

터널공사(NATM공법) 안전보건작업 지침

1. 목적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “안전보건규칙”이라 한다) 제2편 제4장 제2절(굴착작업 등의 위험방지)의 규정에 의거 터널공사중 NATM(무지보공 터널굴착)공사에 있어 사업주가 특별히 조치하여야할 작업상의 안전보건지침을 정함으로써 작업과정에서 발생하는 산업재해 예방을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 건설공사 현장의 터널공사(NATM 공법)에 대하여 적용한다.

3. 용어의 정의

이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 안전보건규칙 및 관련 고시에서 정하는 바에 의한다.

4. 지반의 조사

(1) 지반조사의 확인 : 지질 및 지층에 관한 조사를 실시하고 다음 사항을 확인하여야 한다.

- (가) 시추(보링)위치
- (나) 토층분포상태
- (다) 투수계수
- (라) 지하수위
- (마) 지반의 지지력

- (2) 추가조사 : 설계도서의 시추결과표 및 주상도 등에 명시된 시추공 이외에 중요구조물의 축조, 인접구조물의 지반상태 및 위험지장물 등 상세한 지반·지층 상황을 사전에 조사하여야 하며 필요시 발주자와 협의한 다음 추가시추를 실시하여야 한다.
- (3) 지반보강 : 작업구, 환기구 등 수직갱 굴착계획구간의 연약지층·지반을 정밀조사하여야 하며 필요시 발주자와 협의한 다음 지반보강말뚝공법, 지반고결공법, 그라우팅 등의 보강 조치를 취하여 굴착중 발생하는 붕괴에 대비하여 안전한 공법을 계획하여야 한다.

5. 발파 및 굴착

5.1 일반사항

- (1) 설계 및 지방에서 정한 발파기준(발파방식, 천공길이, 천공직경, 천공간격, 천공각도, 화약의 종류, 장약량 등)을 준수하여 과다발파에 의한 모암손실, 과다여굴, 부석에 의한 붕괴·붕락을 예방하여야 한다.
- (2) 발파대상 구간의 막장 암반상태를 사전에 면밀히 확인하여 발파시방에 적합한 암질여부를 판단하여야 한다.
- (3) 연약암질 및 토사층인 경우에는 발파를 중지하고 다음 사항에 대한 검토를 하여야 한다.
 - (가) 발파시방의 변경조치
 - (나) 암반의 암질판별
 - (다) 암반지층의 지지력 보강공법
 - (라) 발파 및 굴착 공법변경
 - (마) 시험발파실시
- (4) 암질판별 방식은 당해 공사의 설계도서 및 지방서에서 정하는 바에 따른다.

- (5) 발파구간 인접구조물에 대한 피해 및 손상을 예방하기 위한 발파허용 진동치는 당해 공사의 설계도서 및 시방서에서 정하는 바에 따른다.
- (6) 암질의 변화구간 및 발파시방 변경시에는 발파전 폭력, 폭속, 발파 영향력 등의 조사목적으로 시험발파를 실시하여야 하며 시험발파후 암질판별을 기준으로 하여 발파방식, 시방 등의 계획을 재수립하여야 한다.
- (7) 철도, 기존 지하철, 고속도로, 건축구조물 등 기존 구조물의 하부지반 통과구간의 굴착은 설계도서 및 시방서를 준수하여야 하며 다음 사항을 사전에 확인하여야 한다.
- (가) 발파의 경우 시험발파에 의한 진동영향력에 대하여 정밀검토를 하여야 하며 상부 구조물의 진동의 영향이 없는 범위내에서 발파를 시행하여야 한다.
- (나) 발파의 경우에는 발파시방을 준수하여야 하며 풍화암반 등 연약암반 및 토층구간은 발파를 중지하고 수직·수평보링 등 정밀조사를 실시한 후 암질판별에 의한 굴착시방을 변경하여야 하며 다음 사항에 대한 보강공법을 검토한 후 발주처와 협의에 의한 시공계획을 수립하여야 한다.
- ① 무진동 파쇄공법
 - ② 쉘드공법
 - ③ 언더피닝, 파이프루프 등 보강 및 보조공법
 - ④ 포아폴링공법
 - ⑤ 프리그라우팅공법
 - ⑥ 국부미진동 소할발파
- (다) 언더피닝, 파이프루프 등 보강 및 보조공법의 경우 다음 사항에 대하여 계획을 수립하여야 하며 시공중 안전상태를 확인하여야 한다.
- ① 보강구간의 정밀지질조사, 지하매설물 등의 사전검토를 실시하여야 한다.
 - ② 지반지지력구조 계산시 통과차량, 지진 등에 대한 충분한 안전율을 적용하여야 한다.

- ③ 재키의 시험성과 합격품목 여부 및 마모, 작동 등의 이상유무를 확인하여야 한다.
 - ④ 언더피닝구간 등의 가설구조는 응력계, 침하계, 수위계에 의한 주기적 분석의 변위 허용기준을 설정하여야 한다.
 - ⑤ 언더피닝구간 등의 토사굴착은 사전에 단계별 순서와 토량을 정확하게 산정하여야 한다.
 - ⑥ 기계·장비 굴착에 의한 진동을 최소화하여야 한다.
 - ⑦ 굴착중 용출수 및 누수 발생시 급결제 등의 방수 및 배출수 유도시설을 강구한 후 굴착 및 기타 작업을 실시하여야 한다.
- (8) 터널내에는 화약이나 유류를 보관하지 않아야 하며 인화물질의 반입을 금지하여야 한다.
- (9) 작업에 직접적으로 연관되지 않는 차량 및 기타 장비는 터널 입구로부터 먼 곳에 주차 및 배치시켜 두어야 한다.
- (10) 터널 입구에는 안전수칙 표지판을 설치하여야 한다.

5.2 화약류의 운반 및 처리

- (1) 화약류는 관계기관에서 일일 수령하여야 하며 사용후 잔량은 반납하여야 한다.
- (2) 화약류 관리대장을 비치하고 불출 및 반납 상황을 기록 유지하여야 한다.
- (3) 화약류 임시보관소는 화기 및 누전 등으로부터 안전한 장소에 설치하고 시건 장치를 하여야 한다.
- (4) 화약류의 분실 및 손괴에 대한 방호조치를 하여야 한다.
- (5) 전기뇌관을 운반할 때에는 각선이 노출되지 않도록 절연용기에 분리하여 넣고 건전지 및 노출된 전기기구를 휴대하지 않도록 하여야 한다.
- (6) 전기뇌관을 운반할 때에는 전력선 등 누전의 우려가 있는 것에 접근하지 않도록 하여야 한다.

- (7) 화약류를 운반할 때에는 화기나 전력선 등에 접근하지 않도록 하여야 하며 넘어지거나 떨어뜨려 충격이 가지 않도록 주의하여야 한다.

5.3 천공작업

- (1) 점보드릴, 레그햄머 등 착암기의 기계적 결함을 사전에 점검하여야 하며 파손, 이완, 성능저하 등의 장비는 교체하여야 한다.
- (2) 작업대 또는 대차는 구조적으로 안전하여야 하며 차륜, 지지구조, 발판, 사다리, 안전난간 등의 가시설 구조에 대하여는 안전성을 확인하여야 한다.
- (3) 천공작업자에게는 안전모, 마스크, 보안경, 안전장갑, 귀마개 등의 개인보호구를 지급하여야 하며 관리감독자는 이의 착용을 확인하여야 한다.
- (4) 천공작업전 부식, 절리, 용출수, 누수 등의 상태를 확인하여야 하며 필요시 모암 절리방향의 상세도면을 작성하여 그 기록을 정리 보관하여야 한다.
- (5) 천공작업중 이상 용출수의 다량 발생시 작업을 중지하고 긴급 방수대책을 실시하여야 하며 상부 수직시추 및 수평시추를 실시하여 채수대 여부를 확인후 적절한 보강공법 및 공법변경 등의 조치를 취하여야 한다.
- (6) 설계, 시방기준에 의한 천공위치, 각도, 깊이 등을 준수하고 장약전에 이를 확인하여야 한다.
- (7) 천공시에는 전 발파시 불발화약류의 유무를 확인하고 이상 발견시 즉시 천공작업을 중단하고 이를 제거한 후 작업하여야 한다.
- (8) 천공시에는 전번의 발파공을 이용하여서는 안되며 최소 이격거리를 유지하여 평행굴착을 하여야 한다.
- (9) 천공의 지름은 폭약효과 및 폭력기준으로 가능한 한 작은 것이 좋으나 폭약을 장진할 때 무리하게 쏘서 넣으면 위험하므로 폭약 직경보다 크게 하여야 한다.

5.4 장약작업

- (1) 폭약을 장진할 때는 발파구멍을 잘 청소하며 이 때 공저까지 완전히 청소하여 작은 돌 등을 남기지 않아야 한다.
- (2) 천공작업이 완료된 후 장약작업을 실시하여야 하며 천공·장약의 동시작업을 하지 않아야 한다.
- (3) 장약봉은 똑바르고 웅이가 없는 목재 등 부도체로 하고 장진구는 마찰, 정전기 등에 의한 폭발의 위험성이 없는 절연성의 것을 사용하여야 한다.
- (4) 약포는 1개씩 신중히 장약봉으로 집어넣고 사전에 측정한 폭약의 길이와 천공깊이의 차를 점검하면서 약포간의 빈틈이 없도록 하여야 한다.
- (5) 포장에 없는 화약이나 폭약을 장진할 때에는 화기의 사용을 금하고 근접한 곳에서 흡연하는 일이 없도록 하여야 한다.
- (6) 약포를 발파공 내에서 강하게 압착하지 않아야 한다.
- (7) 장진물에는 종이, 솜 등을 사용하지 않아야 한다.
- (8) 충전제는 점토, 모래 등을 비벼 사용하고 작은 돌을 사용치 않아야 하며 처음에는 느슨하게 하고 점차 단단하게 하여 구멍 입구부위까지 채워야 한다.
- (9) 전기뇌관을 사용할 때에는 전선, 모터 등에 접근하지 않도록 하여야 한다.

5.5 발파작업

- (1) 발파는 선임된 발파책임자의 지휘에 따라 시행하여야 한다.
- (2) 굴착 경계면에는 모암에 손상을 주지 않도록 시방에 명기된 폭약을 사용하여야 한다.

- (3) 지질, 암의 절리 등에 따라 화약량을 충분히 검토하여야 하며 시방기준과 대비하여 안전조치를 하여야 한다.
- (4) 발파책임자는 모든 근로자의 대피를 확인하고 지보공 및 복공에 대하여 필요한 방호조치를 한 후 발파하도록 하여야 한다.
- (5) 발파시 안전한 거리 및 위치에서의 대피가 어려울 때에는 전면과 상부를 견고하게 방호한 임시대피장소를 설치하여야 한다.
- (6) 화약류를 장진하기 전에 모든 동력선 및 활선은 장진기기로부터 분리시키고 조명회선을 포함한 모든 동력선은 발원점으로부터 최소한 30m이상 후방으로 옮겨 놓도록 하여야 한다.
- (7) 발파용 점화회선은 타동력선 및 조명회선으로부터 분리하여야 한다.
- (8) 발파전 도화선 연결상태, 저항치 조사 등의 목적으로 도통시험을 실시하여야 하며 발파기 작동상태를 사전 점검하여야 한다.
- (9) 발파 후 30분이상 경과한 후 접근하도록 하여야 하며 다음 사항의 조치를 취한 후 다음 단계의 작업을 행하도록 하여야 한다.
 - (가) 분진 및 유해가스의 농도를 측정하고 노동부고시 화학물질 및 물리적인 자의 노출기준에서 정하는 노출기준(이하 “노출기준”이라 한다) 이하가 되도록 신속히 환풍기, 송풍기 등을 이용하여 환기시킨다.
 - (나) 발파책임자는 발파후 분진 및 유해가스 배출 완료 즉시 굴착면을 세밀히 조사하여 붕락 가능성의 뜯돌을 제거하여야 하며 용출수 유무를 동시에 확인하여야 한다.
 - (다) 발파단면을 세밀히 조사하여 필요에 따라 지보공, 록볼트, 철망, 뽐어붙이기 콘크리트 등으로 보강하여야 한다.
 - (라) 발파공 및 버력 속에 남아있는 불발화약류의 유무를 세밀히 조사하여야 하며 발견시 안전한 방법으로 잔류화약을 처리하여야 한다.
- (10) 화약류는 동결되지 않도록 보관하고 동결된 화약류는 상온에서 완전히 해동한 후에 취급, 사용하여야 한다.

5.6 전기발파

- (1) 미주전류의 유무에 대하여 확인하고 미주전류가 0.01A이상일 때에는 전기 발파를 하지 않아야 한다.
- (2) 전기발파기는 확실하게 기동이 되는지의 여부를 사전에 점검하여야 한다.
- (3) 도통시험기는 소정의 저항치에 대해 사전에 점검하여야 한다.
- (4) 약포에 뇌관을 장치할 때에는 반드시 전기뇌관의 저항을 측정하여 소정의 저항치에 대하여 오차가 $\pm 0.1\Omega$ 이내에 있는가를 확인하여야 한다.
- (5) 점화장소는 발파현장에서 충분히 떨어져 있는 장소로 하고 물기나 철탑, 웨도 등이 없는 장소를 택하여야 한다.
- (6) 점화장소는 발파현장이 잘 보이는 곳이어야 한다.
- (7) 전선은 점화하기 전에 화약류를 장전한 장소로부터 30m 이상 떨어진 안전한 장소에서 도통시험 및 저항시험을 하여야 한다.
- (8) 점화는 충분한 용량을 갖는 발파기를 사용하고 규정된 스위치를 반드시 사용하여야 한다.
- (9) 점화는 선임된 발파책임자가 행하고 발파기의 핸들은 점화할 때 이외는 시건장치를 하거나 모선을 분리하여야 하며 발파책임자의 엄중한 관리하에 두어야 한다.
- (10) 발파후 즉시 발파모선을 발파기로부터 분리하고 그 단부를 절연시킨 후 재 점화가 되지 않도록 하여야 한다.

5.7 도화선 발파

- (1) 도화선의 길이는 천공길이 및 연결 점화개수, 대피장소의 거리, 대피시간 등을 고려하여 충분한 길이로 할 것이며 최소한 50cm이상으로 하여야 한다.
- (2) 도화선의 절단은 도화선용 가위를 이용하여 직각으로 절단하여야 한다.
- (3) 뇌관 내부에 도화선을 삽입하고 뇌관을 조여 놓을 때는 반드시 규정된 뇌관 조이개를 사용하고 뇌관의 장약부를 조이지 않도록 하여야 한다.
- (4) 뇌관을 약포에 달 때에는 약포내에 충분히 삽입하여 약포지로 도화선 둘레를 싸고 뇌관이 빠지지 않게 끈으로 잘 동여매도록 하며 도화선으로 약포를 묶지 않아야 한다.
- (5) 점화는 반드시 발파책임자의 지시 및 신호 하에 수행하여야 하며 점화의 순서, 대피방법 등을 사전에 검토하고 교육을 실시하여야 한다.
- (6) 발파책임자는 점화신호를 확실히 하고 작업원에 대하여 신호방식의 숙지, 지시에 대한 순응상태 등을 확인하여야 한다.

5.8 버력처리

- (1) 버력처리 장비는 다음 사항을 고려하여 선정하고 사토장거리, 운행속도 등의 작업계획을 수립한 후 작업하여야 한다.
 - (가) 굴착단면의 크기 및 단위발파 버력의 물량
 - (나) 터널의 경사도
 - (다) 굴착방식
 - (라) 버력의 성상 및 함수비
 - (마) 운반 통로의 노면상태

- (2) 버력의 적재 및 작업시에는 주변의 지보공 및 가시설물 등이 손상되지 않도록 하여야 하며 위험요소에는 운전자가 보기 쉽도록 운행속도, 회전주의, 후진금지 등 안전표지판을 부착하여야 한다.
- (3) 상기 (1),(2)의 계획 및 안전조치를 취한 후 근로자에게 작업안전교육을 실시하여야 한다.
- (4) 작업장에는 관리감독자를 배치하고 작업자 이외에는 출입을 금지하도록 하여야 한다.
- (5) 버력의 적재 및 운반기계에는 경광등, 경음기 등 안전장치를 설치하여야 한다.
- (6) 버력처리에 있어 불발 화약류가 혼입되어 있을 경우가 있으므로 확인하여야 한다.
- (7) 버력운반중 버력이 떨어지는 일이 없도록 무리한 적재를 하지 않아야 한다.
- (8) 버력운반로는 항상 양호한 노면을 유지하도록 하여야 하며 배수로를 확보해 두어야 한다.
- (9) 갭내 운반을 궤도에 의하는 경우에는 탈선 등으로 인한 재해를 일으키지 않도록 궤도를 견고하게 부설하고 수시로 점검, 보수하여야 한다.
- (10) 버력반출용 수직구 아래에는 낙석에 의한 근로자에게 재해를 방지하기 위하여 낙석주의, 접근금지 등 안전표지판을 설치하여야 한다.
- (11) 버력 적재장에서는 붕락, 붕괴의 위험이 있는 뜬돌 등의 유무를 확인하고 이를 제거한 후 작업하도록 하여야 한다.
- (12) 차량계 운반장비는 작업시작전 다음 사항을 점검하고 이상이 발견된 때에는 즉시 보수 기타 필요한 조치를 하여야 한다.

- (가) 제동장치 및 조향장치 기능의 이상유무
- (나) 하역장치 및 유압장치 기능의 이상유무
- (다) 차륜의 이상유무
- (라) 경광, 경음장치의 이상유무

(13) 버력을 반출하는 궤도차량에는 전방에서 작업중인 근로자에게 미리 접근 상황을 알려주는 통신 및 경보시설을 설치·운용하여야 한다.

(14) 버력 반출용 궤도차량이 근로자가 작업하고 있는 장소를 통행할 경우에는 근로자가 안전하게 대피한 것을 확인한 후 서행하여야 한다.

5.9 기계굴착

(1) 로더 헤더(Load Header), 쉬일드 머신(Shield Machine), 터널보링머신(T.B.M)등 굴착기계는 다음 사항을 고려하여 선정하고 작업순서 등 작업안전계획을 수립한 후 작업하여야 한다.

- (가) 터널굴착단면의 크기 및 형상
- (나) 지질구성 및 암반의 강도
- (다) 작업공간
- (라) 용수상태 및 막장의 자립도
- (마) 굴진방향에 따른 지질단층의 변화정도

(2) (1)의 수립된 작업안전계획에는 최소한 다음 사항이 포함되어야 한다.

- (가) 굴착기계 및 운반장비 선정
- (나) 굴착단면의 굴착순서 및 방법
- (다) 굴진작업 1사이클의 공정순서 및 굴진단위길이
- (라) 버력적재 방법 및 운반경로
- (마) 배수 및 환기
- (바) 이상 지질 발견시 대처방안
- (사) 작업시작전 장비의 점검
- (아) 관리감독자 선임

(3) 사업주는 (1) 및 (2)에서 수립된 작업안전계획에 준하여 작업을 하여야 하며 이를 작업자에게 교육하고 확인하여야 한다.

(4) 작업자는 지시 또는 교육받은 작업내용을 준수하여야 한다.

5.10 연약지반의 굴착

(1) 막장에 연약지반 발생시 포아폴링, 프리그라우팅 등 지반보강 조치를 한 후 굴착하여야 한다.

(2) 굴착작업 시작전에 뿔머붙이기 콘크리트를 비상시에 타설할 수 있도록 준비하여야 한다.

(3) 성능이 좋은 급결재를 항상 준비해 두어야 한다.

(4) 철망, 소철선, 마대, 강관 등을 갯내의 찾기 쉬운 곳에 준비하여 두어야 한다.

(5) 막장에는 항상 작업자를 배치하여야 하며 주·야간 교대시에는 막장에서 교대하도록 하여야 한다.

(6) 이상용수 발생 또는 막장 자립도에 이상이 있을 때에는 즉시 작업을 중단하고 이에 대한 조치를 한 후 작업하여야 한다.

(7) 작업장에는 관리감독자를 배치하여야 한다.

(8) 필요시 수평보링, 수직보링을 추가 실시하고 지층단면도를 정확하게 작성하여 굴착계획을 수립하여야 한다.

6. 뿔어붙이기 콘크리트

6.1 작업계획

(1) 뿔어붙이기 콘크리트 작업시에는 사전에 작업계획을 수립후 실시하여야 하며 작업계획에는 최소한 다음 사항이 포함되어야 한다.

- (가) 사용목적 및 투입장비
- (나) 건식공법, 습식공법 등 공법의 선택
- (다) 노즐의 분사출력기준
- (라) 압송거리
- (마) 분진방지대책
- (바) 재료의 혼입기준
- (사) 리바운드 방지대책
- (아) 작업의 안전수칙

(2) 작업계획을 근로자에게 교육시켜야 한다.

6.2 일반사항

- (1) 뿔어붙이기 작업전 필히 대상암반면의 절리상태, 부석, 탈락, 붕락 등의 사전 조사를 실시하고 유동성 부석은 완전하게 정리하여야 한다.
- (2) 뿔어붙이기 작업대상구간에 용수가 있을 경우에는 작업전 누수공 설치, 배수관 매입에 의한 누수유도 등 적절한 배수처리를 하거나 급결성 모르터 등으로 지수하여 접착면의 누수에 의한 수막분리현상을 방지하여야 한다.
- (3) 뿔어붙이기 콘크리트의 압축강도는 24시간 이내에 100kgf/cm^2 이상, 28일 강도 200kgf/cm^2 이상을 유지하여야 한다.
- (4) 철망 고정용 앵커는 10m^2 당 2분을 표준으로 한다.
- (5) 철망은 철선굵기 $\phi 3\text{mm} \sim 6\text{mm}$ 눈금간격 사방 100mm 의 것을 사용하여야 하며, 이음부위는 20cm 이상 겹치도록 하여야 한다.

- (6) 철망은 원지반으로부터 1.0cm이상 이격거리를 유지하여야 한다.
- (7) 지반의 이완변형을 최소한으로 하기 위하여 굴착후 최단시간 내에 뿔머리 콘크리트 작업을 신속하게 시행하여야 한다.
- (8) 기계의 고장 등으로 작업이 중단되지 않도록 기계의 점검 및 유지 보수를 실시하여야 한다.
- (9) 작업전 근로자에게 분진마스크, 귀마개, 보안경 등 개인보호구를 지급하고 착용여부를 확인한 후 작업하여야 한다.
- (10) 뿔머리 콘크리트 노즐분사압력은 2~3kgf/cm²를 표준으로 한다.
- (11) 물의 압력은 압축공기의 압력보다 1kgf/cm² 높게 유지하여야 한다.
- (12) 지반 및 암반의 상태에 따라 뿔머리 콘크리트의 최소 두께는 다음 기준 이상이어야 한다.
 - (가) 약간 취약한 암반 : 2cm
 - (나) 약간 파괴되기 쉬운 암반 : 3cm
 - (다) 파괴되기 쉬운 암반 : 5cm
 - (라) 매우 파괴되기 쉬운 암반 : 7cm(철망비용)
 - (마) 팽창성의 암반 : 15cm(강재 지보공과 철망비용)
- (13) 뿔머리 콘크리트 작업시에는 부근의 건조물 등의 오손을 방지하기 위하여 작업전 경계부위에 필요한 방호조치를 하여야 한다.
- (14) 접착불량, 혼합비율불량 등 불량한 뿔머리 콘크리트가 발견되었을 시에는 신속히 양호한 뿔머리 콘크리트로 대체하여 콘크리트 덩어리의 분리 낙하로 인한 재해를 예방하여야 한다.

7. 강아치지보공

7.1 일반사항

- (1) 강아치지보공을 조립할 때에는 설계, 시방에 부합하는 조립도를 작성하고 당해 조립도에 따라 조립하여야 하며 재질기준, 설치간격, 접합볼트체결 등의 기준을 준수하여야 한다.
- (2) 강아치지보공 조립시에는 부재운반, 부재전도, 협착 등 안전조치를 취한 후 조립작업을 하여야 한다.
- (3) 설계조건외 암반보다 구조적으로 불리한 경우에는 강아치지보공의 간격을 적절한 기준으로 축소하여야 한다.

7.2 시공

- (1) 강아치지보공은 발파굴착면의 절리발달, 편암붕락 등 원지반에 불리한 파괴응력이 발생하기전에 가능한 신속히 설치하여야 한다.
- (2) 강아치지보공은 정해진 위치에 정확히 설치하여야 하며 건립후 그의 위치중심, 고저차에 대하여 수시로 점검하여야 한다.
- (3) 강아치지보공의 설치에 있어서는 지질 및 지층의 특성에 따라 침하발생이 우려될 경우 쐐기, 앵커 등의 고정장치를 강구하여야 한다.
- (4) 강아치지보공의 상호연결볼트 및 연결재는 충분히 조여야 하며 용접을 금하고 덧댐판으로 볼트, 너트 구조의 접합을 실시하여야 한다.
- (5) 강아치지보공의 받침은 목재받침을 금하고 철근류 및 양질의 콘크리트 블록 등으로 고정하여야 한다.
- (6) 강아치지보공에 변형, 부재이완, 설치간격불량 등의 이상이 있다고 인정되는 경우에는 즉시 안전하고 확실한 방법으로 보강을 하여야 한다.

- (7) 프리그라우팅 및 포아폴링 등의 보강작업시 사용되는 붕, 파이프 등에 의하여 강아치지보공이 이동하거나 뒤틀리는 것을 막아야 하며, 이 경우 설치오차는 수평거리 10cm이내로 하여야 한다.
- (8) 예상치 못했던 막장의 구조적 불안정 등과 같은 비상외 상황에 대비하여 충분한 양의 비상용 통나무와 켄기목, 급결재, 시멘트 등을 준비해 두어야 한다.

8. 록 볼트

8.1 일반사항

- (1) 록 볼트공 작업에 있어서는 작업전 다음 사항을 검토하여 실시하여야 한다.
 - (가) 지반의 강도
 - (나) 절리의 간격 및 방향
 - (다) 균열의 상태
 - (라) 용수상황
 - (마) 천공직경의 확대유무 및 정도
 - (바) 보아홀의 거리정도 및 자립여부
 - (사) 뿔어붙이기 콘크리트 타설방향
 - (아) 시공관리의 용이성
 - (자) 정착의 확실성
 - (차) 경제성
- (2) 록 볼트 설치작업의 분류기준은 선단정착형, 전면접착형, 병용형을 기준으로 하며 작업전 설계, 시방에 준하는 적정한 방식여부를 확인하여야 한다.
- (3) 록 볼트 선정에 있어서는 2~3종류의 록 볼트를 선정하여 현장부근의 조건이 동일한 장소에서 시험시공, 인발시험 등을 시행하여 록 볼트 강도를 사전확인함으로써 가장 적합한 종류의 록 볼트를 선정할 수 있도록 하여야 한다.

- (4) 록 볼트 채질선정에 있어서는 암반조건, 설계시방 등을 고려하여 선정하여야 하며, 록 볼트의 직경은 25mm를 원칙으로 하여야 한다.
- (5) 록 볼트 접착재 선정에 있어서는 조기 접착력이 크고, 취급이 간단하여야 하며 내구성이 양호한 조건의 것을 선정하여야 한다.
- (6) 록 볼트 삽입간격 및 길이의 기준은 다음 사항을 고려하여 결정하여야 한다.
 - (가) 원지반의 강도와 암반특성
 - (나) 절리의 간격 및 방향
 - (다) 터널의 단면규격
 - (라) 사용목적

8.2 시공

- (1) 록 볼트 천공작업은 소정의 위치, 천공직경 및 천공깊이의 적정성을 확인하고 굴착면에 직각으로 천공하여야 하며, 볼트 삽입전에 유해한 녹·석분 등 이물질이 남지 않도록 청소하여야 한다.
- (2) 록 볼트의 조이기는 삽입후 즉시 록 볼트의 항복강도를 넘지 않는 범위에서 충분한 힘으로 조여야 한다.
- (3) 록 볼트의 다시 조이기는 시공후 1일정도 경과한 후 실시하여야 하며, 그 후에도 정기적으로 점검하여, 소정의 긴장력이 도입되어 있는지를 확인하고, 이완되어 있는 경우에는 다시 조이기를 하여야 한다.
- (4) 모든 형태의 지지판은 지반의 변형을 구속하는 효과를 발휘하고, 지반의 붕락방지를 위하여 암석이나 뿔어붙이기 콘크리트 표면에 완전히 밀착 되도록 하여야 한다.
- (5) 록 볼트는 뿔어붙이기 콘크리트의 경화후 가능한 한 빠른시기에 시공하여야 한다.

- (6) 록 볼트의 천공에 따라 용수가 발생한 경우에는 단위면적기준 중앙 집수유도방식 및 각공별 차수방식 등에 의하여 용출수 유도 및 차수를 실시하여야 한다.
- (7) 경사방향 록 볼트의 시공에 있어서는 소정의 각도를 준수하여야 하며, 낙석으로 인한 근로자의 안전조치를 선행한 후에 시행하여야 한다.
- (8) 록 볼트 작업의 표준시공방식으로서 시스템 볼팅을 실시하여야 하며 인발시험, 내공변위측정, 천단침하측정, 지중변위측정 등의 계측결과로부터 다음 사항에 해당될 때에는 록 볼트의 추가시공을 하여야 한다.
- (가) 터널벽면의 변형이 록 볼트 길이의 약 6%이상으로 판단되는 경우
 - (나) 록 볼트의 인발시험결과로부터 충분한 인발내력이 얻어지지 않는 경우
 - (다) 록 볼트 길이의 약 반이상으로부터 지반 심부까지의 사이에 축력분포의 최대치가 존재하는 경우
 - (라) 소성영역의 확대가 록 볼트 길이를 초과한 것으로 판단되는 경우
- (9) 암반상태, 지질의 상황과 계측결과에 따라 필요한 경우에는 록 볼트설치의 증가 등 보완조치를 신속하게 실시하여야 한다.
- (10) 록 볼트 시공시 천공장의 규격에 따라 싱커, 크롤라드릴 등 천공기를 선별하여야 하며, 사용하기 전 드릴의 마모, 동력전달상태 등 장비의 점검 및 유지보수를 실시하여야 한다.
- (11) 록 볼트의 삽입장비는 시방규격의 회전속도(r.p.m)를 확보할 수 있는 에어 오거 등 표준모델의 장비이어야 한다.
- (12) 록 볼트는 시공후 정기적으로 인발시험을 실시하고 축력변화에 대한 기록을 정확히하여 암반거동의 기록을 분석, 안전에 유의하여야 한다.
- (13) 록 볼트 작업은 천공 및 볼트 삽입 작업시 근로자의 안전을 위하여 개인 보호구를 착용하여야 하며 관리감독자는 이를 확인하여야 한다.

9. 라이닝 콘크리트

9.1 철근조립

터널 천단부에 라이닝 철근을 조립하는 경우에는 조립된 라이닝 철근망이 자중에 의한 붕괴위험이 있는지를 구조검토하고 필요시 붕괴되지 않도록 철근망에 보강재를 삽입하거나 터널 굴착면에 철근망 고정용 앵커를 설치하여 철근망을 견고하게 고정하여야 한다.

9.2 콘크리트 라이닝

(1) 콘크리트 라이닝 공법 선정시 다음 사항을 검토하여 시공방식을 선정하여야 한다.

- (가) 지질, 암질상태
- (나) 단면형상
- (다) 라이닝의 작업능력
- (라) 굴착공법

(2) 라이닝 콘크리트 배면과 뿔어붙인 콘크리트 사이의 공극이 생기지 않도록 하여야 한다.

(3) 콘크리트 재료의 혼합후 타설 완료 때까지의 소요시간은 다음을 기준으로 한다.

- (가) 온난 · 건조시 1시간 이내
- (나) 저온 · 습윤시 2시간 이내

(4) 콘크리트 운반중 재료의 분리, 손실, 이물의 혼입이 발생하지 않는 방법으로 운반하여야 한다.

(5) 콘크리트 타설표면은 이물질이 없도록 사전에 제거하여야 한다.

- (6) 콘크리트는 연속해서 타설하여야 하며, 좌우대칭으로 같은 높이로하여 거푸집에 편압이 작용하지 않도록 하여야 한다.
- (7) 타설슈트, 벨트컨베이어 등을 사용하는 경우에는 충격, 휘말림 등에 대하여 충분한 주의를 하여야 한다.
- (8) 굳지않은 콘크리트의 처짐 및 침하로 인하여 터널천정 부분에 공극이 생기는 위험을 방지하기 위해서 콘크리트가 경화된 후 시방에 의한 접착 그라우팅을 천정부에 시행하여야 한다.

9.3 거푸집구조

- (1) 거푸집은 콘크리트의 타설 속도 등을 고려하여 타설된 콘크리트의 압력에 충분히 견디는 구조이어야 한다.
- (2) 이동식 거푸집에 있어서는 다음 사항을 준수하여야 한다.
 - (가) 이동식 거푸집 제작시에는 근로자의 작업에 지장을 초래하지 않도록 작업공간을 확보할 수 있는 구조이어야 한다.
 - (나) 이동식 거푸집에 있어서는 볼트, 너트 등으로 이완되지 않도록 견고하게 고정하여야 하며 휨, 비틀림, 전단 등의 응력 발생에 대하여 점검하여야 한다.
 - (다) 거푸집 이동용 궤도는 침하방지를 위하여 지반의 다짐, 편평도를 사전에 점검하고 침목설치상태, 레일의 간격 등을 사전점검 하여야 한다.
 - (라) 이동식 거푸집의 경우 설치 후 장시간 방치시 사용된 재키류의 나선파손, 유압실린더, 플레이트 등의 파손 및 이완 유무를 재확인하여야 하며 교체, 보완, 보강 등의 조치를 하여야 한다.
 - (마) 콘크리트 타설하중 및 타설충격에 의한 거푸집 변위 및 이동방지의 목적으로 가설앵커, 썬기 등의 설치를 하여야 한다.

9.4 거푸집 시공

(1) 조립식 거푸집에 있어서는 다음 사항을 준수하여야 한다.

- (가) 조립식 거푸집은 제작사양 조립도의 조립순서를 준수하여야 하며 해체시의 순서는 조립순서의 역순을 원칙으로 하여야 한다.
- (나) 조립식 거푸집을 해체할 때에는 순서에 의해 부재를 정리 정돈하고 부착 콘크리트, 유해물질 등을 제거하고 힌지, 재키 등의 활절작동 구간은 윤활유 등을 주입하여야 한다.
- (다) 조립과 해체의 반복작업에 의한 볼트, 너트의 손상을 사전에 검토하고 충분한 여분을 준비하여야 한다.
- (라) 라이닝플레이트 등의 절단, 변형, 부재탈락시 용접 접합을 금하며 필요시 동일 재질의 부재로 교체하여야 한다.
- (마) 벽체 및 천장부 작업시 작업대 설치를 요하며 사다리, 안전난간, 안전대 부착설비, 이동용바퀴 및 정지장치 등을 설치하여야 한다.

(2) 거푸집 조립작업의 시행전 다음 사항을 고려하여 타설목적에 적당한 규격 여부를 확인하여야 한다.

- (가) 콘크리트의 1회 타설량
- (나) 타설길이
- (다) 타설속도

(3) 거푸집의 측면판은 콘크리트의 타설측압 및 압축력에 충분히 견디는 구조로 하여야 하며 모르타가 새어나가지 않도록 원지반에 밀착, 고정시켜야 한다.

(4) 거푸집은 타설된 콘크리트가 필요한 강도에 달할 때까지 거푸집을 제거하지 않아야 하며 시방의 양생기준을 준수하여야 한다.

(5) 거푸집을 조립할 때에는 철근의 앵커구조, 피복규격 등을 확인하고 철근의 변위, 이동방지용 썰기 설치 상태를 확인하여야 한다.

10. 계측

10.1 계측의 목적

터널 계측은 굴착지반의 거동, 지보공 부재의 변위, 응력의 변화 등에 대한 정밀 측정을 실시함으로써 시공의 안전성을 사전에 확보하고 설계시의 조사치와 비교분석하여 현장조건에 적정하도록 수정, 보완하는데 그 목적이 있으며 다음을 기준으로 한다.

- (1) 터널내 변형관측
- (2) 내공변위 측정
- (3) 천단침하 측정
- (4) 지표면 침하측정
- (5) 지중변위 측정
- (6) 지중침하 측정
- (7) 지중수평변위 측정
- (8) 지하수위 측정
- (9) 록 볼트 축력측정
- (10) 뿔어붙이기 콘크리트 응력측정
- (11) 터널내 탄성과 속도 측정
- (12) 주변 구조물의 변형상태 조사

10.2 계측관리

- (1) 터널작업시 사전에 계측계획을 수립하고 그 계획에 따른 계측을 하여야 하며 계측 계획에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

- (가) 측정위치 개소 및 측정의 기능 분류
- (나) 계측시 소요장비
- (다) 계측빈도
- (라) 계측결과 분석방법
- (마) 변위 허용치 기준
- (바) 이상 변위시 조치 및 보강대책
- (사) 계측 전담반 운영계획

(아) 계측관리 기록분석 계통기준 수립

- (2) 계측결과를 설계 및 시공에 반영하여 공사의 안전성을 도모할 수 있도록 측정기준을 명확히 하여야 한다.
- (3) 계측관리의 구분은 일상계측과 대표계측으로 하며 계측빈도 기준은 측정 특성별로 별도 수립하여야 한다.

10.3 계측결과 기록

계측결과를 시공관리 및 장래계획에 반영할 수 있도록 그 기록을 보존하여야 한다.

10.4 계측기의 관리

계측의 인적 및 기계적 오차를 최소화하기 위하여 다음 사항을 준수하여야 한다.

- (1) 계측시행에 있어 전문교육을 받은 계측 전담원을 지정하여 지정된 자만이 계측할 수 있도록 하여야 한다.
- (2) 설치된 계측기 및 센서 등의 정밀기기는 관계자 이외에 취급을 금지하여야 한다.
- (3) 계측기록의 결과를 분석후 시공중 조치사항에 대하여는 충분한 기술자료 및 표준지침에 의거하여야 한다.

11. 배수 및 방수

11.1 배수 및 방수계획의 작성

터널내의 누수로 인한 붕괴위험 및 근로자의 작업안전을 위하여 배수 및 방수 계획을 수립하여야 하며 그 계획에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

- (가) 지하수위 및 투수계수에 의한 예상 누수량 산출
- (나) 배수펌프 소요대수 및 용량
- (다) 배수방식의 선정 및 집수구 설치방식
- (라) 터널내부 누수개소 조사 및 점검 담당자 선임
- (마) 누수량 집수유도 계획 또는 방수계획
- (바) 굴착상부지반의 채수대 조사

11.2 누수에 의한 위험방지

누수에 의한 주변구조물 침하 또는 터널붕괴로 인한 근로자의 피해를 방지하기 위하여 다음 사항을 준수하여야 한다.

- (1) 터널내의 누수개소, 누수량 측정 등의 목적으로 담당자를 선임하여야 한다.
- (2) 누수개소를 발견한 때에는 토사 유출로 인한 상부지반의 공극발생 여부를 확인하여야 하며 규정된 용량의 용기에 의한 분당 누출 누수량을 측정하여야 한다.
- (3) 뿔어붙이기 콘크리트 부위에 토사유출의 용수 발생시 즉시 작업을 중단하고 지중침하, 지표면 침하 등의 계측 결과를 확인하고 정밀지반 조사후 급결그라우팅 주입 등의 조치를 취하여야 한다.
- (4) 누수 및 용출수 처리에 있어서는 다음 사항을 확인후 집수유도로 설치 또는 방수의 조치를 하여야 한다.
 - (가) 누수에 토사의 혼입정도 여부
 - (나) 배면 또는 상부지층의 지하수위 및 지질상태
 - (다) 누수를 위한 배수로 설치시 탈수 또는 토사유출로 인한 붕괴 위험성 검토
 - (라) 방수로 인한 지수처리시 배면 과다 수압에 의한 붕괴의 임계한도
 - (마) 용출수량의 단위시간 변화 및 증가량

(5) 상기 사항을 확인후 이에 대한 적절한 조치를 하여야 한다.

11.3 아치 접합부 배수유도

터널구조상 2중 아치, 3중 아치의 구조에 있어서 시공중 가설배수로 유도는 아치 접합부 상단에 임시배수 관로 등을 설치하여 배수 안전조치를 취하여야 한다.

11.4 배수로

계획에 따라 배수로를 설치하고 지반의 안정조건, 근로자의 양호한 작업조건을 유지하여야 한다.

11.5 지반보강

누수에 의한 붕괴위험이 있는 개소에는 약액주입공법 등 지반보강 조치를 하여야 하며 정밀지층조사, 채수대 여부, 투수성판단 등의 조치를 사전에 실시하여야 한다.

11.6 감전위험방지

- (1) 수중배수 펌프 설치시에는 근로자의 감전재해를 방지하기 위하여 펌프 외함에 접지를 하여야 하며 수시로 누전상태 등의 확인을 하여야 한다.
- (2) 터널내 각종 가설전기 안전상태를 확인하여야 하며 근로자가 접촉되지 않도록 충분한 높이의 측면에 가설하여 수중 배선이 되지 않도록 하여야 한다.
- (3) 갯내 조명등, 수중펌프 등에는 반드시 누전차단기 회로와 연결되어야 하며 표준방식의 접지를 실시하여야 한다.

12. 조명 및 환기

12.1 조명

- (1) 막장의 균열 및 지질상태 터널벽면의 요철정도, 부식의 유무, 누수상황 등을 확인할 수 있도록 충분한 조명시설을 하여야 한다.
- (2) 근로자의 안전을 위하여 터널 작업면에 대한 조명장치 및 설비를 확인하여야 하며 조도의 기준은 다음 <표 1>을 준용한다.

<표 1> 작업면에 대한 조도 기준

작업구분	기준
막장구간	60 LUX 이상
터널중간구간	50 LUX 이상
터널 입출구, 수직구 구간	30 LUX 이상

- (3) 조명설비에 대하여 정기 및 수시 점검계획을 수립하고 단선, 단락, 파손, 누전 등에 대하여는 즉시 조치하여야 한다.
- (4) 작업중 분진이나 매연으로 인하여 조도가 떨어지지 않도록 유지·관리를 하여야 한다.
- (5) 터널내부에 설치된 조명용 전선의 절단, 누전 등으로 전력공급이 차단되는 경우를 대비하여 터널외부에 설치된 주 분전반에서 각각 별도의 분기회로에 접속하는 2계통의 조명용 배선을 설치하되 각 배선별 조명등을 교대로 설치하여야 한다.
- (6) 터널내부에서 외부전원의 단전으로 조명이 꺼질 때 자동적으로 점등되는 충전식 배터리를 전원으로 하는 비상조명등을 터널길이 100m당 1개소이상 설치하여야 한다.

- (7) 터널내부의 충전식 배터리를 전원으로 하는 비상조명등은 수시 및 정기적으로 작동상태를 점검하고 항상 정상적으로 작동하도록 관리하여야 한다.

12.2 환기

- (1) 터널 전지역에 항상 신선한 공기를 공급할 수 있는 충분한 용량의 환기설비를 설치하여야 하며 환기용량의 산출은 다음을 기준으로 한다.
 - (가) 발파후 가스 단위 배출량을 산출하고 이의 소요환기량
 - (나) 근로자의 호흡에 필요한 소요환기량
 - (다) 디젤기관의 유해가스에 대한 소요환기량
 - (라) 뿜어붙이기 콘크리트의 분진에 대한 소요환기량
 - (마) 암반 및 지반자체의 유독가스 발생량
- (2) 발파후 유해가스, 분진 및 내연기관의 배기가스 등을 신속히 터널외부로 배출되도록 환기시켜야 하며 발파후 30분 이내에 분진 및 유해가스의 농도가 노출기준 이하로 배출되도록 배기 및 송기를 하여야 한다.
- (3) 배기가스처리장치가 없는 디젤기관은 터널 내의 투입을 금하여야 한다.
- (4) 터널 내의 기온은 37℃이하가 되도록 신선한 공기로 환기시켜야 하며 근로자의 작업조건에 유해하지 아니한 상태를 유지하여야 한다.
- (5) 소요환기량에 충분한 용량의 환기설비를 하여야 하며 중앙집중환기방식, 단열식 송풍방식, 병열식 송풍방식 등의 기준에 의하여 적정한 계획을 수립하여야 한다.
- (6) 환기설비에 대하여 정기점검을 실시하고, 파손, 파괴 및 용량 부족시 보수 또는 교체하여야 한다.
- (7) 터널길이가 200m이상인 경우 천공, 발파, 버력반출, 굴착 및 지보공 설치 등 작업이 진행되는 막장작업구간(막장으로부터 50m이내)에서 천공, 발파, 숏크리트 타설시 발생하는 분진 및 유해가스와 각 종 장비의 내연기관 배기가스 등을 터널외부로 신속히 배출하도록 송·배기시설을 각각 독립적으로 설치하여야 한다.

- (8) 터널길이가 200m이상인 경우 막장에서 천공, 발파, 숏크리트 타설시 발생하는 분진 및 유해가스와 각 종 장비의 내연기관 배기가스 등이 막장작업구간이외의 터널 구간으로 확산되지 않도록 막장으로부터 50m이내에 차단막을 설치하여야 한다.
- (9) 터널내부에서 근로자가 작업하고 있는 경우에는 분진 및 유해가스의 농도를 수시 및 정기적으로 측정하여 노출기준 이하로 항상 유지되도록 환기 및 살수를 하여야 한다.

13. 터널내부의 근로자 대피소 및 차량 회차로

- (1) 터널길이가 200m이상인 경우 현장여건을 고려하여 적절한 간격으로 차량계건설기계의 회차로겸 근로자 대피소를 설치하여야 한다(단, 터널단면의 폭이 넓어서 회차가 가능한 경우에는 설치하지 않을 수 있으며, 최대 설치간격은 150m를 초과할 수 없다).
- (2) 터널내부의 근로자 대피소에는 응급구호비품, 음료수를 비치하여야 한다.

14. 터널내부 시계 확보

- (1) 터널내부에서 근로자가 작업할 경우에는 항상 100m이상의 가시거리를 확보하여야 한다.
- (2) 터널내부에서 분진, 유해가스, 내연기관 배기가스, 수증기 등의 과다로 인하여 가시거리가 100m미만일 경우에는 작업차량에 근로자가 충돌, 협착하는 등의 위험을 방지하기 위하여 신속히 환기 및 살수를 하여야 한다.

15. 라이닝 콘크리트 표면의 에폭시 방수 등 유해가스를 방출하는 작업

- (1) 배수지 터널 등의 터널라이닝 콘크리트 표면에 방수공사를 하는 경우에는 방수액 도포후 발생하는 유해가스를 터널외부로 신속히 배출할 수 있도록 환기시설을 설치하고 유해가스의 농도가 노출기준 이하로 유지되도록 연속적으로 가동하여야 한다.
- (2) 배수지 터널 등의 터널라이닝 콘크리트 표면에 에폭시 방수공사를 하는 장소에는 화재발생위험을 예방하기 위하여 불씨가 되는 용접작업 등 점화원을 격리하고 소화기를 비치하여야 한다.
- (3) 배수지 터널 등의 터널라이닝 콘크리트 표면에 에폭시 방수공사를 하는 근로자는 유기가스용 방독마스크를 착용하여야 한다.

16. 터널내·외부간 비상용 통신시설

- (1) 터널내부 근로자와 터널외부에 있는 현장사무실의 관리감독자간 재해발생 위험시 연락할 수 있는 인터폰 등 비상용 통신시설을 터널길이 100m당 1개소이상 설치하여야 한다.
- (2) 비상용 통신시설은 충전식 배터리를 전원으로 작동하는 것이어야 한다.
- (3) 비상용 통신시설은 수시 및 정기적으로 작동상태를 점검하고 항상 정상적으로 작동되도록 관리하여야 한다.

17. 작업복 및 보호장구

- (1) 터널내부에서 작업하는 근로자는 어두운 곳에서 발광되는 야광표식이 부착된 안전모, 작업복, 안전조끼 등 보호 복장을 착용하여야 한다.
- (2) 터널내부에서 작업하는 근로자는 터널내부의 분진 및 유해가스의 종류 및 농도에 따라 적합한 방진마스크 및 방독마스크를 착용하여야 한다.

- (3) 화약류를 운반, 취급하거나 발파공에 장진하는 근로자는 정전기를 발생시키지 않고 또한 난연성을 가지도록 방염처리가 된 면소재의 작업복을 착용하여야 한다.
- (4) 터널내부에서 전기기계·기구를 사용하여 작업하는 근로자는 절연장갑 및 고무장화를 착용하여야 한다.