의 3배 이상, 하부는 터널높이의 2배 이상, 상부는 지표면까지를 해석영역으로 한다. 단, 상부토피가 매우 큰 경우에는 상부 지반조건의 영향이 포함될 수 있는 별도의 모델을 적용할 수 있다.
- 6.2.4 해석 시 사용하는 지반별 특성치는 해당 지반의 시험 결과를 토대로 추정된 것을 사용한다. 단 공사의 규모 또는 현장 여건상 시험 결과를 얻을 수 없는 경우에는 경험이 풍부한 기술자의 판단에 의하여 유사지반의 특성치를 제한적으로 준용할 수 있다.
- 6.2.5 해석에 사용되는 모든 프로그램은 그 적합성이 확인되고 지반의 거동을 적절하게 모사(simulation)할 수 있는 기능을 보유하여야 하며, 시공단계별 조건을 재현할 수 있는 기능과 지반의 변위, 응력 및 모멘트 등을 계산하여 터널식 전력구의 설계 및 안정해석에 이용할 수 있어야 한다.
- 6.2.6 안정성 해석은 사전조사, 모형화, 수학적 계산, 결과 출력 및 종합평가 순으로 단계별로 진행하여야 한다.
 - (1) 사전조사 단계에서는 지반 및 지하수위, 설계단면, 시공단계, 굴착공법 등의 자료를 수집한다.
 - (2) 모형화 단계에서는 지반과 굴착공법의 특성, 해석영역, 크기 및 순서, 경계 조건,

구성모델 등을 결정한다.

(3) 수학적 계산 단계에서는 안정성 해석을 위한 계산을 수행한다.

(4) 결과 출력 단계에서는 계산 결과인 변위, 응력, 변형률 및 소성영역 등의 수치 또는 분포도를 출력한다.

(5) 종합평가 단계에서는 변위 및 응력에 근거한 안정성 및 주변 구조물의 거동을 평가한다.

6.2.7 안정해석 방법에는 수치해석 방법, 이론 해를 이용하는 방법, 경험적 방법 등이 있으므로 해석조건을 고려하여 적절한 방법을 선택하여 사용하여야 한다.

6.2.8 수치해석을 이용할 경우에는 공학적으로 공인되어 널리 사용되고 있으며, 대상 지반 및 설계 조건들을 적절히 모사할 수 있고, 지반의 거동을 적절히 해석할 수 있는 기능을 보유한 해석 프로그램을 이용하여야 한다.

6.2.9 이론 해를 이용하는 방법은 계산이 간편하여 시간을 절약할 수 있으나 한정된 가정 조건하에서만 해석이 가능하기 때문에 수치해석, 계측 결과 등의 설계, 시공사례 분석을 통하여 유사한 결과를 보일 경우에 한하여 사용하는 것을 원칙으로 한다.

6.3 안정해석 및 침하 영향 검토

6.3.1 해석에 필요한 입력자료는 지반특성치, 지반의 초기응력, 지하수위, 지보재 및 보조공법에 적용되는 보강재의 특성치 등으로 다음 조건을 고려하여 적용하여야 한다.

(1) 지반특성치는 터널거동을 나타낼 수 있어야 하며, 지반의 초기응력은 터널거동에 큰 영향을 미치므로 현장에서 측정한 값, 경험식 또는 추정식으로부터 산정한다.

(2) 보조공법 중 지반보강을 목적으로 보강재를 주입한 경우에는 보강된 지반특성치가 필요하며, 기계적 보강을 실시한 경우에는 각각의 보강재료의 특성치를 입력하거나, 보강지반으로 환산하여 보강된 지반특성치를 사용한다.

6.3.2 해석에 사용되는 하중의 종류로는 지반의 초기응력과 지하수위에 의한 수압이 있으며, 필요 시 관련 외부하중을 고려하여야 한다.

(1) 원지반의 초기응력은 지반의 단위중량, 터널심도, 측압계수 등을 고려하여 결정하여야 한다.

(2) 수압은 지하수위를 고려하여 결정하며 비배수형 터널의 경우에는 지하수위를 고정하여 정수압을 적용하여야 한다.

(3) 상부에 구조물이나 추가의 하중이 작용하는 경우에는 외부하중으로 고려하여야

한다.

- 6.3.3 쉘드TBM 공법의 수치해석 모델링은 하중분담율을 이용하는 NATM 공법의 모델링과는 근본적으로 차별화 되어야 하며 쉘드 굴진으로 인한 초기 응력 상태의 변화, 후미 여굴 폐합 효과, 라이닝 타설 및 지반-라이닝 상호작용을 적절히 모사하여야 한다.
- 6.3.4 쉘드TBM 시공과정 모델링 방법에는 지반변위를 이용하는 방법이나 체적손실을 이용하는 방법 등이 있으며, 차원 모델링으로는 2차원 및 3차원해석 모델링기법 등이 있다. 필요한 경우에는 설계 및 시공조건에 적합한 모델링 방법을 검토하여 적용할 수 있다.
- 6.3.5 쉘드TBM터널 굴착으로 인한 지반침하의 터널 막장 전면부 및 직상부의 침하, 터널을 따라 발생하는 침하, 터널의 테일부에서 발생하는 침하 및 터널 시공 후 라이닝의 변형에 의해 발생하는 침하 등으로 볼 수 있으므로 설계단계에서 각 원인들에 대한 상세검토를 수행하고 필요한 경우에는 사전 대책을 수립하여야 한다.
- 6.3.6 쉘드TBM터널의 침하 영향은 누적확률분포 기반의 지표침하예측 모델을 적용하여, 대상 시공조건에서의 체적손실을 토대로 지표침하량과 침하 범위를 예측체적손실(volume loss)을 고려한 지반침하(ground loss) 이론식에 의한 방법으로 평가할 수 있다.

6.4 설계안전성(DFS) 검토

- 6.4.1 해저에 건설되는 터널식 전력구는 지층변화와 지하수위의 변화에 의한 문제점에 대해 공사 중 보완이 어려우며, 높은 지하수압 또는 침투수압이 작용하는 경우가 많고, 파쇄대 또는 연약지반을 통해 예상치 못한 지하수(해수)가 유입되는 등 위험상황이 발생할 수 있다. 설계 단계에서 이러한 위험요인을 고려한 설계안전성(Design For Safety, DFS) 검토를 수행하여야 한다.
- 6.4.2 설계단계에서 위험요소를 사전에 발굴하고 위험성을 평가하여 위험요소, 위험성, 저감 대책을 검토한 결과를 설계안전성 검토 보고서로 제출하여야 한다.
- 6.4.3 설계안전성 검토 보고서 작성과 관련한 수행절차 및 방법은 관련법 및 관련 기준 등에서 정하는 바를 따른다.

제7장 방수 및 배수

7.1 배수형식 선정

7.1.1 일반사항

- (1) 쉘드TBM터널은 지하수의 처리 방법에 따라 배수형 방수형식과 비배수형 방수형식으로 구분한다.
- (2) 배수형 방수형식 터널은 유입되는 지하수를 배수하는 터널로서 배수방법에 따라 다음과 같은 세 가지 형식으로 구분할 수 있다.
 - ① 완전 배수형 : 터널내부의 전주면으로 배수를 허용하는 형식
 - ② 부분 배수형 : 터널 천장부와 측벽부에만 방수막을 설치하여 유입수를 한 곳으로 유도하여 배수하는 형식
 - ③ 외부 배수형 : 지하수로부터 터널 내부 시설물이나 콘크리트라이닝을 보호하기 위하여 콘크리트라이닝 외부 전체를 방수막으로 둘러싸고 그 밖으로 터널 외부에 별도의 배수로를 설치하여 터널 내부로 들어오는 지하수를 차집하여 외부로 배수하는 형식
- (3) 비배수형 방수형식 터널은 지하수가 터널 내부로 유입될 수 없도록 차단하는 방수형식으로서 지하수를 배수시키지 않으므로 세그먼트라이닝에 지하수위 조건에 따른 수압작용을 고려해야 한다.

7.1.2 해저 쉘드TBM터널의 배수형식 선정

- (1) 해저 쉘드TBM터널의 경우 장대 터널로 건설되어 유입량 규모가 상당하므로, 이를 저감시키기 위하여 비배수형 방수형식 적용을 원칙으로 하며, 배수형 방수형식 적용 시에는 배수 시스템의 규모, 유입수 배제방안 및 유지관리비에 대한 적절한 검토가 수행되어야 한다.
- (2) 해저 쉘드TBM터널은 상시 수위가 터널 상부의 지반두께보다 현저히 높게 위치하는 경우로써 지반 조건과 재료의 구조적 성능을 감안하여 작용수압과 유입량의 상관관계를 고려한다.
- (3) 해저 쉘드TBM터널을 비배수형 방수형식으로 선정하는 경우 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 단면형상
 - ② 재료의 구조적 저항능력
 - ③ 허용누수량

(4) 해저 쉘드TBM터널을 배수형 방수형식 터널로 선정하는 경우 다음 사항을 고려하여야 한다.

- ① 유입량
 - ② 유입량 저감대책 시행의 용이성
 - ③ 배수 시스템(저류조 및 펌핑 시스템)의 설치가능성 및 유지관리 경제성
- (5) 해수 유입의 가능성을 고려하여 염해에 대한 내구성을 갖는 배수 재료를 사용한다.
- (6) 과다한 유입수가 예상되는 경우에는 수압 및 유입량 저감을 위하여 차수 그라우팅을 실시하며, 이 경우 장기 유입에 따른 그라우팅 차수효과의 내구성과 그라우트재의 열화 이동에 따른 배수기능의 저하 영향을 검토하여야 한다.

7.1.3 해저 쉘드TBM터널의 방수설계

- (1) 세그먼트라이닝은 지하수압에 견딜 수 있고 방수가 될 수 있도록 반드시 세그먼트 사이의 이음부, 뒤통주입구 등에 방수설계를 해야 한다.
- (2) 방수방법의 선정 시에는 해저 쉘드TBM터널의 사용목적과 작업환경에 적합한 방법을 선정한다.
- (3) 방수는 실(seal), 코킹, 볼트, 뒤통주입구 등이 있으며, 사용목적과 현장여건에 부합하도록 한 가지 또는 여러 가지의 방법을 조합하여 설계할 수 있다.
- (4) 실(seal)재는 합성고무계, 복합고무계, 수팽창 고무계 등이 있으며, 현장조건을 고려하여 수밀성, 내구성, 압착성, 복원성, 시공성 등이 우수한 재료를 선택하여 설계한다.
- (5) 코킹재는 에폭시, 치오클레, 요소수지계 등의 재료가 있으며, 현장조건을 고려하여 적합한 재료로 설계한다.

7.2 허용누수량

7.2.1 해저 쉘드TBM터널의 방수설계는 다음 <표 7.1>를 참고로 하여, 방수등급 2등급 이상의 기준을 적용하여 허용누수량을 산정한다.

<표 7.1> 터널의 방수 등급별 허용누수량

방수등급	내부상태	용도	상태정의	터널연장 기준 허용누수량 ($\ell/m^2/day$)	
				10m	100m
1	완전건조	주거공간, 저장실, 작업실	벽면에 수분의 얼룩이 검출되지 않을 정도의 누수상태	0.02	0.01
2	거의건조	동결위험이 있는 교통터널, 정거장 터널	벽면의 국부적인 장소에 약간의 수분얼룩이 검출될 수 있는 정도, 수분의 얼룩을 건조한 손으로 접촉하여도 손에 물이 묻지 않을 정도, 흡수지 또는 신문지를 붙여보아도 붙여진 부분이 습기로 인해 변색되지 않을 정도의 누수	0.1	0.05
3	모관습윤	방수2등급 이상의 방수가 요구되지 않는 교통터널구간	벽면의 국부적인 장소에 수분얼룩이 검출되는 정도, 수분의 얼룩에 흡수지 또는 신문지를 붙였을 경우 습기로 인해 변색되지만 수분이 방울져 떨어지지 않을 정도의 누수	0.2	0.1
4	물방울이 가끔 떨어짐	시설물 터널	독립된 장소에서 물방울이 가끔 떨어지는 정도의 누수	0.5	0.2
5	물방울이 자주 떨어짐	하수 터널	독립된 장소에서 물방울이 자주 떨어지거나 방울져 흐르는 정도	1.0	0.5

※ 주) 독일의 지하교통시설 연구협회(STUVA)의 추천 값을 참조한 것임.

7.3 집수정 계획

7.3.1 집수정

- (1) 집수정내 유입량은 $0.42m^3/min/km$ 로 계획하고, 외부유입수를 60분 이상 저수할 수 있는 용량으로 한다.
- (2) 집수정 유효용량

<표 7.2> 집수정 유효 용량

누수량	집수정 유효 용량	비고
$10m^3/일$ 이하	$10m^3$	• 집수정 높이 : 2.0m • 집수정 유효용량 : 펌프의 1회 동작 범위 용량
$10m^3/일$ 초과 ~ $50m^3/일$	$50m^3$	

단, $50m^3/일$ 초과개소는 별도 검토한다.

- (3) 집수정의 위치는 배수설비, 케이블 등의 시공 및 유지보수에 지장이 없도록 선정한다.
- (4) 집수정내의 저수조와 침사조 사이에는 스크린(screen) 등을 설치한다.

7.3.2 배수설비

- (1) 배수방법은 펌프의 1단(一段) 배수로 한다. 단, 불가피한 경우는 별도 검토한다.

(2) 펌프대수

<표 7.3> 집수정내 펌프계획

항 목	펌프대수	비 고
누수량이 적은 개소(10m ³ /일 이하)	2대	예비 1대
누수량이 많은 개소(10~50m ³ /일)	2대	교대운전

(3) 펌프는 전력구내의 집수정중 저수조 내에 설치한다.

(4) 펌프의 운전주기는 기동 정지의 반복에 의해서 전기회로 등에 손상을 주지 않도록 하기 위해 1시간/1회 이상으로 한다.

(5) 배수펌프의 양수량과 연속 운전시간은 아래와 같다.

<표 7.4> 배수펌프의 양수량과 연속운전시간

누 수 량	집 수 정	양 수 량	연속운전시간	비 고
10m ³ /일 이하	10m ³	0.2m ³ /분	50분	50m ³ /일 초과개소는 별도 검토
10m ³ /일 초과 ~ 50m ³ /일	50m ³	0.3~0.5m ³ /분	90~50분	

7.4 지수재

7.4.1. 일반사항

(1) 해저 전력구 터널의 세그먼트 라이닝은 지하수압에 방수가 될 수 있도록 세그먼트간의 이음부, 볼트구멍, 뒤펀 주입구 등의 시공에 유의하여야 한다.

(2) 터널 내의 누수는 완성 후 터널의 기능 및 유지관리에 문제를 일으킬 수 있으므로 방수공법의 선정 시에는 터널의 사용목적과 작업환경에 적합한 공법을 선정하여야 한다.

7.4.2 지수재 종류 및 선정

(1) 지수재 종류로는 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer) 재료의 고무를 원료로 한 탄성 고무계 가스켓과 클로로프렌(chloroprene) 및 우레탄 재료의 수팽창 지수재가 있으며, 수밀성, 내구성, 압착성, 복원성, 시공성 등이 우수한 재료의 지수재를 선택하여야 한다.

(2) 해저 터널식 전력구의 경우는 방수를 위한 주 지수재로 EPDM 가스켓 적용을 우선 검토하며, 수압이 낮을 것으로 예상되는 구간에서는 지수성능을 만족하는

수팽창 지수재 사용을 고려할 수 있다.

- (3) 지수재는 경사볼트를 사용하는 것을 기준으로 가스켓 1열 수팽창 지수재 1열 시공을 원칙으로 한다. 그러나 전력구 터널의 현장여건, 세그먼트 조건, 수압조건을 고려하여 가스켓 또는 수팽창 지수재 2열로 시공할 수 있다.
- (4) 지수재의 성능검증은 공인 시험기관에 의뢰하거나 감독관의 입회하에 시험하는 것으로 수행 할 수 있다.

7.4.3 가스켓의 성능

- (1) 가스켓의 시험 방법 및 재료 기준은 <표 7.5>과 같다.

<표 7.5> 가스켓의 시험 방법 및 재료 기준

시험 항목	시험 방법	기준치	비 고
경도(Hs)	KS M 6518	75±5	
인장강도(MPa)	KS M 6518	14.7 이상	
신장률(%)	KS M 6518	350 이상	
영구압축 줄임율(%)	KS M 6518	20 이하	70℃에서 22시간
무게변화율(%)	KS M 6518	2 이하	20℃, 증류수에서 7일간
오존저항시험	KS M 6518	균열 없음	40℃, 20% 신장 상태에서 72시간 100ppm 오존농도
수팽창율 (수팽창 층)	KS M 6518	300% 이상 100% 이상	담수조건 : 증류수, 상온 240시간 염수조건 : Nacl 3%, 상온 240시간

- (2) 가스켓의 압축응력 시험을 수행하여, TBM 이렉터 압축력과 가스켓 압축력을 비교하여 시공 시 발생할 수 있는 오류를 사전에 예방하여야 한다.
- (3) 단기응력완화(short-term stress relaxation) 시험을 수행하여, 가스켓의 압축력이 일정하게 유지되는지 확인하여야 한다.
- (4) 가스켓의 직선구간, 코너 연결부위 및 필요시 십자 연결부위에 대하여 내수압 시험을 수행하여, 내수압 성능이 예상 작용수압 대비 2배의 안전율을 확보한 지수재를 사용하여야 한다.
- (5) 가스켓의 체적은 세그먼트 그루브(groove) 체적과 비교하여 약 90~95%를 유지하여야 한다.
- (6) 가스켓은 오프셋 10mm 및 갭 5mm 조건에서도 누수가 발생하지 않아야 한다.
- (7) 복합형 가스켓을 사용하는 경우, 수팽창성 고무의 두께는 1mm 이상 이어야 하며 팽창 중 및 후에 가스켓 본체로부터 분리되지 않아야 한다.
- (8) 가스켓은 세그먼트 코너에 맞게 용접되어져야 하며, 용접 부위 품질을 확인해야

한다.

7.4.4 수팽창 지수재의 성능

- (1) 수팽창 지수재를 평면으로 펼쳐서 외관검사를 실시하여 크기에 기복이 있거나, 이물질이 붙어 있거나 붙어 있었던 흔적이 있거나, 그리고 찢어지거나 잘린 것 같이 흠이 있는 것을 사용하지 않아야 한다.
- (2) 수팽창 지수재의 시험 방법 및 특성치 기준은 <표 7.6>과 같다.

<표 7.6> 수팽창 지수재의 시험 방법 및 특성치 기준

시험 항목	시험 방법	기준치	비 고
인장강도(MPa)	KS M 6518	2.45 이상	기본 물성시험
신율(%)	KS M 6518	500 이상	기본 물성시험
경도(Hs)	KS M 6518	45±5	기본 물성시험
팽창률(%)	KS M 6518	300 ~ 500	담수조건 : 증류수, 상온 240시간
		100 이상	염수조건 : NaCl 3%, 상온 240시간

- (3) 수팽창 지수재의 수팽창률(침지) 시험을 수행하여, 시험결과 측정치가 염수에서는 100% 이상이어야 하고, 담수조건에서는 300~500%의 범위 안에 포함되어야 한다.
- (4) 수팽창 지수재의 내구성 확보를 위하여 단기 열 노화시험을 70±1℃, 96시간 수행하여, 노화 후 특성치가 <표 7.7>을 만족하여야 한다.

<표 7.7> 시험 결과 합격 기준

시 료	인장강도(MPa)	신장률(%)	경도(Hs)
수팽창성 고무 (평탄형:4mm)	노화 후 측정치가 노화 전 측정치의 잔율 95% 이상	노화 후 측정치가 노화 전 측정치의 잔율 90% 이상	노화 후 측정치가 노화 전 측정치의 잔율 115% 이하

7.4.5 볼트구멍 및 뒤편 주입구의 방수

- (1) 세그먼트를 볼트로 연결하는 경우, 볼트구멍 방수를 위해서는 볼트와셔와 볼트구멍 사이에 고리형의 패킹재를 넣고 볼트를 조여야 한다.
- (2) 뒤편 주입공의 플러그부 및 주입공 배면은 패킹재를 설치하여 방수하여야 한다.

제8장 계 측

8.1 시공중 일상계측

8.1.1 일반사항

- (1) 해저 쉘드TBM터널의 계측설계는 계측항목, 계측위치, 배치간격, 계측기기의 선정과 설치위치, 측정 기간과 빈도, 결과정리 및 분석방법을 포함하여야 하며, 설계 시 다음 사항을 고려한다.
 - ① 계측항목은 터널의 규모, 지반조건, 해저 주변환경, 시공방법 등을 고려하여 쉘드TBM터널의 굴착에 따른 지반 및 주변 구조물의 거동을 파악하고 각종 지보재의 지보효과 및 품질을 확인하는데 적합하도록 선정한다.
 - ② 계측위치 및 배치간격은 터널의 규모, 지반조건, 시공방법 등을 고려하여 계측 목적에 부합되어야 하며, 각 계측항목 사이의 상호 관련성을 파악할 수 있도록 선정한다.
 - ③ 계측기기의 선정을 위해서는 설계자는 터널의 안전관리 상 요구되는 기기의 정도와 내구 연한을 제시한다.
 - ④ 계측기기의 설치시기, 측정빈도 및 측정기간은 쉘드TBM터널 굴착에 따른 지반 및 지보재의 거동을 충분히 파악할 수 있도록 계획한다.
 - ⑤ 측정결과의 정리방법은 계측결과를 확인할 수 있도록 계측치와 경시변화를 함께 제시하며, 분석방법은 계측항목별 측정치를 상호 비교하여 지반거동과 지보재 효과의 상관성에 따른 터널의 안정성을 검토할 수 있도록 제시한다.
- (2) 해저 쉘드TBM터널의 일상계측은 일상적인 시공관리상 반드시 실시해야 하는 계측항목으로 구조물 특성(수직구, 터널부, 확폭부, 접속부 등), 지반조건, 터널 규모 등에 따라 적절한 항목을 결정한다.
- (3) 계측항목은 필요에 따라 지반침하, 지반 및 구조물 변위, 수위 및 수압, 세그먼트 또는 라이닝 응력, 내부철근 응력 등을 선정할 수 있다.

8.1.2 해저 쉘드TBM터널의 일상계측 설계시 고려사항

- (1) 해저 쉘드TBM터널에서의 계측은 자동화계측 설치를 원칙으로 하여 실시간으로 원격 감시 및 관리한다.
- (2) 계측위치 및 배치간격은 육상부와 해상부에 대해 각각 계측계획을 수립하고, 터널구간의 지반상태를 대표할 수 있는 위치에 설치한다.
- (3) 지반조건이 불량한 구간이나 변화가 심한 구간에는 계측간격을 표준간격보다

좁혀야 하며, 지반조건이 양호하고 구간 내에서 지반변화가 적을 때에는 사전검토 결과를 토대로 계측간격을 표준보다 넓히거나 계측을 생략할 수 있다.

- (4) 발진부, 단층 및 파쇄대, 과도한 지하수 용출이 예상되는 구간은 시공중 계측 계획을 수립한다.

8.2 시공중 정밀계측

8.2.1 일반사항

- (1) 정밀계측은 지반조건 또는 주변 여건에 따라 지반 및 구조물의 거동을 보다 상세히 관찰할 목적으로 일상계측에 추가하여 실시하는 계측이다.
- (2) 해저 쉘드TBM터널의 정밀계측은 수직구, 본선터널, 인접구조물에서 실시하며, 현장조건을 고려하여 계측항목을 결정한다.

8.2.2 쉘드TBM터널의 정밀계측 설계 시 고려사항

- (1) 해저 쉘드TBM터널에서의 계측은 필요한 경우 자동화계측을 수행하여 실시간으로 원격 감시 및 관리할 수 있다.
- (2) 정밀계측 축선의 간격은 500m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하되, 터널의 규모나 지반 및 주변조건 등에 따라 조정할 수 있으며, 가능한 설계 시 터널해석 구간에 설치하여 해석결과와 시공 시의 계측결과를 비교검토가 되도록 한다.
- (3) 지중침하 측정 위치는 쉘드TBM터널 중심선상의 지표면 또는 측정이 요구되는 지점에 배치하고 깊이 별로 여러 개의 측정점을 계획한다.
- (4) 정밀계측의 항목 중 계기를 쉘드TBM터널 내에 설치할 필요가 있는 항목에 대하여 1단면마다 3~5점을 표준으로 터널의 설계패턴에 따라 효과적인 계측이 가능하도록 적절한 위치에 배치한다.
- (5) 접속부 등 특수구간에 대하여 정밀계측에 대한 계획을 제시할 수 있다.
- (6) 파쇄대, 습곡, 단층, 탄층 등의 연약대가 예상되거나 정밀계측이 필요한 구간에는 가급적 쉘드TBM터널의 거동 파악이 가능한 계측기법을 도입하여야 하며, 필요시 막장전방 탐사, 선진수평시추 등을 병행하여 계측결과의 신뢰도를 향상시켜야 한다.
- (7) 쉘드TBM터널 공사로 인하여 환경피해 및 생태계 변화가 우려되는 구간에는 환경영향 관련 계측계획을 수립한다.

8.3 쉼트TBM 장비의 계측

8.3.1 쉼트TBM 장비 계측

(1) 쉼트TBM 장비의 계측항목으로는 <표 8.1>, <표 8.2>을 참고하여 시행한다.

<표 8.1> 쉼트TBM 장비의 계측항목(I)

목 적	대 상	주 계측항목	부 계측항목	육안관찰항목
복공구조의 안전성	복공의 손상·파괴	복공응력, 변형도, 링의 변형, 진원도	토압, 수압, 복공선형 및 균열 폭, 볼트축력, 전단 추진력, 누수량, 강재부식량	균열방향, 누수위치, 강재부식 상황
복공기능의 확보	건축한계의 침해, 선형오차, 누수	내공, 진원도, 기선오, 사행, 누수량	균열 폭	누수위치, 모양새
굴착면의 안전성	과대굴착, 막장붕괴	막장제어압력, 배토 라인압력, 안정보조재 주입압력, 굴착토량	여굴량, 챔버 폐쇄, 배토 라인 폐쇄, 커터 토크, 추진력, 이수 품질, 처리설비부하, 지반 침하량	굴착토사, 이수분출, 지표침하, 함몰상황
	과소굴착	막장, 굴착토량	커터 토크, 추진력, 지반 용기량	굴착토사, 지표용기 범위
	굴착면 압출	추진력, 커터 토크	뒤채움 주입량, 압력, 누수량	충진도, 이토 위치
주변지반의 안전성	지반침하, 함몰	지반침하, 경사량, 간극수압, 뒤채움 주입량 및 압력	막장제어압력, 굴착토량, 여굴량, 챔버 폐쇄, 배토 라인 폐쇄, 커터 토크, 추진력, 이수 품질, 처리설비부하, 쉼트기 자세	굴착토사, 지반변형의 영향범위
	지반용기	지반용기, 경사량, 간극수압, 뒤채움 주입량 및 압력	막장제어압력, 굴착토량, 커터 토크, 추진력, 쉼트기 자세	굴착토사, 지반변형의 영향범위
주변환경의 안정성	소음·진동, 분진, 지하수 오염, 지하수위 저하, 산업폐기물 유출	음원, 진동원, 분진량, 수질, 간극수압, 폐기물 유출량	영향·비산·확산 및 유출 범위, pH, BOD, COD, 유해 메탄가스	

<표 8.2> 쉼트TBM 장비의 계측항목(II)

목적	위 치	계측내용 혹은 항목
쉼트설비 가동상 태 파악	막장·갱내	막장압력, 굴착토량, 커터 회전수, 굴진속도, 추진력, 스크류 컨베이어 회전수, 배수·배토 라인 폐쇄상황 및 횡수, 이수 품질, 첨가제 품질, 온도, 습도, 유해가스, 메탄가스
	굴착토 운송설비	수동토량, 폐쇄장소·횡수, 마모 개소 및 마모량, 트러블 개소 및 횡수, 가동률, 부하량
	굴착토 처리설비	처리토량 및 사이클, 마모 개소 및 마모량, 트러블 개소 및 횡수, 가동률, 부하율
	뒤채움 주입설비	주입량, 주입압력, 재료 사용량, 트러블 개소 및 횡수
	쉼트기 후방설비	가동률, 부하율, 트러블 개소 및 횡수
터널 품질확보	터널선형	사행률, 쉼트기 자세 및 위치, 사용 잭(jack), 쉼트기·복공의 롤링, 피칭(pitching), 측회전(yawing)
수직구의 안전성	수직구	흙막이 벽의 변형·변형도, 버팀보(ring wale) 축력, 개구부 변형량, 누수량, 반력 전달, 구조부재 응력

8.4 유지관리 계측

8.4.1 세그먼트 계측 일반

- (1) 계측은 지반 조건 또는 주변 여건에 따라 지반 및 전력구의 거동을 보다 상세히 관찰할 목적으로 선정하는 항목으로서 현장 조건을 고려하여야 하며, 터널 내공변위 측정, 세그먼트 콘크리트 응력 측정, 내부 철근 응력 측정 등을 포함한다.

8.4.2 계측 설계기준

- (1) 계측 간격은 500m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하되, 전력구의 규모나 지반 및 주변 조건 등에 따라 조정할 수 있으며, 가능한 한 설계 시의 터널해석 구간에 설치하여 해석 결과와 시공 시의 계측결과와의 비교검토가 되도록 하여야 한다.
- (2) 확폭부나 접속부 등의 특수구간과 파쇄대, 단층 등의 연약지반이 예상되는 구간에 추가적인 계측지점을 설치하여 계측을 수행한다.
- (3) 계측의 여러 항목 중, 계기를 세그먼트 내에 설치할 필요가 있는 항목(콘크리트응력 측정, 철근 응력 측정 등)에 대하여 1단면마다 3~5점을 표준으로 전력구의 설계폐턴에 따라 효과적인 계측이 가능하도록 적절한 위치에 배치하여야 한다.
- (4) 전력구의 시공이 지하수위와 지질학적인 문제 예상지역 등 완공 후 주변 여건 및 지반 조건상 전력구에 악영향이 예상되는 경우 준공 후 유지관리 시의 안전성 확보를 위한 유지관리계측 계획을 수립하여야 한다.
- (5) 계측장비는 준공 후 유지관리를 고려하여 내구성과 계측 정확도가 확보된 것으로 선정한다.

제9장 부대공

9.1 공사중 환기

9.1.1 공사중 환기설비

해저 쉘드TBM터널의 공사중 환기설비 계획은 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 공사 중의 환기량 산정은 터널의 연장을 고려하여 산정하여야 하며, 사용기계, 작업원수 등을 고려한다.
- (2) 총소요 환기량은 병행작업이 예상되는 동종의 환기량 합량에 대하여 가장 큰 환기량을 적용한다.
- (3) 쉘드TBM터널 내 작업원이 필요로 하는 환기량은 3m³/분/인을 기준으로 한다.
- (4) 쉘드TBM터널 공사 중의 유해가스 및 분진 허용농도는 근로환경 관계법규에 제시된 기준치를 따라야 하며, 유해가스 등에 의한 인명사고가 발생할 수 있으므로 환기 및 그 밖의 조치를 강구하여야 한다.

9.2 공사중 전기

9.2.1 공사중 전기설비

해저 쉘드TBM터널의 공사중 전기설비계획은 다음 기준을 따라야 한다.

- (1) 전기설비는 전기설비의 기술기준 및 노동안전위생규칙 등에 따라서 설치하고 유지관리하여야 한다.
- (2) 특고 또는 고압의 설비는 큐비클형 기기 등을 사용하고 전선로에는 절연전선 또는 절연케이블을 사용하여 감전사고의 방지를 도모한다.
- (3) 갯내 전기설비는 갯내에서 사용하는 설비용량을 파악하여 쉘드TBM터널 연장 등을 고려하여 충분한 것으로 하여야 한다.
- (4) 전력공급의 중단은 중대한 사고로 이어질 가능성이 있으므로 자가용 발전설비 등을 필요에 따라서 설치한다.

9.2.2 접지설비

- (1) 쉘드TBM터널의 접지설비는 ‘지중송전설계기준 DS-6310 (2009)’의 기준을 따라야 한다.
- (2) 쉘드TBM터널의 접지공사의 종류 및 접지저항은 <표 9.1>과 같다.

<표 9.1> 쉘드TBM터널의 접지저항

접지공사의 종류	접지저항
제1종 접지공사	10 Ω 이하

※ 접지망으로 연결되지 않은 1개소 측정치 기준임.

9.3 환기, 조명, 방재

9.3.1 환기설비

- (1) 환기설비의 용량은 가동 후 30분 이내에 환기가 완료될 수 있는 용량이어야 하며, 현장 여건에 따라 적정 용량을 산정한다. 전력구 내 환기풍속은 2m/sec 이하, 환기구 그레이팅 상부에서의 풍속은 5m/sec 이하로 한다.
- (2) 환기방식은 원칙적으로 종류식을 적용하며, 현장여건상 환기구가 부득이하게 한쪽에 한정되어 종류식을 적용할 수 없는 경우에는 풍관식 환기방식을 사용할 수 있다. 이때는 장래 종류식이 가능할 때까지만 사용하도록 계획한다.
- (3) 환풍기는 환기구 그레이팅 상부에서의 소음을 75db 이하로 하며, 주변지역의 소음규제기준에 맞추어 필요 시 소음 저감장치를 하여야 한다.

9.3.2 조명설비

- (1) 일반용 조명설비는 천장 슬래브 하면에 방진·방수 구조로 하며 내부식성 20W 형광등기구를 작업 및 보행 등에 지장이 없는 높이에 설치하고, 작업보도가 2열인 경우에는 조명기구 설치위치를 서로 엇갈리게 설치하며, 조도는 바닥면에서 평균 15룩스(lx) 이상이 되도록 한다. 단, 출입구 계단 등 특수부에서는 현지에 맞게 추가하며 평균 조도는 약 40룩스로 한다.
- (2) 전력구 내 정전이 되었을 때 작업자를 안전하고 신속하게 밖으로 유도해 낼 수 있도록 최소한의 비상용 조명설비를 설치한다.

9.3.3 방재설비

- (1) 터널의 방재설비는 터널의 연장 및 사용목적에 따라 소화설비, 경보설비, 피난설비, 소화활동설비, 비상전원설비, 기타설비 등의 시설을 갖추도록 한다.
- (2) 전력구의 방재설비계획 시에는 소방방재청의 ‘국가화재안전기준’을 따라야 한다.