

108

2010-04



건설업 KOSHA 클럽
이달의 안전교육

<http://www.kosha.or.kr>

터널 보강 작업안전

108
2010-04

- 강지보
- 슛크리트
- 록볼트



<http://www.kosha.or.kr>



✦ 필자	오지환 한국산업안전보건공단 서울지역본부 건설안전팀 차장 김동원 한국산업안전보건공단 건설안전실 차장 유동열 삼성건설(주) 품질경영실 품질안전팀 과장
✦ 발행일	2010년 4월
✦ 발행인	노민기
✦ 편집	교육미디어실
✦ 발행처	한국산업안전보건공단 인천광역시 부평구 구산동 34-4
✦ 자료문의 및 의견	TEL [032]5100-500, FAX [032]502-0049
✦ 디자인	큐라인
✦ 인쇄	도서출판 바로

건설업 KOSHA 클럽 사이트에서 On-line(인터넷)으로도 우수한 안전보건정보를 받아보실 수 있습니다.

* 이 교재는 건설업 관계자 안전교육용으로 개발 · 보급되는 자료로서
www.kosha.or.kr에서 추가로 구매할 수 있습니다.

01 일반이론

1 작업개요 / 2 작업 시 착안사항 / 3 주요 점검항목(Check List)
4 기술적 사항 / 5 터널 보강 작업순서도

02 위험성평가

1 터널 강지보 / 2 터널 슛크리트 / 3 터널 록볼트 / 4 터널 특수보강

03 중대재해사례 및 대책

1 터널 슛크리트 타설작업 중 암반 낙하
2 백호우 버킷에 탑승하여 와이어메쉬 결속작업 중 버킷 탈락, 추락

04 안전시공사례

1 터널보강 작업안전



일반이론 01

1. 작업개요

- Shotcrete 작업

Shotcrete는 1차 지보재 중에서 가장 중요한 요소로 특히 지반이 불량하거나 도심지 NATM 터널에서는 시공순서와 방법이 대단히 중요하다. Shotcrete 타설시기, 시공순서 및 방법 등이 문제가 될 경우, 굴착면의 지반아치 형성이 곤란하여 절리면에 대한 진행성 거동 억제효과가 저하되는 등 터널의 안전에 문제가 발생할 수 있다. 또한 압괴 등의 붕락으로 인한 재해발생이 우려되므로 터널 내부의 Shotcrete 작업은 **굴착 후 가능한 조기에 실시**하여야 하며, 올바른 타설순서와 방법의 시공으로 안전한 작업장이 되도록 관리하여야 한다.

- Steel Rib 작업

Steel Rib는 Shotcrete가 경화할 때까지 지보효과를 발휘하며 경화 후에는 Shotcrete와 함께 **지지효과를 증진**시킨다. Steel Rib 작업은 현장 내 하역 및 적치, 터널 내부로의 운반, 조립, 설치 등으로 구성되며 대부분 중량물 취급작업과 2m 이상의 고소작업으로 세심한 안전관리가 요망되는 작업이다.

- Wire Mesh 설치작업

Wire Mesh는 Shotcrete 타설 시 부착력을 증가시키고 Shotcrete Lining의 휨응력에 대한 **인장재 역할**을 한다. 또한, Shotcrete 경화 시까지 Shotcrete 강도 및 자립성을 유지시켜 주며, **시공이음부를 보강**하고 **균열을 방지**하여 준다. 그러므로 Wire Mesh의 설치작업도 철저를 기하여 올바른 시공이 되도록 한다.

- Rock Bolt 작업

Rock Bolt는 굴착에 의하여 **이완되어 있는 지반을 견고한 지반에 결합**하여 낙반을 방지하고, 절리, 균열 등 불연속면이나 굴착 중 파괴면에서부터 분리되는 것을 방지하는 등 터널 주변암반의 안정을 향상시키는 역할을 한다. Rock Bolt의 설치는 부분적 지반의 붕괴를 방지하기 위한 **Random Bolting** 방식과 규칙적으로 배치하여 지반아치를 형성시키는 **Systemic Bolting** 방식이 있다. Rock Bolt의 시공시기, 배치, 정확한 천공방향과 안전한 작업방법 등에 관한 계획을 수립, 시행하여야 한다.

2. 작업 시 착안사항

[1] Shotcrete 작업

- 1) Shotcrete 타설 전 굴착면 정리
- 2) Shotcrete 타설시기, 타설순서
- 3) 배면 공극발생 방지
- 4) 작업대
- 5) 타설장비 수리, 점검
- 6) Shotcrete Plant 관리
 - 골재 야적장
 - 시멘트 투입
 - 장비작업
 - 재료 투입구

[2] Steel Rib 작업

- 1) Steel Rib Unit 하중
- 2) 현장 내 자재 하역 및 적치방법
- 3) 터널 내부로의 운반방법
- 4) 작업대
- 5) 작업용 기계 · 기구 등의 작업 전 점검
- 6) Steel Rib 연결부
- 7) 원지반과 밀착시공

[3] Wire Mesh 설치작업

- 1) 겹이음
 - 종방향
 - 횡방향
 - 상단면과 하단면 이음
- 2) 작업대
- 3) 고정 및 밀착시공

[4] Rock Bolt 작업

- 1) 시공시기
- 2) 배치, 방향, 깊이 등 천공작업 기준
- 3) 인발시험, 지중변위 측정 등의 계측결과에 대해 Rock Bolt의 추가시공 여부 검토
- 4) 작업대
- 5) Rock Bolt 두부처리
- 6) Anchor Plate와 Shotcrete면 접착상태

3. 주요 점검항목(Check List)

(1) 공통사항

- 1) 지보공 부재의 사전점검 실시 여부(부식, 변형)
- 2) 지보공 부재의 설치 후 점검 실시 여부(연결상태, 침하상태)
- 3) 발파 후 지보공상태 점검 실시 여부
- 4) 굴착 즉시 지보공 설치 여부
- 5) 지보공과 원지반 사이에 공극발생 여부
- 6) 불량지반, 용수가 많은 구간에서의 보강대책 수립 여부
- 7) 각 작업에 필요한 작업대의 설치상태(안전난간, 승강설비, 작업발판, 안전표지판 등)
- 8) 근로자의 개인보호구 착용상태

(2) Shotcrete

- 1) 굴착 후 부석정리가 완료된 상태에서 즉시 타설 여부
- 2) 와이어메쉬가 Shotcrete에 충분히 매몰되게 시공되는지의 여부
- 3) 타설순서 준수 여부(Steel Rib 저면 → 측면 → 중앙부)
- 4) 노즐맨과 믹서기 기능공의 거리가 서로 수신호가 가능한 위치에 있는지의 여부
- 5) 분진발생 억제대책 수립 및 근로자의 방진안경, 마스크, 우의, 장갑 등 착용상태

(3) Rock Bolt

- 1) 앵커 플레이트와 Shotcrete면 접착의 적정시공 여부
- 2) 굴착 후 지반의 변위 발생 시 조속 시행 여부
- 3) 삽입 전 녹, 이물질의 제거상태 점검 여부
- 4) 굴착면에 직각으로 시공하고 시공 전 천공장 내부의 청소실시 여부
- 5) 계측을 상시 실시하여 변위과정을 기록 및 분석하는지의 여부
- 6) 시공 전 볼트의 경, 길이를 확인하는지의 여부

4. 기술적 사항

(1) Shotcrete 작업

- 1) 굴착면의 압괴, 부석 등의 정리 여부
 - 부석을 정리하지 않고 후속공종 작업 시 부석낙하 등으로 인한 안전사고 우려
- 2) 과다용수 발생지역의 용수처리 적정성
- 3) 1차, 2차 Shotcrete의 동시타설 여부
 - 터널 굴착 후 즉시 1차 Shotcrete(T=5cm)를 타설하고 Wire Mesh 및 강지보를 설치한 후 2차 Shotcrete 타설
 - 1차, 2차 Shotcrete의 동시타설 시 터널안정성 저해 우려

- 4) 굴착 후 1차 Shotcrete의 타설지연 여부
- 5) 소정의 두께로 시공되었는지 여부
- 6) Shotcrete 배면에 공동발생 여부
- 7) 골재 관리상태
 - 골재저장소 설치상태(천막, 지붕 등 설치)
 - 잔골재와 굵은골재 분리보관 여부
 - 우수 및 이물질이 혼입되지 않도록 관리
 - 동절기 빙설이 혼입되지 않도록 관리
 - 해사 사용 시 염분허용치 내에서 관리
 - 골재의 시방입도 준수
 - 굵은골재 최대치수는 15mm 이하
- 8) 배합 관리상태
 - 배합계획에 따라 자동계량에 의한 중량배합
 - 충분한 배합(3분 이상)
 - 배합 후 90분 이내에 타설
- 9) 타설
 - 아리바는 타설지점에서 30m 이내에 설치
 - Shotcrete 타설 시 노즐과 타설면과의 거리 1m 정도 유지(리바운드량 최소)
 - 타설면에 대한 노즐의 각도는 90° 유지(리바운드량 최소)
- 10) 아리바 관리상태
 - 호퍼 지지대 하부가 전도에 저항할 수 있도록 접지판(Base steel plate 300×300×6mm 이상)이 부착되었는가?
 - 아리바가 부등침하 되지 않는 견고한 지반에 설치되었는가?
 - 호퍼에 보조받침대가 설치되어 있고, 아리바 본체와 호퍼 연결이 견고하게 되어 있는가?
 - 호퍼의 재료투입구는 스크린이 설치되어 있는가?
- 11) 안전관리
 - 골재저장소
 - － 장비작업 시 작업반경 내 근로자 접근금지조치
 - － 재료투입구 주변 작업대 설치의 적정성
 - － 재료투입구 주변 개구부 방호조치 상태
 - 아리바
 - － 전도방지조치
 - － Hose가 막힌 경우 안전조치 후 작업
 - 안전보호구 착용 여부
 - Shotcrete 타설용 작업대 설치의 적정성

[2] Shotcrete 타설작업

- 1) 지반의 자립시간에 따라 타설시기를 다소 조정할 수 있으나, **굴착 후 즉시 슛크리트를 타설**하는 것이 원칙이다. 슛크리트 타설은 노즐과 굴착면과의 거리를 **1m** 정도 유지하고 타설각도는 **90°**로 하였을 때 가장 효과적이다.
- 2) 노즐공과 장비기능공은 항상 서로 수신호가 가능한 거리 안에 있어야 하므로, 슛크리트 타설기는 타설 막장면으로부터 20~30m 이내에 위치하여야 한다. 슛크리트 타설은 **강지보 배면에 공극이 생기지 않도록 각별히 주의**해야 한다.

3) Shotcrete 타설 시 문제점 및 개선안

- 문제점
 - 타설시기의 지연 및 배면 공극발생
 - 체계적 강도관리 미흡과 리바운드량 과다
 - 비효율적 장비운영 및 배합장비의 낙후
 - 기능공의 숙련도와 품질 관리대책 미흡
- 개선안
 - 시방서에서 규정한 입도분포의 골재를 사용하며, 골재의 계량은 **중량계**량으로 한다.
 - 노즐과 벽면과의 거리는 **1m**, 각도는 **90°**가 되도록 유지한다.
 - 타설순서는 **저면, 측면을 먼저 타설한 후 중앙부를 나중에 타설**한다.
 - 믹서기와 노즐사이의 거리는 최대 30m 이내로 유지하여 노즐맨과 **수신**호가 가능토록 한다.
 - **상하 이동식 작업대**를 사용하여 타설 시 적당한 타설거리가 확보될 수 있도록 한다.
 - **1차 철망**을 원지반에 밀착 · 고정시킨 후 슛크리트를 타설함으로써 슛크리트와 지반과의 부착을 증진시키고 리바운드량을 줄이도록 한다.
 - **압송압력**의 기준은 **2.5kg/cm²**이며, 가능한 이보다 높지 않게 한다.

[3] Shotcrete 분진발생 대책

1) 현황

- 건식 Shotcrete 타설방법은 습식에 비하여 상대적으로 분진의 발생이 많은 실정이다. 작업 시에 발생하는 분진은 주로 Cement, 분말급결제 등의 입자로부터 만들어진다. 발생분진에 대하여는 분진량을 측정 · 관리하여야 하며, 분진대책에는 다음 3가지 사항을 동시에 고려하여야 한다.
 - 분진발생원 대책
 - 발생한 분진의 처리
 - 인체의 보호

2) 개선방안

- 분진발생원 대책

- 분진발생을 적게하는 Shotting System의 개발과 채용

{예 : SEC(Sand Enveloped with Cement) Shotting System의 채용, 신 Shotting System 도입 및 개발 → 습식 Shotting 방식}

- 분진발생을 적게하는 재료의 선택 및 관리

{예 : 건식의 경우 모래의 함수율을 4~6%로 유지한다. Shotting 중 수압을 관리하여 적정수압을 유지한다. 0.2mm이하의 입도를 포함하지 않는 모래를 사용한다.}

- 분진발생을 적게하는 첨가제의 개발과 채용

{예 : 조점제, 분진방지제 등의 첨가}

- Polyethylene Oxide(에스피졸)
- 유기계 분진방지제(시리폰)
- 무기계 분진방지제(세크라이트)
- 개량 분진방지제(세트란트)

● 발생한 분진의 처리

- 환기에 의한 확산 희석

{예 : 흡입과 토출의 병용}

- 분진에 대한 막장에서의 필요 환기량을 측정치에 근거를 둔 산식으로부터 계산하여 적용한다.
- 환기량 산출 시 막장에서의 소요 환기량과 운행장비 등에 의한 배기가스에 대한 소요 환기량을 산출해 큰 값을 적용한다.

● 인체의 보호

- 보호구의 착용 및 보호크림 사용

- 방진안경, 방진마스크, 방호네트, 장갑, 우의, 장화, 보호크림 사용(노출부에 콜드크림 사용)

- 원격조작(Shotting Robot 사용)

- 굴착공법에 따라 Robot의 구성부 중 Base Machine을 전단면공법에서는 유압 Shovel, Short Bench 공법에서는 Crawler Drill 등을 채용할 수 있으며, 운전석에서 원격조작 하므로 조정원의 작업환경이 좋다.

(4) Steel Rib 작업

1) Steel Rib 밀착시공

- 원지반과 지보공 사이를 켜기목 등으로 밀착시공
- Shotcrete와 Wire Mesh면의 밀착시공

2) Steel Rib 연결부 시공상태

- 상 · 하반 Plate 연결 밀착시공
- 상 · 하 연결 시 연결볼트 조임상태
- Steel Rib 설치상태

(5) Wire Mesh 설치작업

1) Wire Mesh 고정 및 밀착시공

- 토사터널일 때는 1차 슛크리트 전에 고정핀을 원지반에 박아넣고 고정
- 암반인 경우 1차 슛크리트 타설 시 철망의 한줄을 L형으로 구부린 고정핀을 슛크리트 중에 넣고 철망을 고정
- 슛크리트면에 밀착 및 고정핀과 단단히 결속하여 슛크리트 타설 시 이동, 진동 등이 일어나지 않도록 한다.

2) Wire Mesh 겹이음길이 유지

- Wire Mesh 이음부는 종방향(굴진방향) 10cm, 횡방향(상·하 방향) 및 상·하부 반단면 경계 부분은 20cm 이상 겹쳐서 설치
- 겹치는 부분은 이동 및 탈락이 없도록 단단히 결속
- 상부 반단면 시공 시 하부에 리바운드된 슛크리트는 즉시 제거

(6) Rock Bolt 작업

1) 시공시기 지연 여부

- Rock Bolt는 최종 Shotcrete 타설 전에 시공하여야 하며, 가급적 막장면에 인접하여 시공하여야 한다.

2) 천공장, 간격, 각도 등이 적정하게 시공되었는지 여부

3) 주입된 몰탈이 양생되기 전에 Plate를 설치하고 Bolt 조임이 적정한지 확인

4) Rock Bolt 두부처리는 적정한가?

5) Anchor Plate와 Shotcrete면 접촉상태는 양호한가?

6) Rock Bolt 삽입 후 몰탈의 충전상태

(7) Rock Bolt 시공

1) 시공시기

- 록볼트의 시공시기는 터널주변의 변형을 최소한으로 하기 위해 중요하며 응력해방 시점을 중심으로 하면 다음과 같다.
 - － 응력해방 후(예를 들면 발파 후) 버력을 치우고 철망과 병용하여 박는 경우
 - － 굴착 후 수 Cycle이 지난 뒤 슛크리트 위에 박는 경우
 - － 응력해방 전 터널 막장면에 박는 경우(스�크리트와 지보공을 병용) 등으로 분류되며 굴착방법, 단면, 록볼트 길이에 따라 그 시공법이 다르나 록볼트는 조기에 시공하는 것이 바람직함

2) 배치

- 지반에 규칙적으로 록볼트를 배치하여 암반 아치를 형성시키는 Systematic Bolting 배치가 일반적이다. 인발시험이나 지중변위 측정 등의 계측결과가 다음 사항에 해당될 때에는 록볼트를 추가로 시공해야 한다.
 - － 터널 측면의 변형이 록볼트 길이의 약 6%가 된다고 판단되는 경우

- 록볼트의 인발시험 결과로부터 충분한 인발내력이 얻어지지 않는 경우
- 록볼트 길이의 약 절반 이상으로부터 지반 심부까지의 사이에 출력 분포의 최대치가 존재하는 경우
- 소성영역의 확대가 록볼트 길이를 넘는다고 판단되는 경우

3) 천공

- 직접 또는 슛크리트면상에 천공기를 사용하여 **정확한 방향과 깊이로 시공**한다. 록볼트의 작용효과에는 천공기술에 의한 영향이 매우 크므로 천공위치(간격 등), 천공방법, 공형상, 공경, 공장 등에 주의한다.

4) 천공

- 레진의 경우는 Capsule형이기 때문에 문제점은 적으나 시멘트 몰탈의 경우는 천단부 록볼트 시공이 어렵다. 천단부나 용수가 유입되는 경우 몰탈 반죽을 되게하여 주입하며, 반드시 **몰탈이 넘치도록(Overflow) 주입**하여야 한다.

5) 록볼트 삽입

- 레진형 록볼트에서는 Auger, Pick Hammer, Drifter 등을 이용하여 록볼트를 회전하면서 삽입하며 몰탈형 록볼트에서는 Pick Hammer, Drifter Guide Shell 등을 이용하여 타입한다. 또한 시멘트 밀크형에서는 시멘트 페이스트가 흘러나오는 것을 막고 록볼트를 임시로 고정시키기 위해 반드시 **Seal재를 록볼트에 부착**하여야 한다.

6) 정착(조임)

- 선단 정착형에서는 소정의 장력을 얻을 수 있도록 충분히 죄는 힘을 주지 않으면 안되며, 전면 접착식의 록볼트에서도 앵커 플레이트가 슛크리트에 충분히 밀착하도록 시공해야 한다. 프리스트레스를 도입하지 않는 경우에도 슛크리트와 플레이트의 밀착을 좋게 하기 위해 1~2t 정도의 힘으로 꼭 조여 주어야 한다.

7) 문제점 및 개선방안

- 문제점
 - 일반적으로 설치시기가 지연되는 경향이 있다.
 - 길이는 터널 내공단면의 크기 및 지반조건과 관계없이 일정하다.
 - 굴착면에 직각방향으로 시공되지 않는 경우도 있다.
 - 볼트의 조임상태가 느슨한 경우가 있으며 지반에 완전히 접착되지 않는 경우가 많다.
 - 용수 상태에 따라 적합한 종류의 록볼트 시공이 되지 않고 일률적이다.
 - 시공 후 품질관리가 제대로 이루어지지 않고 있다.
- 개선방안
 - 레진형 록볼트 사용을 지양하고 **시멘트 몰탈형이나 시멘트 밀크형 록볼트를 사용**해야 한다.
 - 록볼트의 크기는 굴착단면의 크기 및 지반조건에 따라 3~6m 길이를 선택적으로 사용한다.

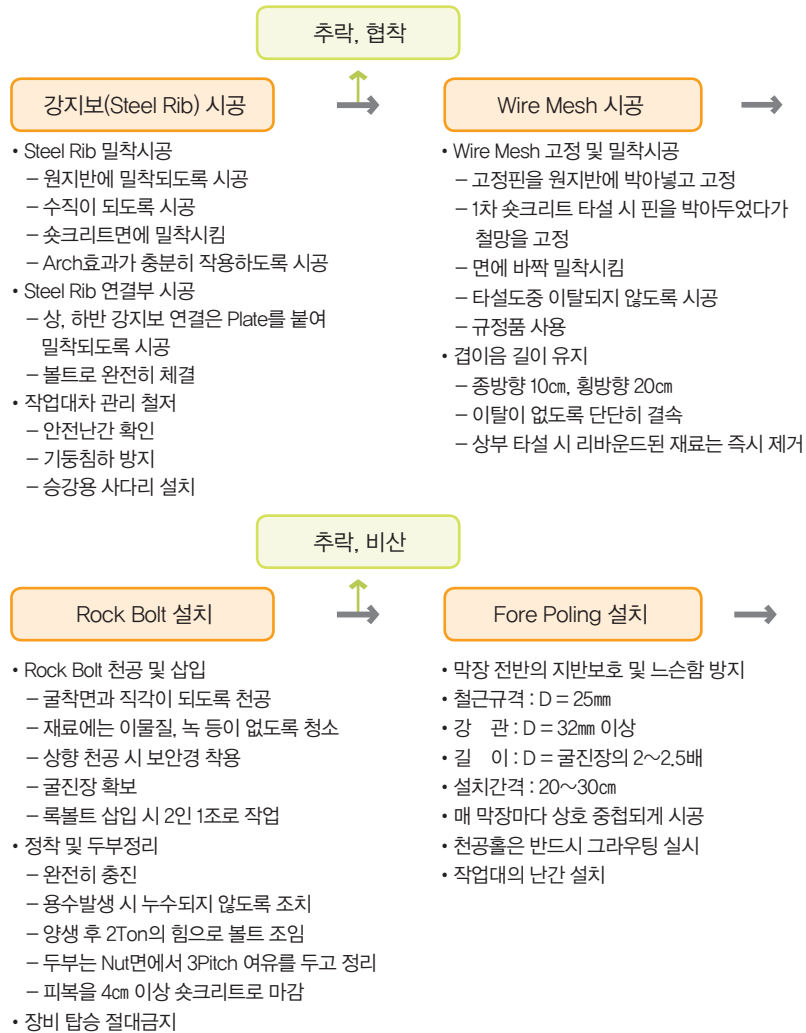
- 록볼트의 설치시기는 굴착면으로부터 2~3막장을 넘지 않도록 한다.
- 매 막장마다 록볼트는 엇갈려서 배치하고 굴착면에 직각방향으로 시공한다.
- 록볼트 설치 시에는 막장별로 사용갯수, 번호, 길이, 천공직경, 시멘트주입량 및 주입압 등을 기록하여 철저히 관리하도록 한다.
- 록볼트 품질관리시험은 시방에 규정된 대로 철저히 시행하여야 한다.

5. 터널 보강 작업순서도

(1) 산악터널공사(대단면 굴착작업) 작업공정 일람표

작업공정	작업순서	주요내용	비고
1. 강재 동바리 조립 · 철망 설치	1) 강재 동바리 반입	강재 동바리 조립 · 철망 설치작업 상황	
	2) 측량, 터파기		
	3) 동바리 배치		
	4) 점보 이동 · 배치		
	5) 동바리 조립		
	6) 철망 설치		
2. 슛크리트	1) 준비	스�크리트 작업상황	
	2) 분사면 점검		
	3) 분사기 등을 이동 · 설치		
	4) 콘크리트 반입		
	5) 콘크리트 분사		
	6) 시료 채취		
	7) 분사기계 등의 청소		
	8) 분사기계를 막장에서 반출		
3. 록볼트 천공	1) 점보를 막장으로 이동, 설치	록볼트용의 천공 및 록볼트 타설작업 상황	
	2) 록볼트의 타설위치 마킹		
	3) 천공		
4. 록볼트 타설	1) 몰탈 대차를 막장으로 이동		
	2) 천공의 길이와 수 확인		
	3) 몰탈 주입		
	4) 록볼트 타설		
	5) 몰탈 대차 청소		
	6) 몰탈 대차 막장에서 후퇴		
	7) 점보를 막장에서 후퇴		

(2) 「터널 지보설치공」 FLOW SHEET

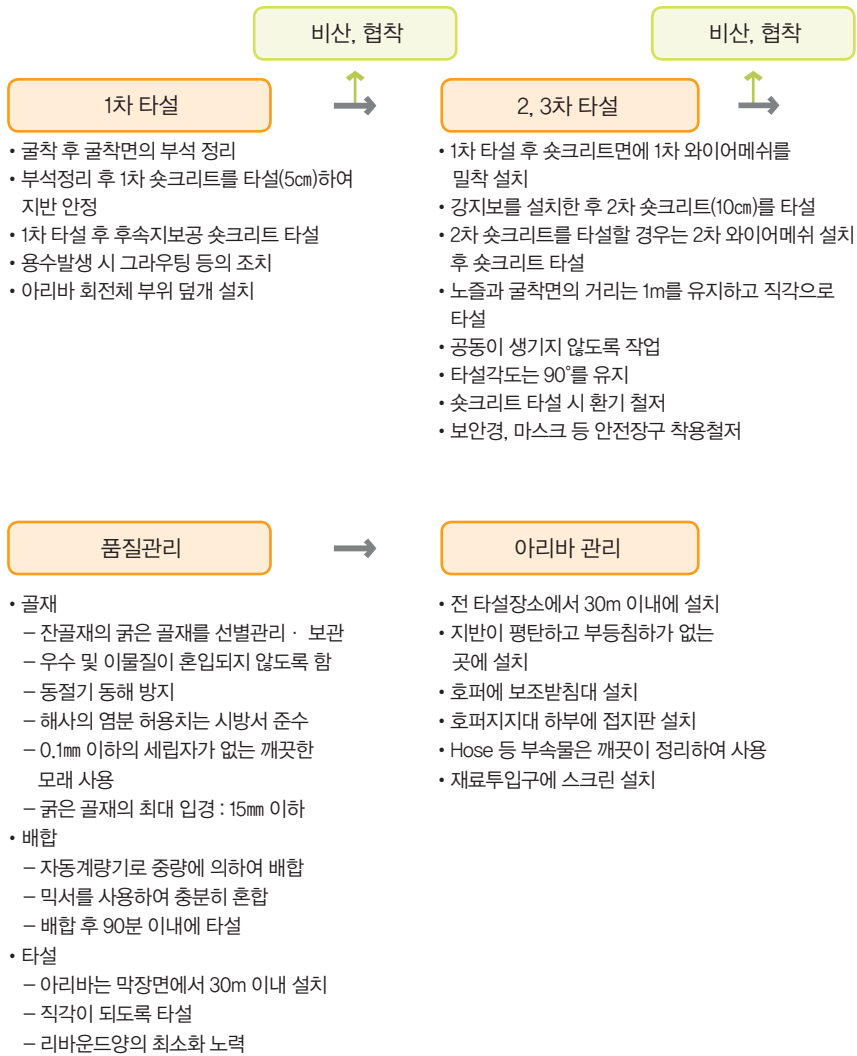


● 일일 안전 CHECK LIST

년 월 일 요일 점검자 (인)

점 검 사 항	상태		점 검 사 항	상태	
	양호	불량		양호	불량
1. 작업대차의 승하강사다리, 안전 난간대, 발끝막이판 설치 및 기동침하 방지 조치			5. Wire Mesh 시공 시 면에 밀착 및 겹이음		
2. 강지보공 원지반 및 Shotcrete 면에 밀착시공			6. Rock Bolt 시공 시 굴착면과 직각시 공, 충전, 인장, 양생 철저		
3. 낙석, 낙반 방지 부석 제거			7. 지보공 설치작업 시(설치) 장비 탑승 금지 확인		
4. 상향 천공 및 Shotcrete 타설 시 보안경, 방진마스크 착용			8. 안전교육 및 보호구 지급, 착용 확인		

[3] 「숏크리트 타설공」 FLOW SHEET



● 일일 안전 CHECK LIST

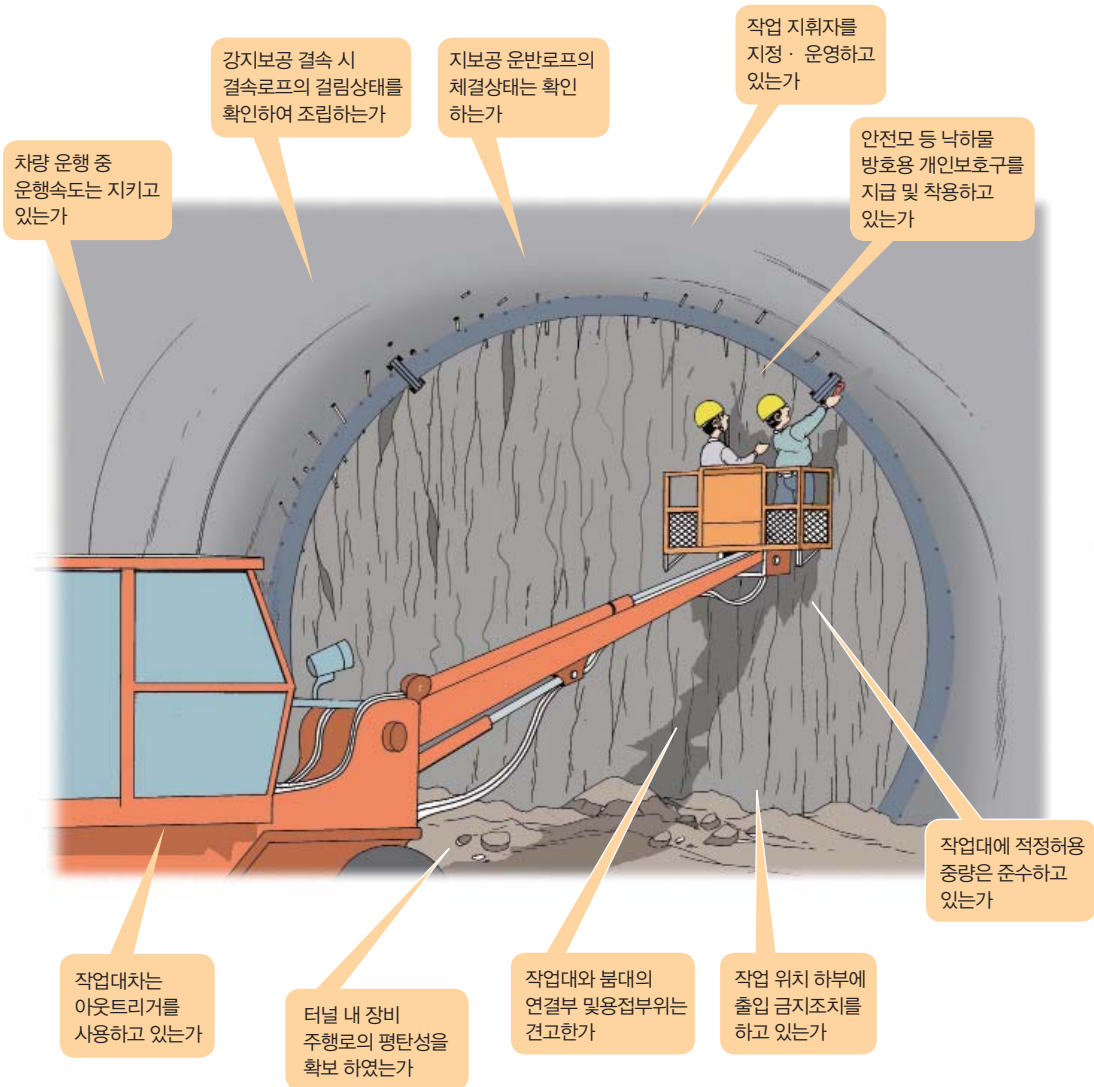
년 월 일 요일 점검자 (인)

점 검 사 항	상태		점 검 사 항	상태	
	양호	불량		양호	불량
1. 안전교육 실시 및 보호구(안전모, 안전벨트, 보안경, 방진마스크, 보호의 등) 지급, 착용			5. 골재 압송관 또는 운반장비 후진 경고음 조치		
2. 골재 배합기계 및 아리바의 회전체, 구동부에 안전덮개 부착			6. 아리바 등 전기동력 사용 기계의 접지, 누전차단기 사용		
3. 아리바, 작업대차 전도방지			7. 타설각도 기준 준수		
4. 작업대차 안전난간대, 승하강 사다리 설치			8. 환기설비, 조명설비		

위험성평가 02

[터널 강지보]

● ● 작업 위험요인

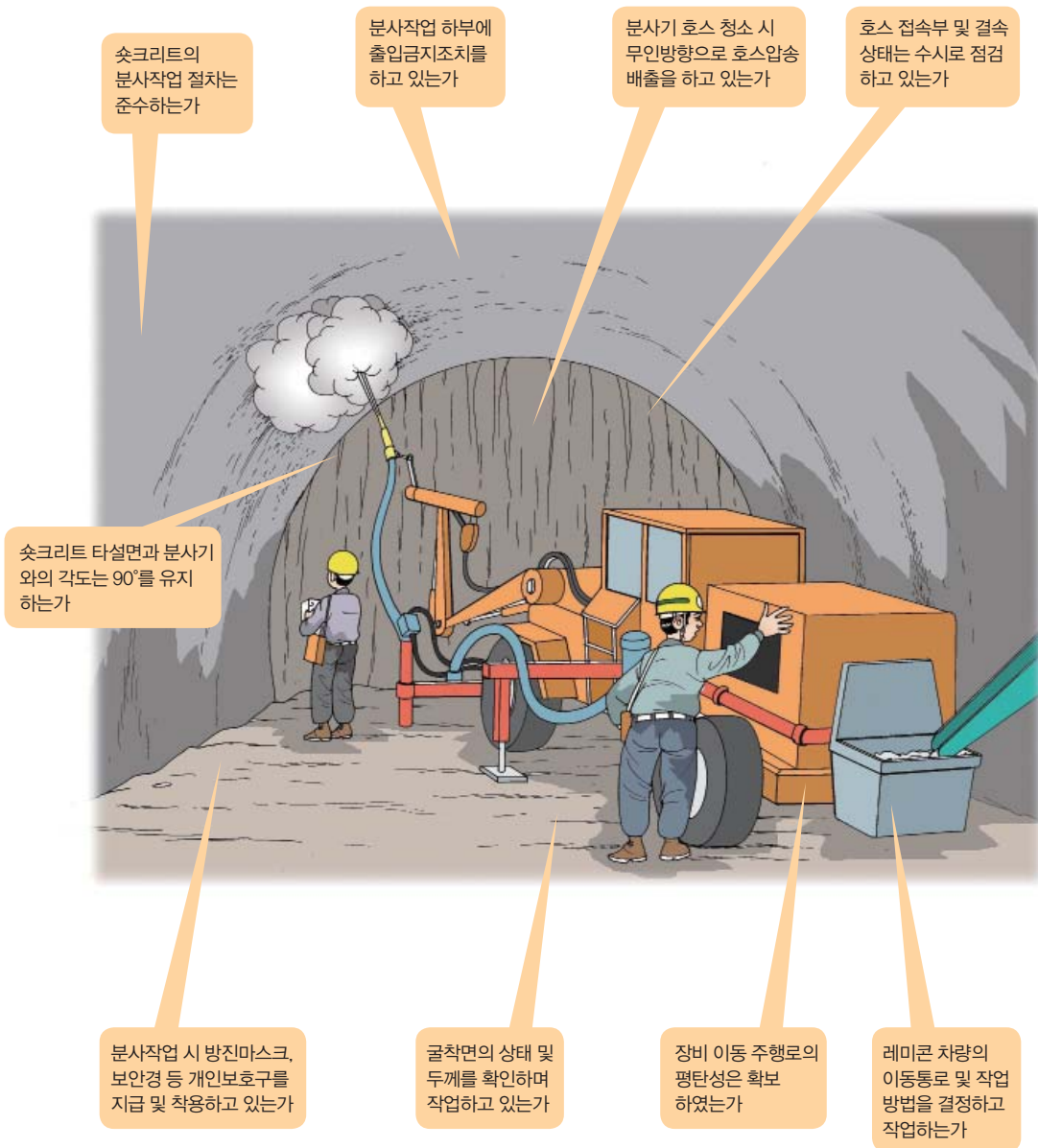


● ● 위험성평가표 작성(예시)

구 분	위험요인	위험도등급			관리 대상	대 책
		상	중	하		
인적 요인	안전모 등 개인보호구 미착용에 의한 낙하 · 비래, 추락					안전모 등 개인보호구 착용 조치 철저
물적 요인	강지보 자재 하역 또는 상차 시 결속 로프 해체, 자재 유동에 의한 손가락 협착					결속 로프 해체 시 안전수칙 준수
작업 방법	- Wire Mesh 설치 중 부석, 고정 철근 등의 낙하 - 강지보 설치작업 중 부석 낙하 - 지보공 설치를 위한 바닥 고르기 작업 중 상부에서 부석 낙하 - 지보공 조립 과정에서 작업 불량에 의해 지보공에 협착 - 지보공 운반 중 로프 결속 불량에 의한 낙하물 발생					- 작업장소 하부에 출입금지 조치, 안전모 등 개인보호구 착용 - 조립 위치 작업 전 부석 유무 검토 - 부석 정리 철저 및 안전모 착용 - 지보공 세울 때 흩더 등으로 고정점 형성, 상단 볼트체결 철저, 조립 작업 시작 전 지휘자 배치 - 운반 전 로프 체결상태 확인, 통행로 평탄성 확보 · 차량운행 속도 제한
기계 장비	- 착암기를 강지보 작업대로 사용 중 과하중에 의한 유동으로 추락 - 작업대와 붐 연결부 탈락 - 지보공 배치작업 중 대차의 유동에 의한 지보공과 대차 사이에 협착					- 장비의 목적 외 사용금지, 강지보 전용 작업대차 사용 - 작업대차 붐 연결부 정기 점검 - 작업대차에 아웃트리거 설치 등 고정조치 실시

[터널 슛크리트]

● ● 작업 위험요인

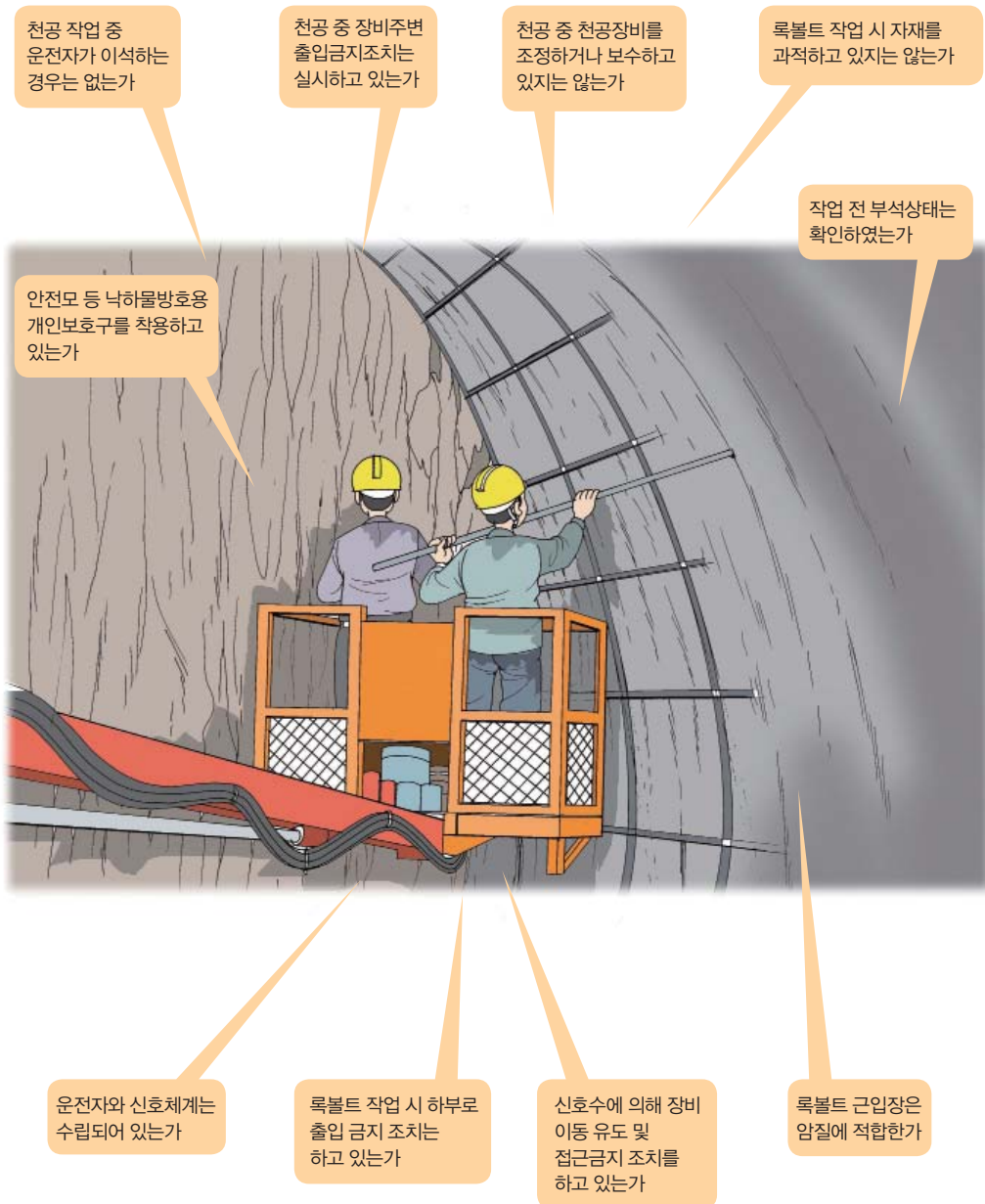


● ● 위험성평가표 작성(예시)

구 분	위험요인	위험도등급			관리 대상	대 책
		상	중	하		
인적 요인	개인보호구 지급 및 착용 불량으로 분진 흡입					방진 마스크, 보안경 등 개인보호구 지급 및 착용 후 작업
물적 요인	분사두께 불량으로 박리에 의한 낙하					불량 개소 분사두께를 확인하여 작업
작업 방법	분사기 호스 청소 중 경화된 잔류 콘크리트 비래					호스 청소 시 무인 방향으로 호스를 위치한 후 청소 실시
기계 장비	- 숫크리트 분사작업 중 숫크리트 낙하 - 분사기 분사 중 호스 분리로 압송력에 의한 호스 비래 - 후진하는 레미콘 차량과 분사기 사이에 근로자 충돌 - 레미콘 차량 주행 및 방향 전환 시 주변 근로자 충돌 - 숫크리트 분사기 이동 중 주변 작업자 충돌 - 굴착 장비로 분사기 견인 중 전도로 에어 호스를 들고 가던 근로자 협착					- 분사작업 절차 준수(측벽→상부), 분사 작업 하부에 출입금지 조치 - 호스 접속부 결속 상태 수시 점검 및 확인 - 장비 유도자 배치 - 레미콘 차량 이동 경로, 작업 방법 설정 및 주지 - 유도자를 배치하여 장비 이동 유도 및 주변 작업자 접근금지 조치 - 적정 장비 사용, 통행로 평탄성 확보, 근로자와 장비는 일정거리를 유지 하면서 이동

[터널 록볼트]

● ● 작업 위험요인

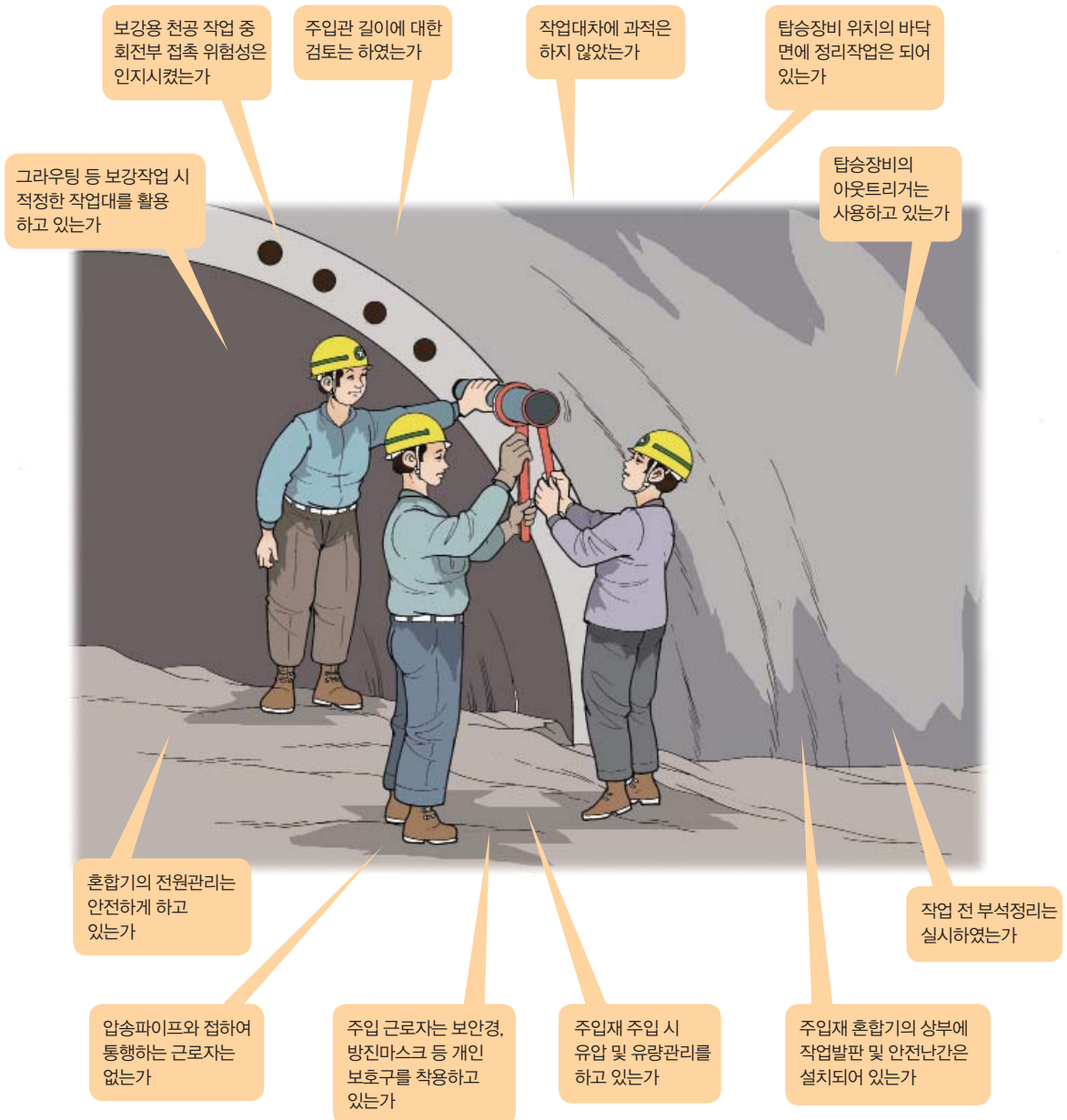


● ● 위험성평가표 작성(예시)

구 분	위험요인	위험도등급			관리 대상	대 책
		상	중	하		
인적 요인	● 록볼트 작업대에 자재 과적에 의한 낙하 ● 작업용 케이지 또는 작업자가 굴착면 돌출부에 충돌					● 자재 적치대 설치, 자재 과적 금지 ● 감시인 배치, 운전자와 신호 체계 정립
물적 요인	● 록볼트 설치작업 중 부석 발생에 의한 낙하					● 안전모, 낙하물 보호대 등 개인보호구 착용 및 유도자를 배치하여 부석 발생 감시
작업 방법	● 주입장비 호스 청소 중 경화된 몰탈 비래에 의한 사고 ● 상단부 록볼트 설치작업 중 록볼트 탈락에 의한 낙하 ● 레진 삽입 후 록볼트 삽입 중 발생된 레진 파편에 하부 근로자 맞음 ● 록볼트 근입장 미확보 ● 천공기 및 주입 장비 이동, 설치 중 주변 근로자와 충돌 ● 천공기 호스 분리로 고압에 의한 호스 비래					● 호스 청소 시 무인 방향으로 호스 압송 배출 ● 낙하방지용 방호선반 설치 및 안전모 착용 ● 록볼트 작업 하부 출입금지 조치 ● 록볼트 근입장은 암질 상태에 따라 적합하게 결정 ● 유도자 배치, 장비 이동 유도 및 주변 근로자 접근금지 조치 ● 고압 호스 결속 상태 수시점검 및 확인
기계 장비	● 천공작업 중 운전석 이탈로 불대 유동에 의한 충돌 ● 운전 중 회전부 접촉에 의한 협착					● 운전 중 운전자 이석 금지, 천공 중 장비 주변 출입 금지 ● 천공작업 시 안전수칙 준수

[터널 특수보강]

● ● 작업 위험요인



● ● 위험성평가표 작성(예시)

구 분	위험요인	위험도등급			관리 대상	대 책
		상	중	하		
인적 요인	● 천공 내 주입관 삽입 중 놓쳐서 낙하 ● 천공작업 중 무리하게 힘을 주자 작업대가 기울면서 탑승자 추락					● 주입관 길이에 따른 작업조 편성 및 작업대차에 주입관 과적재 금지 ● 작업대 상에서 작업 시 무리한 힘을 주지 말고 안전대 착용 철저
물적 요인	● 혼합기에 그라우팅 재료를 투입하다 실족 ● 주입재, 침투재 주입 중 시멘트 밀크, 몰탈 등이 주입구로부터 역류하여 비산					● 혼합기 투입구 부위에 작업발판 설치 ● 주입 시 그라우팅 유압 및 유량관리, 보안경, 방진 마스크 등 개인보호구 지급 및 착용
작업 방법	● 그라우팅 주입관 압송 파이프가 막혀 요동에 의한 충돌 ● 그라우팅 작업 중 경사 사면에서 전도 ● 부석 낙하로 근로자 맞음					● 주입 압력 및 주입량 측정 및 압송 파이프로부터 근로자 일정거리 유지 후 통행 및 작업 ● 경사 사면 작업위치에 비계 등을 사용하여 작업대 설치 ● 작업 전 부석 정리 철저
기계 장비	● 주입 장비, 호스, 연결부 등의 파손에 의한 비래 ● 혼합기 전원 공급, 분전반의 분전 누적에 의한 기능 상실로 감전 ● 그라우팅 혼합기 혼합도중 혼합기 날에 신체 접촉, 베임 ● 천공기 천공작업 중 과부하에 의한 천공기 전도 ● 천공작업 중 회전부 신체 접촉에 의한 협착					● 작업 전 주입부 및 연결부 점검 ● 누전차단기로부터 전원 인출 및 분전함 외함접지, 주기적으로 청소 실시 ● 혼합작업 시 신체 접촉 방지조치 (덮개), 혼합기 조정 시 기구 사용 또는 정지 후 조정 ● 천공기 설치 시 바닥 정지, 천공기 아웃트리거 설치 ● 천공 중 장비 주변 출입금지, 천공 중 조정 및 보수 금지

중대재해사례 및 대책 03

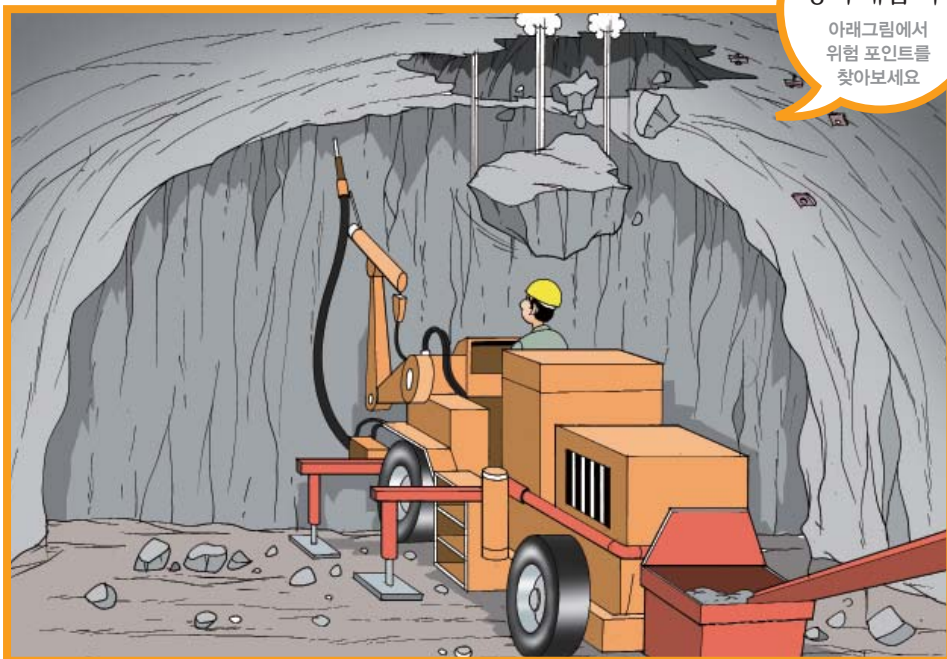
사례 1 터널 숏크리트 타설작업 중 암반 낙하

(1) 재해발생 개요

12. 31(수) 23:20경 고속국도 건설공사 터널현장에서 후행 막장 숏크리트 타설 작업을 진행 중, 1차 숏크리트 타설과 Rock Bolt 시공이 완료된 선행 막장 천단부의 암반이 낙하되면서 재해자(34, 남, 장비운전원)가 탑승하고 있던 숏크리트 머신 작업대를 덮쳐 사망한 재해임

(2) 기인물

- 낙반(약 11.3m³, 폭 2.5m × 길이 4.5m × 두께 1.0m)



(3) 재해발생 과정

- 고속도로(총연장 10.4km ; 터널 10개소, 교량 8개소) 건설공사 현장으로
 - 터널 굴착 및 지보공 설치 등의 작업을 진행함(전체공정율 27%, 터널굴착작업 공정율 40%)
- 재해가 발생한 터널의 작업은 2개조로 편성되어 1조는 07:00~19:00까지, 2조는 19:00~07:00까지 작업을 진행하며, 각 조에 7명의 근로자가 투입됨

■ 터널(상행방향) 현황

- 터널 길이 : 2,230m
- 터널 굴착 공법 : NATM
- 지반 시추조사 결과(STA 1+280지점)
 - RQD(%) : 0~50
 - RMR : 19~46
 - 전기 비저항 탐사에 의한 환산 RMR : 40~60
 - 일축압축강도 : 750kg/cm²
- 사고지점 암반 평점에 의한 분류(RMR) : 지보패턴 III, 연암(RMR:41~60)

- 터널 굴진은 1일 평균 1.5회(3m) 굴진하며, 재해 당일 상행방향 터널 굴진은 2회(4m) 예정이었음

■ 재해 당일 터널(상행방향) 작업 내용 및 순서

- ① 07:00 STA 1+277지점 발파 실시
- ② 07:30~13:00 발파 후 환기, 버력처리, 부석제거
- ③ 14:00 1차 슛크리트 타설(STA 1+277지점)
- ④ 16:30 STA 1+277지점 막장, STA 1+275지점 막장면 천공
- ⑤ 17:10 STA 1+277지점 록볼트 시공 및 STA 1+275지점 장약
- ⑥ 17:20 STA 1+275지점 발파
- ⑦ 17:20~23:00 환기, 버력처리, 부석제거
- ⑧ 23:10 슛크리트 타설(STA 1+277지점 : 2차, STA 1+275지점 : 1차)

- 재해 장소의 터널 지보 패턴은 P-3 Type, 적용 길이는 229m로
 - 12월 1일에 암 판정을 실시하여 140m 정도 굴진하였으며,
 - 남은 90m 부분도 P-3 지보 패턴을 적용할 예정이었음

■ 지보 패턴(P-3) 요약

- 적용 길이 : STA 1+430~STA 1+201 지점(229m)
- 굴착 방법 : 전단면 굴착
- 굴진장 : 2m
- 록볼트 개수 : 15.5개(종방향 간격 : 2m, 횡방향 간격 : 1.5m)
- 록볼트 규격 : 시스템 록볼트 SD35 D25 L=4.0 C.T.C 2.0
- 록볼트 분류 : 접착형 볼트로 Resin을 사용하여 정착
- 강섬유보강 슛크리트 두께 : 1차 75mm, 2차 80mm
- 격자지보 : 없음

- 재해 당시 터널 내에는 재해자와 슛크리트 머신 보조공(중국 근로자) 1명, 협력업체 직원 1명, 레미콘 차량 운전원 등 총 4명이 있었으며,
 - 재해자는 슛크리트 머신 작업대에 탑승하여 작업을 진행하고 보조공과 협력업체 직원은 일정한 거리를 두고 작업 상황을 주시하였음
- 슛크리트 타설물량은 18m³로 B,P장에서 23:00에 첫차가 출발하여 23:10경 부터 타설을 시작하였으며
- 1m³ 정도를 타설한 23:20분경 천단 중앙부에서 약 1m 이격된 위치에 낙반(면적 2.5m×4.5m, 최대두께 1.3m, 물량 약 11.3m³)이 발생하여
 - 낙반에 깔린 작업대에서 재해자를 구출하여 병원으로 후송하였으나, 이미 사망한 재해임



〈낙반 부위〉



〈터널 막장면(파쇄대 형성 및 절리 발달 상태)〉



〈여굴 및 응수 발생 부위〉



〈낙반된 위치의 절리상태〉



〈낙반 시 빠진 록볼트 구멍〉



〈원지반에 밀착 시공이 되지 않은 지압판〉



〈재해자가 탑승했던 작업대와 부서진 방호선반, 착용했던 안전모〉

(4) 재해발생 원인

- 터널작업 시 낙반 등에 의한 위험 방지조치 불량
 - Rock Bolt가 횡방향으로 1.5m 간격으로 설치되어야 하나(지보패턴 P-3), 일부 구간에 2m 간격으로 설치되었으며, 용수가 발생하면서 설치시기가 지연되었고 낙반이 발생한 부위(폭: 2.5m, 길이: 4.5m)의 길이 방향에는 최소 3개 이상의 Rock Bolt가 시공되어야 하나 2개만 시공됨
 - 낙반 부위에 시공된 Rock Bolt 2개의 정착상태가 불량하여 낙반 시 탈락되었으며, Rock Bolt 지압판 중 일부가 원지반에 밀착되지 않게 시공
 - 선행 막장에서 2회 정도의 여굴이 발생하였고, 용수가 작업 진행구간의 막장에서 발생 하였음에도 지보 패턴을 변경하지 않고 작업을 강행하면서 재해 발생

(5) 재해예방 대책

- 낙반 등에 의한 위험 방지조치 철저
 - 터널 등의 작업 시 낙반에 의해 근로자에게 위험을 미칠 경우에는 **암반**의 상태뿐만 아니라 **용수, 절리발달 상태** 등을 면밀히 관찰하여 **터널지보공을 변경하거나 보강**하여야 하며, **Rock Bolt 시공 시 설치간격과 정착방법** 등을 **준수**하여 낙반에 의한 위험 방지조치를 하여야 함

사례 2 백호우 버킷에 탑승하여 와이어메쉬 결속작업 중 버킷 탈락, 추락

[1] 재해발생 개요

4. 24(일) 11:30분경 복선전철 현장에서 터널공사 협력업체 소속의 재해자(남, 41세, 직영인부)가 터널 시점 갱구부에서 비탈면 슛크리트 보강작업을 위해 백호우(Backhoe)의 버킷에 탑승하여 와이어메쉬를 터널 갱구부의 비탈면에 고정 하던 중, 버킷이 암(Arm)에서 탈락되면서 10m 아래 터널 바닥으로 추락, 사망한 재해임

[2] 기인물

- 백호우(버킷)



(3) 재해발생 과정

- 복선전철 노반신설공사(총연장 1,060m ; 터널 1개, 교량 4개소) 현장에서
 - 터널 굴착 및 갱구부 숏크리트 작업 등을 진행함(전체공정율 34%, 터널갱구부 숏크리트 공정율 57%)
- 4. 24(일) 터널시공 협력업체 소속의 재해자(남, 41세, 보통인부)가
- 07:00경 동료근로자 1명과 백호우기사 1명, 덤프트럭기사 2명과 함께 현장에 출근하여 아침조회를 실시하고 사고지점인 터널 현장으로 이동함
- 재해자와 동료근로자 1명은 터널 시점부 갱구부 비탈사면에 숏크리트 보강작업을 위해 와이어메쉬를 깔고 고정하는 작업을 실시하고, 백호우와 덤프트럭은 터널 갱구부 전면에서 토공작업을 실시함
- 11:30분경 터널갱구부 상단의 와이어메쉬 고정작업을 위해 토공작업 중이던 백호우 기사에게 재해자가 도움을 요청하여 버킷에 탑승한 상태에서 와이어메쉬 고정작업 중
 - 버킷이 백호우(Back-hoe)의 암(Arm)에서 탈락되면서 10m 아래 터널바닥(터널이 관통된 상태이기 때문에 갱구부 하단에는 가로7.5m × 세로 2.0m 정도의 개구부가 형성되어 있었음)으로 추락하여 사망한 재해임

(4) 재해발생 원인

- 차량계 건설기계(백호우)의 주용도 외 사용
 - 백호우는 차량계 건설기계로서 주용도가 흙을 깎는 기계이나 백호우 버킷에 탑승하여 와이어메쉬 결속작업을 하는 등 주용도 외로 사용하다 버킷이 탈락되면서 재해발생
- 안전한 작업방법 미준수
 - 터널갱구부 비탈면에서 작업 시 추락위험이 있을 경우 경사면에 안전대 부착설비를 설치하고 근로자에게 안전대를 지급하여 착용하는 등 안전한 작업방법으로 추락위험을 방지하여야 하나, 터널 갱구부 천단 하부에 있는 개구부를 미방호한 상태에서 백호우 버킷에 탑승하여 작업하다 버킷이 탈락되면서 재해발생



〈재해자 추락지점인 터널시점 개구부(가로 7.5m, 세로 2.0m)〉



〈터널바닥으로 탈락된 버킷〉



〈퀵 커플러가 젖혀져 버킷이 탈락된 모습〉

(5) 재해예방 대책

- 차량계 건설기계(백호우)의 주용도 외 사용금지
 - 백호우는 차량계 건설기계로 흙을 깎는 것이 주용도로서 작업발판으로 사용하는 등 주용도 외 사용금지
- 안전한 작업방법 준수
 - 터널갱구부 비탈면에서 작업 시 추락위험이 있을 경우 백호우 버킷에 탑승하여 작업하는 등 불안정한 작업방법 금지
 - 경사면에 안전대 부착설비를 설치하고 근로자에게 안전대를 착용하도록 하는 등 안전한 작업방법을 준수하여 추락방지 조치 철저

안전시공사례 04

1. 터널보강 작업안전

- 발파 후 일정시간 경과 후 막장 정리를 실시하며 반드시 장비로 낙석을 제거한 다음 후속작업 실시
- 슛크리트 타설 전 낙석발생 가능 여부를 다시 한번 확인하고 필요한 보호구를 착용

작업 순서	위험 포인트	안전 관리 대책	위험도
 ① 1차 슛크리트 타설	● 분진 발생 ● 장비후진 시 협착 ● 슛크리트 비산으로 인한 사고	● 방진마스크, 보안경, 안면 보호구 (보안면) 착용 ● 장비 후진경보기 설치 및 신호수 배치 ● 타설은 특정부위에 집중되지 않도록 함(낙석 발생) ● 작업 전 암반의 부석, 탈락, 붕락 등의 사전조사 실시 ● 위험구역 출입금지 조치 ● 분진밀폐식 기계 사용	★★
 ② 록볼트 천공	● 록볼트 천공 시 소음으로 난청 발생	● 안전보호구(귀마개) 착용	★★
 ③ 강지보 설치	● 강지보 인양 시 와이어로프 절단으로 인한 낙하 ● 낙석에 의한 사고 ● 작업대 상부 추락	● 강지보 작업 시 하부근로자 접근 금지 ● 와이어로프 이상여부 및 체결 상태를 확실히 확인 ● 낙석 확인, 제거 후 작업 ● 작업대 설치기준 준수 (고정 철저 및 안전난간대 설치)	★★★

작업순서	위험포인트	안전관리대책	위험도
 ④ 강지보 완료	- 강지보 설치 불량으로 인한 전도 - 협착 및 강재 전도에 의한 타격	- 강지보 이음새, 연결부 등 확인 - 작업 진행방향 준수(막장방향) - 서비스카 사용 및 안전한 작업대 사용	★
 ⑤ 2, 3차 슛크리트 타설	- 가스, 분진에 의한 사고 - 장비후진 시 협착 - 슛크리트 비산으로 인한 분진발생	- 근로자 안전보호구 착용 - 장비 후진경보기 설치 및 신호수 배치 - 호흡용 보호구 착용(방독, 방진마스크) - 작업순서 준수	★★
 ⑥ 방수작업	- 방수작업 대차 조립 및 해체 작업에서의 추락 및 협착 - 방수 시트 부착작업 시 화기 사용으로 인한 화재 및 화상 - 방수시트 부착 시 부주의로 인한 추락	- 방수작업대차 안전가시설 설치 및 추락방지망 설치 - 고소작업 시 안전벨트 100% 착용 - 작업장소 인근 소화기 비치 및 구급약품 비치 - 조립 및 해체작업 시 안전담당자 입회	★★
 ⑦ 라이닝 철근조립	- 철근 운반 시 불안정한 자세로 인한 요통 발생 - 라이닝 철근조립 시 작업대차에서의 추락 - 철근 가공 시 불안정한 행동으로 인한 협착 - 작업대차 상·하 이동 시 추락 및 상부에서 낙하물 발생	- 철근은 반드시 2인 1조로 운반 - 작업대차에 안전난간대, 추락방지 안전망 설치 - 작업대차 승강설비 설치 (수직 승강설비 설치금지) - 안전모, 안전벨트 100% 착용 - 상부 안전난간대 설치 및 낙하물 방지용 발끝막이판 설치	★★★
 ⑧ 라이닝 콘크리트 타설	- 콘크리트 배송관 연결 및 조인트 파손 - 콘크리트 운반차량 진·출입 시 협착 - 고소작업에서의 추락	- 안전모 및 안전벨트 착용 - 콘크리트 타설 시 교통처리 대책수립 및 신호수 배치 - 배관 연결부 타설 전 점검 실시 - 터널 내 가설전기 점검 실시	★★★