

비전기식 발파공법 기본설계 및 시공 사례

On the basic Design execution by Nonel-blasting method

안 명 석*

Ahn, Myong Suk

1. 서 언

비전기식 뇌관은 1979년도에 스웨덴의 니트로 노벨(Nitro Nobel)社에서 최초로 개발하여 낙뢰 및 고파로 인한 기폭 위험으로부터 전기뇌관보다 더욱 안전한 뇌관으로서 각광을 받고 있으며, 최근에는 국내에 도입되어 전기적인 안전뿐만 아니라 정밀한 초시, 발파소음·진동의 감소효과와 노천 및 터널발파에서의 다량발파에 이용되고 있다.

또한 비전기식발파공법은 최초 상품권자의 개발 및 적용으로 인해 비전기식 뇌관을 사용하여 발파하는 공법을 NONEL공법이라 부르기도 한다. 따라서 이의 기본적인 사용방법과 설계 및 시공사례를 소개함으로써 국내 발파기술 향상에 도움이 되고자 한다.

2. 비전기식 발파공법의 원리

(1) 개발 개요

비전기식 뇌관은 1960년대 말에서 1970년대 초에 전기적으로 점화되는 전기뇌관에 대한 안전대책으로 연구가 시작되어 1973년 PA. PERSSON박사에 의해 개발되고, 1979년에 스웨덴의 니트로 노벨사에서 최초로 생산 시파된 것으로 전기뇌관이 천둥번개시에 발생하는 낙뢰에 기폭될 수 있으며, 고주파로 방출되는 AM방

송의 전파로 생기는 수 억 볼트의 전압에 감전되어 그 전류의 불의의 대형사고가 발생하는 것을 방지할 수 있는 안전한 속연뇌관이라 할 수 있다. 현재는 니트로노벨사의 특허기간이 끝나 캐나다의 CIL, 미국의 Du Pont, 호주의 ICI, (주) 한화, 고려화약(주) 등에서 제조 판매하고 있으며, 우리나라에는 고려화약(주)의 NONEL, (주)한화의 HiNEL등의 제품이 '93년 6월부터 현재까지 생산 공급되고 있다.

(2) 원리와 특성

① 구성 및 원리

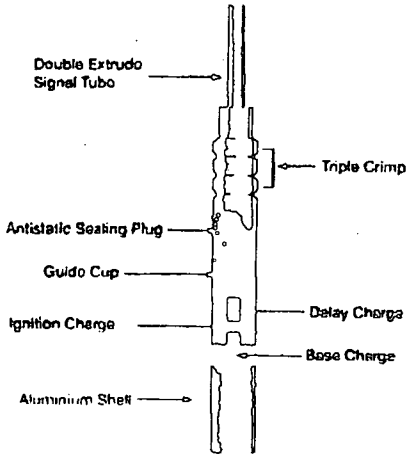
기폭 시스템은 단발전기뇌관과 도폭선 시스템의 장점을 조합한 형식으로서 위력이 매우 작은 弱도폭선에 해당하는 내경 1.5mm, 외경 3.0mm의 비닐튜브(표준형 HD는 +50℃까지 사용, 고온용 HT는 +65℃까지 사용)의 내벽에 HMX(High Melting Explosive, 연소속도 2,000m/sec)를 0.02g/m을 도포(coating)한 전기뇌관의 각선에 해당하는 점화튜브(Shock Tube)와 MS뇌관에 해당하는 공저기폭뇌관(UB Connector or TLD)으로 이루어져 있다.

기폭방법은 결선을 한 후 발파기를 사용하여 전기에너지를 공급하는 종래의 전기뇌관 기폭방법과는 전혀 다른 타격식으로 별도의 비전기식 뇌관 발화용 수동식발파기 및 원격조종발파기 혹은 스타터를 사용하여 기폭시킨다.

* 화약류관리기술사, 겸임교수

② 비전기식 뇌관의 특성

- ㉑ 점화단차가 무한대이므로 다단발파가 가능하다.
- ㉒ 결선작업이 신속 간단하고 작업능률이 좋다.
- ㉓ 외부로부터의 충격, 마찰 등의 기계적인 작용에 안전하다.
- ㉔ 정전기·미주전류·고압선·무선전파 에너지·낙뢰 등에 특히 안전하다.
- ㉕ 정확한 연시초시로 정밀발파가 가능하다.
- ㉖ 도통시험, 저항측정 등 결선 후 확인이 안된다.
- ㉗ 표면연결뇌관은 공저기폭뇌관 위력의 1/3정도다.
- ㉘ 기존 전기뇌관에 비해 가격이 2~3배 정도 더 비싸다.
- ㉙ 점화튜브의 연소음이 거의 없고, 튜브와 접하는 화약 및 물질에 영향을 주지 않는다.
- ㉚ 초시정밀도가 우수하여 단발조절발파가 가능하며, 발파효율을 증대시킬 수 있다.



〈그림〉 공저기폭 뇌관의 구조

3. 사용방법과 기본 설계

(1) 국내 시판 규격

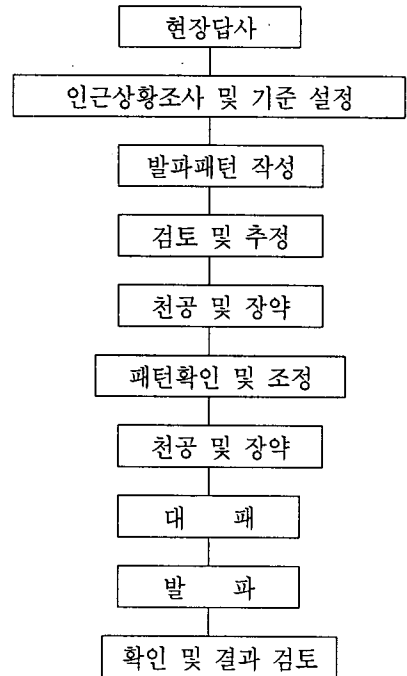
현재 국내에서는 '92년도에 부산 황령산 터널

공사와 함께 한국화약(주)에 의해 NONEL뇌관이 수입되어 터널발파에 적용 및 중단되었다가 고려화약(주)에서 에멀전폭약 및 비전기식뇌관 제조허가를 득하여 스웨덴의 니트로 노벨사와 기술제휴를 함으로써 '93년 6월부터 본격적으로 비전기식뇌관(NONEL)이 공급되기 시작하였으며, 이어서 호주 ICI社로부터 수입한 EXEL뇌관이 (주)한화에 의해 공급되기 시작하였으며, 최근에는 HiNEL이 수요자에게 공급되고 있다.

NONEL 및 HiNEL의 시판 규격과 품질이 처음에는 회사에 따라 조금씩 차이가 났으나, 최근에는 거의 비슷한 실정이며, 시판 규격은 다음 표와 같다.

(2) 사용방법

(가) 비전기식뇌관은 2.(2)①에서 설명한 공저기폭뇌관과 표면 연결뇌관으로 구바와 같이 점화튜브(Shock Tube)와 분된다. 점화튜브는 일반적으로 공저기폭뇌관, 표면연결뇌관과 결합이 되어 있으며, 결합된 표면연결뇌관은 튜브로 들어오



〈그림 3〉 비전기식뇌관 사용 순서

〈표 1〉 비전기식 뇌관의 시판 규격

New HiNEL & EXEL								NONEL							
MS시리즈		LP시리즈		D H D		T L D		GT/MS		GT/T		U Detonator		UB Connector	
단수	초시	단수	초시	단수	초시	구분	초시	번호	지연시간	번호	지연시간		지연시간	구분	지연시간
0	0					녹	0			0	25			녹	0
1	25	1	25			황	17			1	100			황	17
2	50					적	25			1.5	150			적	25
3	75					백	42	3	75	2	200			백	42
4	100	2	100			청	67	4	100	2.5	250			청	67
5	125					흑	109	5	125	3	300			흑	109
6	150						176	6	150	3.5	350				176
7	175							7	175	4	400				
8	200	3	200					8	200	4.5	450				
9	225							9	225	5	500				
10	250							10	250	6	600				
11	275							11	275	7	700				
12	300	4	300					12	300	8	800				
13	325							13	325	9	900				
14	350							14	350	10	1000				
15	375							15	375	11	1100				
16	400	5	400	16	400			16	400	12	1200	400			
17	425			17	425			17	425	14	1400	425			
18	450			18	450			18	450	16	1600	450			
19	475	6	500	19	475			19	475	18	1800	475			
20	500	7	600	20	500			20	500	20	2000	500			
		8	700							25	2500				
		9	800							30	3000				
		10	900							35	3500				
		11	1000							40	4000				
		12	1100							45	4500				
		13	1200							50	5000				
		14	1400							55	5500				
		15	1600							65	6500				
		16	1800							70	7000				
		17	2000							75	7500				
		18	2500							80	8000				
		19	3000												
		20	3500												
		21	4000												
		22	4500												
		23	5000												
		24	5500												
		25	6000												
색	백(튜브)	백(튜브)		백	색	주황색									
상	황(크립)	백(크립)													
길이 (m)	2.4/3.6/4.8/6.0			6/9/12/15 /18/21		2.4/3.6/4.7		4.8/7.8/15.0		6.0/7.8				2.4/4.8	

는 충격파를 다른 여러 개의 튜브에 전파하는 중계자 역할을 하며, 공저기폭뇌관은 이 전달된 충격파에 의해 주어진 단차별로 기폭이 된다.

점화튜브를 기폭시키는 방법은 ① 공업뇌관과 도화선을 결합하여 점화심으로 점화하는 법 ② 전기뇌관을 튜브에 밀착시켜 발파기로 점화하는 법 ③ Shot Primer 뇌관으로 점화하는 법 ④ 점화기를 사용하는 법 등이 있으며, 점화기를 사용하는 법이 원안이기는 하나 현장에서는 대체로 전기뇌관을 튜브에 밀착시켜 발파기로 전기 점화하는 법을 가장 많이 사용하고 있다.

여기서 기억해야 될 것은 1발 혹은 2발만의 전기뇌관으로 기폭하는 ②번의 방법은 비전기식

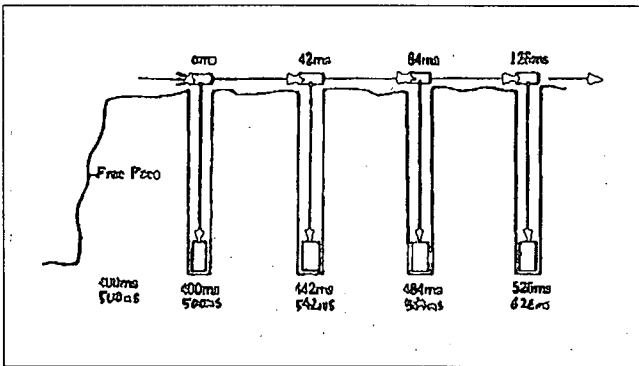
뇌관의 가장 큰 특징적인 전기적인 안전효과는 상쇄된다는 점이다.

그러나 우리나라의 경우 특히 노천발파에서는 발파소음·진동의 감소와 다량발파를 목적으로 하여 비전기식뇌관을 사용하는 경우가 많으므로 수요자의 요구에 만족된다고 볼 수 있다.

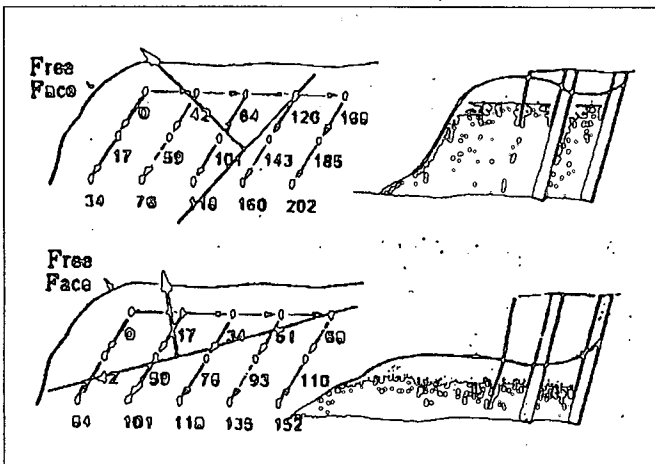
(나) 공저기폭뇌관(U Detonator, Down Hole Delay Detonator)은 <표1>에서와 같이 25ms간격으로 400~500ms로 판매되고 있다. 사용 규격은 천공간격, 길이, 1회발파시 총 사용 수량 등에 따라 달라지나 100~500공을 1회에 발파시 대체로 H社의 경우 400ms, K社의 경우 500ms를 사용하고 있다. 물론 소규모 발파시에는

200ms 등 단차가 낮은 뇌관을 사용해도 무방할 것이나 표면연결뇌관의 열간사용수량과 천공조건, 암반상태를 감안하여 안전율을 고려함이 적합한 설계법이다. (“예”: 표면연결뇌관 17ms사용, 10열, 안전율 50% 감안할 때→17ms×10열×1.5=255ms ∴255ms이상 사용)

(다) 표면연결뇌관(Trunk Line Delay Detonator, UB Connector)은 <표1>에서와 같이 0, 17, 25, 42, 67, 109, 176ms로 시판되고 있다. 기본패턴은 17ms와 42ms를 조합한 패턴이 가장 일반적이고 기폭순서 및 연결방향에 따라 버력의 크기와 방향을 조정할 수 있다. 또한 비전기식 뇌관을 터널발파에 사용할 때에는 점화튜브(Stock Tube)를 1발씩 도폭선에 거는 방법(도폭선+공저기폭뇌관+표면연결뇌관, Hooking Up Style)과 점화튜브를 15~20발 씩 다발로 묶은 것을 표면연결뇌관과 도폭선으로 묶어 기폭시키는 방법(공저기폭뇌관+표면연결뇌관, Bunch Style)이 있다.



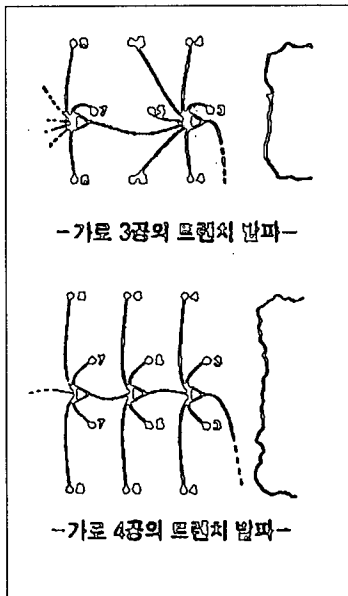
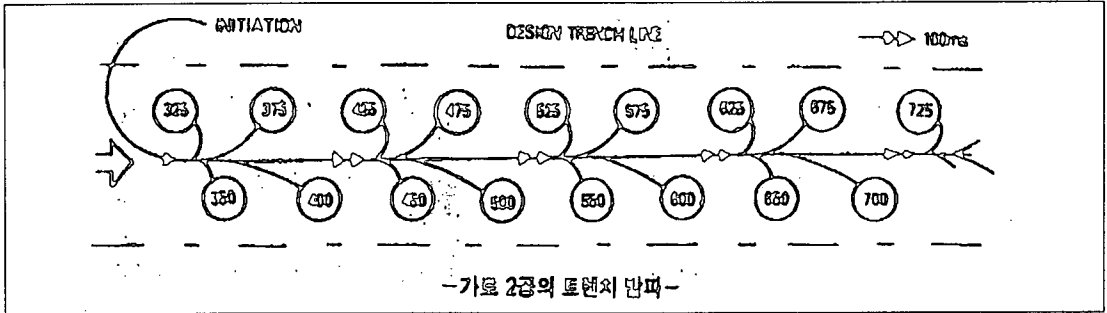
<그림 4> 공저기폭뇌관의 사용 예



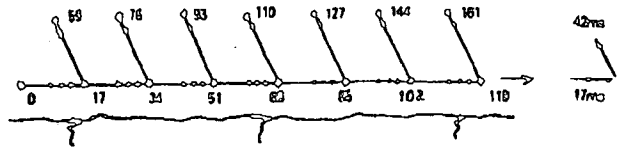
<그림 5> 표면연결뇌관의 사용예

(3) 기본패턴

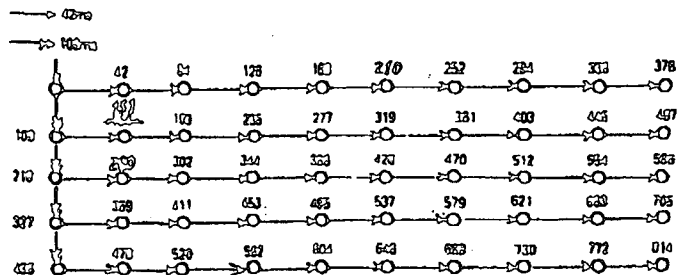
① 트렌치 발파(Trench Blasting)



② 벤치 발파(Bench Blasting)



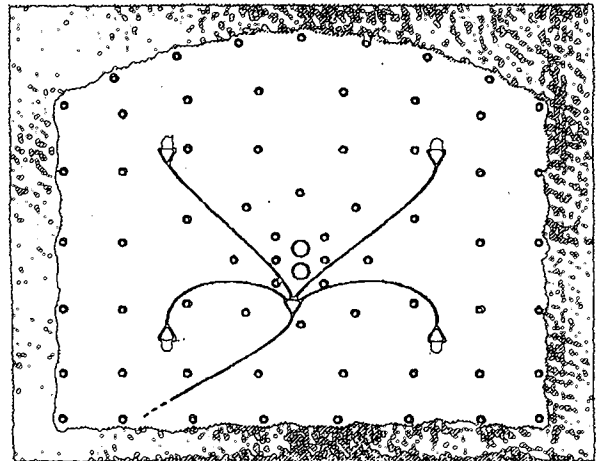
- 2열 벤치 발파 -



- 5열 벤치 발파 -

③ 터널 발파(Tunnel Blasting)

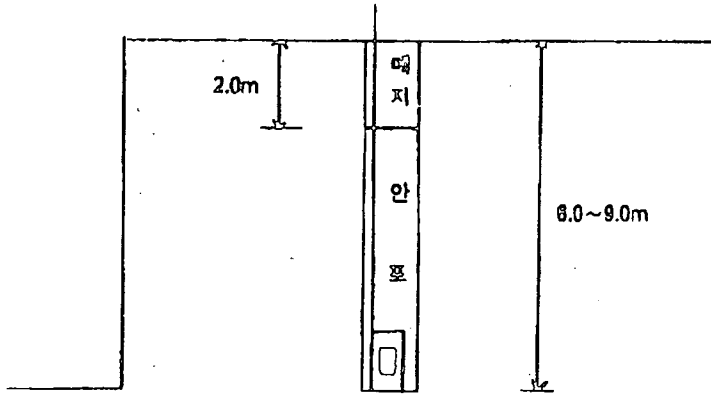
4개의 벤치 연결기를
이용한 터널발파



4. 현장 적용 사례

국내에서는 1993년 6월부터 비전기식 뇌관이 본격 생산 공급되기 시작하여 '95년 4월 기준으로 160여개 현장에서 약 100만개 이상 사용되고 있다. 현장별 사용현황을 파악해 보면 벤치발파에 79%, 터널발파에 21%를 차지하며, 터널별 사용현황은 42%, 지하도로 37%, 전력구 16%, 수로 5%로 파악되고 있다. (* 당 자료는 고려화약(주) 발표자료임.)

그리고 단일 현장으로서 비전기식 뇌관(NONEL, EXEL, HiNEL)을 가장 많이 사용한 곳이 녹산국가공업단지 조성 공사장으로서 국내적용과정의 문제점 즉, 비전기식 뇌관의 장단점과 품질 등 제반 문제점이 대부분 노출되었으며 점차 품질개선, 기술개발 등이 이루어져 현재는 원가절감, 소음·진동감소, 안전성 향상 등에 괄목할만한 성장을 이루었다.



〈측 면 도〉

〈그림 6〉 H건설 시공 설계도

(1) HiNEL시공 사례

① H건설 공단조성공사
일 시 : 1994. 12. 14
천공형태 : 수직천공
천 공 경 : 76mm
천 공 장 : 6.0~9.0mm

저항선 및 간격 : 2.0×2.0m

사용 폭약 : Himite 및 ANFO

사용 뇌관 : EXEL 및 HiNEL

공당최대장약량 : 26Kg

지발당 장약량 : 26Kg

총장약량 : 5,200Kg

총 공 수 : 200공

결 과 : 진동 0.19Kine

소음 90dB(A)

(2) NONEL 시공 사례

① W개발 골재 생산 현장

일 시 : 1995. 5. 15

천공형태 : 수직천공

천 공 경 : 76mm

천 공 장 : 12mm

저항선 및 간격 : 2.5×3.0m

사용 폭약 : Emluite 및 ANFO

사용 뇌관 : NONEL

U Detonator : 500MS

U Connector : 0, 25, 67, 109MS

공당최대장약량 : 30Kg

지발당 장약량 : 30Kg

총장약량 : 3,250Kg

총 공 수 : 104공

결 과 : 진동 0.2Kine

소할상태양호

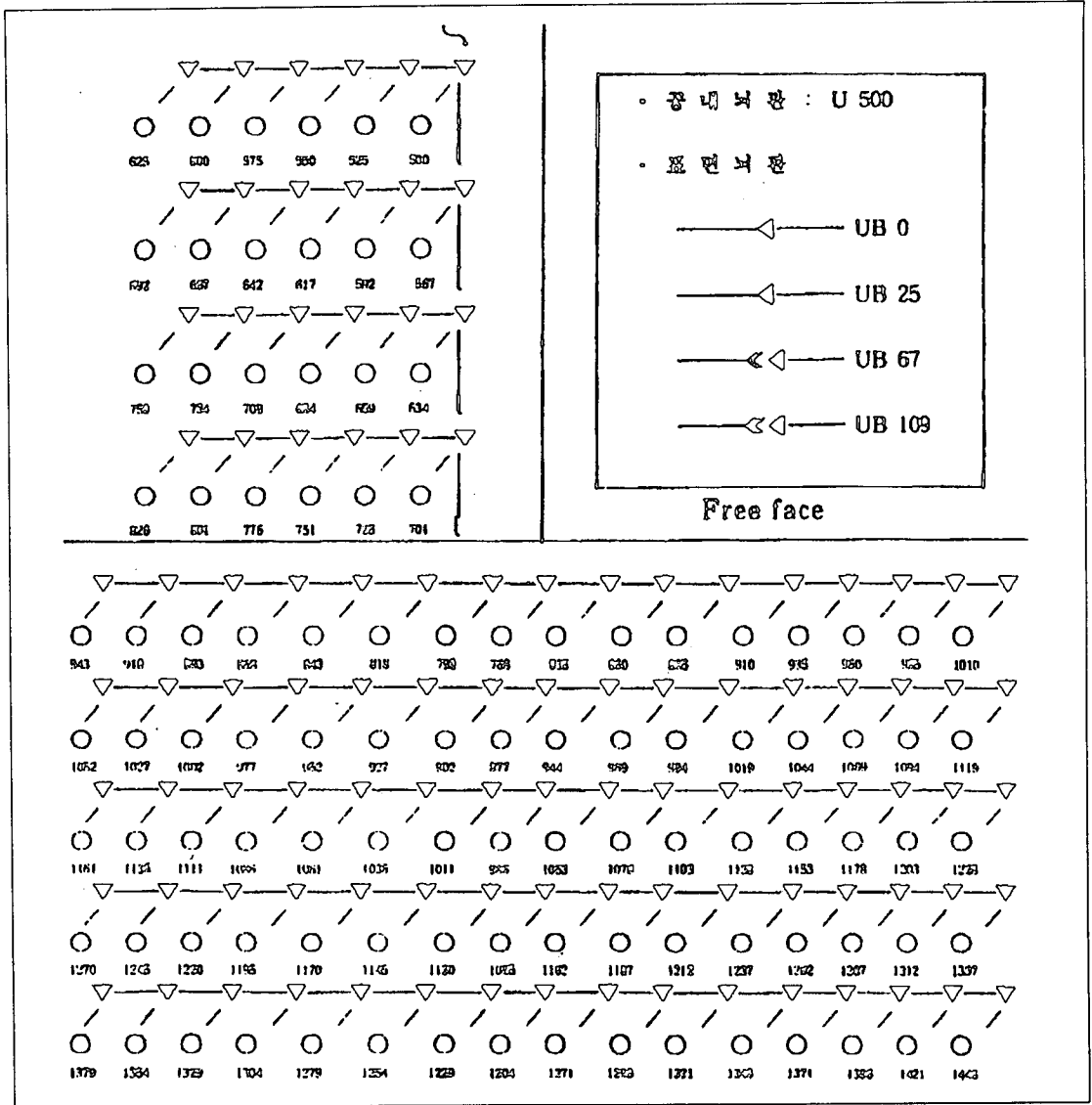
(3) 사용시 안전 준수사항

① 비전기식 뇌관은 천공에 장전 시 점화튜브(Shock Tube)가 손상되지 않도록 할 것.

② 점화튜브를 잡아늘리거나 지나친 압축을 가하거나 밟거나 차량이 지나는 등 물리적 손상을 입거나 변형된 뇌관은 사용하지 말 것.

③ 점화튜브의 밀봉된 끝부위는 스타터 사용전에는 절대 잘라내지 말 것.

④ 사용전에 점화튜브에 매듭진 것이나 비



〈그림 7〉 W개발 발파패턴도

틀린 것이 없는지 확인할 것.

⑤ 천공내의 온도가 50℃를 초과하거나 -25℃ 이하일 때는 점화튜브의 변형으로 불폭가능성이 있으므로 사용하지 말 것.

⑥ 적재 하역시 항상 주의하고 운반시 던지는 등 난폭하게 다루지 않는다.

⑦ 운반시 뇌관이 노출되지 않도록 운반용기를 사용할 것.

⑧ 포장이 밀봉된 비전기식뇌관은 장기간 보관하지 말고 30~90일 이내에 사용하여야 한다.

⑨ 결합된 연결용 콘넥터는 소음 감소를 위해 메지물이나 흙으로 덮은 후 사용하여야 한다.

⑩ 점화튜브와 도폭선을 연결시 점화튜브가 짧을 때 억지로 늘려 연결하지 말 것.

⑪ 도폭선크림 연결부위 외에 점화튜브와 도폭선이 접촉되지 않도록 연결한다.

⑫ 노벨뇌관은 지연제 속에 불꽃작용제가 채워져 제조되므로 장기저장시 불폭 및 지연시간의 오차가 있을 수 있으므로 제조 후 2년 이내에 사용되어야 한다.

⑬ 연결은 항상 주된 기폭순서 방향으로 이루어져야 한다.

⑭ 발파공과 연결기 튜브 길이는 가능한 짧아야 한다.

(4) 경제성 검토

일본 신강광산에서 '90년 5월~10월 사이에 폭약은 에멀전과 안포(ANFO) 폭약을 사용하고, 뇌관은 비전기식 뇌관(NONEL)을 사용하여 시험한 결과 갱도굴진능률은 전기뇌관을 사용할 때보다 152.6%가 향상된 2.90M/회였다. 또한 사이클 타임은 전기뇌관보다 111%가 높은 367.7분이었으며, 발파작업만을 비교할 때는 26.6% 줄어든 75.4분이 소요되었다. 또한 1발파당 진행장은 종래의 1.9m에서 2.9m를 달성했으며, 1m당 천공준비, 정리, 장약작업, 폐석처리, 부석 제거 등의 시간이 절약되었다. 폭약 사용량은 모암 1m³당 3.0Kg 소비로 25% 증가되었으나, 뇌관 사용량은 3.0m장공발파의 경우 모암 1m³당 3.0kg 소비로 25% 증가되었으나 뇌관 사용량은 3.0m 장공발파의 경우 모암 1m³당 0.85발로 33%가 절감되었다.

우리나라의 경우 '95년 4월 29일 발표된 자료에 의하면 비전기식 뇌관의 경우, 전기뇌관발파에 비해 열과 열 사이에 자유면을 형성시킬수 있는 충분한 시차를 줄 수 있기 때문에 전기식 발파보다 많은 암량을 생산(채석량 증가, 굴진장증대)할 수 있다고 하였다. 필자도 비전기식 뇌관을 사용해 본 많은 사람들로부터 그러한 주장을 들었고, 또한 면밀히 관찰한 결과 매우 긍정적으로 판단하고 있다. 단, 이 경우 순수한 비전기식 뇌관만의 효과라기 보다 에멀전 폭약의 스트랭스 효과가 추가되었다고 사료된다.(에멀전 폭약 중의 알루미늄은 폭발할 때 Al₂O₃의 분자생성열이 396Kcal임으로 폭속은 떨어지나 Strength는 높아지므로 채석량이 많을 수 있다.→(계간 '총포화약' 제20호 P.15~16 인용)

상기 내용들을 다시 정리해 보면, 비전기식 뇌관은 전기뇌관에 비해 가격이 약 2~3배정도 고가이지만, 노천발파(Bench Blasting)에서는 낙뢰 등의 외부 전원에 대해 안전성을 확보할 수 있으며, 사용기술과 조건에 따라 파쇄암의 비산이 적고 파쇄입도가 적어지며, 발파암량을 증가시키고 소음·진동을 20~30%정도 감소시킬 수 있으므로 오히려 경제성이 더 좋은 경우가 있다. 또한 터널발파의 경우 발파진행률(진행장/천공장)을 98%이상 가능하게 하고 작업시간 단축, 뇌관 사용량 절감, 누설전류에 대한 안전성,

〈표2〉 갱도 굴진 능력 비교

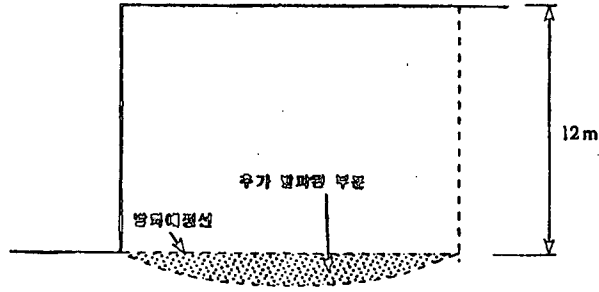
단위 : 분

구 분	전 기 뇌 관			비전기식 뇌관		
	1Cycle당	1m당	1m ³ 당	1Cycle당	1m당	1m ³ 당
천 공	104.2	54.8	3.66	132.3	45.8	3.05
발 파	102.7	54.1	3.60	75.4	26.0	1.73
폐석처리	123.5	65.0	4.33	159.5	55.0	3.67
합 계	330.4	173.9	11.59	367.7	126.8	8.45
굴진능률	1.90m/회(100%)			2.90m/회(152.6%)		

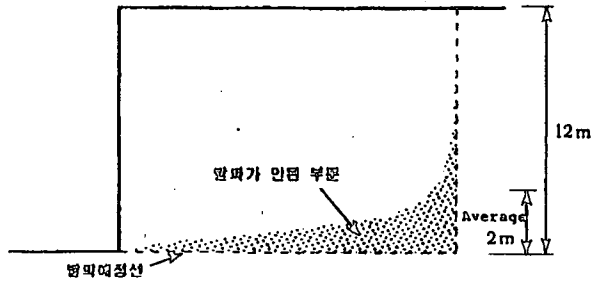
〈표 3〉 사이클 타임 비교

단위 : 분

구 분	전기뇌관(ED)	비전기식 뇌관(NONEL)
(작업조건)	갱도규격 : 4.5m×3.5m 단면적 : 15m' 천공장 : 2.10m 진행장 : 1.90m	갱도규격 : 4.5m×3.5m 단면적 : 15m' 천공장 : 3.09m 진행장 : 2.90m
(천공작업) 준비작업 Marking 천공 Drifter 후퇴 Boom 이동 정리 이동	8.8 5.2 66.9(42공) 2.1 3.6 7.6 10.0(3Km/hr)	7.8 5.2 95.5(42공) 3.1 3.6 7.6 10.0(3Km/hr)
소 계	104.2	132.8
(발파작업) 준비작업 장약·결선 정리 이동	8.5 82.4 4.3 7.5(4Km/hr)	5.5 58.1(메지무) 4.3 7.5(4Km/hr)
소 계	102.7	75.4
(폐석처리작업) 살수작업 부석제거 폐석처리 막장면처리 이동	10.0 10.0 81.0(9회) 15.0 7.5(4Km/hr)	10.0 117.0(13회) 15.0 7.5(4Km/hr)
소 계	123.5	159.5
합 계	330.4(100%)	367.7(111%)



1) Nonelectric Detonator(NONEL)



2) Electric Detonator (ED)

<그림 12> 비전기식 뇌관과 전기뇌관의 효과 비교

발파소음·진동 감소 등의 탁월한 효과가 있으므로 그 사용량은 더욱 증가할 것으로 사료된다.

5. 맺음말

비전기식 뇌관은 NONEL, HiNEL이라는 상품명으로 국내에 공급되고 있으나 그 사용 기술 보급은 아직 미흡한 실정이다. 상기 내용을 정리해 보면 비전기식 뇌관은 기존 전기뇌관에 비해 가격이 비싸고, 발파시 계기로 결선확인이 불가하며, 불발뇌관 및 cut off로 인한 발파 중단 및 안전사고 우려 등의 근본적인 문제점이 있으나 낙뢰, 누설전류 등의 전기적 안전이 보장되고, 민원발생우려지역에 대한 발파소음·진동 감소

의 효과가 뛰어나며, 트렌치 발파시 다량발파 가능, 벤치발파에서의 채석량 증가 및 대량발파, 터널발파에서의 굴진장 증가 및 소음·진동 감소효과 등의 우수성이 인정되고 있으므로 관련 업체 및 연구기관·공인기관에서는 건설시장 개발을 대비하여 건전한 기술경쟁을 유도하고, 사용기술의 개발과 보급에 더욱 노력해야 할 것이며 특히 학문적으로, 실험적으로 미확인된 품질에 대한 안전정도와 책임범위, 채석량과 굴진장의 증가에 대한 경제성 규명 등 연구 실험을 통한 확인 작업이 필요할 것이며, 품질보증 및 경제성에 대해 보다 구체적이고 정확한 데이터 공개 및 공인기관의 인증이 필요할 것이다.