

KOSHA GUIDE

C - 46 - 2016

발파공사 안전보건작업 지침

2016. 11

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 정 기 택

개정자 : 한국산업안전보건공단 경남지사 윤 희 봉

○ 제정경과 및 관련규격

- 1998년 10월 건설안전분야 제정위원회 심의
- 1998년 11월 총괄 제정위원회 심의
- 2001년 11월 건설안전분야 제정위원회 심의
- 2002년 3월 총괄 제정위원회 심의
- 2012년 7월 건설안전분야 제정위원회 심의(개정)
- 2016년 9월 건설안전분야 제정위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료

- 노동부고시 제2009-51호(발파작업 표준안전작업지침-NATM공법)
- 총포·도검·화약류 등 단속법

○ 관련법규·규칙·고시 등

산업안전보건기준에 관한 규칙 제2편 제4장 제2절 제2관(발파작업의 위험방지)

○ 기술지침의 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr) 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 지침 내에서 인용된 관련 규격 및 자료 등에 관하여 최근 개정 내용이 있는 경우 동 지침에 우선하여 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2016년 11월 30일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

발파공사 안전보건작업 지침

1. 목적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “안전보건규칙”이라 한다) 제2편 제4장 제2절 제2관(발파작업의 위험방지)의 규정에 의거 건설현장에서 발파작업중 발생하는 재해를 예방하기 위하여, 화약류의 취급, 운반, 저장, 사용 및 작업시 주의사항에 관한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 화약류를 사용하여 발파작업을 시행하는 모든 건설공사에 대하여 적용한다.

3 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “화약류”라 함은 가벼운 타격이나 가열로 짧은 시간에 화학변화를 일으켜 급격히 많은 열과 가스를 발생하게 함으로써 순간적으로 큰 힘을 얻을 수 있는 고체 또는 액체의 폭발성 물질로서 화약, 폭약 및 화공품을 말한다.

(나) “폭발”이라 함은 발열반응이 맹렬하고 충격파의 전파를 동반하는 현상을 말한다.

(다) “화약”이라 함은 추진적 폭발의 용도로 제공되는 화공약품(폭연)을 말한다.

(예) 흑색화약, 무연화약, 과염소산염계추진약, 취소산염을 주로하는 화약 등

(라) “폭약”이라 함은 파괴적 폭발의 용도로 제공되는 화공제품(폭발)을 말한다.

(예) 초안유제폭약(AN-FO 폭약), 다이너마이트, 함수폭약(스러리폭약), 카릿트, 초안폭약, 안몬폭약, TNT계폭약, 니트로글리세린, 니트로셀룰로즈, 트리니트로톨루엔(TNT) 등

- (마) “화공품”이라 함은 화약류를 사용목적에 맞도록 섬유나 플라스틱으로 피복하거나, 통이나 관에 장전하는 방법 등으로 가공한 것을 말한다.
- (바) “최소저항선”이라 함은 피폭파물의 자유면에서 장약의 중심에 이르는 최단거리를 말한다.
- (사) “도폭선”이라 함은 폭약을 심약으로 하여 섬유, 플라스틱, 금속관으로 피복한 것을 말한다.
- (아) “전기뇌관”이라 함은 금속제의 관체에 기폭약과 첨장약을 채워 넣고, 전기점화장치를 장착한 것을 말한다.
- (자) “비전기식 뇌관”이라 함은 낙뢰나 고주파 전압 등에 의한 발화를 방지하기 위해 개발된 뇌관을 말한다.
- (차) “시그널튜브”란 비전기식 발파기로부터 충격을 받아 폭굉하고 이를 통해 공내 뇌관을 폭발시키는 기재를 말한다. 시그널튜브는 직경 약 3mm의 플라스틱 튜브내에 얇은 층의 폭약이 코팅되어 있는 구조이다. <그림 1 참조>
- (카) “표면연결뇌관”이란 비전기뇌관의 시그널튜브 다발을 동시에 기폭시키기 위해 만들어진 화공품으로 번치커넥터에 비해 상대적으로 적은 수(약 5~6개)의 시그널튜브 다발을 형성한다. <그림 1 참조>
- (타) “번치 커넥터”란 비전기뇌관의 시그널튜브 다발을 동시에 기폭시키기 위해 만들어진 화공품으로 비전기뇌관의 일부제품이며 보통 1개의 번치 커넥터로 약 20개정도 시그널튜브 다발을 형성한다. <그림 1 참조>
- (2) 그 밖의 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 안전보건규칙 및 관련 고시에서 정하는 바에 의한다.

4. 화약류의 취급

4.1 발파작업 일반

4.1.1 작업시 안전수칙 및 주의사항

- (1) 화약류나 발파기재의 수송, 취급, 저장 및 사용은 발파작업에 충분한 경험과 자격을 갖춘 사람이 지휘·감독하여야 한다.
- (2) 화약류나 발파기재를 작업장에 반입·사용할 때에는 사전에 총포·도검·화약류 등 단속법령의 규정에 의하여 관계기관의 허가를 받아야 한다.
- (3) 발파기는 제조업자의 지시대로 유지, 관리 및 사용하여야 하며 사용 전·후에 주기적으로 시험, 검정을 하여야 한다.
- (4) 발파구역 입구에는 경고판을 부착하여야 한다.
- (5) 화약이나 폭약은 절대로 방치하여서는 아니 된다.
- (6) 빈 화약류 용기 등 쓰레기는 재사용을 엄금하며 지정된 장소에서 폐기하여야 한다.
- (7) 동력기계(소형 브레이커, 썬더 등)는 장전공으로부터 15m 이내에서 사용하여서는 아니 된다.
- (8) 18세 미만인 자는 취업을 금지하여야 한다.
- (9) 전기뇌관을 사용하는 발파는 전기발파기나 지정된 동력장치에 의해 점화되어야 한다. 비전기식 뇌관을 사용하는 발파는 발파기나 제작회사가 규정한 점화장비에 의해 점화되어야 한다.
- (10) 레이다, 무선송수신 시설 또는 실험결과 누설전류가 전기발파 작업에 위험을 미칠 우려가 있을 경우 비전기식 뇌관을 사용하되, 전기뇌관을 사용할 때에는 모선을 회로에 연결시킬 때까지 단락해 두어야 한다.
- (11) 모든 지발식 발파작업에는 지발식 전기뇌관, 비전기식 지발뇌관 또는 도폭선 연결기구를 사용하여야 하며 시간 고려가 잘 되어 있는지 점검하여야 한다.
- (12) 낙뢰의 위험이 있는 때에는 화약류 취급이나 사용 등의 모든 작업을 중지시키고 작업자들을 안전한 장소로 대피시켜야 한다. 또한, 외부에서 발생하는 전기에 의해 전기뇌관이 점화되는 것을 방지하기 위한 제어조치를 하여야 한다.
- (13) 발파 후 즉시 발파기의 두 스위치 사이의 전선을 분리시키고 스위치는 폐쇄위치에 두고 봉쇄하여야 한다.

- (14) 동력선, 통신망, 편의시설 및 기타 구조물 부근에서 발파작업을 할 때에는 그 시설의 소유자나 사용자에게 통고하여 안전한 통제조치를 취한 후 발파작업을 하여야 한다.
- (15) 발파기는 발파작업책임자만 취급할 수 있도록 보관하여야 하며, 발파기에 모선의 연결은 발파작업책임자의 지휘에 따라야 한다.
- (16) 발파 스위치 열쇠는 항상 발파작업책임자가 소지하여야 한다.
- (17) 발파를 위하여 동력 회로선에서 전력을 공급할 경우 전압이 550V를 초과하지 말아야 한다.
- (18) 발파모선은 적당한 치수 및 용량의 절연된 도전선을 사용하여야 한다.
- (19) 전기누전과 정전기를 탐지 및 측정하여야 한다.

4.1.2 진동 및 파손

- (1) 수중구조물, 건물 및 기타 시설내 또는 인근에서 발파작업을 할 때에는 주변상태와 발파위력을 충분히 고려하여 계획하여야 하며 작업을 시작하기 전에 서면계획을 수립하여야 한다.
- (2) 도심지 발파 등 발파에 주의를 요하는 곳은 실제 발파전 공인기관 또는 이에 상응하는 자의 입회로 시험발파를 실시하여 안전성을 검토하여야 한다.
- (3) (1)호의 경우, 필요할 때에는 소유자, 점유자 및 그 주위에 작업내용과 통제조치를 통고하여야 한다.
- (4) 진동의 검사, 기록 및 해석은 발파작업 책임자가 하여야 한다.
- (5) 발파진동의 경감을 위해 발파효과가 좋은 지발너관을 사용하고 발파효과의 상관관계를 고려하여 저폭속 화약류를 사용토록 하여야 한다.
- (6) 폭발음을 경감시키기 위해 토제 등을 쌓거나, 풍향 및 풍속을 고려하고 지발너관을 사용토록 하여야 한다.
- (7) 진동과 소음을 줄이기 위해 정상적인 약량보다 적게 할 때에는 고압가스의 분출 등 이상현상을 유발할 수 있으므로 주의하여야 한다.

4.2 화약류 운반

4.2.1 운반책임자

- (1) 화약류를 운송하는 운송인은 관련규정(총포·도검·화약류 등 단속법)에 의하여 관계기관에 신고하여야 한다.

- (2) 화약류를 운송하는 운송인은 화약류의 종류에 따라 적재, 운반 및 취급에 있어서 특히 유의해야 할 제반 규정을 운반책임자에게 미리 알려주어야 한다.
- (3) 운반책임자는 출발하기 전에 차량 및 화약류의 적재상황을 점검·확인하여야 하고 운반책임자는 운전기술이 능숙한 사람으로 하여금 화약류 운반차량을 운전하게 하여야 한다.

4.2.2 표지

화약류를 운반하는 차량은 화약류의 운반중임을 나타내기 위하여 보기 쉬운 곳에 표지를 부착하고 경광등을 차량의 앞뒤에 설치하여야 한다.

4.2.3 통로

화약류를 운반할 때에 사용하는 통로는 화기를 취급하는 장소 또는 발화성이나 인화성이 있는 물질을 쌓아둔 장소에 근접하지 않는 곳이어야 한다.

4.2.4 운반기구에 적재

- (1) 운반중에 마찰 또는 흔들리거나 굴러 떨어지지 아니하도록 적재하여야 한다.
- (2) 화약류는 방수 또는 내화성이 있는 덮개로 덮어야 한다.
- (3) 화약류는 적재차량 적재정량의 80%에 상당하는 중량을 초과하여 적재하여서는 아니된다.
- (4) 화약류를 다음 각목에 규정한 물건과 동일한 차량에 함께 적재하여서는 아니된다.
 - (가) 발화성 또는 인화성 물질
 - (나) 외장이 불안전하여 화약류에 마찰 또는 충격을 줄 염려가 있는 물건
 - (다) 철강재, 기계류, 광석류 및 기타 이에 준하는 물건
 - (라) 독극물, 방사성물질 및 기타 유해성물질
- (5) 종류가 다른 화약류는 관계법령으로 규정한 것 이외에는 원칙적으로 동일한 차량에 적재할 수 없다.
- (6) 화약류를 차량에 적재 및 하역할 때에는 차량의 엔진을 정지시키고 제동장치를 확실하게 걸어두어야 한다.
- (7) 화약류의 적재 전후에는 그 장소를 깨끗하게 청소하여야 한다.
- (8) 화약류를 적재할 때에는 철물류로 된 신발을 착용하지 않도록 하여야 한다.

4.2.5 운반

- (1) 자동차로 운반할 때에는 운송인은 당해 차량에 안전요원을 탑승시켜야 한다.
- (2) 주차는 위험하지 않은 장소를 선정하여 주차하여야 한다.
- (3) 야간이나 앞을 분간하기 힘든 상태에서 주차하고자 할 때에는 차량의 전·후방에 적색의 경고등을 설치하여야 한다.
- (4) 변화가 등 사람의 왕래가 빈번하거나 사람이 많이 모이는 곳을 피하여 운반하여야 한다.
- (5) 화약류는 특별한 사정이 없는 한 야간에 운반하지 말아야 한다.
- (6) 기타 운반상의 위험을 방지하기 위하여 습기가 있는 상태로 운반할 필요가 있다고 인정되는 화약은 그 화약의 성질에 따라 안전성을 확보할 수 있는 수분을 함유한 상태에서 운반하여야 한다.

4.3 화약류 관리

4.3.1 화약류저장소

- (1) 저장소의 경계울타리 내에는 관계자 이외의 출입을 금지하여야 한다.
- (2) 저장소의 경계울타리 내에는 폭발 또는 발화하거나 연소하기 쉬운 물건을 적치하지 않도록 하여야 한다.
- (3) 저장소 내에서는 당해 저장소 내에서만 사용하는 안전화를 착용하도록 하여야 한다.
- (4) 저장소 내에 들어갈 때는 철물류 또는 철물로 만들어진 기구는 휴대하지 않도록 하여야 한다.
- (5) 저장소 내에서는 물건을 포장하거나, 상자의 뚜껑을 여는 등의 작업을 하지 않도록 하여야 한다.
- (6) 저장소의 내부는 환기에 유의하고 동·하절기의 계절적 영향과 온도의 변화를 최소화하거나 또는 다이너마이트를 저장할 때에는 최고 최저온도계를 비치하여야 한다.
- (7) 저장소에서 화약류를 출고하고자 할 때에는 저장기간이 오래된 것부터 먼저 출고하여야 한다.
- (8) 저장소에 제조일로부터 1년이상 경과한 화약류가 남아있을 때에는 이상유무에 특히 주의하여야 한다.

- (9) 상자 표면에 니트로글리세린이 삼출되거나 흡습액이 유출된 때에는 당해 화약류를 검사하여 지체없이 폐기하는 등의 조치를 하여야 한다.

4.3.2 화약류 취급소

- (1) 취급소는 화약류 사용장소마다 설치하여야 한다.
- (2) 취급소의 위치는 통로 및 통로로 이용되고 있는 갱도, 동력선, 다른 화약취급소, 저장소, 화기 취급장소 및 사람이 출입하는 건물로부터 안전하고 습기가 적은 장소에 설치하여야 한다.
- (3) 취급소는 단층건물로서 철근콘크리트조, 콘크리트블록조 또는 이와 동등이상의 견고한 재료를 사용하여 도난이나 화재를 방지할 수 있는 구조로 설치하여야 한다.
- (4) 건물은 바닥부위에 철물류가 노출되지 않도록 하여야 하며, 도난을 방지할 수 있는 장치와 일광의 직사 및 비와 이슬을 방지하는 조치를 취하여 안전하게 작업할 수 있도록 하여야 한다.
- (5) 경계선 내에서는 흡연 또는 기타의 화기사용을 금하고, 폭발 또는 발화하거나 연소하기 쉬운 것을 적치하지 말아야 한다.
- (6) 취급소 및 부근에서는 약포에 공업뇌관 또는 전기뇌관을 장치하거나 이를 장치한 약포를 취급하지 말아야 한다.
- (7) 취급소에는 필요한 자 이외의 출입을 금지하여야 한다.
- (8) 취급소에 저장할 수 있는 화약류의 수량은 1일 사용예정량 이하로 하여야 한다.
- (9) 취급소에는 화약류 수불대장을 비치하고 책임자를 정하여 화약류의 수불 및 사용, 잔류수량을 명확히 기록하여야 한다.
- (10) 취급소의 내부는 청결하게 정리정돈하고, 내부작업에 필요한 기구 이외의 물건은 두지 않아야 한다.
- (11) 화약류 취급상 필요한 안전수칙을 내부 또는 외부의 보기 쉬운 곳에 게시하여야 한다.
- (12) 취급소의 건물내 조명설비를 설치할 때에는 화약류취급소의 내부벽체와 완전히 격리하여야 하며, 안전한 장치가 설치된 전등을 사용하고, 배선은 절연금속관 또는 외장 케이블 등을 사용하여야 한다.

- (13) 난방설비를 설치할 때에는 온수, 증기 이외의 것을 사용하지 않도록 하여야 한다.
- (14) 기타 취급소에 대한 재해예방규정을 준수하고, 화약류 취급 보안책임자의 지시에 따라야 한다.

4.3.3 화공 작업소

- (1) 화공 작업소는 작업현장 부근에 설치하여야 하며 보기 쉬운 곳에 취급시 안전규칙 및 주의사항을 게시하여야 한다.
- (2) 화공 작업소 내에는 폭발, 연소하기 쉬운 물건을 쌓아두지 않도록 하여야 한다.
- (3) 화공 작업소 내부는 청결하게 정리정돈하고, 작업에 필요한 기구 이외의 물건은 두지 않아야 한다.
- (4) 화공 작업소에 화약류를 두는 때에는 감시인을 항시 배치하여야 한다.
- (5) 화공 작업소에 조명설비를 설치할 때에는 화공작업소 내벽과 완전히 격리되도록 전등을 설치하여야 한다.
- (6) 화공 작업소의 주위에는 적당한 경계선을 설치하고 "화약", "출입금지", "화기엄금" 등 안전표지판을 설치하여야 한다.

4.3.4 화약류 취급

- (1) 화약류에는 충격을 주어서는 아니되며 두드리거나, 던지거나, 떨어뜨리지 않도록 항상 주의하여야 한다.
- (2) 화약류를 취급할 때에 갈고리를 사용하여서는 안된다.
- (3) 화약류는 화기부근, 그라인더를 사용하고 있는 부근에서는 취급하지 말아야 한다.
- (4) 화약류 주변에서는 흡연 및 화기를 사용하여서는 안된다.
- (5) 화약류가 들어있는 상자를 열 때는 철제기구 등으로 두드리거나 충격을 주어 억지로 열지 않도록 하여야 한다.
- (6) 전기뇌관은 전지, 전선, 모터, 기타 전기설비, 레일, 철제류 등에 닿지 않도록 하여야 한다.
- (7) 방수처리를 하지 않은 화약류는 습기가 있는 곳에 두지 않도록 하여야 한다.
- (8) 화약류를 수납하는 용기는 나무 기타 전기의 부도체로 만든 견고한 구조로 하고 내면에는 철물류가 드러나지 않도록 하여야 한다.
- (9) 화약, 폭약 또는 도폭선과 화공품은 각각 다른 용기에 수납하여야 한다.

- (10) 굳어진 폭약은 반드시 딱딱한 것을 부드럽게 풀고난 후 사용하여야 한다.
- (11) 발파현장에는 여분의 화약류를 들고 들어가지 않도록 하여야 한다.
- (12) 사용하고 남은 화약류는 발파현장에 남겨두지 말고 밀폐하여 신속하게 화약류 취급소에 반납하여야 한다.
- (13) 화약류 취급중에는 항상 도난에 주의하고 과부족이 발생하지 않도록 유의하여야 한다.
- (14) 얼어서 굳어진 다이너마이트는 50℃ 이하의 온탕속 용해기 또는 30℃ 이하의 온도를 유지하는 실내에서 풀어주어야 하며, 난로나 증기관 그 밖의 높은 열원에 직접 접근시키거나 무리하게 타격을 가하지 않도록 하여야 한다.

4.3.5 현장내 운반

- (1) 화약류를 갱내 또는 멀리 떨어진 발파현장에 운반할 때에는 정해진 포장 및 상자를 사용하여 운반하여야 한다.
- (2) 화약, 폭약 및 도폭선과 공업뇌관 또는 전기뇌관은 1인이 동시에 운반하여서는 안된다. 부득이 1인에게 운반시킬 때에는 별개의 용기에 넣어 운반하도록 하여야 한다.
- (3) 전기뇌관을 운반할 때에는 각선이 벗겨지지 않도록 용기에 넣고 건전지 및 전선이 벗겨진 전기기구를 휴대하지 않도록 하여야 하며 전등선, 동력선 기타 누전의 우려가 있는 곳에 접근시키지 않도록 하여야 한다.
- (4) 화약류는 운반하는 자의 체력에 적당하도록 소량을 운반하도록 하여야 한다.
- (5) 화약류를 운반할 때에는 화기나 전선 부근을 피하고, 넘어지거나 떨어뜨리거나 부딪히지 않도록 주의하여야 한다.
- (6) 빈 화약류 용기 및 포장재료는 제조 사양서에 명기된 지시에 따라 처분하여야 한다.

4.3.6 검사

- (1) 질산암모늄을 다량 포함한 폭약은 굳어지기 쉽고, 굳어지면 불발과 잔류약이 발생하거나 폭력도 약화될 우려가 있으므로 부드럽게 풀어주어야 한다.
- (2) 폭약이 흡습하면 성질이 변하는 경우가 있으므로 양끝이 유연하게 되어있지 않는지, 액으로 되어 흘러나와 있지 않는지 여부를 확인하여야 한다.
- (3) 공업뇌관은 관체에 흠이 없는지, 흡습되어 있지 않는지 여부를 점검하여야 한다.
- (4) 전기뇌관에 대해서는 각선의 상처, 도통의 유무 또는 전기저항을 확인하고 미리

시험전류를 측정하여 0.01A를 초과하지 않는 것을 사용하여야 한다. 이 때 전지식 도통시험기는 미리 잔류전류를 측정하고 0.1mA를 넘지 않는 것을 사용하며 측정 후에는 반드시 단락해 두어야 한다.

- (5) 도화선 및 도폭선에 대해서는 물에 젖거나 흡습되어 있는 것은 없는가, 피복의 상처, 헐거움은 없는가 등을 조사하여야 한다.

4.3.7 불량 화약류의 처리

- (1) 흡습되거나 단단하게 굳어 성능의 변화가 우려되는 것은 무리하게 사용하지 말아야 한다.
- (2) 불량 화약류는 표시를 하여 구별하고, 화약류취급 책임자에게 보고하여 지시에 따라 처리하여야 한다.

5. 전기 및 비전기발파

5.1 발파의 준비

5.1.1 발파용 기재

(1) 전기발파용 기재

전기발파를 할 경우에 필요한 기재는 발파기, 도통시험기, 저항측정기, 발파모선, 발파보조모선, 전기뇌관 등이며 기타 필요에 따라 누설전류 검지기도 준비해 두어야 한다.

(2) 비전기발파용 기재

비전기발파를 할 경우에 필요한 기재는 비전기식 발파기, 공내뇌관(MS뇌관, LP 뇌관), 표면연결뇌관(TLD), 번치 커넥터(Bunch Connector)등이 있다.



1. 공내뇌관(MS뇌관, LP뇌관)

2. 표면연결뇌관(TLD)

3. 번치커넥터
[Bunch Connector]

4. 비전기식 발파기 (starter)

5. 시그널튜브
: 직경 약 3mm의 플라스틱 튜브, 내부
에는 얇은 층 쪽약 코팅 된 구조

비전기 발파용 기재 상세도 < 그림1 >

5.1.2 작업시 주의사항

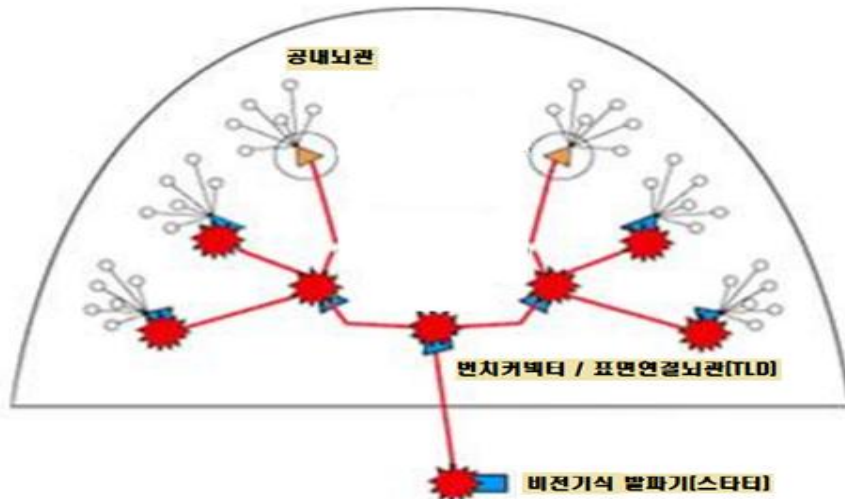
- (1) 발파전원을 동력선 또는 전등선으로 할 때에는 잘못 조작할 우려가 있으므로 발파기 사용을 원칙으로 한다.
- (2) 부득이 동력선 또는 전등선을 전원으로 할 때에는 전로의 개폐를 확실하게 하고, 발파작업자 외에는 개폐할 수 없도록 하며, 또한 전로에는 1A 이상의 적당한 전류가 흐르도록 하여야 한다.
- (3) 다량의 발파시에는 전압 및 전원, 발파모선, 전기뇌관의 전저항을 고려하여 전기뇌관에 소요전류를 통하게 하여야 한다.
- (4) 전기발파기의 손잡이는 점화할 때를 제외하고는 고정식 시건장치를 하고, 이탈식은 발파작업 책임자가 직접 휴대하여야 한다.
- (5) 발파기 및 건전지는 건조한 곳에 두고 사용전에 기동력을 확인하여야 한다.
- (6) 발파모선의 한쪽 끝은 점화할 때까지 발파기(점화기)에서 떼어놓고 전기뇌관의 각선에 연결하는 다른 끝의 심선은 단락을 막도록 하여야 한다.
- (7) 발파보조 모선은 가능한 한 굵고, 피복이 안전하며 절연도가 높은 것을 사용하고, 몇 개의 선을 이은 것 또는 지나치게 긴 것은 저항이 크게 되므로 사용하지

않도록 하여야 한다.

- (8) 수중발파에 사용하는 전기뇌관의 각선은 미리 그 필요한 길이를 산정하고 수중에서 결선하는 개소를 가능한 한 적게 하여야 한다.
- (9) 장약작업시 전기발파는 낙뢰에 의한 폭발이 일어날 가능성이 매우 높으나 비전기발파는 상대적으로 가능성이 매우 낮다. 그러나 비전기발파 또한 낙뢰에 의한 폭발이 일어날 가능성은 있으므로 일기상황을 철저히 파악하고 낙뢰의 발생가능성이 있는 날에는 작업을 중지하여야 한다.
- (10) 비전기발파는 결선여부를 기계적으로 확인하는 것이 불가능하므로 결선여부의 육안확인을 철저히 확인하여야 한다.
- (11) 비전기발파용 기재 중 시그널튜브(도폭선)는 고온이나 습도에 의해 제기능을 발휘하지 못할 우려가 있으므로 진공상태의 백(베리어 백)에 보관하여야 한다.
- (12) 지발식 발파작업 시 비산과편에 의해서 인접한 비전기발파용 기재가 손상되지 않도록 형겅이나 비닐 등으로 싸는 등 필요한 조치를 취하여야 한다.

5.1.3 발파방법의 결정

- (1) 비전기발파는 전기발파에 비해 매우 안전한 발파방법이다.
- (2) 비전기발파용 기재(비전기식 발파기, 스타터튜브)가 전기발파에 비해 상대적으로 고가이기는 하나, 모선의 배치에 따라 무한단차를 구성하면 경제적인 작업이 가능하고 진동이나 소음 절감이 가능하다. 따라서 터널내부 등에서는 되도록 비전기발파 방식을 준수하여야 한다.
- (3) 사전에 누설전류가 있는 장소에서 전기발파를 할 경우에는 폭발의 위험성이 높으므로 비전기발파 방식이 적절하다. 또한 이 때, 비전기식 발파기 사용을 준수하여야 한다.
- (4) 전기발파에는 단발발파, 지발발파(MS발파, LP발파)와 이들을 병용한 단발발파 등 여러가지 방법이 있으므로 충분한 검토를 거쳐 가장 효과적인 발파방법을 채택하여야 한다.



비전기발파 발파순서도 < 그림 2 >

※ 비전기발파의 발파순서

비전기식 발파기(스타터) → 스타터튜브(도폭선) → 번치 커넥터 / 표면연결뇌관
→ 시그널튜브(도폭선) → 공내뇌관 → 발파 < 그림 2 참조 >

5.1.4 발파기재의 검사

발파기, 건전지, 저항측정기, 도통시험기 등의 기구류는 건조한 곳에 두고, 사용전에 그 기능, 안전성능 등에 대하여 <표 1>에서와 같이 확인하여야 한다.

<표 1> 발파기재의 검사

| 순 서 | 내 용 | 비 고 |
|---------|--|-----|
| 발파기 점검 | • 사용하고자 하는 발파기의 능력을 측정하여 이상유무를 확인하여야 한다. | |
| 발파모선 점검 | • 발파모선의 저항이 크면 뇌관회로에 전달되는 전류는 작아지므로 신중히 선택하여야 하며 절연저항과 피복파손 여부를 확인하여야 한다. | |
| 뇌관저항 측정 | • 모든 결선부위는 전류누설이나 전선의 단락을 방지하기 위하여 절연테이프로 감아주거나 공중이나 나무상자 위에 결선부를 고정시켜 지면과 이격시켜야 한다. | |
| 발파회로 점검 | • 발파모선과 뇌관회로를 연결하기 전에 모선의 단선이나 단락여부를 확인하여야 한다. • 발파모선의 양쪽 끝을 저항측정기로 측정하여 규정 저항이 나타나는지 확인하여 모선 분리시 무한대 저항이 나타나지 않으면 모선의 손상, 절연불량, 파손 등 불량원인을 조사 및 보수 후 사용하여야 한다. | |

5.2 발파

5.2.1 천공

천공작업은 KOSHA GUIDE C-45-2012 터널공사(NATM공법)의 안전보건작업 지침에 따른다.

5.2.2 뇌관설치

전기뇌관은 1개씩 저항을 측정하고, 소정의 저항치(오차 $\pm 0.1\Omega$)를 확인한 다음 약포에 설치하여야 하며 작업중에는 항상 각선의 양단을 단락해 두어야 한다. 이들의 작업은 화공작업소에서 행하고 화약류취급소에서 수행하여서는 아니된다.

5.2.3 발파모선의 배선

- (1) 점화장소(발파기 조작장소)는 발파현장에서 충분한 안전거리를 유지하고 동시에 물기가 있는 장소와 철관, 레일 등이 있는 장소를 피하며 상부로부터의 낙석 등 위험이 없는 장소를 선정하여야 한다.
- (2) 점화장소에서 발파현장까지의 주 통로에는 철제기재 등 장애물을 두지 않도록 하고, 통행에 방해가 되지 않도록 배선하여야 하며 갱내의 측벽에 달아매는 등 안전조치를 하여야 한다.
- (3) 발파모선의 저항은 사전에 계획하여 기록해 두어야 한다.

5.2.4 저항측정 및 소요전압 산정

5.2.4.1 저항측정

결선작업이 끝나면 모든 회로의 전기저항을 측정하여 소정의 저항이 있는지 여부를 확인하여야 한다. 이때의 회로 전저항 R은 식(1), 식(2), 식(3)을 기준으로 한다.

(1) 전저항 R 산정기준

(가) 직렬결선인 경우

$$R = n \cdot r_d + \ell_1 \cdot r \ell_1 + \ell_2 \cdot r \ell_2 + r_i + r_c \dots\dots\dots (1)$$

(나) 병렬결선인 경우

$$R = r_d/n + \ell_1 \cdot r_{\ell_1} + \ell_2 \cdot r_{\ell_2} + r_i + r_c \dots\dots\dots (2)$$

(다) 직·병렬결선인 경우

$$R = (a \cdot r_d + \ell_1 \cdot r_{\ell_1})/b + \ell_2 \cdot r_{\ell_2} + r_i + r_c \dots\dots\dots (3)$$

(2) 소정의 저항치 R_0 산정기준

$$R_0 = (1 \pm 0.02) \cdot R \dots\dots\dots (4)$$

(여기서, 0.02는 저항치 R 의 허용오차)

위의 산정기준에 의한 계산치와 실측치를 비교하고, 허용오차의 $\pm 10\%$ 이내를 확인한 다음 모선을 발파기 단자에 접속하여야 한다. 도통시험 또는 저항측정은 화약류를 장전한 장소로부터 30m 이상 떨어진 안전한 장소에서 실시하여야 한다.

5.2.4.2 소요전압 V 산정

위 방법에 의하여 저항을 구하고 실제 발파에 필요한 소요전압은 식(5), 식(6), 식(7)에 의해 산출하여야 한다.

(가) 직렬결선인 경우

$$V = I(n \cdot r_d + \ell_1 \cdot r_{\ell_1} + \ell_2 \cdot r_{\ell_2} + r_i + r_c) \dots\dots\dots (5)$$

(나) 병렬결선인 경우

$$V = n \cdot I(r_d/n + \ell_1 \cdot r_{\ell_1} + \ell_2 \cdot r_{\ell_2} + r_i + r_c) \dots\dots\dots (6)$$

(다) 직·병렬결선인 경우

$$V = b \cdot I[(a \cdot r_d + \ell_1 \cdot r_{\ell_1})/b + \ell_2 \cdot r_{\ell_2} + r_i + r_c] \dots\dots\dots (7)$$

여기서, I : 전류(A)
 r_d : 전기뇌관 1개의 저항(Ω)
 r_{ℓ_1} : 보조모선 1미터당 저항(Ω)
 r_{ℓ_2} : 발파모선 1미터당 저항(Ω)
 r_c : 결선부의 접촉저항(Ω)(실제로는 극히 작은 수치이므로 생략하여도 지장 없다.)
 r_i : 발파기의 내부저항(Ω)(콘덴서식 발파기의 내부저항은 0 Ω 해도 좋다)
 n : 전기뇌관 수
 a : 직렬결선 전기뇌관 수
 b : 병렬결선 수
 ℓ_1 : 보조모선에 사용된 단선의 길이(m)
 ℓ_2 : 발파모선에 사용된 단선의 길이(m)

5.2.5 저항불량

저항측정에서 소정의 저항치가 나타나지 않는 경우에 그대로 다음 작업에 들어가는 안된다. 불량개소가 발견되지 않으면 소정의 광전자식 도통시험기로 개개의 전기회관의 도통시험을 실시하여야 한다.

5.2.6 장전 및 점화

장전 및 점화작업은 5.1의 발파의 준비 및 5.2의 발파 규정에 따른다.

5.3 발파 후 처리

5.3.1 발파 후 처리

- (1) 발파 후 즉시 발파모선을 발파기에서 분리하여 단락시켜 두고 재 점화가 되지 않도록 조치하여야 한다.
- (2) 장전된 화약류를 점화하여도 그 화약류가 폭발되지 아니하거나 폭발여부의 확인이 곤란한 때에는 점화후 15분 이상(전기발파에 있어서는 발파모선을 점화기로부터 떼어서 다시 점화가 되지 아니하도록 한 후 5분 이상, 대발파시는 30분 이상)을 경과한 후가 아니면 화약류를 장전한 곳에 사람의 출입이나 접근을 금지하여야 한다.
- (3) 불발시는 다음 사항을 준수하여야 한다.
 - (가) 불발시는 불발공에서 60cm 이상 이격하여 수평천공하고 발파하여 처리하여야 한다.
 - (나) 불발약은 다음 교대시에 그대로 인계하여서는 안된다.(불가피한 상황에서 인계할 때에는 상세히 알려주고, 확실한 표시를 하여 작업의 위험이 없도록 하여야 한다.)
- (4) 전선 및 기타 기재는 확실하게 수납하여야 한다.

5.3.2. 전기뇌관 불발의 원인 및 대책

전기뇌관 작업시 뇌관불발의 원인에 대해 <표 2>의 대책에 따라 처리하여야 한다.

<표 2> 전기뇌관의 불발원인 및 대책

| 원 인 | 대 책 |
|---|---|
| 발파회로의 뇌관이 1발도 발화하지 않음 (도통불량) <ul style="list-style-type: none"> · 모선과의 결선 누락 · 기폭약포 장전시 각선의 단선 · 발파모선 또는 보조모선의 단선 · 각선의 단선 | <ul style="list-style-type: none"> · 기폭약포 장전중 각선이 손상되지 않아야 한다. · 발파모선과 뇌관회로를 연결하기 전에 모선의 단선이나 단락여부를 확인하여야 한다. · 발파모선의 양쪽 끝을 저항측정기로 측정하여 규정 저항이 나타나는지 확인하여 모선 분리시 무한대 저항이 나타나지 않으면 모선의 손상, 절연불량, 파손 등 불량원인을 조사 및 보수 후 사용하여야 한다. |
| 발파회로 전체 뇌관 중 1발 밖에 발화되지 않음 <ul style="list-style-type: none"> · 결선부의 벗김 또는 단락 · 불발이 된 뇌관의 결선 탈락 · 기폭약포 장전시 각선을 손상시켜 단락 | |
| 발파회로의 산발적 불발 <ul style="list-style-type: none"> · 발파기의 출력부족 · 발파기의 규격용량 이상으로 발파하였을 때 · 결선부가 녹슬어 있을 때 · 타사 제품의 뇌관과 혼용하였을 때 | <ul style="list-style-type: none"> · 사용하고자 하는 발파기의 능력을 측정하여 이상유무를 확인하여야 한다. · 결선부에 비닐테이프를 감아야 한다. · 타사 제품과 혼용해서 사용하지 않아야 한다. |
| 발파회로내 발파모선에 가까운 것은 발화하고 회로의 가운데에서 뇌관 불발 <ul style="list-style-type: none"> · 결선부가 물에 잠기거나 특히 모선발파 회로 결선부가 침수 되었을 때 | <ul style="list-style-type: none"> · 결선부에 비닐테이프를 감아서 방수조치를 하여야 한다. |
| 발파모선의 결선위치와 관계없이 특정부분의 뇌관 불발 <ul style="list-style-type: none"> · 발파회로의 특정부분이 침수되었을 때 · 결선 착오 | <ul style="list-style-type: none"> · 결선이 착오된 부분이 없는지 확인 후 필요한 조치를 취해야 한다. |
| 근접공 발파의 영향에 의해서 뇌관 불발 <ul style="list-style-type: none"> · 천공간격이 비교적 가까울 때 · 발파공 부근 암석에 균열, 절리, 단층이 있을때 · 수중발파를 할 때 | <ul style="list-style-type: none"> · 사전에 천공간격 및 암반조건을 고려한 발파계획 수립이 필요하다 · 수중발파 시 결선부에 비닐테이프를 감아서 방수조치를 하여야 한다. |

5.3.3 비전기뇌관 불발의 원인 및 대책

비전기뇌관 작업시 뇌관불발의 원인에 대해 <표 3>의 대책에 따라 처리하여야 한다.

<표 3> 비전기뇌관 불발원인 및 대책

| 원 인 | 대 책 |
|--|---|
| 비전기발파 기재의 화약취급소 등에서의 보관불량으로 인한 불발 | <ul style="list-style-type: none"> 진공상태의 베리어 백을 개봉하고 약 30일 이상 된 제품 사용시 비전기뇌관의 수분흡수로 인한, 불발의 가능성이 높아짐 장시간 햇볕에 노출되지 않도록 하고 불가피한 경우 열을 차단할 수 있는 것을 덮어두어야 한다. |
| 시그널튜브의 길이가 60cm 이하로 짧아 수분 흡수 등의 원인으로 불발 | <ul style="list-style-type: none"> 시그널튜브 연결부위의 길이를 충분히 유지하여야 한다. |
| 시그널튜브 파손으로 인한 불발 • 수평발파에서 단차발파시 먼저 기폭된 벤치커넥터 파편에 의해 시그널튜브가 파손 • 벤치발파에서 비전기뇌관의 시그널튜브가 파편에 맞아 절단 또는 손상 | <ul style="list-style-type: none"> 벤치커넥터 / 표면연결뇌관과 시그널튜브의 간격을 평행거리로 충분히 유지하면 파편으로 인한 시그널튜브 파손을 어느정도 방지할 수 있으나, 형질이나 비닐등으로 싸서 파편이 근본적으로 비산되지 않도록 조치하는 것이 좋다. |
| 발파모선 또는 보조모선의 연결상태 및 설치상태 불량으로 인한 불발 • 시그널튜브가 커넥터에서 빠지거나 뇌관에 결합된 시그널튜브가 빠짐 | <ul style="list-style-type: none"> 시그널튜브가 빠지지 않도록 묶어주거나, 기폭된 뇌관이 공중으로 날아가지 못하도록 복토해야 한다. |

5.3.4 불발공의 처리

- (1) 관련 법규나 규정을 준수하고 처리규정이 설정되어 있지 않을 때에는 적어도 한 시간 이상 대기한 다음 처리한다.
- (2) 저항측정기를 사용하여 불발공의 회로를 점검하고 이상이 없으면 발파회로에 다시 연결하여 재발파한다. 불발공이 단락되어 있으면 압축공기나 물로 제거한 다음 기폭약포를 재장전하여 발파한다.

- (3) 불발공으로부터 회수한 뇌관이나 폭약은 모두 제조업자의 시방에 따라 처리하여야 하며 임의로 매립하거나 폐기하여서는 안된다.
- (4) 불발원인을 조사할 때에는 원인을 철저히 규명하여 이를 기록하고 불발방지 대책을 수립하여야 한다.

5.3.5 정전기 대책

전기발파를 할 때에는 정전기에 의한 폭발재해방지 대책으로서 <표 4>을 참조하여 작업하여야 한다.

<표 4> 정전기에 의한 폭발재해방지 대책

| 작업의 종류 | 대 책 기 준 |
|-------------|---|
| 일반규정 | <ul style="list-style-type: none"> • 도전성의 의류를 착용하도록 하여야 한다. • 도전성의 정전기용 안전화를 착용하도록 한다. • 내정전기용 전기뇌관을 사용하도록 한다. |
| 천공작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 천공장소에서 전기뇌관이나 기폭약포를 충분히 격리하여 두어야 한다. |
| 기폭약포 만드는 작업 | <ul style="list-style-type: none"> • AN-FO 장전장소, 고무호스나 비닐 파이프 등의 대전하기 쉬운 곳, 철관이나 레일 등의 대전하기 쉬운 곳에서 작업을 하지 않도록 하여야 한다. • 작업전, 작업중에는 맨손을 가끔 지면에 대어서 신체의 정전기를 제거하도록 한다. • 각선이나 보조모선을 훑지 않도록 하여야 한다. |
| AN-FO장전작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 장전기는 사용전후에 잘 청소하고 접지장치의 접속을 확실히 하여야 한다. • 장전호스는 필히 도전성을 갖는 것을 사용하여야 한다. • 장전호스는 계속 연결한 호스를 사용하지 않도록 하여야 한다. • 장전할 때는 장전기를 충분히 접지하여야 한다. • 장전기의 접지선은 철관, 레일 등의 누설전류가 유입되기 쉬운 곳에 가까이하지 않도록 하여야 한다. • 갱내 등의 장전장소에서는 통기를 충분히 하여 AN-FO분진을 부유시키지 않도록 하여야 한다. • 콘트롤 밸브는 가급적 급격한 개폐를 하지 않도록 한다. • 장약중에는 발파공에서 AN-FO의 분출이 없도록 하여야 한다. |

| | |
|-----------------|--|
| 기폭약포 장전 결선작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 갱내에서는 AN-FO의 부유분진이 제거된 후 기폭약 장전작업을 하여야 한다. • 기폭약 장전 결선작업을 행하는 때에는 작업전, 작업중 가끔 맨손을 접지하여 신체의 정전기를 제거하여야 한다. • 각선, 보조모선, 발파모선을 설치하거나 간추릴 때 흠지 않도록 하고 맨손으로 하여야 한다. • 장전봉은 목재 또는 반도체성을 사용하여야 한다. • 각선이나 보조모선 등의 결선위치에 나선부분이 없도록 하여야 한다. |
| 잔류화약의 회수 작업 | <ul style="list-style-type: none"> • 기폭약포 등을 회수하는 때에는 새로운 기폭약포를 장전해서 순폭시키거나 물로 녹여서 회수하여야 한다. |
| 낙뢰의 대책 | <ul style="list-style-type: none"> • 일기상황 파악을 철저히 하여야 한다. • 휴대라디오의 소리(잡음)로 낙뢰를 빨리 탐지하고 대피해야 한다. • 불가피하게 발파를 실시할 때에는 도화선 또는 도화선을 이용한 도폭선 발파를 하여야 한다. |
| 강풍시 등의 대책 | <ul style="list-style-type: none"> • 전기발파작업은 가능한 하지 않도록 하여야 한다. |