

발파현장의 안전을 위한 비전기뇌관 활용 제언



민형동
(주)한화 화약기술팀
부장



정민수
(주)한화 화약기술팀
차장



진연호
(주)한화 화약기술팀
대리

1. 서론

산업용 폭약이 폭발을 일으키기 위해서는 마찰, 열, 충격이 가해져야 하며 이 역할을 하는 것이 뇌관(Detonator)이다. 뇌관은 금속 관체에 기폭감도가 예민한 화약(기폭약, 첩장약)을 채워 전기 또는 비전기적인 방법에 의해 기폭 되면서 파편과 열을 발생시키고 그것에 의해 폭약이 폭발하게 된다.

또한, 뇌관의 장약과 기폭약 사이에는 지연장치가 삽입되어 점화 후 수 밀리초(Millisecond ; MS)에서 수초(Long Period Second ; LP)가 지난 후 기폭 되도록 되어 있다.

뇌관의 연간 사용량은 70년대 2천여만발 수준에서 계속적으로 상승하여 80년대 2천 5백여만발, 현재는 3천여만발로 사용량이 지속적으로 증가하고 있다. 표 1은 공업뇌관에서부터 전자뇌관까지 각각의 특성을 정리한 것이다.

2. 발파현장의 전기적인 위험성

2.1 발파의 외부전류

가. 미주전류(누설전류)

절연된 도전시스템의 외부에 흐르는 전류를 말하며 전력시스템이나 전기의 누설 방지, 절연상태가 불완전할 때 발생하며 다른 전력시스템의 전자장, 접지부, 지하 배관 등도 미주전류의 발생 원인이 된다. 전도경로는 지중, 습지, 금속관, 기계류, 철로, 도전성 암층, 기타 절연이 불량한 전기장치가 있다. 이러한 미주전류가 발파현장의 지면에 잠재하는 전류를 누설전류라고 한다.

나. 정전기

전기가 축전기에 저장되는 것과 같이 인체나 다른 물체에 정지 상태로 저장된 전기에너지를 말하며 정전기는 발생, 축적,방전의 세 단계가 적절히 반복되면 전기

표 1. 뇌관의 종류 및 특성

구 분	제 1 세 대	제 2 세 대	제 3 세 대	제 4 세 대
뇌관명	공업 뇌관	전기 뇌관	비전기 뇌관	전자 뇌관
각선 재질	도화선	전 선	시그널 튜브	전 선
종 류	완연,속연	ID 1단, MS 19단, LP 25단(최대조합수 42단)	MS 20단, LP 25단 (연결뇌관을 이용 무한단차)	무한 단차 (1~25,000ms)
장 점	저가	저가 소할발파 용이 결선 용이 숙련공이 많음	무한단차 실현 진동 소음 저감효과 전기적인 안전성 확보 외부전류에 안전 시공 편이성 다용도로 사용 시공기간이 절감	무한단차 실현 정밀시차 구현 전기적 안전성 진동 소음 저감
단 점	작업 난이 흡습성 생산 중단	단차가 제한 전기적 위험성 미주전류에 위험 진동소음 과다발생	전기뇌관에 비해 고가 결선상태를 육안으로만 확인	고가 초시에 대한 고도의 지식필요 별도의 전용장비로 조작 난이
용 도	소할발파	소규모, 중규모 발파	대발파, 소발파, 미진동발파, 수중발파	대발파, 소발파, 미진동발파

뇌관의 잠재적인 위험요인이 된다.

다. 낙뢰

지면의 더운 공기와 상공의 찬 공기가 만나 공기가 냉각되어 응집되고 더욱 상승 하다가 뇌운이 되는데 지표면의 뇌운 전하와 역극성의 전하가 유발되어 그 사이에서 전압이 높게 되어 방전이 일어나면 이것이 낙뢰이다. 낙뢰현상은 100만분의 1초의 극히 짧은 시간에 이루어지고 관측된 값은 50만 암페어가 최대이고 평균 10만 암페어이다.

라. 무선전파에너지(RF에너지)

라디오, 텔레비전, 무전기, 레이더의 방송국, 무선국, 중계소 등에서 방사시키는 전기 에너지는 공중으로 전파되어 이동한다. 이러한 전기에너지를 RF에너지라 한다. 이 에너지가 발파회로와 수신역할로 동조를 하면 큰

전류가 흐르게 되며 전기뇌관을 발화시킬 수 있는 에너지가 발생하게 된다. 외국에서는 RF에너지에 의한 전기 뇌관의 폭발사고가 종종 있었으며, 우리나라는 아직까지 이러한 사례가 없었다. 실제로 무선전파에너지에 의한 기폭 가능성은 희박하다고 한다.

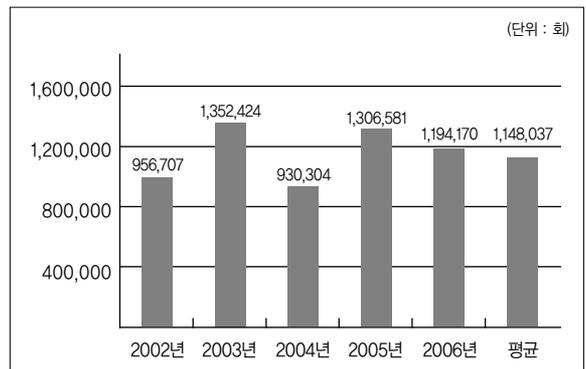


그림 1. 연간 낙뢰 발생 빈도 현황

표 2. 종류별 안전거리(Blaster's Handbook, ISEE, 1998)

AM송신기에 대한 안전거리	
송신전력(W)	거리(m)
5 ~ 25	30
25 ~ 50	46
50 ~ 100	67
100 ~ 250	107
250 ~ 500	137
500 ~ 1,000	198
1,000~2,000	305
FM이동송신기(무전기에 대한 안전거리)	
송신전력(W)	거리(m)
1 ~ 10	2
10 ~ 30	3
30 ~ 60	5
60 ~ 250	9
250 ~ 600	14
고압 송전선의 전압에 따른 안전거리	
고압 송전선의 전압(V)	안전거리(m)
~ 70,000	22
70,000 ~ 100,000	26
100,000 ~ 130,000	30
130,000 ~ 220,000	40
220,000 ~ 400,000	60

마. 고압선

고압선 근처에서의 발파는 발파회로의 고압선에 의한 손상과 전자장에 의해 유도되는 전기에너지, 중립도체 전선을 흐르는 전류가 불균형으로 접지된 철탑이나 전신주 등을 통해서 지표로 흐르는 미주전류와 폭발시 회로의 분리로 공중으로 튀어올라 고압선에 접촉되는 경우 등의 위험이 있다.

2.2 발파작업 단계별 전기적 위험성 (표 3 참조)

2.3 전기뇌관으로 인한 사고 사례

발파 작업시 안전사고의 가장 큰 원인은 뇌관에 의한

표 3. 발파작업 단계별 전기적 위험성

작업명	인체와의 접촉여부		외부전류유입 가능성	
	관체	각선	관체↔각선	각선↔각선
천공	없음	없음	가능	불가
장약·전색	있음	없음	가능	불가
결선·점화	있음	있음	가능	가능
도통시험	없음	있음	가능	가능
결선불량처리	없음	있음	가능	가능
발파	없음	없음	가능	가능

것으로 특히, 적용하는 뇌관 형식에 따라 지배를 받는 경향이 있다. 이러한 발파작업시의 안전사고를 원인으로 보면 표 4와 같다.

3. 전기뇌관의 안전관리 규정

총포 도검 화약류등 단속법에 의한 전기뇌관의 안전관리규정은 아래와 같다.

- 가. 전기뇌관에 대하여는 도통시험 또는 저항시험을 하되 미리 시험전류를 측정하여 0.01암페어를 초과하지 아니하는 것을 사용하는 등 충분한 위해예방조치를 할 것(법 18조 및 시행령 제16조 1항 8호)
- 나. 낙뢰의 위험이 있는 때에는 전기뇌관 및 전기도화선에 관계되는 작업을 하지 아니할 것(법 18조 및 시행령 제16조 1항 9호)
- 다. 발파하고자 하는 장소에 누전이 되어 있는 때에는 전기발파를 하지 아니할 것(법 18조 및 시행령 제18조 1항 11호)
- 라. 전기뇌관류를 취급하거나 전기회로의 연결작업을 하는 사람은 미리 몸에서 정전기를 일으키는 물건을 제거할 것(법 18조 및 시행령 제18조 2항 8호)
- 마. 전기뇌관을 운반하는 때에는 각선이 노출되지 아니

표 4. 발파작업시 안전사고 원인

원 인		내 용				
화 약 류 폭 발	정 전기	나일론 작업복 착용등의 원인으로 인체 정전기 발생으로 인한 폭발 (뇌관폭발 에너지 3~4 mJ < 인체정전기에너지 5mJ)				
	누설전류	누설전류 측정기의 측정값이 0.1A 이상 발생 시 뇌관취급 중지 및 누설 부위 확인 조치 후 작업 재개 (원인불명시 비전기식뇌관 대체 사용)				
	취급부주의	전기뇌관을 잡고 각선을 풀 때 과도한 힘으로 인하여 각선 이탈시 점화약과 마찰이 일어나면서 뇌관발화 → 약 8~10kg의 외력으로 이탈 발생				
	낙뢰,분진, 눈보라	좌측의 원인으로 인한 다량의 정전기 발생(전기회로가 차단된 경우에도 최소 64mJ로 기록)				
		원 인	전압(kV)	정전용량(pF)	정전에너지(mJ)	비 고 분진의 경우 정전 용량이 불명이나 폭발했음
눈 보 라		10 ~ 15	40	2 ~ 4.5		
분 진		60	-	-		
ANFO장전시	10 ~ 14	269	13 ~ 26			
	낙뢰	수백만	-	-		
무선전파	발파회로가 무선전파에 노출되면 전류가 유도되어 뇌관 발화 가능 (대기는 부도체이나 습도, 온도에 따라 전자의 영향을 받음)					

표 5. 발파사고 현황

발 생 일	사 고 개 요	인명피해
93.3.27	지하철 공사현장에서 터널 장약 작업중 누전에 의해 전기뇌관 및 화약이 폭발함	사망 1명 부상 5명
00.6.9	천안 - 논산간 고속도로 터널공사중 낙뢰에 의한 뇌전류가 Water Pipe를 통해 터널내부로 유입되어 전기뇌관을 기폭시킨 것으로 추정	사망 2명 부상 6명
00.6.29	서해안고속도로 터널 현장에서 낙뢰에 의한 전류가 수맥을 따라 사고지점까지 유입되어 부분발파가 일어난 것으로 추정	사망 1명 부상 2명

하는 용기에 넣어야 하며, 건전지 그밖의 전선이 노출된 전기기구를 지니거나 전등선·동력선 그밖의 누전될 염려가 있는 물건에 접근하지 아니할 것(법 18조 및 시행령 제19조 1호)

이러한 전기적 위험성에 노출되어 있는 전기뇌관의 문제점을 해결할 수 있는 방안은 절연테이프를 이용한 테이핑, 슬리브나 단락구 등 다른 물리적인 장치를 이용한 방법이 있으나, 근본적인 안전성을 확보하기 위해서는 비전기뇌관을 사용하는 것이 유리하다.

산업안전 보건법의 발파작업 표준 안전 작업 지침(고시

번호 : 고시 제 2001-17호)에서는 제4조 작업주의의 4항에서 “뇌우나 심한 모래바람이 접근하고 있을 때는 화약류 취급이나 사용 등 모든 작업을 중지시키고 작업자들을 안전한 장소로 대피시켜야 한다. 외부에서 발생하는 전기에 의해 전기뇌관이 우연히 점화되는 것을 방지하기 위해 적절한 제어조치를 하여야 한다.”라고 되어 있으며, 제34조(방법의 결정)의 1항에서는 “사전에 미주전류의 유무를 검사하고 미주전류가 있는 장소에서는 전기발파를 해서는 안된다.”고 규정하고 있다.

터널공사 표준 안전 작업 지침-NATM공법(고시번호 2001-16호)의 고시 내용을 보면 제7조 7항에서 “화약류

를 장전하기 전에 모든 동력선 및 활선은 장진기기로부터 분리시키고 조명회선을 포함한 모든 동력선은 발원점으로부터 최소한 15m 이상 후방으로 옮겨 놓도록 하여야 한다.”라고 하고 있으나, 실제 작업시에는 조명시설 및 장약차량이 막장에 근접하여 실시하고 있어 언제든지 외부 전류에 의한 폭발이 일어날 수 있다. 전력선과 전기발생장치(조명, 장전차량, 용수용펌프 등)가 인접한 터널 막장에서 전기뇌관을 사용하는 것은 산업안전 보건법에서 제시한 안전지침을 무시하는 것과 같다. 다음 장에서는 이러한 비전기뇌관에 대해 살펴보도록 하겠다.

4. 비전기뇌관이란

4.1 원리 및 구조

비전기뇌관은 1970년 초에 전기적으로 점화되는 전기뇌관에 대해 안전 대책으로 개발된 제품으로 국내에서는 1990년 초반부터 도입되었다. 기폭시스템은 전기뇌관과 도폭선 시스템의 장점을 조합한 형식으로 위력이 매우 작은 약도폭선에 해당하는 시그널튜브와 MS 뇌관에 해당하는 공저기폭뇌관으로 이루어져 있다. 점화 에너지 전달법으로서 개발된 시그널 튜브는 외경 3.0mm, 내경 1.5mm의 가운데가 비어있는 플라스틱 튜브이며 이 내벽에 얇은 폭약이 도포되어 있으며(폭약 HMX, 0.02g/m), 이 튜브를 한쪽에서 기폭시키면, 도포된 폭약이 튜브 내에서 미분말의 부유 상태로 폭굉하고, 약 2,000m/sec의 속도로 화염을 빠르게 전파시킨다. 불길을 내뿜어도 튜브는 폭굉하지 않으며 충격, 마찰에 대하여서도 극히 안전하며 통상 생각되는 기계적 타격, 마찰로는 폭발이 발생되지 않고 인장, 마찰 내압 등 기계적 강도는 높다. 이렇게 튜브를 통해 전파되는 화염에 의해 뇌관을 기폭 시키게 되며 이러한 비전기 뇌관의 특성은 4.2와 같다.

4.2 종류

비전기뇌관은 공저뇌관과 연결뇌관으로 분류되며, 공저뇌관에는 MS, LP, DHD으로 나뉘고, 연결뇌관은 TLD, 번치커넥터, 스타터로 구분된다.

4.2.1 공저뇌관

가. MS/LP 뇌관

MS는 0~380ms(20단)까지 20ms의 단별 지연초시를 갖는 지발뇌관이며, LP뇌관은 100~500ms 간격의 비교적 긴 단별 지연초시를 가지고 25단으로 구성된다. MS 및 LP 뇌관으로 조합하여 사용할 수 있는 최대 단차는 42단차이나, 연결뇌관을 사용하면 무한단차로 확장이 가능하다. 대체로 벤치, 터널 등에서 효율적인 발파를 위해 사용되고 있다.

나. DHD(Down-Hole Delay Detonators)

DHD는 기폭용 뇌관으로 발파공 내에 사용되는 뇌관으로서, 400, 425, 450, 475, 500ms 5가지가 있다. 주로 노천 발파에서 안포장전기를 사용할 때나 수중발파에서 사용되고 있다.

4.2.2 연결뇌관

가. TLD(Trunk-Line Delay Detonators)

비전기식 튜브의 한쪽 방향에서 전달되어 오는 충격파를 받아 증폭하여 많은 튜브를 연결시켜주는 역할로, 뇌관의 위력은 보통 뇌관의 1/3정도이며, 1개의 커넥터에 5~8개의 시그널튜브를 연결할 수 있고 0, 17, 25, 42, 67, 109ms의 6가지 자체 단차를 가지고 있어 조합을 통해 무한대의 다단발파가 가능하다.

나. 번치커넥터(Bunch Connector)

여러 개의 시그널튜브를 묶은 묶음과 묶음을 연결하는 뇌관으로 주로 터널발파에 사용된다. 뇌관과 도폭선

이 결합된 형태로 도폭선으로 20개의 시그널튜브를 연결할 수 있으며, TLD와 같이 0, 17, 25, 42, 67, 109ms의 6가지 자체 단차를 가지고 있어 조합을 통해 무한대의 다단발파가 가능하다.

다. 스타터(Starter)

뇌관의 원격기폭용으로 시그널튜브의 길이가 50~100m이며, 단차는 0ms로 안전거리를 확보하기 위해 발파모선 역할을 수행하게 된다.

4.3 비전기뇌관 사용시의 장점

4.3.1 공사 기간

전기뇌관은 MS, LP 단차가 42단차만으로 조합할 수 있기에 진동 및 소음에 제한을 받는 지역에서는 분할발파 및 소발파를 실시하여야 하므로, 공사기간(대기시간, 발파시간 등) 증가, 비석의 위험 및 민원 증가 등의 장애를 초래한다. 그러나 비전기뇌관은 단차가 무한대이므로 대발파가 가능하여, 미주전류가 발생해도 사용이 가능하므로 작업량을 증가시켜 공사기간을 단축할 수 있다.

4.3.2 민원의 해소

전기뇌관 사용시 단차의 제한에 따라 지발당 장약량의 증가로 진동 및 소음이 증가 경향이 있으나, 비전기뇌관 사용시 단차가 무한대이므로 지발당 장약량을 감소시켜 진동 및 소음이 감소될 수 있다

4.3.3 효율성

전기뇌관은 ANFO를 사용하는 현장이나, 외부 미주전류가 발생하는 터널현장에 사용시 큰 위험이 따르며, 단차의 제한으로 인하여 1회 발파량이 한정되고, 많은 공을 여러 번에 나누어 발파할 때 자유면의 효과를 기대할 수 없어서 대과의 발생량이 증가하고 색석이 감소한

다. 비전기뇌관은 번치케넥터와 표면연결용 뇌관을 사용하여 무한대의 지연단수를 얻을 수 있어 다수의 발파공을 기폭시킬 수 있으며, 초시 정밀도가 우수하여 발파 효율성, 버력(파쇄석)의 크기 및 이동방향을 조절할 수 있다.

4.3.4 안전성

- ① 비전기뇌관은 정전기, 미주전류, 낙뢰, 무선전파에너지, 고압선 등에 안전하다.
- ② 시그널튜브는 인장력이 강해 결선 작업시 뇌관의 탈락 등의 위험성이 적다.
- ③ 비전기뇌관은 외부의 화염, 마찰, 충격, 열 등 기계적인 에너지에 강하다.
- ④ 전기뇌관 사용 시, 무전기, 라디오나 레이더 전파에 의해 기폭이 될 수도 있으므로 위험하다.

4.3.5 품질

- ① 비전기뇌관은 전기뇌관에 비하여 단차가 매우 정확하며 각선이 튼튼하다.
- ② 타 뇌관에 비해 공내뇌관과 표면뇌관의 종류가 풍부하여, 현장적용성이 뛰어나다.

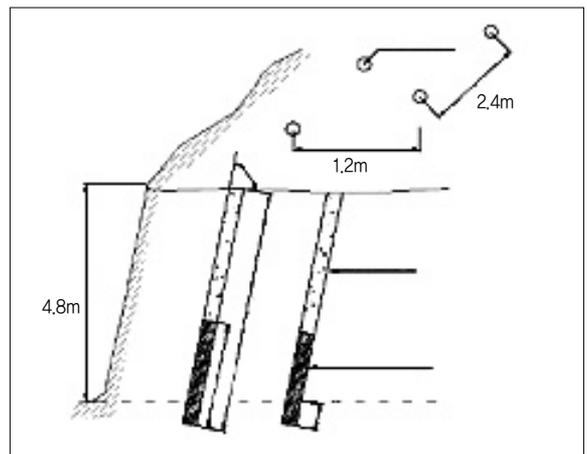


그림 2. 천공 예시도

표 6. 패턴 설명

구 분	내 용
적용패턴	벤치 또는 Trench 형태
자유 면	1자유면이상의 다자유면
결 선 법	공저뇌관에 TLD 또는 벤치커넥터를 연결한 단차 분할

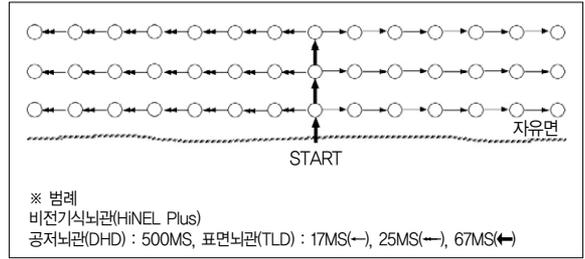


그림 3. 발파패턴도 사례

터널종류 : 도로 터널

천공경(mm)	천공장(m)	굴진장(m)	천공수(공)	단면적(m ²)	비장약량(kg/m ³)
45	3.5	3.2	155	98	1.21

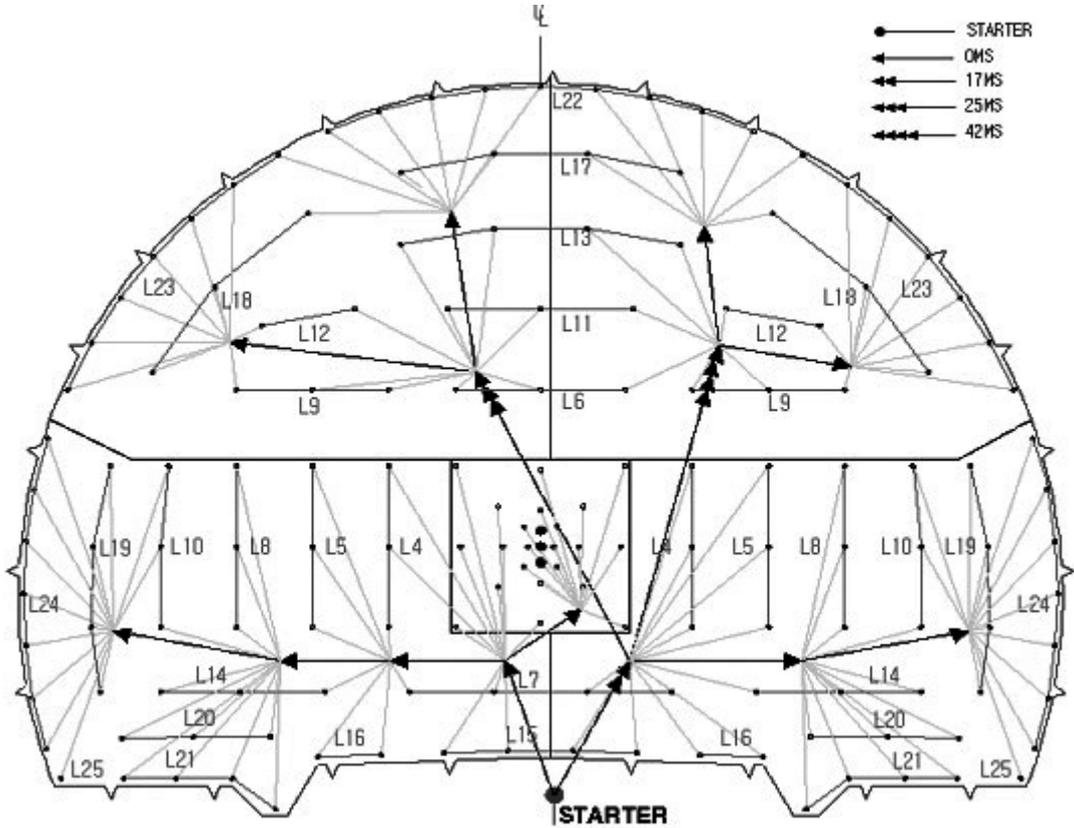


그림 4. 터널 사례

- ③ 비전기뇌관 사용 시, Deck Charge가 쉽고 경제적이며, 진동 및 소음이 대폭 감소시킬 수 있다.

5. 현장 적용 사례

5.1 노천 사례

- 가. 천공 예시도 (그림 2 참조)
- 나. 패턴 설명 (표 6 참조)
- 다. 발파패턴도 사례 (그림 3 참조)

5.2 터널 사례 (그림 4 참조)

6. 결 론

최근 국내 건설현장의 관점은 시공의 편의성 보다 안전을 강조하고 이를 지키고자, 많은 위해 요소들을 제거하고 현장의 안전을 확보해 왔다. 그러나 정작 가장 많은 위해적인 위험성을 내포하고 있는 발파 작업에 대한 충분한 안전기준이 없음을 사실이다.

발파작업시 사용되는 화약류와 화공품에 대한 법적 규제는 총포 도검 화약류등 단속법에 의거 경찰의 통제를 받고 있지만, 실제 현장에서 작업시 노출되는 안전상의 위험은 쉽게 간과되고 있다. 그 중 가장 위험도가 높은 뇌관에 대해서는 그 편의성 및 저렴한 가격을 이유로 전기뇌관을 주로 사용하고 있으나, 이에 대한 적절한 안전기준이 미비한 상태이다. 전기뇌관은 작업장의 전기적인 위험과 외부에서 발생되는 즉 낙뢰나 유도 전류에 대한 안전성이 매우 취약하여 세심한 노력과 주의가 요구된다.

전국적으로 낙뢰 사고가 빈번히 발생하고 있는 가운데 도로·터널 등 건설 현장의 대형 안전사고를 막기 위

한 대책 마련이 시급한 것으로 보인다.

무엇보다 토목공사 현장의 발파작업 과정에서 낙뢰로부터 안전한 비전기 뇌관을 사용함으로써 예상치 못한 폭발사고를 예방해야 한다는 것이다.

미국의 경우 전체 뇌관 사용량중 비전기뇌관의 사용량은 90%수준으로 발파현장에서 비전기뇌관을 사용하는 것이 보편화되어 있다. 그러나, 국내의 경우에는 터널 공사에 비전기뇌관이 일부 사용되고 있으나, 전체 사용되는 뇌관의 15%수준으로 활용도가 매우 낮은 편이다. 전기뇌관은 상대적으로 가격이 저렴하고 기폭력도 우수하며 사용도 간편하지만 외부에서 낙뢰 등 전류가 유입될 경우 대규모 폭발사고와 그로 인한 인명피해가 발생할 우려가 있다. 특히 전기뇌관은 발파작업의 '단차'가 제한적이어서 위치에 따라 분할발파 및 소발파를 실시해야 하는 데 비해 비전기뇌관은 대발파가 가능하기 때문에 한꺼번에 작업량을 늘려 공사기간을 단축할 수도 있다.

비전기뇌관은 또 진동과 소음을 줄여 민원을 방지하고, 단차와 정밀도가 우수하며, 현장 적용성이 뛰어난 장점을 두루 갖추고 있다. 그러나 문제는 단가 차이로 전기뇌관의 m³당 단가는 1,458원이고 비전기뇌관은 2,183원으로 비전기뇌관이 40%가량 비싸다. 이같은 가격차가 비전기뇌관의 광범위한 적용에 걸림돌로 작용하고 있다.

가령 1km연장의 2차선 터널을 굴착할 경우 전체 공사비 60억원중 화약비용은 2.8억원, 전기뇌관 비용은 0.7억원이 소요된다. 만약, 전기뇌관에서 비전기뇌관으로 전환하여 사용한다면 뇌관비용은 약 0.3억원 상승하게 되는데 전체 공사비에 비교한다면 0.5%수준으로 그 비용 증가는 매우 미미하고, 발파 현장에서 전기적인 안전성을 확보하여 재해 위해 요소를 제거한다는 안전 측면에 비한다면 비전기뇌관을 적극 사용하여 발파현장의 안전사고를 미연에 방지하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 발파작업 표준안전작업지침, 2001.01.09, 산업안전보건법 노동부 고시(고시번호 : 고시 제2001-17호)
2. 터널공사 표준안전작업지침-NATM공법, 2001.1.09, 산업안전보건법 노동부 고시(고시번호 : 고시 제 2001-16 호)
3. 암발파관련 감리지침(안), 2002.05, 건설교통부 감사관실
4. 터널 발파작업 시공관리 지침서, 건설교통부
5. 전기뇌관의 안전상의 문제점 고찰, 2002, 총포·화약 안전기술협회 연구보고서
6. 건설현장의 발파작업안전, 2000.08, 산업안전공단
7. 암발파 설계 기법에 관한 연구, 1993, 한국토지개발공사, pp543-545
8. 김성호, 1998, 비전기식 뇌관(하이널)의 품질 특성에 관한 연구, 강원대학교 석사학위 논문
9. 원연호 외, 1999, NPED에 대한 고찰, 한국암반공학회 발파기술 세미나 논문집
10. 최영천, 2004, 비전기뇌관의 발파와 기본설계 및 시공, 대한화약발파공학회 22권
11. 강대우, 1988, 알기 쉬운 발파공학, 구미서관, pp47-55
12. 강대우 외, 1995, 건설기술자를 위한 응용발파 기술, 구미서관, pp52-60
13. 기경철 외, 2002, 산학인을 위한 발파기술, 동화기술, pp70-73
14. 서동열, 1994, 발파실무, 원기술, pp502-520
15. 윤지선, 1996, 발파기술, 구미서관, pp109-115
16. 윤철현, 1997, 화약발파 해설, 구미서관, pp78-88
17. 편집부, 1997, 새로운 발파기술, 원기술, pp57-63
18. Persson, P-A, Roger Holmberg, Jainmin Lee, 1993, Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, pp160-170
19. Gustafsson, R., 1973, Swedish Blasting Technique, Nora BoktryckeriAB
20. Oloffsson, S. O., 1990, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Nora BoktryckeriAB, pp49-58
21. U. Langefors and R. Kihlstrom, 1978, The modern technique of Rock Blasting
22. E.I.Du Pont de Nemous and Co., 1977, Blaster's Hand Book, pp373-381
23. Chareles T. Jordan, 1988, United states patent(19), No. 4727808