

제 7 장 터널공사

7- 1 시공계획 및 준비공	7- 1
7- 2 터널측량	7- 4
7- 3 터널굴착	7- 7
7- 4 버력처리 및 운반	7- 15
7- 5 지 보 공	7- 17
7- 6 콘크리트 라이닝	7- 32
7- 7 배수 및 방수	7- 37
7- 8 갱 구 부	7- 42
7- 9 타일붙임 및 내오염도장	7- 43
7-10 터널계측	7- 45
7-11 시공 중 부대시설	7- 51
7-12 공해방지 및 안전관리	7- 53

제 7 장 터널공사

7-1 시공계획 및 준비공

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 터널공사를 시행하기 위해 필요한 시공계획서 작성 및 공사 준비에 적용한다.

1.2 참조규격

해당없음

1.3 제출물

1.3.1 이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.

1.3.2 다음 사항을 추가로 제출하여야 한다.

(1) 실시설계 시 지형여건 및 민원으로 인해 시추조사를 실시하지 못한 경우에는 추가지반조사를 실시하고, 그 결과를 보고서로 제출하여야 한다.

(2) 설계시의 지반조사 결과와 시공 중 지반의 상태가 상이하여 별도의 보강공법이 필요한 경우, 지반조사를 실시하고 그 결과를 보고서로 제출하여야 한다.

2. 재 료

해당없음

3. 시 공

3.1 시공계획

3.1.1 계약상대자는 터널공사를 시작하기 전에 터널 시공계획서를 작성하여 감독원에게 제출하여야 한다. 시공계획은 터널의 공사규모와 기간, 지반조건과 주변 환경 등을 고려하여 안전하고 경제적인 계획이 되도록 하여야 한다.

3.1.2 터널시공계획서에는 다음의 사항이 포함되어야 한다.

(1) 공정계획

(2) 시공방법

(3) 시공장비의 사양 및 장비 사용계획

(4) 작업장 배치도

제 7 장 터널공사

- (5) 굴착암 처리계획
 - (6) 신축이음 시공계획
 - (7) 방수 및 배수계획(시공 중 차수 및 배수계획 포함)
 - (8) 타일붙임 및 내오염도장 시공계획
 - (9) 계측관리 및 품질관리계획
 - (10) 작업장 환경 및 안전관리 계획
 - (11) 소음 및 진동 예방계획
 - (12) 폐수처리계획
 - (13) 건설 폐기물처리계획
- 3.1.3 공정계획에는 공사작공을 위한 사전 행정처리 기간과 작업장 및 공사장용 용지확보를 위한 보상기간 등의 준비 일정이 포함되어야 한다.
- 3.1.4 굴착암 처리계획에는 터널 굴착으로 인하여 발생한 버력을 골재나 흙쌓기 재료로 이용하는 등의 활용방안이 포함되어야 한다.

3.2 준비공

- 3.2.1 터널공사를 시행하기 전에 먼저 기본설계 및 실시설계 단계에서 실시한 상세면저 기본설계를 검토하고 확인하여야 한다.
- 3.2.2 상세지반조사 결과가 부족한 경우, 계약상대자는 추가로 지반조사를 실시하여야 한다. 추가지반조사 내용에는 지표지질조사·시추조사·물리탐사·현장 및 실내시험 등이 포함되며, 세부내용은 이 지방서 1-3절~1-10절에 따른다.
- 3.2.3 추가지반조사 결과가 설계도서와 상이한 경우, 계약상대자는 그 결과를 보고서로 작성하여 감독원에게 제출하여야 한다.

3.3 시공 중 조사

- 3.3.1 시공 중에는 설계당시 조사가 불충분했던 부분까지 상세히 조사를 실시하고, 이를 설계조건과 비교·분석하여 공사에 반영하여야 한다.
- 3.3.2 시공 중에도 지질, 자연환경, 주변 환경변화 등의 조사를 상시 실시하여 설계 조건과 대비함으로써 공사에 만전을 기하도록 하여야 한다.
- 3.3.3 용수, 온도, 환기문제 등의 제반사항에 대해서도 정기적인 조사를 실시하여야 한다.
- 3.3.4 계약상대자는 지반 또는 지질 기술자에 의한 막장 지질조사(face mapping)를 항시 실시하여야 한다. 또한 필요한 경우에는 감지공(probehole), 선진수평시추, 물리탐사 등의 지반조사를 실시하여야 하며, 시공 중 지반조사를 실시한 경우에는 지반조사 결과 보고서를 감독원에게 제출하여야 한다.

3.4 시공방법의 변경

- 3.4.1 시공 중의 조사 및 분석을 통하여 시공방법이 현장조건에 부적합하다고 판단될 경우에는 즉시 안전시공을 위한 조치를 취하여야 한다.
- 3.4.2 현장여건에 의하여 시공방법을 변경할 필요가 발생한 경우에는 시공방법 변경계획서를 작성한 후 반드시 감독원에게 제출하여 승인을 받아야 한다.
- 3.4.3 계약상대자는 터널 현장에 암반 및 지반공학, 지질 분야를 전공한 터널 전문가 1명 이상이 상주하도록 하여 터널공사를 전담하여 관리하도록 하여야 한다. 현장상주 터널 기술자는 막장관찰조사, 암반등급 분류, 지보형식 결정, 계측 결과 검토, 각종 품질시험 관리 등을 수행하며, 공사 완료 후에는 막장지질 기록부, 지보재 설치기록, 각종 품질시험 성과서, 계측결과 보고서 등 시공 관련 자료 및 보고서를 제출하여야 한다.

7-2 터널측량

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 터널 시·중점 갱구부에 설치한 중심말뚝, 수준점에 대하여 상호관계를 측량하고 확인하는 작업과 터널굴착이 진행됨에 따라 공사시행에 필요한 측량작업에 적용한다.

1.2 참조규격

해당없음

1.3 제출물

- 1.3.1 이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.
- 1.3.2 다음사항을 추가로 제출하여야 한다.
 - (1) 터널측량 계획서
 - (2) 여굴 및 내공단면 기록부

2. 재 료

해당없음

3. 시 공

3.1 측량일반

- 3.1.1 계약상대자는 터널공사에 필요한 측량계획을 수립하여 감독원에게 제출하여야 한다. 이때 측량방법은 그 지역의 지형조건·터널의 규모·시공방법 등에 따라 적합한 방법을 선택하여야 하며, 측량작업은 필요한 정밀도를 확보할 수 있도록 실시하여야 한다.
- 3.1.2 측량작업은 터널 외부측량과 터널 내부측량으로 구분하며, 측량방법을 순서대로 나타내면 표 7-2-1과 같다.

표 7-2-1 터널공사 측량

구 분	시 기	목 적	내 용	성 과
터널 외부 기준점 측량	설계 완료 후, 시공 전	굴착을 위한 측량 기준점 설치	삼각측량, 수준측량, 트래버스측량	기준점 설치, 중심선 방향 및 수준방향말뚝의 설치
터널 외부 세부측량	터널 외부 기준점 설치 후, 시공 전	터널입구 및 가설 계획에 필요한 상세지형도 작성	평판측량, 수준측량	1/100~1/600 지형도
터널 내부 측량	시공 중	터널 내 중심선 설정 및 굴착, 지보재, 거푸집 설치상태 등 의 조사	트래버스측량, 수준측량	터널 내 기준점 설치
작업 터널 에서의 측량	작업터널 완성 후	작업터널 내에서의 중심선 및 수준 도입	트래버스측량, 기준점측량 또는 특수측량 방법	터널 내 기준점 설치

3.2 터널 외부측량

- 3.2.1 터널 외부에는 터널 시공의 기준점을 설치하여야 하며, 기준점 상호간은 선형 확인에 필요한 정밀도를 유지하여야 한다.
- 3.2.2 기준점 설치 시에는 터널길이, 지형상황, 정밀도 등을 감안하여 적합한 방법을 선택하여 측량작업을 시행하여야 한다.
- 3.2.3 기준점들은 훼손, 이동의 우려가 없는 장소에 설치하고, 안전하게 보호하여야 한다.
- 3.2.4 터널 입구 및 터널 가설계획에 필요한 상세 지형측량을 실시하여야 하며, 상세 지형측량의 축척은 1/100~1/600 로 하여야 한다.

3.3 터널 내부측량

- 3.3.1 터널 내부의 기준점 및 수준점은 터널 외부에 설치한 기준점으로부터 도입 하며, 측량은 필요한 정밀도가 유지되도록 실시하여야 한다. 또한 터널 내부의 기준점 및 수준점은 시공 중에 움직이지 않도록 견고하게 설치하고, 손상되지 않도록 보호하여야 한다.
- 3.3.2 터널 내부의 기준점 및 수준점의 간격은 직선부에서 100m 를 표준으로 하고, 곡선부에서는 터널의 곡선반경, 단면의 크기, 경사도 등을 고려하여 적절한 간격을 결정하되 하나의 측점을 전후로 하여 적어도 2점 이상 관측될 수 있는 측점간격을 취하여야 한다.

제 7 장 터널공사

- 3.3.3 측량작업 시에는 조명, 환기, 작업공정간의 마찰이 적은 시간대 지정 등 필요한 조치를 취하여 관측 및 측정에 지장이 없도록 하여야 한다.
- 3.3.4 터널이 설계상의 평면 및 종단선형에 따라서 정확하게 시공되었는지 여부를 확인하기 위하여 선형 확인 측량을 실시하여야 하며, 굴진 때마다 발생하는 편차의 누적을 방지하기 위해 매 막장마다 선형을 확인하여야 한다.
- 3.3.5 터널 내 측점의 검측은 굴진속도에 따라 적당한 빈도로 실시하되 감독원의 입회하에 터널 외부 기준점으로부터 실시한다. 검측횟수는 터널의 규모, 굴진속도, 시공방법에 따라 적어도 1개월에 1회 이상 실시하여야 하며, 감독원의 검측지시가 있을 때에는 즉시 검측을 실시하여야 한다.
- 3.3.6 내공단면 측정은 현장 상황을 고려하여 감독원의 지시에 따라 측정간격을 설정하여야 하며, 감독원의 지시가 없을 경우에는 5 m 마다 내공단면을 측정한다. 내공단면은 광파측량기 등을 이용하여 여굴량과 함께 측정한 후, 측정결과를 감독원에게 제출하여야 한다.

7-3 터널굴착

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 터널 내부의 굴착공사에 적용한다.

1.2 참조규격

해당없음

1.3 제출물

- 1.3.1 이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.
- 1.3.2 다음 사항을 추가로 제출하여야 한다.
 - (1) 터널 막장지질 기록부
 - (2) 전일(前日) 굴착작업 기록부
 - (3) 발파굴착 시공계획서
 - (4) 선행굴착부 계측경시변화 기록부
 - (5) 기계굴착 시공계획서(필요 시)

2. 재 료

해당없음

3. 시 공

3.1 시공일반

- 3.1.1 터널 굴착패턴은 설계도서에 제시된 암반분류 기준에 의거하여 결정하고, 필요 시 발파진동 및 소음을 고려하여 결정한다.
- 3.1.2 굴착 시에는 설계도서에 제시된 기준에 의해 매 막장마다 막장조사 및 시험을 실시하고, 그 결과를 터널 막장 지질 기록부에 기록하여 감독원의 확인을 받아야 한다.
- 3.1.3 암질에 따라 표준단면 및 지보형식을 변경할 필요가 있는 경우에는 감독원의 검측을 받아야 한다.
- 3.1.4 굴착방법은 원지반이 가지고 있는 지보능력을 최대한 활용할 수 있는 방법을 채택하여야 한다.
- 3.1.5 굴착공법은 지반조사를 통한 암반분류 및 원지반의 자립성에 기초하여 선정

하며, 보조공법의 적용도 수용할 수 있도록 결정하여야 한다.

- 3.1.6 굴착은 설계도서에 따라 시행하되 시험시공 등을 통해 현장여건에 적합하게 굴착공법, 굴진장 등을 변경하여 시행할 수 있다.
- 3.1.7 굴착은 설계도서에 제시된 시공순서를 참고하되 현장여건에 적합하게 작성된 시공계획서에 따라 진행하여야 하며, 과도한 지압, 파쇄대, 용수 등의 이유로 인해 굴착방법을 변경할 필요가 생긴 경우에는 사전에 감독원에게 보고하여 확인을 받아야 한다.
- 3.1.8 터널굴착작업 공중별로 작업시간(cycle-time) 계획을 수립하여 합리적인 시공이 이루어질 수 있도록 굴착계획을 수립하여야 한다.
- 3.1.9 터널굴착 중 막장 붕괴 등이 발생될 경우 조속한 압성토 시행 등을 통하여 붕괴 규모가 증대되지 않도록 적절한 조치를 취하여야 한다

3.2 굴착기록관리

- 3.2.1 계약상대자는 굴착작업의 정확한 기록을 유지하여야 하며, 감독원에게 전일 굴착작업 기록의 사본 1부를 제출하여야 한다.
- 3.2.2 계약상대자는 터널굴착 작업일지를 효율적으로 기록 관리하기 위하여 필요에 따라 사진촬영 또는 비디오 촬영을 하여 기록 관리하여야 한다.

3.3 막장관찰 및 조사

- 3.3.1 막장관찰 시에는 다음 사항들을 조사하고 암반분류를 실시하여 적용 지보패턴의 적정성 및 변경 필요성을 확인하여야 하며, 막장 지질 기록부를 작성하여 제출하여야 한다.
 - (1) 막장면 지반상태 : 암종, 풍화정도, 고결정도, 강도, 암반등급[RMR(rock mass rating) 혹은 Q-system], 지질 분포, R.Q.D 등
 - (2) 지하수 상태 : 유출 위치 및 형태, 유실 유무, 유출량, 지하수가 지반의 특성 변화에 미치는 영향 정도 등
 - (3) 불연속면(단층, 습곡, 절리, 층리 등)의 상태 : 불연속면의 간격, 길이, 틈새, 거칠기, 풍화상태, 충전물의 유무 및 성상, 방향성(주향 및 경사), 터널 굴착방향과의 관계 등
 - (4) 막장의 붕괴 여부, 붕괴 가능성 및 예상 규모
 - (5) 기타 필요한 사항
- 3.3.2 막장 관찰자는 지반공학을 전공한 자 또는 동등 이상의 자격이나 경험을 구비한 자로서 막장관찰 결과를 바탕으로 터널 지질도를 작성할 수 있는 자이어야 한다.
- 3.3.3 막장조사 결과 실제 지반상태가 설계시의 적용조건과 상이하여 설계보완이 필요한 경우에는 안정성 검토에 필요한 추가 지반조사(필요시 터널막장전방

탐사(tunnel seismic profiling) 포함)를 실시하여야 하며, 터널막장전방탐사를 실시할 경우에는 다음의 내용을 따른다.

- (1) 터널막장전방탐사는 미굴착 막장 전방의 지반상태를 파악하기 위해 실시한다.
 - (2) 계약상대자는 탐사실시 전 기존자료를 기초로 지질구조(지층의 주향, 경사, 단층파쇄대, 지하수, 암종의 변화)의 개요를 파악한 후 측선을 설정하고, 측정방식과 발파점 및 수신점의 간격을 결정하여야 한다.
 - (3) 측선은 터널축을 따라 가능한 한 기복이 적도록 하여, 일직선상에 설정하며, 측선위치는 탐사목적, 지질구조, 탐사대상심도, 갱내설비 상황 등을 고려하여 결정한다.
 - (4) 터널막장전방탐사는 터널 시공 중에 이루어지므로, 탐사결과와 해석 및 평가는 사전조사, 사전설계 및 시공 중의 관찰, 계측 및 시공자료 등을 반영하여 종합적으로 수행되어야 한다.
 - (5) 계약상대자는 터널막장전방탐사로부터 얻어진 결과를 감독원에게 제출하여야 하며, 탐사위치 및 측선배치도, 측정자료 및 전산처리결과, 막장전방 단층파쇄대의 탐사해석결과(막장과의 이격거리, 터널과의 교차각도, 방향 등) 등이 포함되어야 한다.
- 3.3.4 지보패턴 결정 시 막장조사는 육안 확인 가능 부분에 대한 조사이므로 막장상부지질에 대해서도 고려하여 종합적으로 판단하여야 한다.

3.4 기계굴착

- 3.4.1 기계굴착은 굴착수단을 인력이나 발파에 의존하지 않고 기계로 굴착하는 방법이며, 계약상대자는 지반의 이완을 최소화하고 막장의 안정을 유지하며 여굴이 적게 발생하도록 하여야 한다.
- 3.4.2 굴착기계는 지반조건, 주위환경, 터널단면의 크기 및 형상, 터널연장, 굴착공법, 버력처리 방법, 경제성 등을 고려하여 선택하여야 한다.
- 3.4.3 쇼벨, 브레이커 등의 커터붐 기계굴착은 절리가 심하게 발달한 암반이나 토사지반에 적용한다.
- 3.4.4 붐 기계굴착을 실시하는 경우에는 굴착패턴을 준수하고, 기계운전에 의해 노반이 약화되지 않도록 하여야 한다.
- 3.4.5 TBM(tunnel boring machine)공법은 암반강도, 지질구조의 발달상태 등을 검토하여 적용여부를 결정하여야 한다. TBM공법을 적용할 경우에는 해당 지반에 적합한 커터의 종류, 커터 헤드의 회전수, 추력 등을 정하고, 굴착효율의 향상과 사행굴착이 발생되지 않도록 운전관리를 하여야 한다.
- 3.4.6 계약상대자가 터널굴착을 위해 TBM을 사용하고자 하는 경우에는 시공공정, 시공설비, 선형관리, 시공 중 조사, 작업장 배치, 버력처리, 운전 관리, 지보재 시공, 품질관리, 환경 및 안전관리, 계측관리 등을 포함하는 TBM터널 시공

계획서를 작성하여 공사 개시 전에 감독원에게 제출하여야 한다.

- 3.4.7 계약상대자가 굴착공법으로 쉴드(shield)공법을 적용하기 위해서는 선형, 지질조건, 단면형상, 경계성, 시공공정, 세그먼트(segment)의 품질관리 등을 검토한 쉴드터널 시공계획서를 감독원에게 제출하여야 한다.

3.5 미진동 굴착

- 3.5.1 굴착을 진행할 터널 주변에 보안물건이 존재하여 발파 등을 이용한 정상적인 굴착작업을 진행할 수 없는 경우, 계약상대자는 진동 및 소음을 최소화할 수 있는 방안을 제시하여야 한다. 이 경우 계약상대자는 진동 및 소음에 의한 영향평가를 실시하고, 현장여건과 주변상황을 충분히 고려하여 미진동 굴착 구간 및 공법을 제시하여야 한다.
- 3.5.2 계약상대자가 미진동 파쇄기나 유압 장비 등을 이용하는 미진동 굴착방법을 적용하고자 할 때에는 굴착작업 전 장비 사양 등을 포함한 시공계획서를 감독원에게 제출하여 승인을 받아야 한다.

3.6 발파굴착

3.6.1 일반사항 및 발파계획

- (1) 계약상대자는 굴착에 앞서 암질과 단면형상에 적합한 천공길이, 천공위치, 폭약의 종류, 장약량, 뇌관형식, 발파순서 등의 발파계획을 세워 감독원의 확인을 받아야 하며, 시험발파를 실시하고 그 결과에 따라 발파계획을 조정하여 시행하여야 한다.
- (2) 발파작업에 있어서는 지질, 암반 내 절리의 발달상황 등에 따라 장약량을 조절하여 지반의 이완영역을 최소한으로 억제하고, 평활한 굴착면을 얻을 수 있도록 하여야 한다.
- (3) 발파에 의해 발생된 버력의 크기가 버력 활용계획, 적재방법 및 운반장비에 적합하도록 발파계획을 수립하여야 하며, 발파소음 및 진동 등이 인접한 시설물, 동물, 어류 등 주변 환경에 영향을 미치지 않도록 발파 영향권 내 조사를 충분히 하여 대책을 강구하여야 한다.
- (4) 발파작업 시에는 총포·도검·화약류 등 단속법 및 동법 시행령, 근로안전 관리규정, 기타 관계법규를 준수하여야 한다.

3.6.2 폭약 및 뇌관의 취급, 관리

- (1) 폭약 및 뇌관의 수령과 운반은 반드시 관련 자격을 보유한 기술자가 하여야 하며, 1일 사용량 이상을 초과하여 수령하여서는 안 된다.
- (2) 폭약과 뇌관은 각각 별도로 보관하고, 잔여량은 반드시 반납하여야 한다.
- (3) 화약류 취급소(화약고 포함)는 총포·도검·화약류 등 단속법 시행령에 제시되어 있는 화약류 취급소 설치기준에 따라 설치계획을 수립하여 감독

원의 승인을 받아야 하며, 관리책임자를 선임하여 안전사고가 발생하지 않도록 관리하여야 한다.

- (4) 발파장소에서의 화약류 운반은 관련규정에 제시되어 있는 소정의 용기 및 운송방법에 준하여 지명된 작업원만이 수행하여야 한다.

3.6.3 천 공

- (1) 천공은 점보드릴 등을 이용한 기계천공으로 하여야 하나, 현장여건 및 시공성, 경제성 등을 검토하여 인력천공도 가능하며, 천공방법에 관한 자료는 감독원에게 제출하여 확인을 받아야 한다.
- (2) 천공에 앞서 막장 점검, 뜬돌 제거, 잔류폭약의 유무 확인 및 회수 등의 조치를 취하여 천공 중 막장에서의 봉락, 잔류폭약에 의한 폭발사고 등을 방지하여야 한다.
- (3) 천공은 발파계획에 의해 정해진 천공배치에 따라 위치, 방향, 깊이가 정확하게 시공되도록 하여야 하며, 장약유무를 육안으로 확인할 수 없는 전회 발파 후에 남은 구멍을 다시 천공해서는 안 된다.
- (4) 천공에는 굴착면적, 굴착폭 및 굴착높이를 확보할 수 있는 장비를 사용하여야 한다.
- (5) 천공 중에는 용수, 가스의 분출, 지질 변화 등에 주의하여야 하며, 이상 발생 시 즉시 천공을 중지하고 필요한 조치를 취하여야 한다.
- (6) 외곽공은 필요단면을 확보하고 여굴이 최소가 되도록 천공하여야 한다.

3.6.4 장약 및 뇌관 연결

- (1) 장약은 발파패턴도에 정해진 순서에 따라 안전하게 시행하여야 한다.
- (2) 장약은 일일 발파계획에 의한 천공작업이 완료된 후 실시하여야 한다.
- (3) 장약 전에 천공상태를 점검하여야 하며, 천공 중에 발생한 뜬돌의 유무를 점검하고, 필요시 뜬돌을 제거한 후 장약을 실시하여야 한다.
- (4) 화약류의 운반에 있어서는 운반, 수불순서 및 방법 등을 관련법규에 따라 정하고, 운반량은 천공배치와 장약량을 조사하여 과부족이 없도록 하여야 한다.
- (5) 장약 작업 시에는 반드시 누설전류탐지기, 도선연결시험기, 다짐봉 등의 기구류를 사용하여 점검하고, 순서에 따라 장약을 실시하여야 한다.
- (6) 발파효과를 높이기 위하여 장약공은 소정의 채움재로 충분히 전색하여야 한다.
- (7) 유출된 지하수가 잔류하는 막장의 하단 장약공은 수중으로 전달되는 충격압의 영향으로 불발될 우려가 있으므로 인접 장약공과 동일한 단수의 뇌관을 사용하도록 한다.
- (8) 전기뇌관의 결선부는 절연재질로 된 비닐테이프, 방수캡 등을 사용하여 밀폐 조치하여 전류의 누설 또는 유입으로 인한 불의의 폭발이나 불발공이 발생하지 않도록 하여야 한다.
- (9) 전기뇌관을 사용하는 경우에는 미주전류·누설전류·정전기의 유무 및 크기

등을 측정하여 안전여부를 확인하여야 하며, 비전기식 뇌관을 사용할 경우에도 제품에 따른 안전수칙을 준수하여야 한다.

- (10) 장약 시에는 작업에 불필요한 모든 전동기 동력선을 전원으로부터 단절하고, 필요한 전력선에 대해서는 누전 차단장치를 설치하여야 한다.
- (11) 발파모선은 완전절연이 가능한 것을 사용하여야 하며, 전기선로·기타 대전의 우려가 있는 곳으로부터 격리시켜야 한다. 점화기에 접하는 발파모선의 단말은 점화 시 이 외에는 점화기로부터 분리시켜야 한다.

3.6.5 발 파

- (1) 발파는 발파책임자의 지휘 하에 시행하여야 한다. 발파책임자는 다음 사항을 수행하여야 한다.
 - ① 위험구역, 대피장소 및 경로 지정
 - ② 점화장소 지정 및 발파예고, 점화, 해제 등의 각종 신호 및 경보 결정
 - ③ 점화자 지정
 - ④ 위험구역 표지 및 감시원 배치
 - ⑤ 결선상태 확인
- (2) 계약상대자는 발파를 시행하기 전에 이미 설치된 지보재 및 계측기에 대한 방호를 철저히 하여 비산석 등에 의한 손상이 발생되지 않도록 하여야 한다.
- (3) 양방향에서 터널을 굴착할 경우 관통이 가까워졌을 때에는 상호 긴밀한 연락 하에 발파작업을 시행하여야 한다.
- (4) 발파책임자는 작업원의 대피상황을 최종적으로 점검하여야 하며, 횡갱 등이 있는 경우에는 횡갱으로 작업원이 안전하게 대피할 수 있도록 유도하는 등 안전대책을 수립하여야 한다.
- (5) 안전사고에 대비하여 발파 후에는 비전기 뇌관을 사용한 경우 15분 이상, 전기 뇌관을 사용한 경우 5분 이상의 시간이 경과한 다음에 막장에 접근하여야 하며, 불발 장약공 및 잔류폭약의 유무를 점검하고 잔류폭약의 제거 등 필요한 조치를 취하여야 한다.
- (6) 발파 시에는 필요에 따라 자동기록이 가능한 발파진동 측정기를 설치하여 진동을 측정하여야 하며, 측정결과가 진동 허용기준 이내에 있는지를 확인하여야 한다.
- (7) 발파결과가 당초 계획과 상이할 경우에는 그 원인을 규명하여 후속 발파작업에 반영하여야 한다.
- (8) 발파 시 모든 작업원 및 주변 주민에게 발파를 알리는 사이렌 경보를 하여야 하며 필요 시 주민대피, 교통통제, 가축대피 등을 실시하여야 한다.
- (9) 발파가 끝난 직후에는 신속한 환기가 되도록 하여야 한다.

3.6.6 낙반 및 여굴 처리

- (1) 계약상대자는 굴착 시 여굴이 적게 발생되도록 하여야 한다.

- (2) 굴착지역의 지질상태가 과다여굴 및 사고의 원인이 될 큰 낙반이 예상되는 경우 계약상대자는 이에 대한 안전대책과 시공계획서를 감독원에게 제출하여 확인을 받은 후 굴착을 하여야 한다.
- (3) 과다여굴이 발생한 경우에는 여굴 발생부분을 상세히 기록하여 이를 감독원에게 제출하여야 하며, 여굴의 발생상태와 원인을 조사하여 시공방법을 개선하여야 한다. 특히 절리, 단층파쇄대 등에 유의하여 발파공의 위치, 방향 등을 조절함으로써 여굴이 적게 발생되도록 하여야 한다.
- (4) 절리가 발달한 암반에서의 여굴부분은 적절히 조치하여 여굴이 더 이상 확대되지 않도록 하여야 한다.
- (5) 여굴의 정도가 심한 경우에는 슛크리트와 록볼트로 보강하여 응력 집중에 따른 진행성 여굴 또는 불안정한 상태의 발생을 방지한 후 여굴부분은 모르타르 또는 콘크리트로 치밀하게 채워야 한다.

3.6.7 뜬돌 처리

- (1) 이완된 암괴 및 암편 등의 뜬돌은 상해사고의 원인이 되므로 막장면, 측벽부, 천장부 등을 세밀하게 점검하여 뜬돌을 제거하여야 한다.
- (2) 분할발파 시의 뜬돌 처리는 발파부위 뿐만 아니라 아직 지보재가 시공되지 않은 구간에 대해서도 실시하여야 한다.

3.6.8 발파영향 규제

- (1) 발파는 기존 구조물에 손상을 입히지 않도록 시행하여야 하며, 진동속도가 허용기준값을 초과하지 않도록 하여야 한다.
- (2) 대상 시설물 위치에서의 발파진동 허용값은 진동속도를 기준으로 하여 표 7-3-1과 같이 적용한다. 단, 주요 구조물이나 민가가 없는 교외지에서는 본 허용기준 이상의 값을 적용할 수 있다.
- (3) 굴착작업을 시작할 때는 시험발파를 실시하여 발파진동 수준을 측정하여야 하며, 측정결과가 허용 진동수준을 초과할 경우에는 발파패턴 및 발파방법을 조절하여 진동수준을 허용기준값 이내까지 감소시켜야 한다.
- (4) 가축사육장, 양식장, 정밀 기계공장 등에 대한 인접 발파의 경우에는 해당 전문가의 자문이나 설계기준, 적용 사례 등을 고려한 발파진동 허용기준치를 선정하여 허용기준치 이내가 되도록 조치하여야 한다. 또한, 갱구부 구간에서 발파소음이 허용기준치를 초과할 가능성이 있을 경우에는 갱문 방음시설을 적용하여 저감대책을 수립하여야 한다.

표 7-3-1 발파진동에 대한 허용기준(PPV)

구 분	가축류 등	문화재 및 진동 예민 구조물	가 옥 (조적)	가 옥 (RC조)	공업용 건 물	철 골 구 조
발파진동속도 (PPV, cm/s)	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0

- (5) 발파진동 측정기는 발파진동의 주 주파수 범위인 2~500 Hz에 적합한 것을 사용하여야 하며, 정밀분석이 필요한 경우에는 주파수 분석이 가능하도록 시간이력을 기록할 수 있는 것을 사용하여야 한다.
- (6) 대상 시설물에 대한 진동측정은 발파원으로부터 가장 근접한 위치의 시설물 인접지반에서 측정하는 것을 원칙으로 하며, 시설물의 구조상 진동의 증폭이 예상되는 경우에는 반응이 가장 크게 나타나는 시설물 부위에서도 진동을 측정하여야 한다.
- (7) 발파진동의 측정빈도는 다음의 기준을 적용하여야 하며, 현장의 작업여건이나 입지여건에 따라 감독원이 확인하여 이를 조정할 수 있다.
 - ① 시험발파와 굴착 및 발파패턴 변경 시에는 발파효과와 발파진동값이 관리기준에 도달할 때까지 매 발파마다 측정한다.
 - ② 일상적 발파작업이 이루어질 경우에도 주 1회 정도 측정을 실시하여 진동값을 반복적으로 기록·점검하여야 한다.
 - ③ 보호대상 시설물에 대해서는 발파진동 영향권을 통과할 때까지 매 발파마다 진동값을 측정하여야 한다.
- (8) 발파지점 주변 거주민의 생활공해 방지를 위한 기준은 환경부 제정 진동과 소음에 관한 규정을 준용한다.
- (9) 굴착 진행 중 발파진동값이 허용기준을 초과할 경우, 계약상대자는 저폭속의 폭약 사용, 다단발파의 적용, 지발당 장약량의 제한, 심발발파 방법의 조정, 발파방식의 변경 및 진동 전파방지 방법 등을 활용하여 진동값이 허용기준 이내가 되도록 조치하여야 한다.

7-4 버력처리 및 운반

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 터널굴착에 따라 버력을 지정 장소로 운반하거나 운반로의 유지관리 또는 지정 장소의 고르기, 정리, 준비배수를 하는 공사에 적용한다.

1.2 참조규격

해당없음

1.3 제출물

이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.

2. 재 료

해당없음

3. 시 공

3.1 시공일반

- 3.1.1 버력처리 계획은 지반조건, 주위환경, 터널 단면의 크기, 터널연장, 경사, 굴착공법, 굴착방식, 버력의 크기, 공사기간, 사용장비 및 조건 등을 고려하여 수립하여야 한다.
- 3.1.2 버력을 적재할 때에는 안전에 유의하고, 기 설치된 지보재나 가설설비 등을 손상시키지 않도록 하여야 한다.
- 3.1.3 버력이 환경오염을 유발 할 수 있는 암종으로 판명되어 환경관련기준을 초과한 경우에는 중화처리 또는 2차 오염이 발생하지 않도록 처리하여야 한다.

3.2 버력 처리장비

버력처리를 위한 장비조합은 터널 단면의 크기, 1회 굴진 당 버력 발생량 및 각 장비의 처리능력을 고려하여 결정하되 사전에 감독원의 승인을 받아야 한다.

3.3 버력 적재작업

- 3.3.1 버력 적재 중에는 위험구역을 정하여 해당 작업원 이 외의 출입을 금지하고, 충분한 조명과 환기시설을 설치하여야 한다.

- 3.3.2 운반 중에 버력이 떨어지지 않도록 적재함에는 덮개를 씌우고 무리한 적재를 하지 않아야 한다.
- 3.3.3 작업구에서의 버력처리 시에는 안전신호에 의한 관리체계가 이루어져야 하며, 상차장비 아래에서는 어떠한 작업행위도 이루어지지 않도록 조치하여야 한다.

3.4 노면상태 및 운반차량

- 3.4.1 터널 내 버력운반을 레일방식으로 시행하는 경우 궤도는 운반차량의 중량에 적합한 안전구조를 가져야 하며, 탈선 등의 장애가 생기지 않도록 궤도를 부설하고 보수를 하여야 한다. 타이어를 가진 차량을 이용하여 버력운반을 실시하는 경우에는 항상 양호한 노면이 유지되도록 배수 등에 주의하여 노면을 보수하여야 한다.
- 3.4.2 버력 운반차량은 소정의 검사, 점검을 실시하고, 항상 정상적인 기능을 갖도록 정비하여야 한다.
- 3.4.3 계약상대자는 버력 운반차량에 의한 배기가스에 유의하여 시공중 환기대책을 강구하여야 한다.

3.5 운행관리

- 3.5.1 버력 운반작업에 필요한 사항은 운행관리규정으로 정하고, 이를 통해 차량 운행의 안전을 확보하여야 한다.
- 3.5.2 계약상대자는 운전자, 유도원, 기타 관계자에게 안전운행에 관한 안전교육을 실시하고, 운행관리규정을 준수하도록 하여야 한다.

7-5 지 보 공

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 터널 지보재로 사용되는 강지보재·록볼트·쑏크리트의 시공, 천장 부 지반 또는 막장 안정을 위한 보조공법 등의 공사에 적용한다.

1.2 참조규격

KS B 1010	마찰접합용 고장력 6각볼트·6각너트·평와서의 세트
KS D 3503	일반구조용 압연강재
KS D 3515	용접구조용 압연강재
KS F 2403	콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법
KS F 2405	콘크리트의 압축강도 시험방법
KS F 2408	콘크리트의 휨강도 시험방법
KS F 2422	콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도시험 방법
KS F 2436	관입 저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법
KS F 2577	쑏크리트용 재료
KS F 2560	콘크리트용 화학혼화제
KS F 2566	강섬유보강 콘크리트의 휨인성 시험방법

1.3 제출물

- 1.3.1 이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.
- 1.3.2 다음 사항을 추가로 제출하여야 한다.
 - (1) 강지보재 제품사양 및 시험성과
 - (2) 쑏크리트용 혼화제 시험성적서
 - (3) 쑏크리트 품질관리 시험결과
 - (4) 록볼트 정착재료의 시험성과서
 - (5) 록볼트 설치기록부
 - (6) 록볼트 인발시험 결과
 - (7) 보조공법 시공계획서(필요시)

2. 재 료

2.1 강지보재

- 2.1.1 강지보재에 사용되는 강재의 종류, 형상, 치수 등은 설계도서에 명시된 것으

로 한다. H형강 및 U형강 재질은 KS D 3503에 규정된 SS400, 격자지보는 KS D 3504에 규정된 SD500W의 규격제품의 사용을 원칙으로 하며, 기타 재료의 강지보재를 사용할 경우 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 하여야 한다. 격자지보의 재질은 강봉의 경우 인장강도는 520MPa, 스파이더의 경우 인장강도는 500 MPa를 기준으로 하며, 한국산업규격(KS) 용접기준을 만족하여야 한다.

2.1.2 강지보재에는 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호한 강재를 써야 한다. 강지보재 시공에는 H형강·U형강 격자지보(lattice girder) 등을 사용할 수 있으나, 사용하는 강지보재의 재질·규격 등에 대한 제작사의 제품 사양 및 시험성과를 감독원에게 제출하여야 한다.

2.1.3 마찰이음에 쓰이는 볼트, 너트 및 와서는 KS B 1010에 적합하여야 한다.

2.2 숏크리트

2.2.1 숏크리트에 사용하는 시멘트는 이 시방서 13-1절에 따른다.

2.2.2 잔골재

- (1) 잔골재는 구조물용 모래와 동등의 재질로서 깨끗한 모래이어야 한다.
- (2) 잔골재율은 60 % 를 기준으로 한다.
- (3) 잔골재의 입도는 이 시방서 13-3-1절 2.1.1에 따른다.

2.2.3 굵은 골재

- (1) 굵은 골재의 최대치수는 10 mm 이하이어야 한다.
- (2) 굵은 골재의 입도는 이 시방서 13-3-1절 2.2.1에 따른다.

2.2.4 숏크리트에 사용하는 골재의 합성입도는 표 7-5-1과 같다.

표 7-5-1 숏크리트용 골재의 합성입도

호칭치수 (mm)	공칭입경에 대한 체통과 중량 백분율 (%)
13	100
10	90~100
5	65~85
2.5	50~70
1.2	35~55
0.6	20~35
0.3	8~20
0.15	2~10

2.2.5 섬유

- (1) 강섬유의 인장강도는 700 MPa 이상이고, 형상비는 60 이상이어야 한다.
- (2) 합성섬유 또는 기타섬유의 적용이 필요한 경우는 국내외 연구성과 및 현장 적용 사례를 충분히 검토하여 적용여부를 결정하고, 감독원의 승인을 받아야 한다.

2.2.6 급결제

- (1) 급결제는 쏫크리트의 반발률을 최대한 적게 하고, 조기강도를 낼 수 있는 제품을 사용하여야 하며, 다음의 조건을 만족하여야 한다.
 - ① 쏫크리트의 반발률을 최소화하면서 암반에 견고하게 부착되어야 한다.
 - ② 필요한 조기강도가 양호하게 발현되는 동시에 장기강도에 악영향이 없어야 한다.
 - ③ 인체에 유해한 영향이 없어야 한다.
 - ④ 강재를 부식시키지 않고, 용수가 있는 경우에도 양호한 효과를 발휘할 수 있어야 한다.
 - ⑤ 습기에 강하고 보존성이 좋아야 한다.
- (2) 급결제 성능시험은 KS F 2436, KS F 2560에 따라 시행하여야 한다.
- (3) 급결제 표준 사용량은 관련 지침 「터널 지보공 관련 품질기준 개정」에 따르며, 기온·지반조건·용수조건·제품성능에 따라 증감할 수 있으나, 감독원의 확인을 받아야 한다.

2.2.7 혼화제

- (1) 계약상대자는 쏫크리트에 사용할 혼화제에 대한 시험성적서를 제출하고, 현장시험에 의한 혼화제의 효과와 적정 사용량을 확인한 후 사용여부에 대하여 감독원의 승인을 받아야 한다.
- (2) 유동화제는 사용목적에 적합하고, 쏫크리트 또는 급결제 등에 악영향을 미치지 않아야 한다. 유동화제 성능시험은 이 시방서 13-6절에 따른다.
- (3) 습식 쏫크리트의 워커빌리티(workability)를 개선하기 위한 AE제 및 AE감수제, 양생제 등의 혼화제를 사용할 경우에는 공사 착수 전에 품질을 확인한 후 감독원의 확인을 받아야 한다.

2.2.8 첨가제

습식 쏫크리트의 성질을 개선하기 위하여 실리카 폼(silica fume), 플라이애시(fly ash) 등과 같은 첨가제를 사용할 수 있으나, 공사 착수 전에 첨가제의 품질, 배합비 및 배합에 따른 혼합물 강도의 변화 등을 고려한 시험을 실시하고, 감독원의 승인을 받아야 한다.

2.3 록볼트

2.3.1 품질기준

- (1) 록볼트는 소요강도 이상을 가지는 이형봉강을 원칙으로 하나, 이와 동등 이상의 강도와 기능을 가지는 기타 소재도 록볼트로 사용할 수 있으며, 재질 및 강도는 한국산업규격(KS)에 적합한 것이어야 한다.
- (2) 록볼트의 재질은 원지반 조건 및 사용목적을 고려하여 정하여야 하며, 영구 지보재로 사용하는 경우는 장기 내구성이 우수한 것이어야 한다. 일반적으로 SD350 이상의 강재로서 인장강도 및 연신율이 큰 것이어야 하며, KS E 3132 및 KS D 3504에 제정되어 있는 봉강의 품질기준은 표 7-5-2와 같다.

표 7-5-2 록볼트의 품질기준

직경 (mm)	재 질	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
22이상	SD600 이상	600 이상	710 이상	10 이상
	SD700 이상	700 이상	800 이상	10 이상
25이상	SD350 이상	350 이상	490 이상	18 이상
	SD400 이상	400 이상	560 이상	16 이상

- (3) 지압판은 록볼트와 슛크리트를 일체화 시키는 역할을 담당하며, 예상되는 응력에 대하여 충분한 면적과 강도를 갖는 것이어야 하고, 지압판 두께는 6mm를 표준으로 하되 팽창성 지반의 경우는 9mm 이상을 사용하여야 한다.

2.3.2 정착재료

(1) 수지(resin)형

- ① 수지형 정착재료를 사용하기 위해서는 제품별 용량, 팽창률, 경화시간 등에 대한 제조업자로부터의 시험성과서를 첨부하여야 한다.
- ② 정착재료는 조기접착력이 크고 취급이 간단하여야 하며, 내구성이 있어야 한다.
- ③ 수지는 폴리에스터 수지계 또는 동등 이상의 재질이어야 하며, 캡슐(capsule) 형태이어야 한다.
- ④ 유효기간이 지난 제품을 사용하여서는 안 되며, 유효기간이 지나지 않아도 제품의 변질이 예상될 경우에는 품질시험을 실시하여 감독원의 확인을 받은 후 사용하여야 한다.
- ⑤ 수지는 용수·염수·산·약알칼리에 대하여 영향을 받지 않아야 하며, 인발에 대한 저항력이 충분하여야 한다.

- ⑥ 수지제품은 팽창성 접착제로서 직경이 26 mm 이상이어야 하며, 용수가 있는 곳에서도 조기강도가 높아야 한다. 발포성 수지를 사용할 경우의 발포배율은 공급원 승인 시 품질시험전문기관 시험성적서상의 발포배율 이내이어야 하며, 발포배율에 따른 접착력 감소가 없어야 한다.
- ⑦ 전면접착식 록볼트의 수지 사용량은 록볼트 공을 충분히 충전시킬 수 있는 양이어야 한다.

(2) 시멘트 모르타르(cement mortar)형

- ① 시멘트 모르타르의 배합은 소요강도와 시공성에 중점을 두어 결정한다. 모르타르는 모래와 시멘트 및 첨가제로 구성되며, 물-결합재비(W/B)는 40~50 %로 한다.
- ② 모르타르용 모래는 직경 2 mm 이하로 입도분포가 좋아야 하며, 모래의 표면수량에 따라 물량을 조정하여야 한다.
- ③ 시멘트는 보통시멘트와 조강시멘트 등을 사용할 수 있으며, 보통시멘트를 사용할 경우에는 조기에 접착능력을 발휘할 수 있도록 캡슐형 급결제 또는 동등 이상의 품질을 가진 급결제를 사용하여야 한다.
- ④ 조강시멘트를 사용할 경우에는 지연제를 사용하여 모르타르 경화시간을 조정할 수 있어야 하며, 시공관리에 특별히 유의하여야 한다.

(3) 시멘트 페이스트(cement paste)형

시멘트 페이스트는 시멘트 밀크와 급결제로 구성되며, 배합비는 용수상태 등에 따라 현장시험을 통하여 조정하여야 한다.

2.3.3 부속부품

모든 형태의 받침판(bearing plate)은 지반의 변형을 구속하는 효과를 충분히 발휘하고, 지반 붕락방지 등의 목적을 달성하기 위해 받침판의 각도조절 등을 할 수 있어야 하며, 암석이나 슛크리트 표면의 형태에 관계없이 표면에 완전히 밀착시킬 수 있는 것이어야 한다.

3. 시 공

3.1 강지보재

3.1.1 시공일반

- (1) 강지보재는 설계도서에 따라 설치하여야 하며, 시공 중 지반상태에 따라 강지보재의 형식을 변경할 수 있다. 이 경우 계약상대자는 서면으로 형식변경을 신청하여 감독원의 승인을 받아야 한다.
- (2) 강지보재를 적기에 시공하지 못하여 발생하는 여굴, 붕괴 및 기타 사고에 대하여는 계약상대자가 그 책임을 져야 한다.
- (3) 강지보재는 지보공사를 시행하기 전에 제작 설계도서에 따라 제작하여야 한다.
- (4) 계약상대자는 현장에 충분한 자재를 확보하여 작업이 지연되지 않게 하여야 한다.

3.1.2 강지보재의 설치

- (1) 강지보재는 굴착 후 원지반의 이완이 최소화될 수 있도록 설계도서에 제시된 순서에 의거하여 빠른 시간 내에 설치하여야 한다.
- (2) 강지보재는 정해진 위치에 정확히 설치하여야 하며, 지보재 설치 후 위치, 고정 등에 대해 검측을 실시하여 감독원의 확인을 받아야 한다.
- (3) 파이프루프(pipe roof)공법이나 포어폴링(forespoling) 등의 보조공법을 시행하는 경우에는 강지보재가 이동되거나 뒤틀리는 것을 막아야 하며, 이때의 설치오차는 100mm 이내가 되도록 하여야 한다.
- (4) 강지보재와 원지반 사이에는 정해진 간격에 따라 썰기 등을 끼워 아치형으로 지보력을 발휘할 수 있도록 하여야 한다.
- (5) 강지보재는 라이닝의 설계두께가 확보될 수 있도록 설치하여야 한다.
- (6) 강지보재의 연결 볼트 및 연결재는 충분히 조여야 한다.
- (7) 강지보재에 녹이나 손상이 생기지 않도록 적절한 조치를 취하여야 하며, 콘크리트에 매설되기 전에는 녹, 유류 및 모르타르 등이 부착되어 있어서는 안 된다.
- (8) 강지보재의 변형이 극심하여 교체할 필요가 있는 경우에는 1조 단위로 이를 교체하여야 한다.
- (9) 강지보재의 이음위치 및 구조는 단면형상, 크기, 시공방법, 지반조건 등을 고려하여 결정하여야 하며, 강지보재의 전도방지를 위해 연결재를 설치하여야 한다.
- (10) 강지보재 기초부에는 목재, 콘크리트 블록, 강판 등의 받침을 설치하여 강지보재가 견고하게 지지되도록 하여야 한다. 단, 목재는 굴착경계부와 같이 임시 받침으로만 사용될 수 있다.
- (11) 강지보재 바닥지반의 지지력이 약하여 상부에서 가해지는 하중을 바닥지반이 충분히 지지할 수 없는 경우에는 단위면적에 가해지는 하중이 지반지지력 이하가 되도록 강지보재 바닥면 하부에 바닥면의 크기보다 더 큰 철판이나 콘크리트 바닥판을 삽입하여야 한다. 상하반 분할굴착 시 상반굴착 후 상반 강지보 설치 시에도 충분한 지지력을 발휘할 수 있도록 하여야 하며, 향후 하반 강지보 설치 시 연결이 가능하도록 하여야 한다.

3.2 숏크리트

3.2.1 시공일반

- (1) 숏크리트 시공방법에는 건식법과 습식법이 있으나, 기본적으로 습식법을 사용하여야 한다.
- (2) 계약상대자는 숏크리트 시공방법에 대한 시공계획서를 제출하여 감독원의 승인을 받아야 한다. 시공계획서에는 공정계획표, 장비와 설비의 주요제원 및 자재 등에 관한 사항이 포함되어야 하며, 건식 숏크리트 시공방법을 사용하는 경우에는 분진처리대책도 포함되어야 한다.

- (3) 강섬유보강 슛크리트(steel fiber reinforced shotcrete)를 사용할 경우에는 강섬유의 선정, 시공장비, 시험방법 등을 충분히 검토하고, 시험시공을 하여 휨강도, 휨인성 등을 확인한 후 시공하여야 한다.
- (4) 섬유의 혼입량은 설계기준강도 및 휨인성 값이 나올 수 있도록 사용하여야 하며, 섬유의 사용목적 및 효과, 콘크리트 타설장비 성능에 따라 감독원의 승인을 받은 후 혼입량을 조정할 수 있다.
- (5) 섬유보강 슛크리트를 시공할 때에는 섬유의 뭉침현상(fiber balling)과 노즐의 막힘현상(plugging)이 발생되지 않도록 하여야 한다.
- (6) 섬유보강 슛크리트를 시공하는 경우에는 최종 슛크리트면에 있는 섬유로 인하여 방수막이 손상되지 않도록 하여야 한다.
- (7) 고강도 슛크리트를 사용할 경우에는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호하여야 하며, 다음과 같은 경우에는 고강도 슛크리트를 사용할 수 있다.
 - ① 콘크리트 라이닝을 설치하지 않는 경우
 - ② 터널의 조기 안정화가 필요한 경우
 - ③ 장기내구성이 필요한 목적구조물로서 활용되는 경우
 - ④ 대단면 터널에서 슛크리트 두께 축소를 목적으로 하는 경우
 - ⑤ 안전성, 시공성, 경제성 향상을 목적으로 하는 경우

3.2.2 배합설계

- (1) 슛크리트 배합설계는 반발량을 적게 하고 호스의 막힘현상이 없도록 하여야 하며, 소요강도를 얻으면서 용수상황에 따라 배합비를 조정할 수 있도록 하여야 한다.
- (2) 섬유보강 슛크리트는 휨강도를, 일반 슛크리트는 압축강도를 기준으로 하여 현장배합비를 결정하며, 감독원의 승인을 받아야 한다.
- (3) 슬럼프는 혼화제 투입 후 100mm를 표준으로 하며, 급결제의 종류에 따라 증가될 수 있다.
- (4) 물-결합재비(W/B)는 50 % 이하로 하여야 한다
- (5) 고강도 슛크리트는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호하여야 하며, 강도는 재령 1일에 10MPa 이상 그리고 재령 28일 강도가 35MPa 이상이 되도록 배합하여야 한다.

3.2.3 사전준비

- (1) 슛크리트 작업을 안전하게 실시하기 위하여 슛크리트 타설면의 뜬돌은 제거하여야 한다.
- (2) 슛크리트 타설면의 이물질은 슛크리트와 원지반 및 슛크리트와 슛크리트간의 부착성을 떨어뜨릴 수 있으므로 슛크리트 타설 전에 고압수 등을 이용하여 제거하여야 한다.

- (3) 숏크리트 타설면에 용수가 있는 경우에는 적절한 배수처리를 하여야 한다.
- (4) 잔골재와 굵은 골재는 분리하여 저장하여야 하며, 빗물로부터 보호하여야 한다.
- (5) 계약상대자는 현장타설 전에 공사에 사용할 것과 동일한 재료로 시험배합을 실시하여 본절 3.2.5 에 명시된 강도를 확인하여야 하며, 시험배합에 사용된 골재의 입도분포 시험결과와 배합표를 감독원에게 제출하여 승인을 받아야 한다.
- (6) 배치플랜트에는 섬유의 계량을 위한 호퍼(hopper) 및 자동계량 기록장치를 설치하여야 하며, 계량오차는 $\pm 3\%$ 이내이어야 한다.
- (7) 섬유보강 숏크리트의 생산은 배치플랜트를 이용하여야 하며, 재료의 투입순서는 굵은 골재와 섬유를 투입하여 충분히 혼합시킨 후 모래, 시멘트, 물 등의 순서로 투입하여야 한다. 특히 섬유의 분산효과를 높이기 위한 시설을 하여 골고루 분산되도록 하여야 한다.
- (8) 혼합물의 운반 시에는 재료분리가 발생하지 않도록 교반기(agitator)를 이용하여야 한다.

3.2.4 숏크리트 타설

- (1) 숏크리트 작업은 시공의 정확성과 작업의 효율성을 향상시킬 수 있는 장비를 선정하여 감독원의 확인을 받은 후 실시하여야 한다.
- (2) 노즐의 방향은 타설면에 직각이 되도록 유지하고, 타설면과 노즐간의 거리는 1 m 정도로 하며, 숏크리트의 분사압력은 200~500 kPa 정도로 유지하여 효율적인 시공이 되도록 하여야 한다.
- (3) 숏크리트 타설 후 불량한 부분이 발견되었을 경우에는 감독원의 지시에 따라 조치를 하여야 하며, 불량구간이 국부적인 경우에는 불량구간을 제거하고 양호한 숏크리트로 재시공하여야 한다.
- (4) 숏크리트의 1회 타설두께는 100mm 이내로 하여야 한다.
- (5) 2차 숏크리트 작업시에는 1차 숏크리트면에 부착된 이물질을 완전히 제거하여야 한다.
- (6) 숏크리트 타설 작업원은 보호구 등을 착용하여 안전에 주의하여야 한다.
- (7) 숏크리트 시공시 측벽은 아래에서 위로, 천정은 한쪽 끝에서 다른쪽 끝으로 연속하여 시공하여야 한다.
- (8) 숏크리트 타설시에는 철망, 철근, 강지보재 등의 뒷부분에 공극이 남지 않도록 하여야 한다.
- (9) 반발되어 바닥에 떨어진 숏크리트는 고결되기 전에 제거하여야 한다.
- (10) 숏크리트 타설 후에는 저온, 건조, 급격한 온도변화 등 해로운 영향을 받지 않도록 하여야 한다.
- (11) 터널내부 온도가 5°C 이하일 때는 별도의 보온 대책을 마련한 후 작업을 하여야 한다.
- (12) 작업장 주위의 조명은 작업에 지장이 없도록 충분한 조도를 유지하여야 한다.

- (13) 숏크리트의 이음부는 이음을 하여야 하는 부위의 300mm 이전부터 두께를 얇게 하여야 한다.

3.2.5 품질관리

(1) 강섬유

- ① 강섬유는 건조한 상태로 녹이 없고, 기름이나 다른 이물질에 의해 오염되지 않은 것이어야 하며, 표면이 코팅되지 않은 상태이어야 한다.
- ② 강섬유는 번들(bundle) 형태로 제조된 것이어야 하며, 동시에 숏크리트 혼합물 내에서는 완전하게 분산될 수 있는 것이어야 한다.
- ③ 강섬유는 시험결과에 따라 분산성과 정착성이 양호한 재료를 선정 하며, 본 절 2.2.5 에 제시된 인장강도와 형상비를 만족하여야 한다.
- ④ 강섬유의 혼입량은 숏크리트 배합 시 1 m³ 당 40kg 이상으로 하며, 설계 휨 강도 및 휨인성을 만족하여야 한다.
- ⑤ 강섬유의 형상비(A)는 다음과 같이 계산한다.

$$A = \frac{l}{d}$$

L: 섬유의 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝까지의 직선거리로 측정한 섬유길이

d : 섬유형상이 원형일 경우에는 직경, 이외의 경우에는 환산 직경

- ⑥ 강섬유의 길이는 숏크리트 타설 시 뭉침현상이나 막힘현상이 일어나지 않을 정도의 적절한 길이이어야 한다.
- ⑦ 굽힘강도는 60 ℃ 이상의 온도에서 지름만큼 90 ° 방향(곡선반경 3.18 mm)으로 굽혔을 때 부러지지 않을 정도의 강도이어야 한다.
- ⑧ 규격측정은 10 개 이상의 견본을 무작위로 채취하여 90 % 이상이 합격하여야 한다.
- ⑨ 강섬유의 허용오차는 표 7-5-3에 따른다.

표 7-5-3 강섬유의 허용오차

길 이	직 경
-측 : 2 % 이내, +측 : 관계없음	-측 : 관계없음, +측 : 2 % 이내

(2) 숏크리트

① 강 도

숏크리트 혼합물의 강도는 표 7-5-4에 따른다.

표 7-5-4 숏크리트 혼합물의 강도

구 분	강 도 (MPa)		비 고
	1일	28일	
압축강도	10	21	일반 숏크리트
휨 강 도	2.1	4.5	강섬유보강

② 휨인성

숏크리트 혼합물의 휨인성은 재령 28일 이상에서 시험하여 시편의 처짐이 $L/150$ (L :지간길이, mm)이 될 때까지의 인성을 휨인성계수(등가휨강도)로 표시한 것이며, 휨인성을 나타내는 등가 휨강도는 3.0MPa 이상이어야 한다. 강섬유 이외의 기타섬유를 적용할 경우 강섬유 보강 숏크리트의 성능기준 이상을 발현할 수 있어야 한다.

③ 강섬유 혼입량 관리

실제 벽면에 타설된 강섬유 혼입량은 1m³ 당 30kg 이상되어야 하며, 혼입량시험은 터널 내에 시공된 숏크리트에서 직접 코어(Ø 100mm 이상)를 채취한 후 우리공사의 '터널 숏크리트 품질기준 개선지침'에 따라 시행하여야 한다.

④ 두께관리

- 가. 숏크리트 두께는 검측된 평균두께가 설계두께와 같거나 그 이상이어야 하며, 검측된 최소두께는 설계두께의 75 % 이상이어야 한다.
- 나. 두께 확인은 검사공을 뚫어서 실시하며, 터널 지보패턴별로 연장 20 m 마다 천장부 2개소, 측벽부 좌·우 2개소로 한다(단, 검사공 간격 20m 사이에 지보패턴 변경구간이 발생하여 두께확인 검사가 수행되지 않는 구간이 생길 경우에는 검사공을 추가하여 두께확인을 하여야 한다.) 두께 확인은 검사공을 사용하지 않고 원형 봉강핀을 이용하여 실시할 수도 있다.
- 다. 검사공은 충격식 착암기나 다이아몬드 드릴을 사용하여 천공하며, 직경이 32 mm 이상이 되도록 천공하여야 한다.
- 라. 측정결과가 기준치에 미달할 경우에는 검사공 좌우 1m 범위 내에서 재측정하고, 이때에도 판정기준에 미달하면 그 표본면적으로 대표된 전면적을 설계두께 이상이 되도록 보완 시공하여야 하며, 보완시공의 최소두께는 30mm 이상으로 하여야 한다.

⑤ 강도시험

가. 압축강도

(가) 시험방법

각 재령의 압축강도시험용 시료는 70°로 경사진 판(panel, 500×500×250 mm)에 숏크리트 건을 사용하여 혼합물을 두께 200 mm 이상으로 뿔어붙여 만든다. 시험은 이렇게 만든 시료에서 코어 채취기를 사용하여 Ø100×200의 시편을 3개 채취한 다음, KS F 2405에 따라 실시한다.

(나) 채취한 3개 코어의 압축강도 평균값은 설계기준 강도의 85 % 이상이어야 하며, 1개 이상이 기준강도의 72 % 보다 작아서는 안 된다.

(다) 이 시험은 강섬유를 사용하지 않는 일반 슛크리트에 적용한다.

나. 휨강도

(가) 시험방법

각 재령의 휨강도시험은 몰드(150×150×550 mm)에서 채취한 시편 또는 휨인성시험에서와 같이 제작한 시편(100×100×350 mm)을 대상으로 KS F 2408에 따라 실시한다.

(나) 이 시험은 강섬유보강 슛크리트에 적용한다.

다. 휨인성

(가) 휨인성시험은 「강섬유보강 슛크리트 시공 및 품질관리 지침」 및 「터널 슛크리트 품질기준 개선」 지침에 따라 실시한다.

(나) 시료제작방법

모서리가 45°로 경사진 500×500×125 mm의 목재나 강재 거푸집 또는 150×150×550 mm 규격의 휨강도시험용 몰드를 수직으로 세워서 강섬유보강 슛크리트를 타설한 후 습윤 양생을 한다. 슛크리트를 타설한 후에는 24시간 동안 거푸집에 충격을 가해서는 안 된다.

(다) 시료채취 방법

시료를 거푸집에서 떼어내는 시기는 슛크리트를 타설한 후 24시간 이상 48시간 이내이어야 한다. 슛크리트를 타설한 후 재령 6일에 콘크리트 절삭기를 사용하여 규정된 치수로 절단하여 시편을 제작하며, 시편은 거푸집의 모서리를 피하여 채취하여야 한다.

(라) 양 생

제작된 시편은 콘크리트 양생 수조에서 양생시킨 후 재령 28일에 시험을 실시한다.

(마) 판정기준

강섬유를 사용한 슛크리트에 대해 3번의 휨인성시험을 실시하여 3개의 시험결과 중 2개 이상은 설계기준 휨인성 이상이어야 하며, 1개 이상이 설계기준 휨인성의 85 % 보다 작아서는 안 된다.

⑥ 현장 코어채취에 의한 압축강도

시공이 완료된 슛크리트의 품질을 확인하기 위해서는 현장에서 코어를 채취하여 시험을 실시하여야 한다.

가. 시료채취 방법

터널 내에 타설된 슛크리트로부터 코어 채취기를 사용하여 1회 시험당 3개의 시료(직경 100 mm)를 채취한다.

나. 시험재령은 타설 후 28일을 기준으로 한다.

다. 시험방법

(가) KS F 2422에 따라 시료의 양단면은 콘크리트 절삭기 등으로 직각으로 절단하거나 KS F 2403에 따라 시멘트 페이스트로 캡핑하여야 한다.

(나) 코어 지름에 대한 시편의 높이(숏크리트 두께)에 따라 압축강도 시험결과를 보정하여야 한다.

라. 판정기준 및 재시험

(가) 동일 위치에서 채취한 3개 코어의 압축강도 평균치는 설계기준강도의 85 % 이상이어야 하며, 설계기준강도가 휨강도일 경우에는 관련 지침 「터널 지보공 관련 품질기준 개정」에 따라 압축강도로 환산하여 판정하여야 한다.

(나) 3개의 시험결과 중 2개 이상은 설계기준강도의 85% 이상이어야 하며, 1개 이상이 기준강도의 72 % 보다 작아서는 안 된다.

(다) 1차 시험에서 기준에 미달되는 구간은 시추공 좌우 1m의 범위 내에서 재시험용 코어를 채취하여 상기와 같은 기준으로 판정하고, 재시험 결과가 판정기준에 미달될 때에는 관련 지침 「터널 지보공 관련 품질기준 개정」에 따라 보완시공 또는 재시공하여야 한다.

⑦ 반발률의 측정

현장에서 숏크리트를 타설하고 바닥에 떨어진 숏크리트(반발재)를 계량하여 다음 식에 의해 반발률을 산출한다.

$$\text{반발률} = \frac{\text{반발재의 전중량}}{\text{숏크리트용 재료의 전중량}} \times 100(\%)$$

(3) 결과보고

계약상대자는 숏크리트에 대한 시험결과를 각 항목별로 정리하여 감독원에게 제출하여야 한다.

3.3 록볼트

3.3.1 시공일반

(1) 록볼트는 정착방식에 따라 선단정착형, 전면접착형, 혼합형의 세 종류로 나눌 수 있다.

(2) 정착재료에는 수지, 시멘트 모르타르, 시멘트 페이스트 등이 있다.

(3) 록볼트의 선정은 지반강도, 절리, 균열상태, 용수상태, 천공경의 확대유무, 설치방향, 시공관리의 용이성, 정착의 확실성, 경제성 등을 고려하여 선택하여야 한다. 이때에는 두 종류 이상의 록볼트를 선정하여 시험시공·인발시험 등을 실시하고, 그 결과를 제출하여 감독원의 승인을 받은 후에 시공하여야 한다.

- (4) 록볼트는 지질상태 및 굴착형태에 따라 시공을 다르게 할 수 있으나, 시공 중에 록볼트 설치기록부를 작성하여 감독원의 요구 시에는 이를 제출하여야 한다. 또한 터널이 관통된 후에는 터널 전 연장에 대한 록볼트 설치기록을 정리하여 감독원에게 제출하여야 한다.

3.3.2 시공방법

- (1) 록볼트를 시공할 때에는 현장시험을 실시하여 록볼트의 인발강도를 확인하고 시험성적을 제출하여 감독원의 확인을 받아야 한다.
- (2) 숏크리트를 먼저 시공하는 경우 록볼트의 시공은 숏크리트 경화 후 가능한 한 빠른 시기에 실시하여야 한다.
- (3) 천공구멍은 굴착면에 직각이 되도록 천공하여야 한다. 단, 절리의 발달방향이 록볼트공의 천공방향과 일치하여 부분적으로 록볼트 설치효과가 감소되는 개소에는 굴착면에 경사지게 록볼트를 추가로 설치할 수 있다.
- (4) 록볼트는 삽입 전에 녹이나 다른 이물질이 부착되어 있지 않도록 청소하여야 한다.
- (5) 용수가 많은 곳에서는 수위 저하, 수발공의 설치, 용수를 한 곳으로 유도하는 방법 등을 현장실정에 맞도록 채택하여 배수하고 록볼트를 시공하여야 한다.
- (6) 록볼트 정착재료로서 시멘트 모르타르나 시멘트 페이스트를 사용하는 경우에는 주입 시 재료가 록볼트공 외부로 흘러내리지 않도록 조치하여야 하며, 공 내에 공극이 발생되지 않도록 하여야 한다.
- (7) 터널 상부에 보강그라우팅 공법이 적용된 구간에서 록볼트에 의한 보강이 불필요하다고 인정될 경우 감독원의 승인을 받아 록볼트를 생략할 수 있다. 다만, 이 경우에는 당초 록볼트가 담당하여야 할 지보하중을 지지할 수 있는 다른 보완조치를 취하여야 한다.
- (8) 지반이 연약하거나 파쇄가 심하여 록볼트 천공경의 자립이 어려운 경우에는 자천공 록볼트를 사용할 수 있다.

3.3.3 프리스트레스(prestress)

- (1) 선단정착형 및 혼합형인 록볼트는 선단정착부의 모르타르가 경화된 후 4시간 또는 수지(resin)를 삽입하고 1시간이 경과한 후에 적정장비로 록볼트 항복강도의 80 % 이내의 힘으로 인장하여 고정시켜야 한다. 록볼트를 고정시킨 후에는 필요에 따라 그라우팅을 하여야 한다.
- (2) 전면접착형인 록볼트에 대해서는 프리스트레스를 도입하지 않고 동력렌치를 사용하여 적정한 힘으로 너트를 조여야 한다.

3.3.4 록볼트의 추가시공

록볼트 시공방법은 설계도서에 제시된 것을 기준으로 하며, 인발시험 및 록볼트 축력측정 등의 계측결과로부터 다음 사항에 해당할 경우에는 록볼트를 추가 시공하거나 길이를 증가시켜야 한다.

- ① 터널벽면의 변형이 록볼트 길이의 약 5 % 이상이 된다고 판단되는 경우
- ② 록볼트 인발시험 결과 충분한 인발내력이 얻어지지 않는 경우
- ③ 록볼트 길이의 절반 이상에서부터 지반심부까지의 사이에 축력분포의 최대 값이 존재하는 경우
- ④ 소성영역의 범위가 록볼트 길이를 넘는다고 판단되는 경우
- ⑤ 슛크리트의 균열, 받침판의 변형, 과다한 변위나 응력발생 등 록볼트의 추가 시공이 필요하다고 판단되는 경우

3.3.5 품질관리

(1) 록볼트 인발시험

- ① 록볼트 인발시험은 전면접착형의 록볼트에 한하여 시행한다. 다만, 선단정착형 및 혼합형의 록볼트에 대하여 인발내력을 확인하고자 할 경우에는 프리스트레스를 가하기 전에 인발시험을 하여야 한다.
- ② 인발시험을 실시할 록볼트는 임의로 선택하여야 한다. 인발하중의 재하속도는 10 kN/min 내외로 하여야 하며, 시험은 충분한 정착효과가 얻어진 후에 가능한 빨리 하여야 한다.
- ③ 슛크리트가 시공되어 있을 경우에는 슛크리트를 제거하여 암반면을 노출시키거나 미리 인발시험을 할 록볼트에 슛크리트 부착을 방지할 수 있도록 천으로 보호하여 시험하여야 한다.
- ④ 록볼트 인발시험은 시공에 앞서 시험을 실시하여 인발내력을 설정하고, 본 시험 시에는 설정된 인발내력의 약 80 % 에 달하면 합격하는 것으로 한다.
- ⑤ 사전 인발내력시험에서는 암질 종류별로 시험을 실시한 후 록볼트 인발시험 시에 발생하는 변위에 대한 허용기준을 자체적으로 설정하여 관리하여야 한다. 인발시험시의 변위는 충전재 종류, 충전재와 암반(또는 록볼트)의 부착상태, 용수 유무, 받침판 및 웨지(wedge)의 변형, 시험장비의 종류 및 장비 설치상태 등에 따라 달라질 수 있으므로 변위 측정시의 초기 하중은 10kN으로 하여야 하며, 관리기준에 비해 변위가 과다하게 발생하는 경우에는 충전재료의 적정성을 검토하여 승인을 받아야 한다.
- ⑥ 시험빈도는 터널연장 20 m 마다 3개소로 하되, 시험위치는 천장부, 어깨, 측벽부 각 1 개소씩으로 하여야 한다.
- ⑦ 인발시험 결과가 불합격될 경우에는 불합격 부위(천장부, 어깨, 측벽부)에서 5개의 록볼트를 추가로 선정하여 인발시험을 시행하고, 그 중에서 3개 이상이 불합격되면 표본구간으로 대표된 전 구간에 대하여 설계와 동일수량의 록볼트를 재시공하여야 한다. 단, 지반조건이 불량하여 특정구간 전체에서 소요의 인발내력이 얻어지지 않거나 과다한 변위가 발생하는 구간 전체에서는 인발내력시험을 재실시하고 감독원과 협의하여 충전재료의 적정성 검토, 록볼트 길이 증가, 록볼트 추가시공 등의 조치를 시행하여야 한다.

- (2) 록볼트 인발시험을 실시한 후에는 그 결과를 정리하여 감독원에게 제출하여야 한다.

3.4 보조공법

- 3.4.1 막장 천장부 지반의 안정에 사용되는 파이프루프공법, 프리그라우팅(pre-grouting)공법, 보강그라우팅공법 및 포어폴링공법 등과 막장면 안정에 사용되는 막장면 록볼트 및 숏크리트 등의 보조공법을 적용할 경우에는 안전성, 시공성, 경제성 등을 고려하여 지반상태에 적합한 방법으로 시공하여야 하며, 각 보조공법별로 시공계획서를 작성하여 감독원에게 제출하여야 한다.
- 3.4.2 파이프루프공법 시공 시에는 파이프를 강지보재 바깥쪽으로 설치하여 경사 각도가 5°이하가 되도록 설치하는 것이 바람직하며, 파이프 간격은 지반상태, 지압, 시공성, 굴착방법 등을 고려하여 결정하여야 하나, 매우 연약한 점성토 지반을 제외하고는 파이프 외경의 2.0~3.5배의 범위 내에서 시공하도록 한다.
- 3.4.3 파쇄대의 보강 및 용수방지 등을 위하여 프리그라우팅을 실시할 때에는 지반의 특성과 침투성 등을 검토하여 주입재, 주입압력 및 주입범위, 주입방법 등을 결정하여야 하며, 프리그라우팅 시공계획서에는 이러한 내용과 주입량 등의 관리방안을 포함하여야 한다. 주입재로서 시멘트를 주재료로 사용하는 경우에는 마지막 그라우팅 작업 후 24시간 이내에 발파작업을 하여서는 안 된다.
- 3.4.4 보강그라우팅공법의 시공 시에는 휨하중에 대한 충분한 내력을 가진 보강재를 사용하여야 하며, 보강재의 설치간격은 일반적으로 0.3~0.6 m 이하 현장의 지반조건을 고려하여 효율적인 주입이 가능하도록 배치하여야 한다. 보강그라우팅공법 시공계획서에는 보강재의 규격과 제원, 주입재의 종류 및 시험성과, 주입압력, 주입량 등의 관리방안을 포함하여야 한다.
- 3.4.5 포어폴링에는 철근·강봉 또는 강관을 사용할 수 있으며, 포어폴링 시공 시의 경사각이 과도하게 크면 지반에 대한 안정효과가 감소하므로 포어폴링 설치각도는 15°이하로 하여야 한다. 또한, 천장부 지반에 대한 안정효과를 높이기 위해 지보재를 충분히 중첩시켜야 한다.
- 3.4.6 막장의 안정을 위해 막장면에 수평방향으로 록볼트를 설치하여 보강할 수 있으며, 록볼트의 설치간격과 길이 등은 현장의 지질조건에 따라 정한다.
- 3.4.7 터널 막장에서의 응력집중을 완화시키고 전단 저항력을 증가시키기 위해 막장면에 숏크리트를 타설할 경우에는 지반이 이완되기 전에 시공하여야 한다. 또한 장기간 굴착을 중지할 경우에는 반드시 막장면에 숏크리트를 타설하여야 한다.
- 3.4.8 지반이 연약하거나 파쇄가 심하여 보조공법 천공경의 자립이 어려운 경우에는 자천공 보강재를 이용한 보조공법을 사용할 수 있다.
- 3.4.9 보조공법에 대한 자세한 사항은 설계도서에 따른다.

7-6 콘크리트 라이닝

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 콘크리트 라이닝 공사에 적용한다. 단, 내화 콘크리트 라이닝, 섬유보강 콘크리트 라이닝, 싱글 셸 라이닝 등이 터널 기능상 필요한 경우에는 세부 시방기준을 작성하여 감독원의 승인을 받은 후 적용하여야 한다.

1.2 참조규격

KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험방법

KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법

콘크리트 표준시방서 시공편 제11장(거푸집 및 동바리) 11.1.3(재료)

1.3 제출물

이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.

2. 재 료

2.1 콘크리트

이 시방서 13-4절에 따른다.

2.2 철 근

이 시방서 13-10절에 따른다.

2.3 거푸집

「콘크리트 표준시방서」 시공편 제11장(거푸집 및 동바리) 11.1.3(재료)에 따른다.

2.4 신축이음재

이 시방서 13-7절에 따른다.

3. 시 공

3.1 시공일반

- 3.1.1 계약상대자는 콘크리트 라이닝의 시공순서, 공사방법, 공사용 기계, 거푸집 설치 및 해체, 타설 공정과 연관된 배치도, 기타 필요한 사항을 포함하는

콘크리트 라이닝 시공계획서를 감독원에게 제출하여야 한다.

- 3.1.2 콘크리트 라이닝에 유해한 균열이 발생할 우려가 있는 터널 입·출구부에는 철근 콘크리트 라이닝 또는 섬유보강 콘크리트 라이닝을 설치하여야 한다.
- 3.1.3 철근 콘크리트 라이닝 또는 섬유보강 콘크리트 라이닝을 설치하는 구간은 지형 및 지반, 기상 등 외적조건에 의한 영향을 고려하여 터널 입·출구부에서 최소한 18 m 이상으로 한다.

3.2 거푸집

- 3.2.1 거푸집의 구조는 매회 콘크리트 타설량·타설길이·타설속도 등을 고려한 것이어야 하며, 타설된 콘크리트의 압력에 충분히 견딜 수 있는 구조로 설치하여야 한다.
- 3.2.2 측면판은 콘크리트의 압력에 견디는 구조로 하여 콘크리트가 새어 나가지 않도록 굴착단면에 밀착시켜야 하며, 틈새가 없도록 하여야 한다.
- 3.2.3 거푸집은 이동성이 좋고 견고한 구조가 되도록 설계, 제작하여야 하며, 거푸집의 길이는 시공성과 안전성을 고려하여 15 m 를 초과하지 않도록 하여야 한다.
- 3.2.4 거푸집에는 콘크리트의 투입 및 타설 상태를 확인하기 위한 작업구를 설치하여야 한다.
- 3.2.5 콘크리트의 투입구는 콘크리트가 넓게 잘 퍼지도록 배치하여야 한다.
- 3.2.6 거푸집 설치에 사용하는 유압잭은 안전 너트가 붙어 있어 장시간 방치해도 이완이 생기지 않는 것이어야 하며, 이완의 우려가 있는 개소에는 썰기 등을 사용하여야 한다.
- 3.2.7 콘크리트를 타설할 때에는 공극이 남지 않도록 토출구를 배치하고 예비 토출구도 설치하여야 한다.
- 3.2.8 이동식 거푸집에는 검측이나 콘크리트 타설 상황을 확인하고 거푸집 청소 작업을 위해 적당한 개소에 검사구를 설치하여야 한다.
- 3.2.9 거푸집의 구조계산서 및 제작상세도를 작성하여 감독원의 승인을 받아야 한다.
- 3.2.10 거푸집은 측량을 실시하여 정확한 위치에 설치하여야 하며, 거푸집의 조립 또는 설치가 완료되었을 때에는 콘크리트를 타설하기 전에 감독원의 검측을 받아야 한다.
- 3.2.11 거푸집을 이동시킬 경우에는 거푸집이 콘크리트 면으로부터 충분히 떨어지게 하여 거푸집과 콘크리트 벽면이 손상되지 않도록 하여야 한다.
- 3.2.12 거푸집 이동용 궤도는 비틀림 등과 같은 변형없이 거푸집을 안정하게 이동시킬 수 있는 구조이어야 하며, 콘크리트 타설 시나 이동시 침하가 생기지 않도록 견고하게 설치하여야 한다.
- 3.2.13 거푸집 면은 콘크리트가 부착되지 않도록 거푸집 표면처리(수지 코팅)를 하여야 한다.
- 3.2.14 거푸집의 조립 시에는 볼트·나사 등을 충분히 조여야 하고, 진동 등으로 느슨해지는 볼트가 있으므로 점검을 실시하여야 한다.

- 3.2.15 거푸집은 차량통행이 가능한 구조로 설치되어야 한다.
- 3.2.16 거푸집을 떼어낼 때 거푸집 면에 콘크리트가 부착되지 않도록 거푸집 박리제(form oil)를 바르는 등의 조치를 하여야 한다.
- 3.2.17 라이닝면의 물곰보를 최소화하기 위해 거푸집을 5~6회 사용한 후에는 샌드 그라인딩 등을 통해 거푸집 면을 깨끗이 청소한 다음 박리제를 발라서 사용하도록 한다.
- 3.2.18 거푸집을 떼어내는 시기는 터널 단면의 크기, 형상, 시공성 등을 고려하여 결정하여야 하는데, 천장부 콘크리트가 자중을 견딜 수 있는 강도를 발휘하기 전까지 거푸집을 제거해서는 안 되며, 콘크리트의 압축강도가 3 MPa 이상 발현된 이후에 거푸집을 제거하여야 한다.

3.3 콘크리트 라이닝 시공

3.3.1 콘크리트의 타설 및 양생

- (1) 콘크리트 라이닝의 타설은 지반의 변위가 수렴된 후 실시하여야 하며, 변위수렴 여부는 계측자료의 분석을 통하여 결정하여야 한다. 팽창성 지반의 변위가 완전히 수렴되지 않은 상태에서 콘크리트 라이닝을 설치하게 될 경우에는 변위량과 변위속도를 기준으로 콘크리트 라이닝의 설치시기를 결정하여야 한다.
- (2) 콘크리트 타설 시에는 재료분리가 생기지 않고 골고루 채워져 공극이 발생하지 않도록 하여야 한다.
- (3) 건조수축에 의한 균열이 발생하지 않도록 정해진 1구획의 콘크리트를 연속적으로 타설하여야 하며, 재료분리가 일어나지 않도록 타설속도를 유지하여야 한다.
- (4) 콘크리트 타설시에는 거푸집에 편압이 발생하지 않도록 좌우대칭으로 타설하여야 하며(좌우 높이 차이는 최대 500mm 이하), 진동기 등을 이용하여 다짐을 하여야 한다.
- (5) 용수 등이 있는 경우에는 콘크리트의 품질이 저하되지 않도록 대책을 강구하여야 하며, 타설된 콘크리트는 적정한 온도로 양생하여야 한다.
- (6) 콘크리트 타설에 있어서 재료분리 및 거푸집에 콘크리트가 부착하여 경화하는 것을 방지하기 위하여 연직 슈트 또는 펌프 배관의 배출구와 타설면까지의 높이는 원칙적으로 1.5 m 이하가 되도록 하여야 한다. 또한 아치 부분에 콘크리트가 조밀하게 충전되도록 충분한 펌프압력으로 콘크리트를 타설하고, 진동기 등을 사용하여 다져야 한다.
- (7) 콘크리트 라이닝에는 유해한 균열이 발생되지 않도록 하여야 하며, 유해한 균열이 발생할 우려가 있는 경우에는 균열방지 대책을 강구하여야 한다.

3.3.2 공극충전

- (1) 슛크리트면 또는 굴착면과 콘크리트 라이닝 사이에는 공극이 발생되지 않도록 하여야 한다. 공극이 발생한 경우에는 해당 부분의 라이닝 내하력이 저하되지 않으면서 공극이 완전히 채워질 수 있도록 재료와 배합방법, 주입공의 구조

및 배열 등을 정하여 채움 주입을 하여야 한다.

- (2) 주입은 콘크리트 라이닝이 주입압력에 견딜 수 있는 강도에 도달한 후, 가능한 한 조기에 실시하여야 한다.
- (3) 주입을 하기 전에 주입을 저해하는 장애물은 제거하여야 한다.
- (4) 주입 순서 및 압력은 원지반이 교란되지 않고 기 시공된 지보재에 편압이나 과도한 하중이 걸리지 않도록 정하여야 한다.
- (5) 터널 천장부에 대한 공극 충전은 최소 2~3회 정도 일정시간을 두고 실시하도록 하며, 충전압이 소정의 압력에 도달할 때까지 실시하여야 한다.

3.3.3 인버트 콘크리트의 설치

- (1) 지형조건상 편압이 예상되는 경우 또는 지반으로부터의 하중으로 인해 콘크리트 라이닝의 폐합이 필요한 경우에는 감독원의 승인을 받아 인버트(invert)를 설치할 수 있다.
- (2) 인버트 콘크리트의 시공 시기는 계측결과를 기초로 하여 결정하여야 하며, 특히 지반이 불량한 경우에는 굴착중에 숏크리트에 의한 인버트도 고려할 수 있다.
- (3) 인버트는 측벽과 일체가 되어 외력에 충분히 저항할 수 있는 형상이 되도록 하여야 한다.
- (4) 타설이음은 인버트 축력이 원활하게 전달될 수 있도록 인버트 축력에 직각이 되도록 설치하여야 한다.
- (5) 인버트의 두께는 지형 및 지반조건에 따라 정하며, 감독원의 승인을 받아야 한다.
- (6) 인버트 콘크리트를 타설하기 위해서는 굴착면 또는 숏크리트면을 청결하게 하고 배수를 충분히 하여야 한다.
- (7) 인버트 콘크리트에는 콘크리트의 건조수축으로 인한 균열을 방지하기 위해 적절한 간격으로 시공이음부를 두어야 한다.

3.4 신축이음

- 3.4.1 콘크리트 라이닝의 신축이음은 터널 입·출구부 50 m 이내에서는 25 m이하 간격으로, 터널 내부에서는 20~60 m 간격으로 설치하여야 하며, 단면 변화부와 지층의 급격한 변화구간, 철근과 무근 콘크리트 라이닝의 접합부 등에는 추가로 신축이음을 설치할 수 있다.

- 3.4.2 실런트(sealant)는 프라이머(primer) 접착제를 바른 후 시공하여야 한다.

3.5 품질관리

- 3.5.1 콘크리트 라이닝의 강도는 재령 28일 강도인 24MPa을 표준으로 하며, 소요강도가 고강도를 필요로 하는 경우에는 고강도 콘크리트를 사용할 수 있다. 비배수형 터널에서는 방수목적상 수밀 콘크리트를 사용하여야 하며, 재령 28일 강도는 27MPa 이상이 되도록 하여야 한다.

제 7 장 터널공사

3.5.2 콘크리트 라이닝 품질관리는 표 7-6-1에 따른다.

3.5.3 콘크리트 라이닝의 두께는 평균두께가 설계두께 이상이어야 하며, 국소부위는 100mm 또는 설계두께의 1/3 값 중 작은 값 이내의 시공오차를 허용할 수 있다. 여기서, 국소부위는 설계 두께의 2배와 같은 한 변의 길이를 갖는 정사각형의 면적 또는 이와 동일한 면적을 갖는 독립된 부위를 말한다.

3.5.4 콘크리트 라이닝의 재령 28일 강도는 설계강도 이상이어야 한다. 1차 시험에서 기준에 미달될 경우에는 시험 위치의 좌우 5m 범위 내에서 재시험을 실시하고, 그 결과가 설계 강도에 미달할 경우에는 수정·보완 또는 재시공하여야 한다.

표 7-6-1 콘크리트 라이닝의 품질관리

구 분	관리 항목	관리 내용 및 시험	시험빈도	비 고
일상관리	시공 정밀도	철근위치 및 거푸집 설치상태	거푸집 설치시마다	
	두 겹	두께 관리	"	
	균열, 변형	타설 후의 균열 및 변형 상태	타설 후 수시	
정기관리	슬럼프시험	슬럼프 값	품질시험 기준에 의거	
	압축강도시험	압축강도	"	

3.5.5 내공 및 선형관리

- (1) 콘크리트 라이닝을 설치하기 전에 내공 및 선형측량을 실시하여 콘크리트 라이닝의 설계두께 유지가 불가능한 부분에 대해서는 기 시공된 지보재를 재시공하여 콘크리트 라이닝의 설계두께를 확보할 수 있도록 하여야 한다. 다만, 지반 조건상 재시공이 부적절하다고 판단될 경우에는 별도의 조치를 강구하여야 한다.
- (2) 터널 내부방향으로의 내공은 50 mm 이내의 시공오차를 허용한다.
- (3) 선형관리 기준은 설계도서에 제시된 기준을 따른다. 단, 별도의 관리 기준 값을 지정하지 아니한 경우에는 터널의 목적과 콘크리트 라이닝의 두께 관리 범위 내에서 선형의 오차범위를 인정한다.

3.6 철근 가공 및 조립

3.6.1 철근은 설계도서대로 조립하여 감독원의 검사를 받아야 한다.

3.6.2 철근을 조립할 때에는 스페이서를 사용하여 철근의 피복두께를 정확하게 유지하여야 한다.

3.6.3 철근의 자중으로 인한 변형이 철근의 탄성 복원력보다 클 경우 철근 처짐 방지를 위한 대책을 강구하여야 한다.

7-7 배수 및 방수

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 터널 노상부의 지하배수, 콘크리트 라이닝 배면의 배수시설 및 방수 시설 공사에 적용한다.

1.2 참조규격

KS F 4911 합성고분자계 방수시트

ASTM A 760 Standard Specification for Corrugated Steel Pipe, Metallic-Coated for Sewers and Drains

ASTM D 2412 Standard Test Method for Determination of External Loading Characteristics of Plastic Pipe by Parallel-Plate Loading

1.3 제출물

1.3.1 이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.

1.3.2 다음 사항을 추가로 제출하여야 한다.
방·배수재(부직포 및 방수막) 시험성과서

2. 재 료

2.1 부직포

2.1.1 재질은 단일겹의 장섬유 부직포이어야 한다.

2.1.2 두께 : 2.0 mm 이상

2.1.3 중량 : 400 g/m² 이상

2.1.4 인장강도 : 1.4 MPa 이상

2.1.5 신장률 : 50% 이상

2.1.6 투수계수 : 평균 $2.6 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 이상

2.1.7 배수용 부직포의 재질은 유입 지하수를 원활히 배수할 수 있는 배수능력을 갖추어야 하며, 폐수 및 지중 화학성분에 대한 내구성이 있어야 한다.

2.1.8 열융착 시공을 요하는 경우 융점 130℃이상의 재질이어야 한다.(시험방법은 KS K 0328에 따른다.)

2.1.9 콘크리트 라이닝 배면 배수재로서 부직포와 동등 이상의 성능을 가진 다른 재료를 사용하고자 하는 경우에는 시공 전에 공인시험기관의 시험성적서 및

시공계획서를 감독원에게 제출하여 승인을 받아야 한다.

2.2 방수막

2.2.1 방수막의 재질은 상호 접착이 좋은 재질이어야 하며, KS F 4911에 만족하는 제품이어야 한다.

2.2.2 방수막의 품질기준

방수막은 산, 알칼리에 대한 저항성 및 팽창에 대한 내구성이 양호하여야 하며, 표 7-7-1의 품질기준을 만족하여야 하나, 동등 이상의 재질인 경우 두께는 설계기준에 따라 조정하여 사용할 수 있다.

표 7-7-1 방수막 품질기준

항 목		단 위	품질기준	비고
인장 성능	인장강도	MPa	16.0 이상	
	신장률	%	600 이상	
	인장탄성률	MPa	100 이하	KS M ISO 527-1, 527-3
인열저항		N/mm	60 이상	
가열 신축량	신장 시	mm	2.0 이하	
	수축 시		6.0 이하	
기타사항		폴리올레핀계 및 에틸렌비닐아세테이트계는 카본블랙을 함유하지 않아야 한다.		

3. 시 공

3.1 배수시설

3.1.1 유공관, 맨암거 및 콘크리트 측구의 설치는 설계도서에 따른다. 유공강관의 품질기준은 표 7-7-2와 같다.

표 7-7-2 터널 맨암거 유공관의 품질기준

구 분	단 위	품질기준	시험방법
재 질	—	부식성이 없어야 한다	
구멍지름	mm	φ 4.8 ~ 9.5	
개 공 율	%	2.3(230 cm ² /m ²)이상	ASTM A 760
굽힘시험	—	이상이 없어야 한다	
내경5% 변형시 강성	kN/m ²	2,465이상	ASTM D 2412

3.1.2 필터 콘크리트 배합비는 표 7-7-3을 표준으로 하며, 현장배합을 실시하여 감독원의 승인을 받아야 한다.

표 7-7-3 필터 콘크리트 배합표(1 m³당)

골 재(8~20 mm)	물	시 멘 트	비 고
1.0 m ³	60 L	103 kg	

3.1.3 필터 콘크리트의 시공순서는 다음과 같다.

- (1) 현장배합용 철판을 깔고 그 위에 자갈을 올려 놓는다.
- (2) 자갈에 필요한 소요량의 물을 골고루 뿌린 후 물이 빠질 때까지 기다린다.
- (3) 물이 빠지고 나면 배합에 필요한 양의 시멘트를 가하여 혼합한 후 사용한다.

3.2 방수시설

3.2.1 시공일반

- (1) 방수시설을 하기 위한 숏크리트면의 상태는 작업 전에 감독원의 확인을 받아야 한다.
- (2) 방수시설 작업 전에 계약상대자는 부직포 및 방수막에 대한 시험성과서를 제출하여야 한다.
- (3) 부직포는 터널 내면에서 원활한 배수가 되도록 재질, 두께, 인장강도, 투수 계수 등을 검토한 후 설치하여야 한다.
- (4) 방수막은 침투수가 터널 내부로 유입되지 않도록 설치하여야 한다.
- (5) 방수막의 연결부는 봉합시험을 하여야 한다.

3.2.2 사전준비

- (1) 숏크리트면 정리 시에는 용수처리도 동시에 하여야 한다.
- (2) 용수는 집수관으로 집수하여 배수로로 배출시켜야 한다.
- (3) 숏크리트 표면에 드러나 있는 모든 관은 절단하고 모르타르 등으로 속채움을 한 다음 모르타르로 마감하여 정리하여야 하며, 마감두께는 최소 20 mm 로 한다.
- (4) 시공 중 부착물을 설치하기 위하여 사용한 철근이나 강재가 숏크리트면 밖으로 돌출된 부분은 숏크리트면과 일치되도록 절단하여야 하며, 날카로운 부분은 모르타르 등으로 매끄럽게 처리하여 방수막에 영향이 없도록 하여야 한다.
- (5) 록볼트의 두부는 너트(nut)면에서 5 mm 여유를 두고 절단한 후 모르타르나 숏크리트로 마감하여야 하며, 마감두께는 최소 40 mm 로 하고 마감부분의 곡선반경은 최소 300 mm 로 한다.

- (6) 터널 벽면에서 강지보재 사이나 불규칙한 면은 길이 대 깊이의 비율이 최소 7:1 이상이 되도록 모르타르나 슛크리트로 마무리하여야 하며, 강지보재나 기타 강재의 피복은 최소 40 mm 이상의 두께로 마감처리를 하여야 한다.
- (7) 슛크리트면의 요철이 심할 때에는 골재의 입경이 8 mm 이내인 슛크리트를 사용하여 요철이 없도록 마무리를 하여야 한다.
- (8) 횡터널의 접합부나 터널내공이 변하는 접합부분의 곡선반경은 최소 500 mm 이상으로 하여야 한다.
- (9) 상·하반을 분할 굴착하는 경우에는 상반 굴착 후 슛크리트 타설 시에 쌓인 반발재를 완전히 제거하여야 하며, 상·하반 연결부의 이물질을 완전히 제거한 후 하반 슛크리트면과 일치하게 면정리를 하여야 한다.
- (10) 콘크리트 라이닝의 기초가 되는 터널 하부와 우각부에 쌓인 슬러지는 깨끗이 제거하여야 한다.
- (11) 여굴 발생부위는 반드시 채움콘크리트를 타설하여 면정리를 하여야 한다.
- (12) 터널내벽의 면정리가 완료되면 감독원의 승인을 받은 후 부직포 및 방수막 설치작업을 하여야 한다.

3.2.3 시 공

(1) 부직포 설치

- ① 부직포는 라운델(roundel), 못 및 와서를 사용하여 콘크리트 및 슛크리트 표면에 고착시킨다. 단, 부직포와 방수막이 일체형으로 되어 있는 경우에는 부직포에 연결된 중심 부직포를 못 및 와서를 사용하여 고착시킨다.
- ② 개착터널 구간은 콘크리트 라이닝 외측면에 방수막을 부착시킨 후, 되메우기를 할 때는 방수막의 손상을 방지할 수 있도록 방수막의 외측을 부직포로 감싸 보호하여야 한다.
- ③ 용수가 많은 구간은 유도배수 처리와 함께 2겹의 부직포를 설치하여야 한다.

(2) 방수막 설치

- ① 방수막을 라운델 위에 부착시킨다.
단, 부직포와 방수막이 일체인 경우는 제외한다.
- ② 방수막은 슛크리트면의 요철과 콘크리트 타설 시 지반 쪽으로 방수막이 밀리는 현상을 고려하여 충분한 여유를 두고 설치하도록 한다. 콘크리트 라이닝 타설 시 거푸집 하단부터 콘크리트가 채워지게 되어 천정부 부근의 방수막에 가장 큰 인장응력이 작용하므로 천장부 라운델의 설치개소는 측벽부에 비해 30% 이상 증가시킨다.
- ③ 방수막의 현장봉합은 용접부위가 평행선이 되도록 자동용접기를 이용하여 이중선으로 용접하여야 한다.
- ④ 봉합부의 겹이음 길이는 70 mm 이상이어야 한다.
- ⑤ 계약상대자는 방수막의 탈락이나 처짐이 발생하지 않도록 시공관리를 하여야 한다.

3.2.4 품질관리

(1) 방수막

- ① 방수막에 손상부위가 발생한 경우에는 방수막 전체를 교체하여야 한다. 다만, 손상부위가 경미하거나 교체가 불가능한 경우에는 방수막 조각을 덧댄 후 수동접합기로 열융착하여 보수하고, 진공검사기로 접합상태를 확인하여야 한다.
- ② 접합상태 및 이음상태가 불량한 경우에는 재시공하여 방수기능이 완전하도록 하여야 한다. 다만, 시공상 부득이한 경우에는 방수막을 이중(겹침 폭 : 500mm)으로 설치하여야 한다.

(2) 봉합시험

① 압축공기에 의한 시험

- 가. 용접부위의 양쪽을 공기가 새어나가지 않도록 차단하고 게이지가 달린 주입기로 공기를 주입하여 압력게이지가 200 kPa을 가리킬 때 공기주입을 중단한다.
- 나. 주입 차단 후 10분 동안 압력이 20% 이상 저하되지 않아야 하며, 이상이 있을 때에는 재시공하여야 한다.

② 진공검사

- 가. 시험하고자 하는 부위에 검사액을 뿌리고 진공검사를 실시한다.
- 나. 용접상태가 불량한 부위에서는 거품이 발생하게 되므로, 147 mmHg (1mm Hg = 0.0014 MPa)의 진공압력에서 거품이 발생하지 않아야 한다.
- 다. 계약상대자는 시험에 필요한 기구를 무상으로 제공하여야 한다.

③ 검사 및 기타사항

- 가. 계약상대자는 감독원의 입회하에 임의로 제품시료를 발췌하여 방수막의 품질과 관련한 검사 및 시험을 품질시험 전문기관에 의뢰하여야 하며, 그 결과를 감독원에게 제출하여 승인을 받아야 한다. 다만, 품질시험 전문기관의 시험이 곤란한 경우에는 계약상대자의 자체설비를 이용하여 감독원 입회하에 시험을 실시할 수 있으며, 품질보증서를 첨부하여 품질시험 전문기관의 시험으로 가름할 수 있다.
- 나. 방수막은 한 두루마리(roll)마다 상품명, 제조년월일, 제조업체명, 규격(폭×두께×길이) 등이 포장에 명시되어 있어야 한다.

7-8 갱 구 부

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 터널 시·중점 갱문 및 갱구부 공사시행에 필요한 작업에 적용한다.

1.2 참조규격

해당없음

1.3 제출물

이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.

2. 재 료

해당없음

3. 시 공

3.1 갱문위치 및 형식

3.1.1 갱문은 인접하는 구조물에 대한 영향, 비탈면 붕괴 등에 대한 대책을 충분히 검토한 후 위치를 결정하여야 한다.

3.1.2 갱구부는 편측 경사, 급경사 및 대절토가 발생하지 않도록 하여야 하며, 자연경관 훼손을 최소화할 수 있도록 하여야 한다.

3.1.3 갱문형식은 지형, 지질조건, 배수계획, 주변 환경과의 조화 등을 고려하여 결정하여야 한다.

3.2 갱구부 배수 처리

3.2.1 굴착과 더불어 갱구부 주변 배수가 원활하게 이루어지도록 하여야 한다.

3.2.2 터널 내 배수관이나 맹암거에서 유출되는 물이 집수정을 통해 원활하게 배수되도록 계획하여야 한다.

3.3 갱구부 보강

3.3.1 휨모멘트와 인장력이 작용하는 갱구부 콘크리트 라이닝의 일정구간을 철근 등으로 보강하여야 한다.

3.3.2 갱구부는 특히 비탈면 붕괴, 지표침하, 지내력 부족 및 장래 유지관리 측면을 고려한 적절한 시공방법을 제시하여 감독원의 승인을 받은 후 시공하여야 한다.

3.3.3 갱구부 시공 시 이상이 생긴 경우는 신속히 필요한 대책을 강구하여야 한다.

7-9 타일붙임 및 내오염도장

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 콘크리트 라이닝 측벽부의 타일붙임 또는 내오염도장 공사에 적용한다.
타일붙임과 내오염도장은 터널연장에 따라 구분하여 적용하며, 내오염 도장의 적용은 ‘터널 내오염도장’관련 기준 또는 지침에 따른다.

1.2 참조규격

KS L 1001 도자기질 타일

1.3 제출물

- 1.3.1 이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.
- 1.3.2 내오염도장의 적용 시 계약상대자는 도장 품질관리를 위한 도장작업요령, 자체검사요령 등을 포함하는 도장시공계획서를 제출하여 감독원의 승인을 받아야 한다.

2. 재 료

2.1 타 일

- 2.1.1 타일의 재질은 KS L 1001에 규정한 규격품과 동등한 제품의 자기질 외장타일이어야 한다.
- 2.1.2 타일 뒷굽의 높이는 1.2 mm 이상, 안쪽으로 오목하게 들어간 깊이는 1 mm 이상이어야 한다.

2.2 내오염도장재

- 2.2.1 내오염도장재는 폴리에탄계, 불소수지계, 세라믹 우레탄계 등 품질기준을 만족하는 재료이어야 한다.
- 2.2.2 내오염도장재의 품질기준은 우리공사의 ‘터널 내오염도장’ 관련 기준 또는 지침에 따른다.

3. 시 공

3.1 타일붙임

- 3.1.1 시공일반

제 7 장 터널공사

- (1) 타일붙임에는 타일시멘트를 사용하여야 한다.
- (2) 콘크리트 라이닝은 습윤한 상태로 유지하여야 한다.
- (3) 타일시멘트와 부착강화제는 정확히 계량하여 혼합하여야 한다.

3.1.2 시공방법

- (1) 1일의 타일붙임 높이는 2 m 미만으로 하여야 한다.
- (2) 타일은 모르타르에 1/2 정도가 파묻힐 정도로 압착하고, 직경붙임공법(개량 압착방법)으로 시공하여야 한다.
- (3) 타일의 규격 및 간격은 설계도서에 따른다.
- (4) 모르타르의 배합비는 표 7-9-1에 따른다.

표 7-9-1 모르타르의 배합표(1m³ 당)

구 분	물 (g)	타일시멘트 (g)	부착강화제 (g)
바름모르타르	1,400	6,300	100
줄 눈	640	3,200	

3.2 내오염도장

- 3.2.1 내오염도장의 시공은 별도의 시방기준을 작성하여 감독원의 승인을 받아야 한다.

7-10 터널계측

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 터널 굴착 시부터 콘크리트 라이닝 완료 시까지 터널의 구조적 안정성 여부를 판단하기 위한 터널 내·외부의 계측 및 분석 작업에 적용한다.

1.2 참조규격

해당없음

1.3 제출물

1.3.1 이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.

1.3.2 다음사항을 추가로 제출하여야 한다.

- (1) 월간 계측결과보고서
- (2) 계측결과 종합보고서

2. 재 료

해당없음

3. 시 공

3.1 계측일반

3.1.1 터널계측에는 일상계측과 정밀계측이 있으며, 일상계측에는 터널 내 관찰조사, 내공변위 측정, 천단침하 측정 등이 있고, 정밀계측에는 지표 및 지중침하 측정, 쏫크리트응력 측정, 지중변위 측정, 록볼트축력 측정 등이 있다. 팽창성지반, 대규모 단층파쇄대 등 특수지반과 터널 상부에 관리대상 구조물이 위치하는 경우 등 특수구간은 감독원과 협의하여 3차원계측(필요시 자동화 계측) 시행여부를 판단하여 시행하여야 한다.

3.1.2 계약상대자는 터널공사를 착수하기 전에 계측기의 정밀도·측정범위·작동 온도범위 등을 포함한 계측기의 제원, 계측기의 보정방법 및 유지관리, 계측결과와 기록양식·분석범위·분석방법 및 활용방안, 계측값의 수렴여부 판정방법 등을 포함하는 계측계획서를 작성하여 감독원에게 제출하여야 한다.

3.1.3 계약상대자는 계측 자료를 조기에 수집·분석하여 이를 공사에 반영함

으로써 경제적이고 안전한 시공이 될 수 있도록 하여야 한다.

- 3.1.4 계약상대자는 설계도서 및 계측계획서에 제시된 계측기기를 구비하여야 하며, 감독원에게 계측기기의 정밀도를 확인받아야 한다. 계측기기의 설치·감독원 입회하에 시행하여야 하며, 전문기술자에 의해 지정된 위치에 계측기를 설치하여야 한다.
- 3.1.5 계약상대자는 계측기기의 유지관리에 만전을 기하여 계측결과의 획득에 차질이 없도록 하여야 한다.
- 3.1.6 터널공사는 계측자료를 근거로 시행하여야 하며, 계측된 결과를 설계와 비교 분석하여 매 주마다 감독원에게 제출하여야 한다.
- 3.1.7 계약상대자는 시공계측 뿐만 아니라 필요 시 유지관리계측도 공사에 반영하여야 하며, 이러한 자료를 정리한 후 감독원에게 제출하여 승인을 받아야 한다.
- 3.1.8 계약상대자는 계측결과 및 터널거동 분석내용을 월간보고서로 작성하여 감독원에게 제출하여야 하며, 시공계측 작업이 완전히 종료된 후에는 그 간의 계측결과 및 분석내용을 종합적으로 정리한 계측결과 종합보고서를 감독원에게 제출하여야 한다.

3.2 계측빈도

계측항목과 빈도는 표 7-10-1을 표준으로 하며, 현장여건 및 지반조건을 감안하여 감독원의 확인을 받은 후 조정하여 사용할 수 있다.

표 7-10-1 계측항목별 측정빈도

구분	계측항목	계측간격	배 치	계측기 설치시기 및 위치	측 정 빈 도 ¹⁾			비 고
					0~15일 (0~7일)	15~30일 (8~14일)	30일~ (15일~)	
계측 A (일상 계측)	터널내 관 찰	전연장	전막장	-	매막장 마다	매막장 마다	매막장 마다	록볼트 인발 시험은 록볼 트 품질관리 시험으로 실 시함
	내공변위	10~50 m	수 평 2 대각선 4	막장후방 1~3 m 또는 굴착 24시간 이내 ²⁾	1~2 회/일	2회/주	1회/주	
	천단침하	10~50 m	1개소	막장후방 1~3 m 또는 굴착 후 4시간 이내 ²⁾	1~2 회/일	2회/주	1회/주	
	록볼트 인발시험	20 m 마다 3개소	측벽부 천장부 어깨	-	-	-	-	
계측 B (정밀 계측)	지표침하 지중침하	300~600 m	터널상부 3~5개소	막장전방 30 m	1회/일	1회/주	1회/2주	각 항목별 계 측기를 동일한 단면에 설치하 여 종합적으로 계측
	숏크리트 응 력	200~500 m	3~5개소 (반경방향, 접선방향)	막장후방 1~3 m 또는 굴착 후 24시간 이내 ²⁾	1회/일	1회/주	1회/2주	
	지중변위	200~500 m	3~5개소 (3~5개의 다른 심도)	막장후방 1~3 m 또는 굴착 후 24시간 이내 ²⁾	1~2 회/일	1회/2일	1회/주	
	록볼트 축 력	200~500 m	3~5개소 (3~5개의 다른 심도)	막장후방 1~3 m 또는 굴착 후 24시간 이내 ²⁾	1~2 회/일	1회/2일	1회/주	

※ ¹⁾ 빈도란 중에 있는 ()는 수렴이 빨리 되는 경우의 빈도임.

²⁾ 막장후방 1~3 m 또는 굴착 후 24시간 이내 중 빠른 시기를 기준으로 함.

3.3 계측내용

3.3.1 터널내 관찰조사

(1) 터널내 관찰조사는 지질상태를 파악하고 지보효과를 확인하기 위한 것으로서, 터널의 설계, 시공 및 계측의 기본이 되므로 정확한 관찰조사를 하여야 한다. 관찰조사 항목으로는 막장, 록볼트, 숏크리트, 강지보재에 대한 조사 관찰과 기타 확인사항 등이며, 주요 조사내용은 다음과 같다.

① 시공중 막장 관찰 및 조사항목(7-3 터널굴착 3.3항의 조사항목)

② 막장, 터널 천장부 지반 및 측벽에서의 붕괴 여부

③ 록볼트의 설치위치, 방향 및 정착 여부

④ 숏크리트의 파괴 및 강지보재의 변형 여부

⑤ 당초 설계와 시공시의 지반구분 재평가 및 기타사항

(2) 계약상대자는 이러한 관찰조사 결과와 계측에 의한 지반거동, 시공상황 등의 관계를 명백하게 파악하여 효율적인 시공이 되도록 하여야 한다. 또한 막

장을 관찰·조사한 후에는 조사결과와 관련한 상세도면 및 사진 등을 정리하여 보관하여야 한다.

3.3.2 내공변위 측정

- (1) 내공변위 측정은 터널의 안정성, 지보효과, 지보의 시공시기 및 방법 등을 검토하는 데에 가장 기본이 되는 항목이며, 계측에는 변위측정용 기기를 사용하여야 한다.
- (2) 내공변위 측정은 막장굴착 후 초기에 최종변위량을 예측하고, 숏크리트 및 록볼트의 추가 시공여부를 판단하며, 콘크리트 라이닝 타설시기를 판단하는 자료로 사용하여야 하므로 굴착초기부터 내공변위가 수렴할 때까지 정확한 계측이 이루어져야 한다.
- (3) 내공변위의 수렴여부 판정은 계측계획서에 제시된 기준을 따른다.
- (4) 계약상대자는 발파 굴착 시 비산석에 의해 계측기기가 손상되지 않도록 보호시설을 하여야 한다.

3.3.3 천단침하 측정

- (1) 천단침하 측정은 주변지반의 안정성 확인, 록볼트 및 숏크리트의 지보효과를 파악하기 위한 계측항목으로서, 특히 고결도가 낮은 지층, 터널 천단과 지표 사이의 수직거리가 짧은 경우와 단층 등으로 인해 붕괴가 일어나기 쉬운 지반조건인 경우 가장 중요한 계측이다. 따라서 막장 굴착 후 가능한 한 빨리 초기값을 측정하여야 하며, 변위가 수렴될 때까지 측정을 하여야 한다.
- (2) 측정은 굴착에 따른 절대 높이의 수준측량으로 한다.

3.3.4 지표 및 지중침하 측정

터널천단과 지표 사이의 수직거리가 짧고 터널 상부에 중요한 구조물이 있는 경우에는 터널굴착이 구조물에 영향을 미치는지의 여부를 파악할 수 있도록 지표침하와 지중침하를 측정하여야 한다.

3.3.5 숏크리트응력 측정

- (1) 숏크리트응력 측정은 숏크리트의 안정성 및 추가 지보재의 필요성을 검토하기 위해 실시하며, 숏크리트 내에 응력계를 매설하여 터널단면의 접선방향과 터널 반경방향의 응력을 측정한다.
- (2) 측정 대상물의 강성과 계측기의 강성을 고려하여 계측기기 자체의 오차나 형상오차가 작은 기기를 사용하여야 한다.
- (3) 응력계를 매설할 때에는 숏크리트 내의 계측기기와 숏크리트 사이에 공극이 발생되지 않도록 하여야 한다.

3.3.6 지중변위 측정

- (1) 지중변위 측정은 굴착 후 터널주변의 이완영역을 파악하여 록볼트의 적정깊이를 결정하기 위한 것으로서, 터널 반경방향으로 지중에 수개의 심도가 다른 앵커를 설치하고 그 변위를 측정한다.

(2) 가장 깊은 측정점은 반드시 이완영역 바깥의 부동점에 설치되도록 하여야 한다.

(3) 지중변위 측정결과는 록볼트 축력 및 내공변위 측정결과와 연계하여 종합적으로 판단하여야 한다.

3.3.7 록볼트 축력 측정

록볼트 축력 측정은 록볼트의 축력을 측정하고 그 응력도에 의해 록볼트의 효과 등을 검토하여 록볼트 간격 및 길이의 증감여부를 판단하기 위한 계측으로서, 내공변위 측정결과와 연계하여 계측결과를 해석하여야 한다.

3.3.8 주변 구조물의 변형상태 조사

(1) 계약상대자는 주변 구조물의 변형이 터널시공으로 인한 것인지의 여부를 판단할 수 있도록 시공 전에 사진촬영 및 비디오촬영 등 사전조사를 하여야 한다.

(2) 터널시공에 의한 변형이 발생하였을 때는 이에 필요한 대책수립과 지속적인 관찰을 하여야 한다.

3.4 계측관리

3.4.1 계측결과와 시공 반영

터널 시공 시에는 각종 계측을 조직적으로 행하면서 계측결과를 직접 설계 및 시공에 반영하여야 하며, 공사의 안전성, 경제성 및 시공성을 만족할 수 있도록 그림 7-10-1과 같이 계측관리를 하여야 한다.

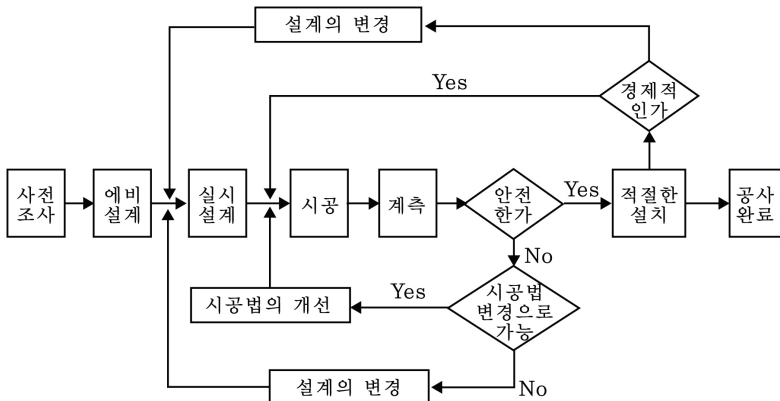


그림 7-10-1 계측관리 계획도

3.4.2 계측결과의 정리

계측결과는 일상의 시공관리에도 이용하고, 장래 공사계획에도 반영할 수 있도록 정리하여 보존하여야 한다.

3.4.3 계측결과의 보고

계측결과는 지체 없이 보고하여야 한다. 특히 현저히 큰 변위가 발생하는 경우, 변위속도가 기준치 이상이거나 수렴하지 않는 경우에는 즉시 감독원에게 보고하고 지시에 따라 조치하여야 한다.

3.4.4 계측기의 취급

- (1) 계측기 등의 설치 및 운반 시에는 파손이 생기지 않도록 신중히 취급하여야 하며, 파손이 생겼을 때에는 즉시 감독원에게 보고하고 적절한 조치를 취하여야 한다.
- (2) 계측기는 굴착 전 또는 굴착 후 즉시 설치되어야 한다.

3.5 계측원의 자격

3.5.1 계약상대자는 원활한 계측관리를 위하여 계측 전담반을 직접 운영하거나 계측전문업체에 위탁하여 계측업무를 수행할 수 있다.

3.5.2 계측 책임자는 터널 굴착에 따른 지반 및 지보재 거동의 역학관계를 이해하는 지반공학 또는 지질학 관련 분야의 전문가이어야 한다.

7-11 시공 중 부대시설

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 터널 공사 중 발생하는 배수, 터널 내 조명 및 환기에 적용한다.

1.2 참조규격

해당없음

1.3 제출물

- 1.3.1 이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.
- 1.3.2 다음사항을 추가로 제출하여야 한다.
 - (1) 시공 중 배수계획서
 - (2) 공사 중 조명 배치계획서
 - (3) 공사 중 환기계획서

2. 재 료

해당없음

3. 시 공

3.1 시공중 배수

- 3.1.1 시공 중에는 작업에 지장이 없이 터널 내 배수가 원활하게 되도록 바닥면 고르기를 실시하는 등의 조치를 하여야 한다.
- 3.1.2 시공 중 발생하는 용수는 즉시 처리되어야 하며, 용수처리, 배수로 설치 등을 포함하는 배수계획서를 작성하여 감독원의 승인을 받아야 한다.
- 3.1.3 시공전 굴착단계부터 터널내 침출수 등 터널오탁수 처리를 위한 오폐수처리 시설을 설치하여야 한다.

3.2 시공중 조명

- 3.2.1 막장이나 직접 작업을 행하는 장소의 조명은 70 lux 이상이어야 하며, 조명 기구는 명암의 대비가 뚜렷하지 않아야 한다.
- 3.2.2 통로구간의 조명도 통행의 안전확보와 차량의 안전운행을 위해 최소한 10 lux 이상을 유지하여야 한다.

- 3.2.3 위험한 장소에 대해서는 경계표시등을 설치하고, 정전 시에 대비하여 예비 전원이나 비상전원을 설치하여야 한다.

3.3 시공중 환기

- 3.3.1 위생적이고 안전한 작업환경을 조성하기 위하여 설계치 이상으로 터널 내 환기를 충분히 실시하여 발파 후에 발생된 가스, 분진 및 기타 내연기관의 배기가스를 터널 외부로 배출하여야 한다.
- 3.3.2 계약상대자는 굴착작업을 시작하기 전에 발파나 작업기계 등에서 배출되는 유해가스에 따른 소요 환기량, 환기설비 등을 포함하는 공사 중 환기계획서를 작성하여 감독원의 승인을 받아야 한다.
- 3.3.3 원지반에서 나오는 가스, 지열 등에 주의하고, 필요한 경우에는 환기 이외의 다른 조치를 강구하여야 한다.

7-12 공해방지 및 안전관리

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방은 작업원의 건강과 안전을 위하여 시공 중 분진 및 공해방지와 안전관리에 적용한다.

1.2 참조규격

해당없음

1.3 제출물

이 시방서 총칙편 2-4절 1.3에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.

2. 재 료

해당없음

3. 시 공

3.1 시공중 분진 방지

3.1.1 굴착, 버력처리, 슛크리트 시공 등의 작업 시에는 분진이 발생하게 되는데, 계약상대자는 작업환경의 개선을 위해 분진 등의 농도를 정기적으로 파악하여 작업원의 건강 장애가 발생되지 않도록 조치하여야 한다.

3.1.2 분진으로 인한 장애 방지 대책으로서 계약상대자의 의무는 다음과 같다.

(1) 상시 분진작업에 종사하는 자에 대해서는 분진으로 인한 질병의 방지와 건강관리를 실시하여야 한다.

(2) 분진으로 인한 질병의 방지 등에 관한 특별교육을 실시하여야 한다.

(3) 시공 중 분진농도 측정을 3개월에 1회씩 정기적으로 실시하여 필요한 사항을 기입한 측정기록을 7년간 보존하여야 한다.

(4) 특정분진 발생 장소에 대해서는 국부 배기장치나 살수(撒水) 등의 조치를 강구하여야 한다.

3.1.3 터널 내부의 가스 및 분진 허용농도는 표 7-12-1을 기준으로 하며, 이 기준을 초과할 경우에는 환기시설 보완 등의 대책을 강구하여야 한다.

표 7-12-1 공사 중 터널 내부의 가스 및 분진 허용농도(권고값)

종 류	허 용 농 도
일산화탄소 (CO)	100 ppm
이산화탄소 (CO ₂)	1.5 %
황화수소 (H ₂ S)	10 ppm
메탄 (CH ₄)	1.5 %

3.2 작업장 환경관리

- 3.2.1 계약상대자는 시공 중에 발생하는 소음, 진동, 지표침하, 갈수 등이 터널 주변 환경에 영향을 미칠 우려가 있는 경우 이에 대한 대책을 강구하여야 한다.
- 3.2.2 터널내의 지하수 및 공사용수는 인체에 유해한 성분이 포함될 수 있으므로 터널폐수처리시설을 설치하여 처리하여야 하며, 터널유출수의 pH 및 수질 오염 등에 대한 환경기준치를 초과하지 않도록 관리 하여야 한다.

3.3 작업장 안전관리

계약상대자는 작업장 안전관리수칙, 화약류 취급법 등 관련 법규를 준수함은 물론 공사현장에 적합한 내규를 작성하여 재해방지에 최선을 다하여야 한다.