연 재 I

그림으로 이해하는 발파실패 및 사고사례

I. 전 기 뇌 관

1. 1 발파기의 용량이 적으면 전기뇌관이 부분적으로 터지지 않는 경우가 생길 수 있다.

저항이 큰 뇌관과 작은 뇌관을 직렬로 연결하고 전기를 흘려주면, 저항이 큰 뇌관이 더 빨리 터진다. 전류가 저항이 큰 뇌관을 통과할때에는 힘이 더 많이 소요되므로 열이 더 나기 때문이다.

이 시간차이가 4ms 이하일 때에는 동시에 터지지만 4ms 이상일 때에는 저항이 작은 뇌관은 터지지 않을 수가 있다. 왜냐하면, 저항이 큰 뇌관이 먼저 기폭되어 회로를 차단시켜 뇌관들은 터지지 않기 때문이다.

이 시간차이는 전류의 크기에 따라 변하며 표 1은 뇌관들이 4ms 이내에 터지는 한계전류와 안전기폭전류를 나타내는 표이다.

방지방법

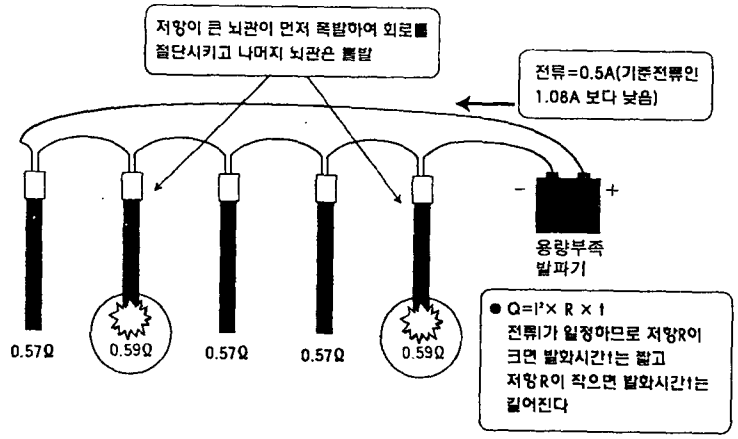
발파기의 용량을 사전에 점검하여 용량에 맞도록 발수를 조정한다.

Table 1은 뇌관수에 따른 한계전류와 안전기폭 전류를 나타내는 표이며 안전기폭 전류에 맞추어 설계를 하여야 한다.

※발파용량측정기 : 제조사 일본닛산(NISSAN)

Table 1. 뇌관 발수에 따른 한계전류와 안전기폭전류

뇌 관 수	2	5	10	20	50	100	200
한계전류(A)	0.98	1.08	1.13	1.18	1.27	1.37	1.42
안전기폭(A)	1.5 이상				2~4	4~5	5~8



1. 2 제조회사가 다른 전기뇌관을 같이 사용하면 부분적으로 터지지 않는 경우가 생길 수 있다.

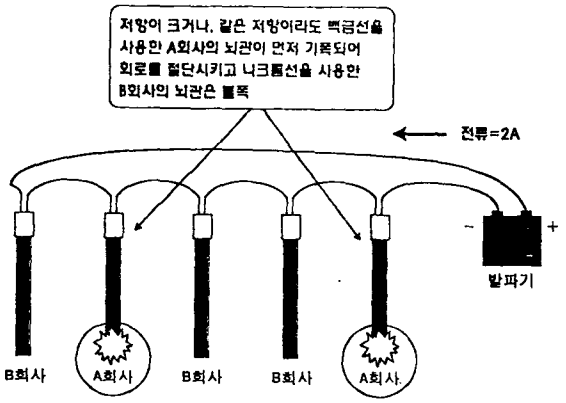
전기뇌관의 발화감도는 각 회사마다 다르며 예민한 것을 만드는 회사의 제품이 먼저 발화하여 회로를 차단시키고, 둔감한 것을 만드는 회사의 제품은 불발이 된다.

그러나 둔감한 것이 성능이 나쁜 것이 아니며, 감도가 예민한 것이나 둔감한 것이나 차이는 없다. 단지 동일 회로상에 예민한 것과 둔감한 것이 섞이지 않도록 주의해야 한다.

다음 Table 2는 발열선의 종류와 사용국가를 나타낸 표이다

Table 2. 발열선의 종류와 사용국가

발열성의 종류	사 용 국 가
백금선	한국, 일본등
니크롬선	미국, 유럽등



방지방법

다른 회사 또는 다른 종류의 뇌관(발열선의 저항이 다르거나 저항이 같더라도 발열선의 종류가 다른 뇌관)을 동일회로내에 사용하지 않도록 해야한다.

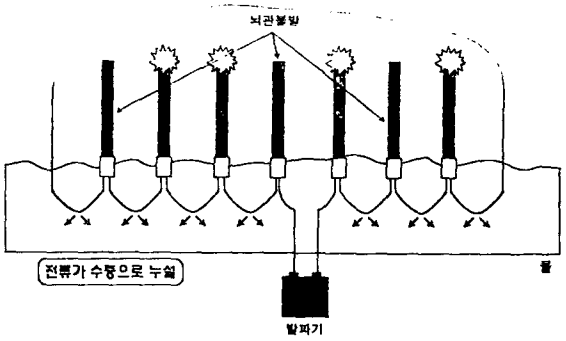
1. 3 물은 많은 전류를 잡아 먹기 때문에 각선결선부가 물이 있는 지면이나, 수중에 감긴 상태로 발파를 하면 부분발파가 일어나는 경우가 있다.

전류가 누설되는 조건에서는 완전한 동시점화(제발효과)를 기대할 수 없다.

다음 Table 3은 전류가 누설되면 동시점화성(제발성)이 떨어진다는 것을 나타내는 시험결과이다.

Table 3. 누설매체에 따른 제발수

발파기종류	발파기 A			발파기 B		
누설매체	공중	수중	0.5% 식염수중	공중	수중	0.5% 식염수중
제 발 수	65	36	14	88	55	14



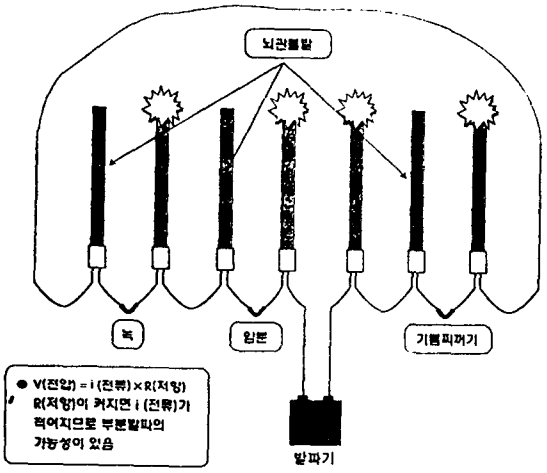
방지방법

결선부위에 물이 닿지 않도록 선치를 하고 결선부는 반드시 절연테이프 등으로 감아 방수조치를 한다

동선의 피복이 벗겨진 곳도 있는지 점검하고, 벗겨진 곳이 있으면 절연테이프 등으로 감아 방수조치하고 사용한다.

1. 4 각선 결선부가 녹이 슬거나, 흙, 찌꺼기, 암분 등이 끼어 더러운 상태가 되면 전기가 잘 안통하여 부분발파가 일어나는 경우가 있다.

저항을 크게하는 요인들, 즉 각선 결선부에 녹이나, 흙, 찌꺼기, 암분 등이 끼어 더러워지면 접촉저항이 증가하여 전류의 흐름을 방해하며 뇌관들의 동시점화성(제발성)을 떨어 뜨리게 된다.



방지방법

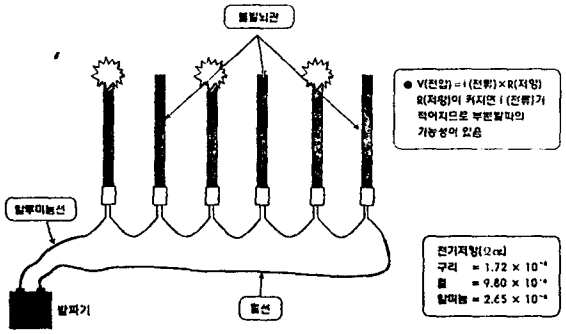
녹슨 동선을 제거하고 사용하며, 결선부위는 흙, 찌꺼기, 암분 등이 끼지 않도록 하여 절연테이프 등으로 감은 다음에 발파를 하도록 한다.

1. 5 철선이나 알루미늄선등 저항이 큰선을 연결하여 발파를 하면 부분발파가 일어나는 경우가 있다.

철선이나 알루미늄선은 동선에 비해 저항이 커 전류의 흐름이 약하므로 부분발파가 일어날 수 있다. 다음의 Table 4는 저항이 큰 철각선을 사용했을 때 동시점화성(제발성)이 떨어진다는 것을 나타내는 시험결과이다.

Table 4. 동각선과 철각선의 재발 수

발파기종류	발파기 A		발파기 B		발파기 C	
각선종류	동각선	철각선	동각선	철각선	동각선	철각선
재발수	65	17	88	23	270	80



방지방법

반드시 저항이 적은 동선을 사용하도록 한다. 다음은 발파모선과 보조모선의 사양이다.

Table 5. 발파보선과 보조모선의 사양

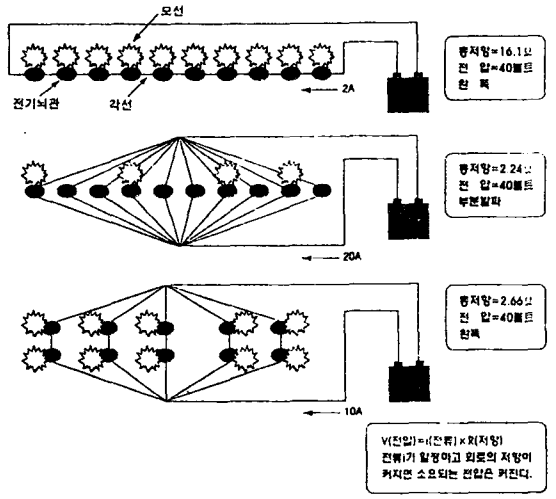
모 선		도 체			저항
명칭	종류	단면적	단선수/선경	외경(mm)	(Ω/m)
발파모선	연선	0.75	30/0.18	1.2	0.0255
		1.25	50/0.18	1.5	0.0153
		2.00	37/0.26	1.8	0.0098
	단선	번호	선경(mm)	저항(Ω/m)	
		14	1.628	0.0083	
		16	1.291	0.0132	
		18	1.024	0.0209	
보조모선	단선	22	0.644	0.0529	
		25	0.450	0.1118	

1. 6 직렬로 발파가 되는 전기뇌관이 병렬로 연결하여 발파하면 부분발파가 일어나는 경우가 있다.

병렬발파는 직렬발파보다 전압이 많이 필요하다. 따라서 직렬연결에서 동시점화(제발발파)가 되었다 하더라도 병렬발파에서는 전압이 부족하여 부분발파가 될 수 있다.
다음의 Table 6은 결선방법에 따른 소요전압의 차이를 나타낸다.

Table 6. 결선방법에 따른 소요전압의 차이

결선방법	소요전압	비 고
직렬결선(10개)	32.2V	뇌관의수=1.4Ω(총10개사용) 모선저항=총2.1Ω 발파기 저항=0Ω 소요전류=2A/발
병렬결선(10개)	44.8V	
직병렬결선 (2직렬5병렬)	26.6V	



방 지 방 법

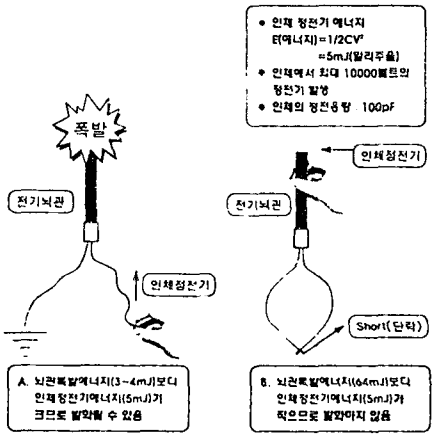
병렬발파 할 때는 직렬발파할 때 보다 전압이 약 40% 더 소요되므로 가능한 병렬발파보다는 직렬발파를 하도록 한다. 또한 직렬발파로 전압이 부족하다고 판단되면, 전압이 약 40% 덜 소요되는 직병렬발파를 하도록 한다.

1. 7 나일론 등의 옷을 착용하고 뇌관을 취급하면 정전기가 많이 발생되어 정전기가 뇌관을 폭발시키는 경우가 있다.

뇌관으로 정전기에너지가 유입되는 경로는 아래의 그림과 같이 2가지로 생각할 수 있다. 그림A는 전기회로가 구성되어 정전기가 선을 통해 흘러 들어가는 경우로 최소 3~4mJ 의 에너지로 기폭이 된다.

반면에 그림 B는 회로가 차단되어 관체와 전교사이에서 스파크가 발생되어 점화약이 점화되는 경우로 내정전기뇌관일 때 64mJ 이상의 에너지로 기폭된다.

인체에서 발생되는 정전기는 최대 10,000볼트이고 정전용량은 100pF 인데, 이것을 에너지로 계산하면 5mJ 이 되므로 그림 A의 경우에는 발화가 될 수 있지만, 그림 B의 경우는 안전하다.
따라서 그림 A의 경우와 같은 상황이 되지 않도록 주의해야한다.

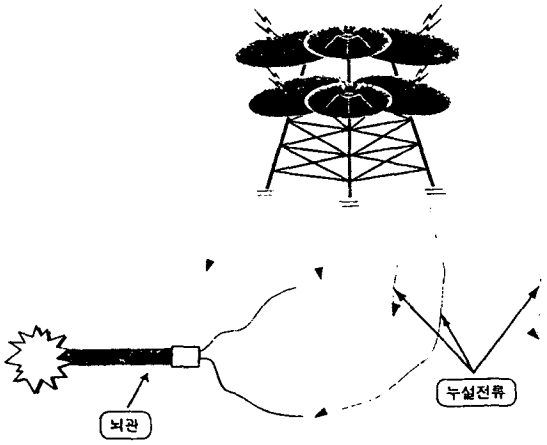


방지방법

뇌관을 취급할 때는 반드시 면으로 된 옷과 도전화 신발을 신도록 하고 물 등으로 손을 씻어 인체정전기를 제거하도록 하며, 뇌관을 연결하기 전까지는 결선부위를 풀어서는 안 된다.

1. 8 누설전류가 있는 곳에서 전기뇌관을 취급하거나 발파작업을 하면 조기폭발되는 사고가 일어나는 경우가 있다.

누설전류(미주전류)가 있을 때에는 전기발파를 해서는 안 된다고 화약류단속법에 규정되어 있다. 누설전류설치의 상한에 관해서는 특별히 규정되어 있지 않으나, 전기뇌관이 발화하는 최소점화전류는 약 0.3~0.4A이므로 안전율을 감안하여 0.1A 이상의 전류가 발전되는 경우 위험하다고 판정한다. 그러나 어쨌든 약간의 누설전류(미주전류)가 있는 곳에서는 사용하지 않는 것이 좋다.



방지방법

누설전류 검지기로 사전에 누설전류 여부를 확인하고 누설전류가 감지되면 전기뇌관 사용을 금지하고 비전기뇌관이나 도폭선발파를 사용하도록한다.

※ 누설전류 검지기 제조사 : 미국 FLUKE사

1. 9 낙뢰, 번개, 눈보라 및 분진이 다량있는 곳에서 화약을 취급하거나 발파작업을 하면 조기폭발되는 사고가 일어나는 경우가 있다.

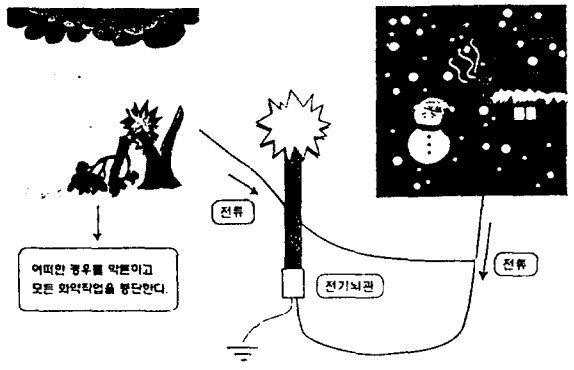
뇌관은 전기회로가 구성된 경우에는 최소 3~4mJ의 에너지, 전기회로가 차단된 경우에는 최소 64mJ의 정전기에너지로 기폭이 된다.

Table 7은 여러 가지 조건에서 발생되는 정전기 에너지이며 어느 경우에라도 전기회로가 구성된 상태로 전기뇌관을 취급하면 발화될 수가 있다.

전기회로를 단락시켰더라도 낙뢰, 번개시의 경우는 폭발할 수가 있다.

Table 7. 여러 가지 조건에서 정전에너지

조 건	전압 (KV)	정전용량 (pF)	정전에너지 $E=\frac{1}{2}CV^2$(mJ)	비 고
눈보라	10-15	40	2-4.5	※분진의 경우 정전용량이 불명이나 폭발했음 ※pF 10^{-12} farad
분 진	60	?		
ANFO 장전	10-14	269	13-26	
낙뢰,번개시	수십만	-	-	



방지방법

낙뢰,번개가 있을 경우에는 모든 화약작업을

중지하고 눈보라등 정전기가 다량 예상되는 경우에는 정전기 측정장치로 작업장의 정전기를 측정하여 정전기에너지가 64mJ 이상일 경우에는 작업을 중지하고 3~4mJ 이상이되면, 반드시 전류의 흐름을 차단하기 위해 단락을 시켜야 한다.

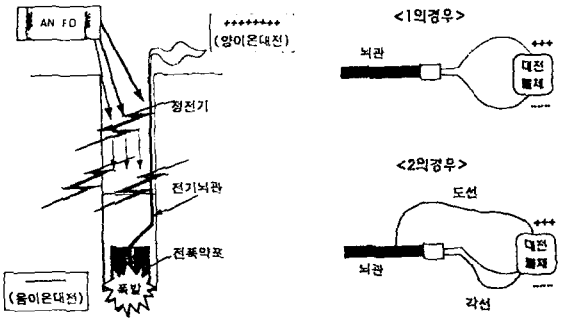
1. 10 AN-FO를 발파공에 장전하면 많은 이 발생되는데, 이 정전기가 전폭약포에 연결된 전기뇌관을 기폭시키는 경우가 있다.

1. 구성된 전기뇌관 회로로 정전기가 흘러들어갈 때 (사례 9 참조) 전기뇌관은 최고 3~4mJ의 에너지로 발화된다.
AN-FO 충전시 발생되는 에너지는 13~26mJ 이 되므로 부주의해서 전기회로를 단락시키지 않으면 발화될 수 가 있다.

2. 단락이 되어 정전기가 흘러들어가지 않을 때 전기뇌관의 결선부를 단락시키면 외부전류가 흘러들어가지 않으나, 정전기가 대전되면 전교와 관체와의 사이에 일어나는 방전불꽃에 의해 점화약이 발화한다.
일반뇌관은 16mJ의 정전기 방전불꽃(2000pF, 4000V)에서는 발화가 되나, 내정전기뇌관은 64mJ (2000pF, 8,000V) 이상에서 발화가 된다. 따라서 일반뇌관을 사용할 경우에는 발화할 가능성이 매우 높다.

※ 일반뇌관: $E=CV^2=\frac{1}{2}\times 2000\times 10^{-12}\times(4000)^2$
$=0.016mJ(16\ mJ)$

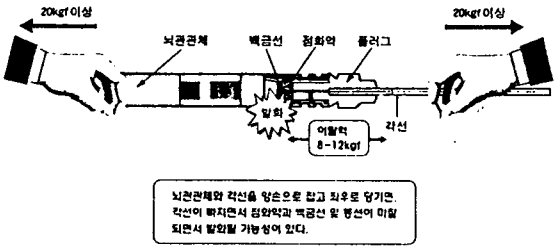
내정전기뇌관: $E=CV^2=\frac{1}{2}\times 2000\times 10^{-12}\times(8000)^2=0.064J(64mJ)$

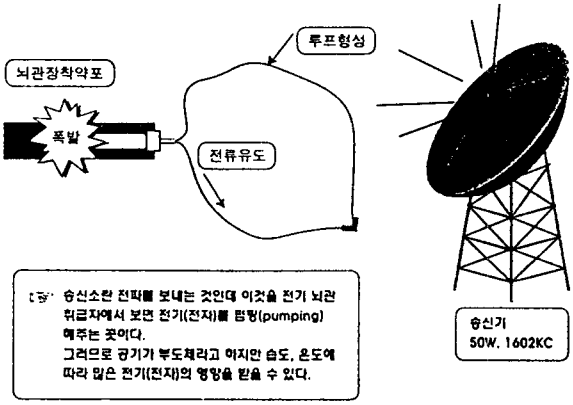


방지방법
AN-FO 사용시에는 초유폭약에 의한 발파의 기술상의 기준을 따르며, 비전기뇌관을 사용하도록 한다.

1. 11 전기뇌관을 잡고 각선을 잡아 당기면, 뇌관에서 각선이 빠지면서 발화되는 경우가 있다.

뇌관의 관체부분과 각선을 잡고 당기면, 약 8~10kgf 의 힘에서 이탈이 된다.
보통사람이 줄을 양손에 잡고 당기는 힘은 약 20kgf 이상이므로 사람이 각선을 풀때 부주의해서 뇌관관체를 잡고 당기면 빠질 수 있다. 점화장치내에 있는 각선의 끝부분은 전교(백금선)로 용접, 연결되어 있는데 만약 각선이 빠지게 되면, 점화약과 마찰이 일어나면서 뇌관이 발화될 수가 있다.





방지방법

뇌관 취급설명서에 나와있는 대로 각선을 풀을 때는 반드시 뇌관관체를 잡지말고, 뇌관관체 바로위의 각선과 각선을 잡고 풀어야 한다.

1. 12 무선전파가 있는 곳에서 전기뇌관을 취급하면 공기중의 전기(전자)가 전기뇌관으로 흘러 들어가 폭발사고가 일어나는 경우가 있다.

발파회로가 무선전파에 노출되면 전류가 유도되어 뇌관이 발화할 수 있다.
이를 증명하는 예로서, 배안에 50W(와트), 1602KC(킬로사이클)의 송신기를 준비하고, 송신안테나를 갑판상 25피트의 높이로 설치한 상태에서 송신기의 스위치를 넣는 순간에, 갑판상에 있는 전기뇌관을 장착한 5파운드의 폭약이 폭발했다. 시험의 결과로 송신기의 스위치를 넣었을때 발파회로에 0.42A의 고주파전류가 유도된 것이 검출되었다.

방지방법

(1) 송신기가 장착된 차로 전기뇌관을 운반할 때에는 밀폐금속 상자내에 넣어 운반하며, 전기뇌관을 상자에서 꺼내든가 또는 넣었을 때에는 송신기의 스위치가 끊어져 있는 것을 확인하고 행하여야 한다.

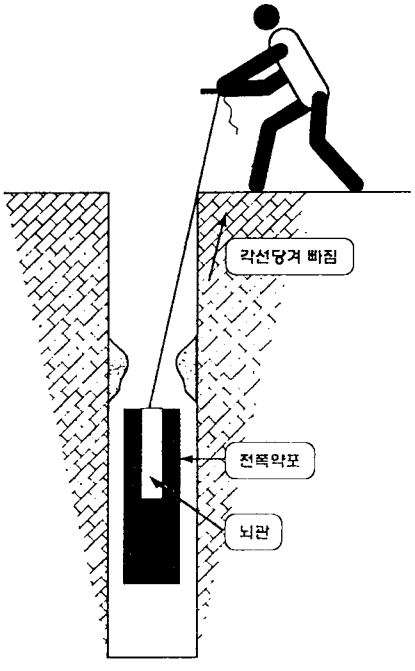
(2) 발파현장주변에 방송국, 무선국이 없는지 살펴본다. AM라디오 방송국은 최소한 2.7km, 30Hz의 무선국은 최소 17km, 이동안테나는 최소 0.4km, FM 라디오 방송국은 최소 3.1km, UHF 텔레비젼은 최소 1.85km 이내에서 화약작업을 금지해야 한다.

(3) 무전기가 탑재된 자동차는 발파현장에 접근하면 안되며, 접근시에는 무전기의 스위치를 꺼야 한다.

(4) 발파현장에서 무전기 및 휴대용 전화기의 사용은 가급적 자제해야한다.

1. 13 발파공에 전폭약포를 넣다가 중간에 걸렸을 때, 다시 뽑아 내려고 각선을 잡아 당기면 사례 1 1과 같이 뇌관에서 각선이 빠지면서 발화되는 경우가 있다.

뇌관의 관체부분과 각선을 잡고 당기면, 약 8~10kgf의 힘에서 이탈이 된다.
보통사람이 줄을 잡고 당기는 힘은 몸무게(평균 50kgf) 만큼 당길 수 있으므로 사람이 뇌관 장착된 전기뇌관의 각선을 당기면 각선만 빠질 수 있다.
점화장치내에 있는 각선의 끝부분은 전교(백금선)로 용접, 연결되어 있는데 만약 각선이 빠지게 되면, 점화약과 마찰이 일어나면서 뇌관이 발화될 수 있다.



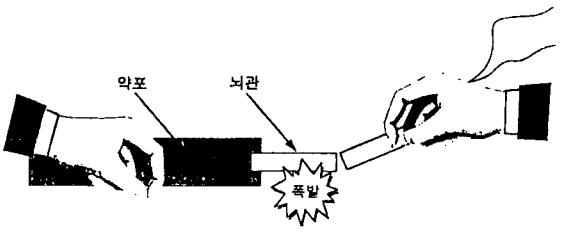
약포가 걸린 상태에서 각선을 당기면, 각선이 빠지면서 점화약과 백금선 및 동선이 마찰되어 발화될 가능성이 있다.

방지방법

전폭약포가 발파공 중간에 걸릴 경우, 절대로 다시 뽑으려 하지 말고 그 상태로 발파를 해야 한다. 발파의 효율은 떨어질지 몰라도 안전을 최우선으로 해야한다.

1. 14 전폭약포를 만들 때, 뇌관을 직접 약포에 삽입하면 뇌관이 부러지면서 폭발하는 경우가 있다.

뇌관의 관체와 점화장치를 결합하기 위해서 규제된 부분은 다른 관체부분보다는 강도가 약해져 있다. 따라서 이부분에 꺾는 힘을 줄때에는 규제된 부위가 부러지면서 점화장치의 점화약 부분에 마찰, 충격을 주어 발화시킬 수가 있다. 컵식점화장치(한국 및 일본)의 경우에는 점화약이 컵에 넣어져 있기 때문에 위험성이 적지만, 점화 옥식점화장치(미국 및 유럽)은 노출되어 있기 때문에 특히 위험하다.



뇌관통을 사용하지 않고 직접 뇌관을 이용하여 약포에 삽입하면, 뇌관에 힘을 가할 때 뇌관이 부러지면서 점화약이 마찰, 충격으로 발화될 수 있다.

방지방법

전폭약포를 제작할 때에는 반드시 나무로된 뇌관봉 등을 사용하여 약포에 구멍을 낸 다음 뇌관을 주의해서 천천히 삽입하여야 한다.