

제9장 다단식 발파기 및 비전기식 뇌관을 이용한 발파

9.1 다단식 발파기(Sequential Blasting Machine)

다단식 발파기는 기존의 전기 뇌관을 사용하여 발파 패턴 설계의 한계성을 극복하기 위하여 개발된 것으로 시간차 별로 전기를 분산시켜 공급하는 장치로 현재 지발전기 뇌관 사용 시 시차 제한의 문제점을 보완하여 진동 및 폭음을 분할시킴으로써 진동 및 폭음을 감소시키고 발파 효과를 향상시켜 최적의 발파를 수행하는 시스템으로, 1994년부터 국내에서도 노천 및 터널 발파에 본격적으로 사용되고 있다

(1) 사용목적

발파진동 및 소음을 제어하면서(지발당약량조절) 다수의 공 즉, 대발파를 할 때 사용되며 이외에도 파쇄입도의 개선 및 대기 중의 충격파를 감소시켜 지발발파의 효과를 최대화하는 것이며, 이와 더불어 재래식 분할발파의 단점인 발파모선의 단절, 발파작업 지연, 발파 중 현장을 왕복해야하는 위험성 등을 제거함으로써, 다단식 발파기를 이용한 발파방법은 작업장 안전, 작업공정개선 특히 경제성(비전기식뇌관 System과 비교할 때)을 위해 적용되고 있다. 발파기는 BM 175 Series(회로당 최대저항 175Ω)와 BM 225 Series(회로당 최대저항 225Ω)의 두 종류가 있다.

(2) 다단식 발파기의 원리

폭약을 기폭 시키는 뇌관에 전류공급 시간을 적절히 조정하여 지발뇌관의 단차를 최대한 이용, 진동의 최소화, 파쇄입도 개선, 대기 중 충격파를 감소시켜 지발발파의 효과를 최대화하는 것이며, 이와 더불어 재래식 분할발파의 단점인 발파모선의 단절, 발파작업 지연, 발파 중 현장을 왕복해야하는 위험성 등을 제거함으로써, 다단식 발파기를 이용한 발파방법은 작업장 안전, 작업공정개선 특히 경제성(비전기식뇌관 System과 비교할 때)을 위해 적용되고 있다. 발파기는 BM 175 Series(회로당 최대저항 175Ω)와 BM 225 Series(회로당 최대저항 225Ω)의 두 종류가 있다.

(3) 다단식 발파기의 구성

- ① 다단발파기(Blasting Machine)
- ② 단자판(Terminal Board)
- ③ 연장 케이블(150m 용)(Extension cable-EC 15-500)
- ④ 연장 케이블(0.6m 용)(Extension cable-EC 15-2)
- ⑤ 단락 소켓(Load plug)
- ⑥ 발파능력 측정기(Energy tester)
- ⑦ 저항측정기

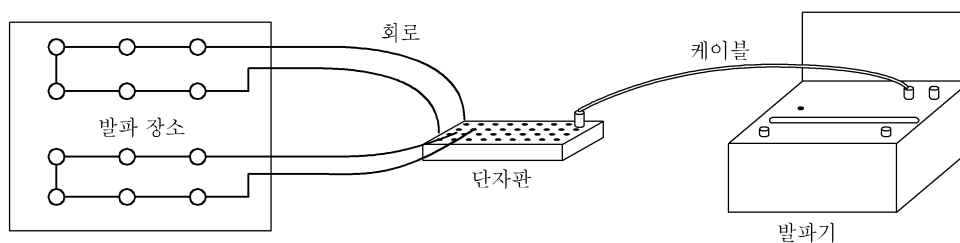


그림 9.1 다단식 발파기 회로의 구성

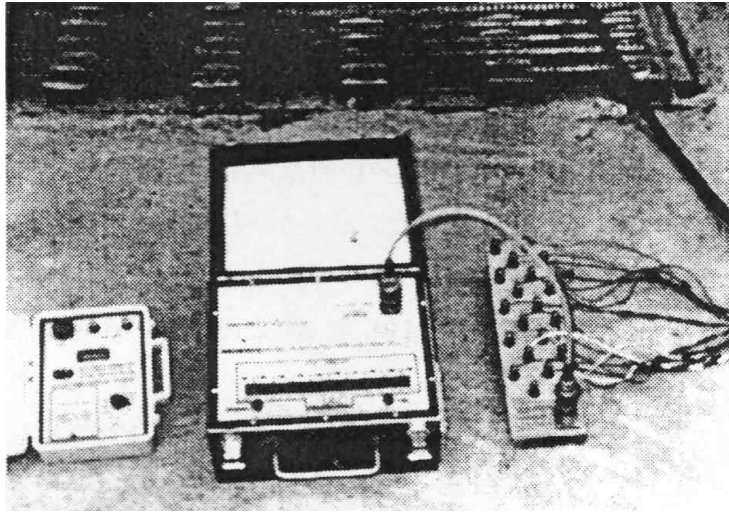


사진 9.1 다단식 발파기

2) 다단식 발파의 장·단점 비교

구분	전기뇌관을 이용한 다단식발파	비전기식뇌관을 이용한 다단식발파
단 점	① 누설전류가 있는 곳에서는 사용할 수 없다.	① 가격이 전기뇌관보다 4~5배 비싸며 1공에 2개의 뇌관을 사용해야 하므로 실제로 8~10배 비싸다. ② 결선 후 점검할 수 있는 방법이 단지 육안으로만 가능하므로 발파실패를 사전에 예방할 수 없다. ③ 표면뇌관의 결선시 간단한 실수로 자유면의 활용이 불가능해 진다. ④ 튜브의 손상을 확인할 수 없다.(발파 실패의 원인) ⑤ 플라스틱류로 구성되어 있어 공해의 원인이 된다. ⑥ 표면 뇌관이 터지는 소음으로 민원을 발생시킬 수 있다. ⑦ 숙련된 기술자와 전문가를 필요로 한다.
장 점	① 값이 싸서 공사비를 줄일 수 있고, 구입하기가 용이하다.(비전기식 뇌관보다 4~5배 싸다.) ② MSD, DSD를 조합하면 42단을 얻을 수 있고, 다단발파기를 활용하여 최고 420단까지 얻을 수 있다.(현재 국내 발파는 최대 200공 정도로 실시되고 있으므로, 모든 발파가 가능함) ③ 제어발파가 가능하며, 발파진동 및 소음을 줄일 수 있다. ④ 대중화 되고 있고, 취급이 용이하며, 시공성이 우수하다. ⑤ 결선 후 연결여부 및 저항을 손쉽게 확인할 수 있다. ⑥ 발파실패를 사전에 예방할 수 있다. ⑦ 표면뇌관이 터지는 소음이 없다.	① 무한단수를 얻을 수 있다. ② 전기적으로 안전하다.

	⑧ 대발파를 할 수 있으므로 공사기간을 단축시킬 수 있다.	
--	----------------------------------	--

(1) REO(Research Energy of Ohio)사 제품

- ① 다단식 발파기(Sequence Blasting Machine)
- ② 단자판
- ③ 연장케이블(150m)(Extension Cable)
- ④ 연장케이블(0.6m)(Extension Cable)
- ⑤ 단락 소켓(Load Plug)
- ⑥ 발파능력 측정기(Energy Tester)
- ⑦ 저항 측정기 (Power Distribution Switch)

9.2 다단식 발파기 사이클

(1) 너관 배열

- ① 발파 장소 확인 후 파쇄암의 이동, 발파 공수에 의거하여 발파 Pattern 결정한다(회로수 등을 파악).
- ② 너관 배열 후 각 회로별로 회로간 혼선 방지를 위해서 회로 번호를 표시한다.
- ③ 자유면으로부터 너관을 배열하고 배열시 인접공과의 초시 및 각 열의 저항선을 확인하고 배열한다.

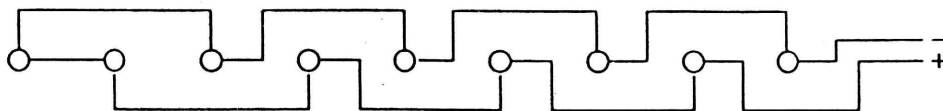
(2) 장약

장약은 일반 발파와 동일하게 가능한 뒷 열의 장약량을 약간 증가시키며 전색봉으로 전색시 조심스럽게 다루어 너관 각선에 손상이 가지 않도록 주의해야 한다.

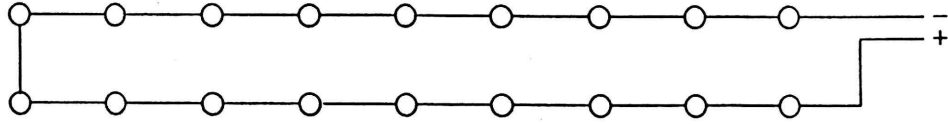
(3) 결선 및 결선 확인

- ① 결선은 각 회로별 직렬로 연결한다.(주의사항 : 연결순서는 1번 회로부터 결선을 실시하도록 한다.)
- ② 결선 누락 확인 및 단선 여부 확인
- ③ 도통 시험 실시
- 도통이 되지 않는 경우
 - 단선된 부분을 찾은 후 병렬 결선을 재결선 한다.
 - 누설전류가 발생한 경우에는 누설 전류가 흐르는 부분을 찾은 후 병렬 결선을 실시한다.

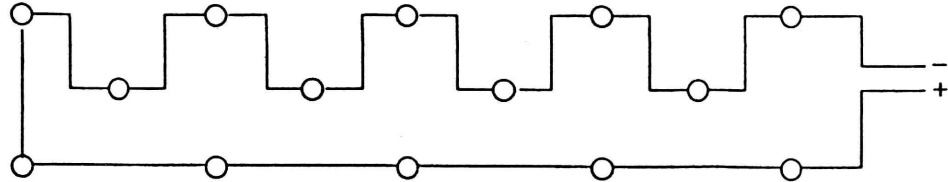
<1열 결선시>



<2열 결선시>



<3열 결선시>



(4) 단자판에 모선 연결

- ① 결선은 각 회로별 직렬로 연결한다.(주의사항 : 연결순서는 1번 회로부터 결선을 실시하도록 한다.)
- ② 결선 누락 확인 및 단선 여부 확인
- ③ 도통시험 실시
- 도통이 되지 않는 경우
 - 단선된 부분을 찾은 후 병렬결선을 재결선 한다.
 - 누설전류가 발생한 경우에는 누설전류가 흐르는 부분을 찾은 후 병렬결선을 실시한다.

(5) 단자판에 보조모선 연결

- ① 단자판은 비산이 예상되는 반대쪽에 보호 장치를 이용하여 안전한 곳에 둔다.
- ② 각 회로는 보조모선을 이용하여 단자함과 연결시킨다.(주의사항 : 이 때 각 회로의 번호와 단자판의 번호를 일치시킨다.)
- ③ 각 회로에 일련번호를 적고 혼동이 없도록 한다.

(6) 단자판에서의 1차 저항 측정

- ① 단자판과 저항측정기를 연장 케이블(0.6m)을 이용하여 연결한 후 각 회로별 저항을 다시 측정하여 기록한다.
 - ② 각 회로별 최대 발파저항은 175Ω (BM225 발파기는 225Ω)이지만, 이 때 저항 측정 결과는 연장 케이블 저항(12Ω)과 발파기 저항(10.7Ω)을 뺀 152.3Ω 이하가 되어야 한다.
- 또한, 뇌관수와 뇌관저항을 곱한 값과 측정값이 근사치로 일치해야 한다.

예> 전기뇌관 6m : 30개일 경우

$$1.96\Omega(\text{약 } 2\Omega) \times 30 \approx 60\Omega$$

(7) 연장 케이블 150m용 연결

- ① 발파기 조작 장소는 비산이 예상되는 반대쪽에서 실시한다.
- ② 케이블을 발파 장소에 놓고 단자판이 있는 곳까지 선을 연결한다.
- ③ 단자판의 소켓에 케이블의 플러그를 꽂는다.[주의사항 : 케이블선을 연결할 때 장비나 덤

프트럭이 지나가는 장소는 가급적 피하도록 하며(발파 전·후 장비나 덤프트럭이 선을 누를 경우 케이블의 단선이 우려됨) 발파 후 신속히 선을 철수한다.]

(8) 2차 저항 측정

- ① 최종 저항 측정으로서 케이블의 단선 여부의 확인과 총 저항치를 측정한다.
- ② 저항측정기의 소켓에 케이블의 플러그를 삽입한다.
- ③ 회전 S/W를 1~10까지 차례대로 회전시키며 각 회로별 저항 값을 기록한다.
- ④ 측정값이 허용 값(164Ω /회로)보다 클 경우 발파기 저항 10.7Ω 을 고려하여 발파를 중단하고 조치를 취한 다음 발파한다.

예> 회로 1개 이상의 여유가 있을 때 - 저항이 초과된 회로를 2개 회로로 분할한다(단, 회로간 지연초시를 0MS로 하면 동일한 효과를 얻을 수 있다.).

회로의 여유가 없을 때 - 직렬결선을 병렬결선으로 전환한다.

$$\begin{aligned} & \text{회로저항(뇌관저항+보조모선저항)} + \text{케이블저항}(12\Omega) \\ & + \text{발파기 저항}(10.7\Omega) = \text{총저항} \end{aligned}$$

(9) 발파기 용량 점검

사전에 발파기의 각 램프에 불이 들어오는지 점검하는 것이 좋으며, 가능한 Battery 여분을 확보하는 것이 좋다.

(10) 발파개시

- ① 통제완료 확인 후 케이블을 발파기에 연결하고 충전을 시작한다.
- ② 충전 완료 후(Ready to Fire Lamp에 점등 확인 약 20~30초 소요) 발파 S/W를 누른다.
- ③ 이 때 충전 S/W를 누른 상태에서 발파 S/W를 같이 눌러야 하며, 발파가 시작된 후에도 일정시간(1~10번 회로까지 점등 될 때까지) 누르고 있어야 한다.(주의사항 : 발파가 완료되기 전 어느 한 S/W(충전 및 발파 S/W)라도 해제 시키면 발파는 중단 된다. 전류 공급이 중단 되어 전 회로의 발파가 이루어지지 않고 부분 발파가 발생한다.)

(11) 발파확인

- ① 발파가 끝난 것이 확인되면 발파 S/W에서 손을 떼고 연장 케이블의 소켓을 뽑고 약 10~20분 경과된 후 발파장소를 확인 한 다음 발파장비를 신속히 철수시킨다.
- ② 발파가 모두 끝나면 사용한 발파장비는 잘 정비하여 다음 발파에 대비한다.

9.3 발파기 사용시 주의사항

- ① 만일 단자판의 회로가 8개 회로라면 회로 연결은 1번 회로부터 8번 회로까지 연결을 실시하여야 한다. 첫 번째 회로가 연결되지 않으면 발파기 회로내로 전류가 흐르지 않는다.
- 대책 : - 1번 회로에 각선 등으로 단자판을 연결할 것.
- 회로를 재배치시킬 것. 즉 1번 회로부터 연결할 것.
- ② 회로는 순서대로 연결 되지 않으면 다음 회로의 전류가 흐르지 않으므로 꼭 순서대로 회

로의 연결을 실시한다.

- ③ 1번 회로는 꼭 연결한다.(연결이 안 되면 발파기 내로 전류가 흐르지 않는다.)
- ④ 회로의 저항치가 상당히 높게 나타나거나 무한대로 나타나면 전류가 누설되므로 그 지점을 찾아서 병렬로 연결한다.
- ⑤ 발파기 건전지는 반드시 알카라인 건전지를 사용하는 것이 좋으며 일반 건전지를 사용할 경우에는 여분을 준비한다.(일반 건전지 사용시 사용횟수가 많지 않다.)
- ⑥ 다단발파기는 잘못 결선하거나 미숙한 사용으로 인해 대형 사고를 일으킬 수 있으므로 반드시 경험자들로부터의 숙련과정이 필요하다.

9.4 회로 발파초시

(1) 결정요소

- ① 뇌관초시
- ② 다단발파기내에 입력된 초시
- ③ 전기뇌관을 이용한 회로 구성 및 배열

(2) Delay Ratio(지연초시 비)

최소저항선 길이(m)/기폭시간차(ms) (9.1)

(3) 다단발파시 주의사항

- ① 첫 번째 회로에는 초시가 가미되지 않는다.
- ② 발파기 내의 지연초시는 누적된다.

(4) 외부누적 지연초시

$$T = t(N-1) \quad (9.2)$$

여기서, T : 발파기내의 누적 지연초시(MS)

t : 발파기의 지연초시(MS)

N : 회로수

단, 발파기에는 입력된 초시가 일정할 경우에 사용 가능한 공식이다.

(5) 뇌관이 기폭되는 초시

뇌관의 발파 초시는 외부 누적 초시와 뇌관의 지연초시를 합한 것과 같다.

$$SFT = D + t(N-1) \quad (9.3)$$

여기서, SFT : 뇌관 발파 초시

D : 뇌관 초시

t : 다단발파기 지연초시

N : 회로수

표 9.1 다단 발파시 뇌관 발파 초시

회로수 (N)	뇌관초시 (D)(MS)	첨가초시 $\{t(N-1)\}(MS)$	다단발파초시 (SFT)(MS)
1	120	+0	120
	140	+0	140
	160	+0	160
2	120	+35	155
	140	+35	175
	160	+35	195
3	120	+70	190
	140	+70	210
	160	+70	230
4	120	+105	225
	140	+105	245
	160	+105	265

9.5 기본회로 Type

다단식 발파의 회로는 **직렬회로로 결선**해야 하는데 이것은 다단식 발파기내의 초시는 직렬 회로 이외의 다른 회로 결선법에 사용하기에는 충분한 전기를 갖지 못하기 때문이다.

(1) 기본회로 결선법 유형

- ① 수직 Pattern(Perpendicular to the Free face)
- ② 수평 Pattern(Paraller to the Free face)
- ③ 립-프로깅(Leap-Fragging)

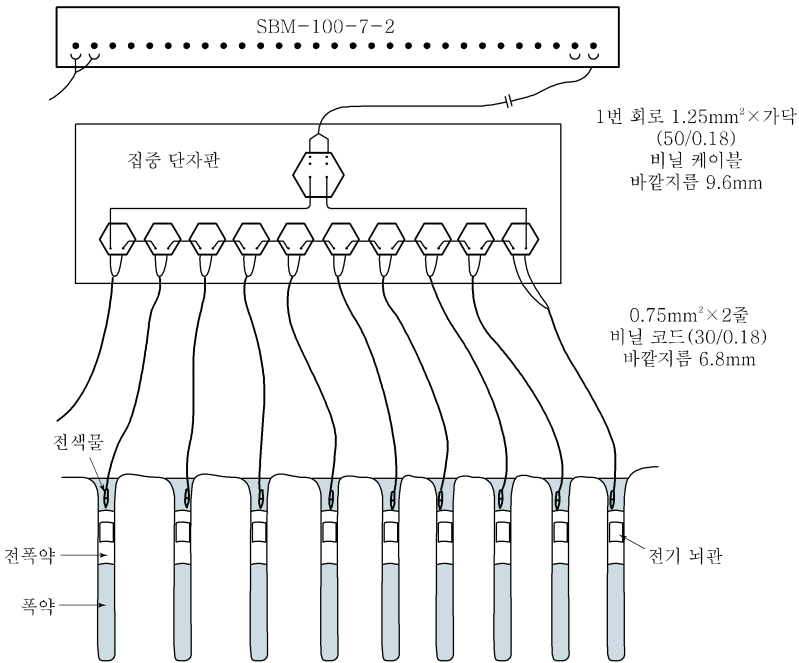


그림 9.2 다단 발파기의 결선

9.5.1 수직 결선법



그림 9.3 수직 결선법의 기본형식

현장에서 자주 사용되는 패턴으로서 공 사이의 지연초시는 발파기 내에 입력된 지연초시이고, 열간 지연초시는 뇌관의 지연초시이다.

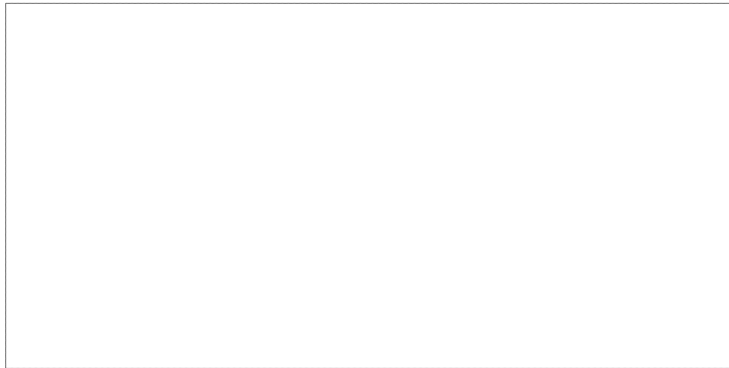


그림 9.4 수직 결선법의 예

그림 9.4는 초시가 다른 3개의 뇌관을 이용한 다단발파로서 공 사이의 지연초시는 $10ms$ 이며, 열간 지연초시는 뇌관 지연초시의 차이와 동일하다. 누적 회로 초시는 열간 지연초시에 영향을 주지 않는데, 이것은 뇌관 지연초시가 모든 열에서 일정하기 때문이다. 공간 지연초시는 언제나 발파기에 입력된 지연초시만으로도 확보가 가능하다.

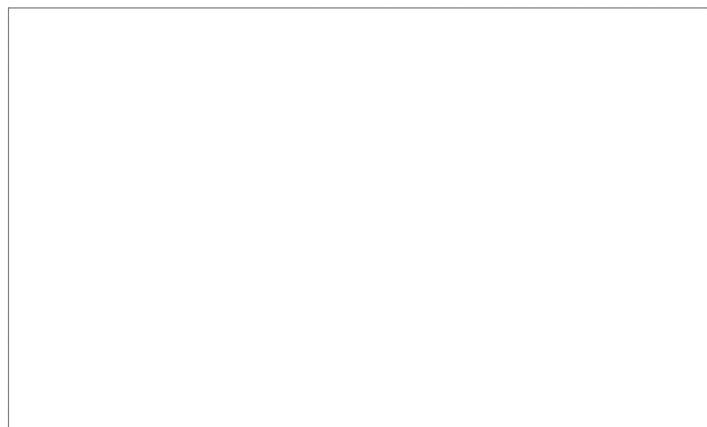
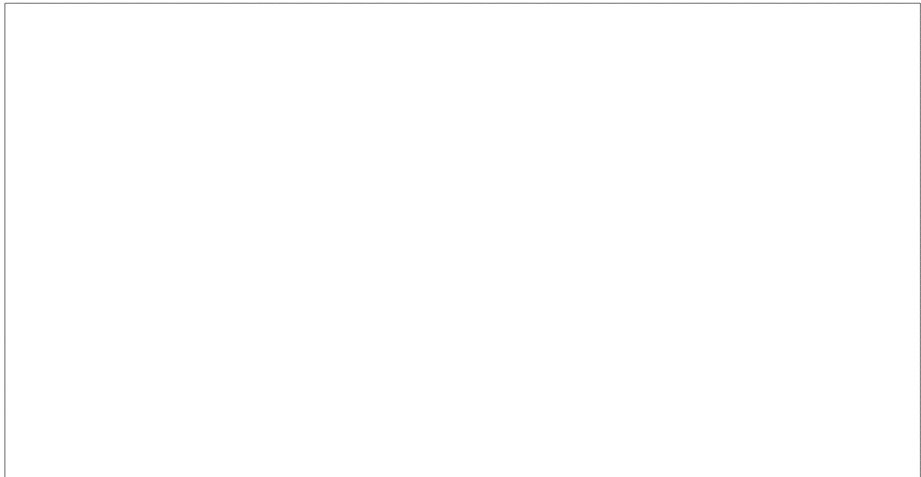


그림 9.5 수직 결선법의 예

그림 9.5는 다른 지연초시를 가진 뇌관의 인접한 두 발파공이 같은 직렬로 결선된 형태이므로 주의를 요한다.



회로	#9	#7	#5	#3	#1	#2	#4	#6	#8	#10
첨가 초시	+80	+60	+40	+20	+0	+10	+30	+50	+70	+90

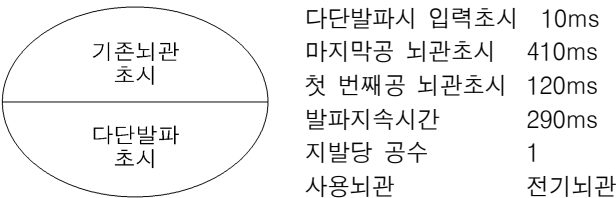


그림 9.6 수직 결선법의 예

그림 9.6의 뇌관초시는 동일하게, 발파기 지연초시는 일정하게 한 것이다.
공간 지연초시는 발파기에 입력된 지연초시이며 열간 지연초시는 뇌관지연초시이다. 이러한 발파패턴을 V형 패턴이라고 한다.



회로	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
첨가 초시	+0	+30	+60	+90	+120	+150	+180	+210	+240	+270

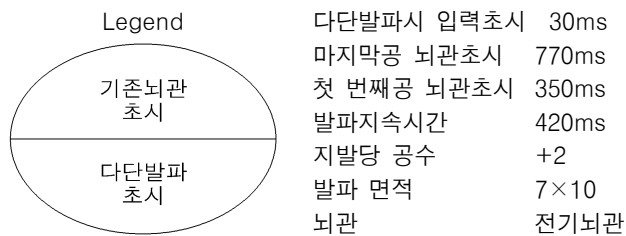


그림 9.7 수직결선법

9.5.2 수평 결선법

자유면에 평행하게 직렬 결선하는 방법으로서 수직 결선법과 함께 현장에서 많이 사용되는 방법이다. 공간 지연초시는 뇌관 초시이며, 열과 열 사이 지연초시는 발파기 지연초시와 뇌관 지연초시에 의해 형성된다.

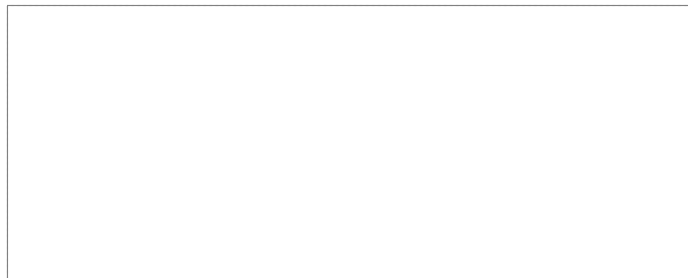
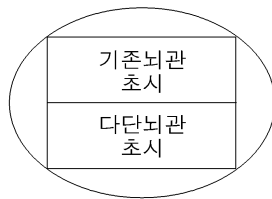
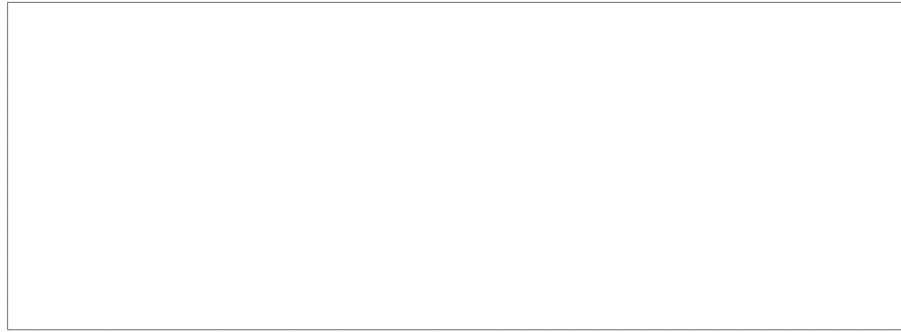


그림 9.8 수평 결선법

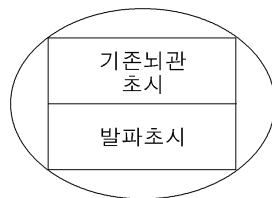
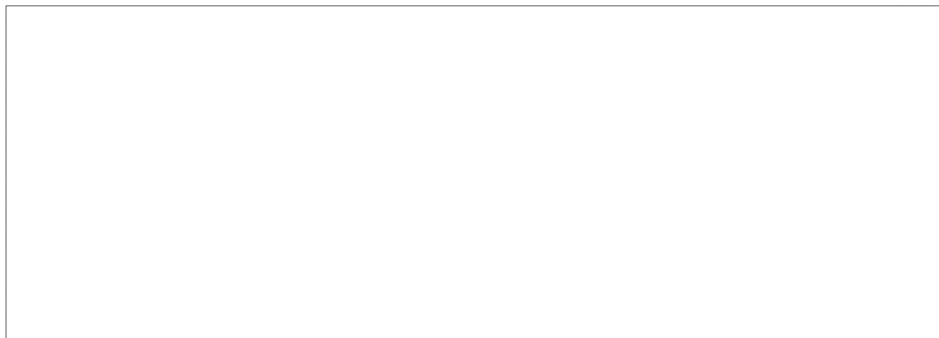


다단발파시 입력초시	10ms
마지막공 뇌관초시	190ms
첫 번째공 뇌관초시	80ms
발파지속시간	110ms
지발당 공수	1
사용뇌관	전기뇌관

그림 9.9 수평 결선법의 예

그림 9.9는 열간 지연초시를 준 방법이다. 배열된 뇌관을 동일한 지연초시를 가지며, 열간 지연초시는 10ms를 사용한 것으로 이 지연초시는 발파기 내에 입력된 지연초시이다.

그림 9.10은 1열의 두 번째 뇌관을 2열의 첫 번째 뇌관으로 사용한 방법이다. 이것을 Skip Delay라고 한다. 예를 들면 30ms의 열과 열 사이 지연초시를 원한다면 발파기에는 10ms의 지연초시를 입력해야 한다.



다단발파시 입력초시	10ms
마지막공 뇌관초시	210ms
첫 번째공 뇌관초시	80ms
발파지속시간	130ms
지발당 공수	1
사용뇌관	전기뇌관

그림 9.10 수평 결선법의 예

그림 9.10의 발파패턴은 “Flip-Flopping(방향 전환)”을 함으로써 지연초시를 획득하는 V패턴이다.

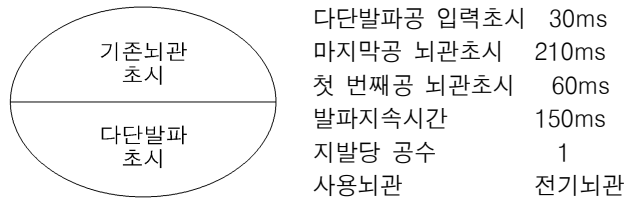


그림 9.11 (a) 수평 결선법의 예 1

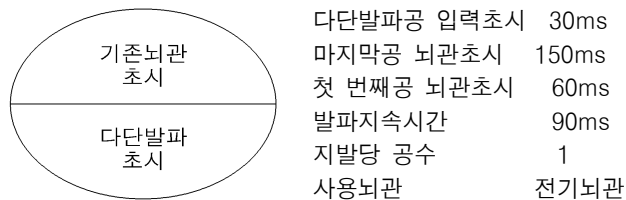
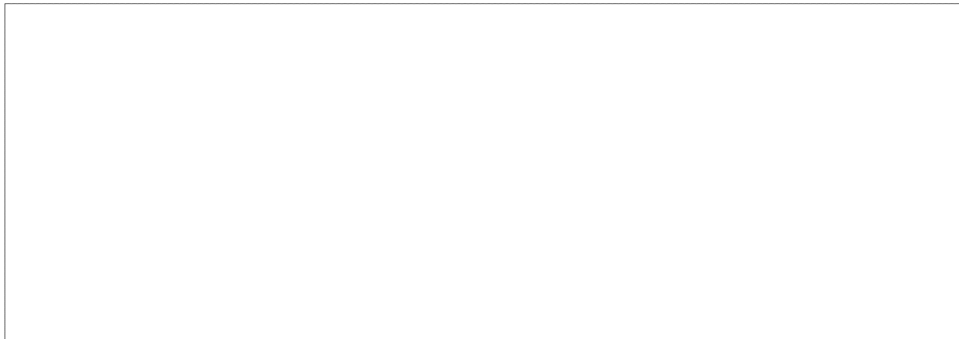


그림 9.12 (b) 수평 결선법의 예 2

9.6 비전기식 발파

9.6.1 비전기식 뇌관의 원리

전기뇌관은 발파모선과 각선을 통해 전기에너지가 전달되어 이를 열에너지로 전환시켜 뇌관을 기폭 시키는 것이지만, 비전기식 뇌관은 단발 전기뇌관과 도폭선 시스템의 장점을 취하여 조합한 형식으로서 노넬 튜브는 바깥지름이 약 3mm이고, 안지름이 약 1.2mm인 가운데가 빈 플라스틱 튜브로서, 내부에 폭약이 0.02 g/m 정도로 도포되어 있으며, 전기뇌관의 각선대신에 약 2,000 m/s의 속도로 충격파를 전파하도록 하는 화약 분말을 내부에 코팅한 플라스틱 튜브와 뇌관으로 구성되어 있다.

스웨덴에서 처음 개발된 비전기식 기폭 시스템은 점화 에너지의 전달법으로 개발한 노넬 튜

브를 기본 요소로 하고, 뇌관 및 연결구의 세요소로 조합되어 있다. 튜브 내부의 화약분말에 의한 충격파의 전파현상은 튜브 내에서만 일어나므로 발파 효과는 없고 단순한 신호전도체로서 작용을 한다. 튜브의 장점은 강도가 높고, 진동, 마찰, 충격에 대한 안정성이 크며, 튜브의 끝 부분만 잘 관리하면 내수성도 강하다.

비전기식 뇌관의 구성은 뇌관에 기폭신호를 전달하는 튜브와 기폭매체인 뇌관 그리고 표면에서의 연결구로 구성되어 있다. 각 뇌관은 전기뇌관처럼 지연시차를 가지고 있으며 뇌관의 길이와 지연시차는 무관하며 뇌관은 8호 뇌관에 해당되는 위력을 가지고 있다. 이들 뇌관의 연결고리로부터 비전기식 뇌관의 장점중의 하나인 무한대의 단차가 생성된다. 한 방향에서 온 충격파를 분리 전달시키는 기구는 여러 종류가 있으며 연결구는 발파의 종류, 방법에 따라 적절히 선택되어야 한다.

이 시스템의 장점은 비전기식이므로 정전기, 천둥, 유도 전류 등에 대하여 매우 안전하며, 노넬 튜브로 전달되는 폭발음이 극히 작고, 튜브의 길이를 변화시킴으로써 아주 짧은 단차를 얻을 수 있으며, 발파진동의 억제 등 정밀한 제어 발파설계를 가능하게 한다. 그러나 단점으로는 전기뇌관에 비해 값이 비싸며, 결손의 잘못을 전기적으로 점검할 수 없으므로 육안으로 조사하여야 하는 문제점이 있다.

9.6.2 뇌관의 기폭 방법

비전기식 뇌관의 기폭은 튜브의 기폭으로 이루어지며 일반화염이나 충격 마찰 등에는 점화되지 않는 특징이 있다. 장약공에 장약된 뇌관이 기폭되는 경로는 전기발파보다는 좀 더 복잡한 단계를 거친다. 즉 화약이나 전기적인 충격방식에 의한 튜브의 점화를 시작으로 표면에 위치된 지연뇌관이 기폭된 후 각각의 공에 장약된 폭약을 기폭 시키기 위한 기폭용 뇌관까지 전파되며, 표면 지연뇌관은 그들 뇌관이 갖는 고유한 지연시간이 경과된 후 다음 표면 뇌관으로 충격파를 이동시킨다. 이들 비전기식 뇌관은 크게 노천발파용과 터널용으로 구분되어 있으며 각 작업장의 실정에 맞게 제작되어 있다.

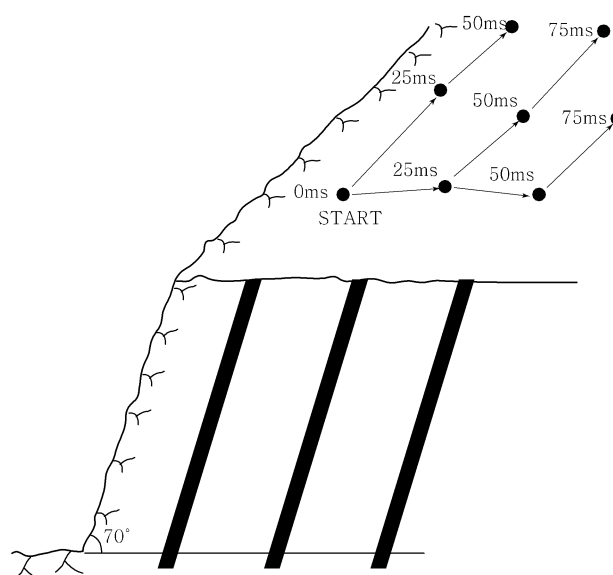


그림 9.13 비전기식 뇌관의 기폭 시스템