

제2장 발파작업

2.1 발파의 순서

- 천공발파는 내부 장약의 발파로서 가장 응용이 많고 중요하며, 약실은 원통형의 형상이 되므로 폭파력이 가장 강력하게 작용하는 곳은 측면이며, 공구 및 공저 방향은 비교적 약하기 때문에 천공 방향은 가급적 자유면에 평행하도록 하고, 단일 자유면이며, 저항선은 45° 내외의 압력면을 갖도록 천공 방향을 결정함. 약실의 자유면에 대한 투영 면적이 클수록 파괴는 유리
- 천공발파 실시 순서
 - 1사이클: 천공위치의 선정 → 천공 → 전폭 약포의 제작 → 천공점검 → 장전 및 장약 → 전색 → 대파 → 경계 → 점화 → 발파 확인 → 버럭 처리

2.1.1 천공 위치의 선정

- 천공작업은 발파공을 Drilling하는 작업이며 발파공의 위치, 깊이, 크기 등은 발파의 목적, 사용하는 폭약, 암반의 성질, 자유면의 상태 등에 의해서 결정
- 갱도굴진에 있어서는 갱도의 단면모양, 갱도의 굴진방향 및 기울기를 확실히 유지하면서 굴착을 진행해야 하므로 발파공의 배열과 방향에 대해서는 신중히 고려

2.1.2 천공(Drilling)

- 발파공의 방향은 발파효과에 많은 영향을 미치게 되는데, 발파공이 단일자유면에 직각일 경우에는 발파효과는 최소가 되고, 자유면과의 각도가 작아짐에 따라 일정한 정도까지는 그 효과가 커짐
- 갱도굴진에서의 발파공은 심빼기와 주위 확대의 목적에 따라서 그의 배열과 방향이 달라짐
 - 주위 확대를 위한 발파는 심빼기 후에 잔류하는 부분의 암석을 파쇄하여 목적하는 크기의 갱도로 넓혀주는 발파이므로 주위 확대를 위한 발파공의 배열과 방향을 심빼기 부근에서는 심빼기에 의해서 생긴 새로운 자유면에 될 수 있는 한 평행하도록 천공하고, 갱도벽이나 상하반 부근에서는 이들에 거의 평행하게 천공
- 천공의 형태별 특징
 - 산업발파에서는 수직천공하고 Pre-Splitting이나 마무리 발파와 같은 제어발파에서는 경사천공 적용
 - 경사천공의 장점: 자유면 반대방향의 후면 파괴 감소(배면파괴(Back break) 감소)와 1자유면에서 문제성 감소, 원거리 비산(특히 낮은 계단 발파), 양호한 파쇄율(낮은 계단 발파), 느슨한 암석의 자유면 보호 등
 - 경사천공의 단점: 공구 자리잡음의 곤란과 정확한 경사각 유지 곤란, 지질학적 불연속면에서 문제점이 많고, 공내에 로드 걸림 현상이 자주 일어나며, 장약작업이 곤란하고, 때로는 일반착암기 사용이 곤란

(1) 천공시 주의사항

- 일반적인 발파척 경우

- 천공의 모양 및 발파공의 배열은 발파책임자의 지시에 의하지만, 전(前)회 발파 실적을 생 각하여 현장의 암질, 암반의 절리, 암층, 균열 등에 의해 필요한 수정 하도록 해야 함
- 천공각도에 주의
- 최소저항선을 고려해서 폭약량을 될 수 있는 한 정확히 계산
- 지발발파를 실시할 경우에는 공발이 일어나지 않도록 발파공 배치에 유의
- 천공은 전(前)회의 발파공을 이용해서는 안 되고, 특히 전(前)회 발파의 잔류폭약, 잔류너 관의 유무에 대해서 충분히 주의해야 함

○ 갱내발파의 경우

- 갱도 내부는 배수가 될 정도의 완만한 기울기를 이루고
- 갱도단면은 폭약의 장전에 지장이 없는 범위에서 작은 단면으로 하고
- 갱도의 조명은 방폭형 안전조명 등을 사용
- 작업자는 절연상태가 완전한 안전등을 사용하며, 전등선은 사용하지 않아야 하며
- 갱도를 굴진할 때에 생긴 파쇄암석은 전부 밖으로 반출
- 출수 또는 암질 불량으로 갱도의 방향이나 장약의 위치를 변경할 때에는 책임자에게 연락 하여 지시를 받고
- 장약 후 발파까지 상당한 시일이 걸릴 때에는 약실에 배수구멍을 설치하고, 방수종이를 써서 천장과 측면을 포장하여 방습
- 장약 전에 충분히 점검하여 낙석의 위험이 있을 경우에는 지주를 써서 보강하는 조치

(2) 천공속도에 영향을 미치는 요소

○ 천대상 암반의 물리적 성질과 착암기의 작동상태

1) 암석의 물리적 성질

- 파괴에 영향을 미치는 암석의 성질: 비중 ρ , 공극률 P , 함수비 또는 흡수율, 투수계수 k 정도, 탄성계수 또는 영률 E , 강성률 G , 포아송비 ν , 체적탄성률 K , 압축률($B=1/K$), 압축강도 σ_c , 인장강도 또는 파단강도 σ_t , 전단 강도 σ_s , 충격강도, 탄성파속도 또는 초 음파속도 V_p, V_s 등

○ 암석강도계수와 천공속도와의 관계(그림 2.1)

- 암석 강도계수는 천공속도와 밀접한 관계이며, 그 수치가 작을수록 천공속도는 증가함
- 천공비용은 단위부피당 소비에너지와 직결되며, 이 에너지와 천공속도의 관계는 실험적으로 식 2.1과 같음

$$E_v = \frac{4P}{\pi D^2 R} \tag{2.1}$$

여기서, E_v : 단위체적당 에너지(energy per unit volume), $cm \cdot kg/cm^3$

P : 일률(work rate), $cm \cdot kg/min$

D : 비트직경(bit diameter), cm

R : 천공속도(penetration rate), cm/min

○ 천공에 소비되는 에너지의 물리적 성질과 암석강도계수와 상관관계(그림 2.2)

- 암석강도계수와 단위부피당 천공에 소비되는 에너지의 상관관계는 매우 높음
- 암석강도계수와 천공속도와 소비에너지의 상관관계가 매우 높음

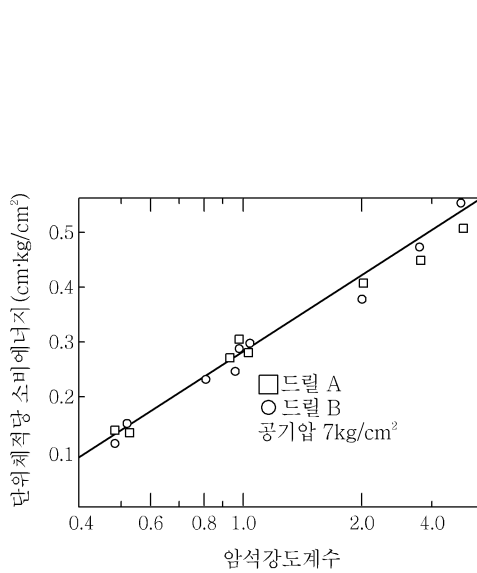


그림 2.1 천공속도와 암석강도계수와
관계(공기압은 7kg/cm^2)

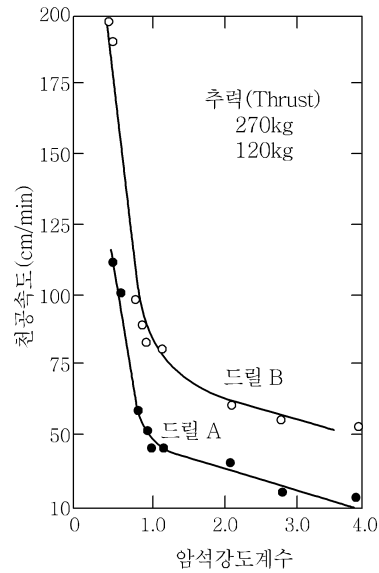


그림 2.2 단위체적당 소비에너지와
암석강도 계수와의 관계

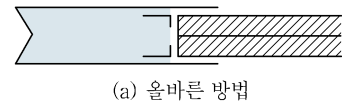
2) 착암기의 종류와 특성

- 착암기는 일반적으로 동력을 Rod를 통하여 Bit에 전달하고 비트의 선단은 반복하여 충격 하중을 암석에 가하여 발파공을 뚫는 기계적 장치로 기구상으로 보아 타격식, 회전식, 타격회전식의 3가지 형이 있음
- 착암기의 동력은 압축공기의 기압, 전압 및 유압 등을 사용

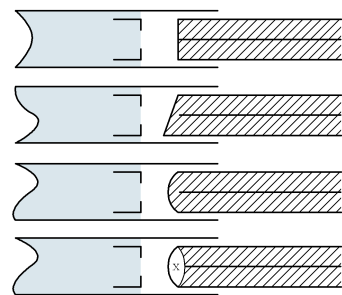
2.1.3 전폭 약포의 제작

(1) 도화선부 뇌관을 가지고 전폭약을 제조할 때의 방법

- 천공의 깊이와 대피에 충분한 시간을 감안하여 도화선의 길이를 결정하여 절단하여야 하고, 절단 전에 꼭 흡습 기타 이상 유무를 확인
- 도화선과 뇌관을 결합할 때에는 우선 뇌관의 이상 유무를 살펴야 되는데 그 착안점으로는 ㉠ 관체에 흡습이 없는가?, ㉡ 내관이 없어지지 않았는가?, ㉢ 관내에 목분 등의 불순물이 없는가? 등
- 위의 조작이 완료되면 약포의 한쪽 끝을 열어 뇌관 삽입 분으로 나폭약체에 뇌관 길이 정도의 구멍을 뚫고 뇌관의 관구를 쥐고 가만히 밀어 넣어 그림 2.3과 같이 관구와 나폭약 면이 일치되도록 하여 약포지로 다시 싸고 실로 단단히 묶어 약포와 뇌관의 탈락 방지



(a) 올바른 방법



(b) 틀린 방법

그림 2.3 도화선과
뇌관의 결합

- (2) 전기뇌관을 가지고 전폭약포를 제조하고자 할 때는 그림 2.4의 (b)와 (c)를 참고

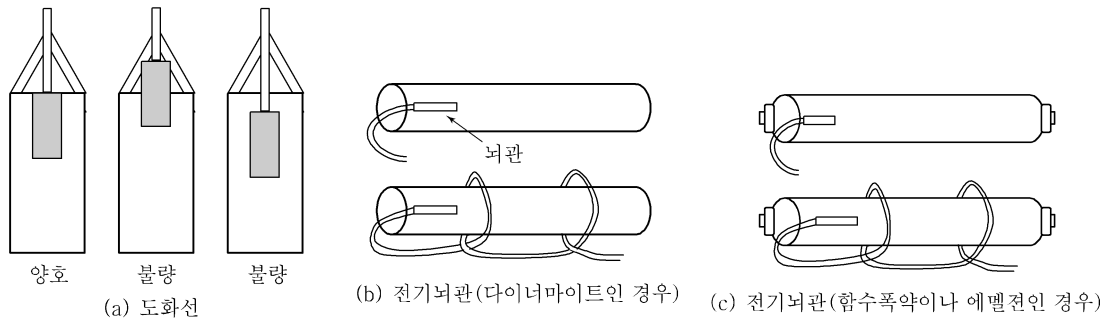


그림 2.4 전폭약폭의 제작

2.1.4 천공의 점검

- 장전 하기 전 발파공에 남아 있는 암석 가루 등 청소
 - 상향공에서는 천공 중 중력에 의해서 암석 가루가 자연적으로 배제되지만, 수평공과 하향공의 경우에는 암석 가루가 구멍 속에 그대로 남게 되므로 발파공을 점검한 후 압축 공기로 불어 청소함
- 파쇄대에서는 구멍 속에 작은 돌이 끼어 있을 경우가 있으므로, 이 때에는 파이프 같은 것을 이용하여 돌이나 조각이 남아 있지 않도록 청소
- 상향공이라 할지라도 깊이가 5m 이상 될 경우에는 청소 실시
- 수갱 굴착시와 같이 용수 장소의 하향공에서는 발파공을 청소한 후 구멍을 잘 막아 다시 막히지 않도록 유의해야 하며, 짧은 가이드 파이프(Guide pipe)를 구멍에 삽입한 다음 작업하면 좋음

2.1.5 장전 및 장약

(1) 장전

- 발파공보다 약간 작은 다짐대를 사용하여 장전 비중이 커지도록 폭약을 압입하여 장전하며, 너무 충격을 가하지 않도록 함
- 약포와 약포 사이에 이물질이 들어가지 않도록 하고, 도화선 발파의 경우에는 약포와 도화선부 뇌관이 분리되지 않도록 함
- 공경과 약경의 차를 되도록 적게 하는 것이 필요
- 폭약의 동적 효과를 나타내는 폭굉압 P_d

$$P_d = K\Delta D^2 \quad (2.2)$$

여기서, K : 상수, D : 폭속, Δ : 장전 비중

- 폭굉압은 장전 밀도에 비례하므로 발파 효과를 높이기 위해서는 장전 밀도를 크게 함
- Carlit과 같은 가루 화약은 너무 과도하게 밀도를 높이면 폭굉이 일어나지 않게 되어 사압 현상을 일으킬 염려가 있고, 또 Burn cut의 장전공은 너무 폭력이 높아지면 무장약공에 파쇄 암석이 고결되어 효과가 나지 않으므로, 인위적으로 장전 비중을 낮게 하거나 저비중 폭약을 사용하기도 함
- 초유폭약의 장전에서는 기계를 사용하는 경향이 있으며, 보통 압기식 장전기 사용. 이것은 압축 공기로 초유 폭약을 빨리 장전하는 것으로, 가루 폭약에 대해서는 압기 압입식,

또는 압기 흡입식 장전기가 사용됨

- 장전기에는 합성수지를 많이 사용하는데, 이것들은 절연체이기 때문에 장전시의 마찰로 다량의 정전기가 발생하며, 이 때 발파공에 물기가 있고 금속 광물이 있을 때에는 정전기가 곧 누전되어 없어지지만, 건조한 곳에서는 비닐 봉지 속에 장약할 경우와 같이 장약과 장약자 자신이 대전되는 상태에 있으므로 뇌관을 집어넣을 때 주의 요함
- 초유폭약은 장전기로 장전할 때 질산암모늄의 알갱이가 압축 공기에 의해서 분쇄되기도 하는데, 이 때에 분쇄된 초유폭약은 폭속이 높아짐(표 2.1)

표 2.1 초유폭약의 입도와 폭속의 관계

입도(mesh)	알갱이 평균 지름(mm)	폭속(m/s)
8~10	2.0	2,600
10~14	1.4	2,780
14~20	1.0	3,000
20~32	0.7	3,480

(2) 전폭약 제작

- 천공 내의 폭약을 폭발시키는 방법: 보통 공업용 뇌관과 도화선을 연결하는 방법과 전기 뇌관을 Dynamite의 포장지 속에 넣어 점화시키는 방법
- 뇌관을 Dynamite에 삽입할 때에는 포장지의 한쪽 모서리를 열어 약포 중심부에 뇌관 삽입 막대로 구멍을 뚫고, 그 속에 도화선 뇌관이나 전기 뇌관을 삽입하고 열었던 포장지를 접은 다음, 실이나 가는 끈으로 그 위를 매어 뇌관이 Dynamite에서 뽑아지지 않도록 고정
- 젤라틴 상태의 약포는 구멍을 뚫어도 약포 내의 폭약이 흘러내리지 않기 때문에 실이나 가는 끈을 따로 사용하지 않고, 직접 도화선이나 전기 뇌관의 각선으로 묶는 방법을 사용하는데 이것을 전폭약이라 하며, 장약공의 밑바닥이나 중간에 또는 나중에 장전하여 다른 약포와 밀착시켜줌
- 전폭약 장전은 위험하므로 장전용 막대로 큰 충격을 받지 않게 천천히 다진 후에 전색물을 압입하며, 이 때 도화선 또는 전기 뇌관의 각선이 손상되지 않게 주의
- 전폭약은 장전 위치에 따라, 발파공에서 가장 바깥쪽에 두는 방법인 정기폭과 안쪽 끝에 두는 방법인 역기폭, 중간에 두는 방법인 중간기폭으로 나눔(그림 2.5)

1) 정기폭

- 구멍 입구 쪽에 기폭점을 두는 것이, 속에 두는 것보다 충격파가 자유면에 도달하는 시간이 빠르기 때문에, 자유면에서 반사하는 반사파의 세기가 큰 점등의 이유로 정기폭이 역기폭보다 발파 위력이 크다고 주장되고 있으며, 순폭성에 있어서도 정기폭이 우수하다고 주장(그림 2.5(a))

2) 역기폭

- 기폭약포를 공저에 넣는 방법으로 세계적인 화약회사인 듀퐁(E.I. du Pont de Nemours and Company)에서는 다음과 같은 이유로 정기폭이 불리하다고 주장하고 있다.(그림 2.5(b))
- 정기폭에서는 인접 구멍에 균열을 일으키므로 불발의 원인이 되며, 발파 시 장약의 앞부

분이 튕겨 나오는 경향

- 폭약이 연소되기 쉬움
- 도화선 발파 시에 발파된 암석의 파편에 의하여 인접 도화선의 미연소 부분이 절단되는 경우가 있음
- 장전한 폭약을 경우에 따라 다시 빼낼 때 불리
- 일반적으로 역기폭은 각선의 길이가 길어지며 폭약을 다져 넣는 데 주의해야 하지만, 기폭점이 안쪽에 있으므로 발파 위력이 내부에 더욱 크게 작용하여 잔류공을 남기는 일이 없으나, 정기폭일 경우에는 폭약을 다져 넣는 작업이 비교적 안전

3) 중간기폭

- 기폭점을 공입구와 공저의 중간부분에 두는 것으로 장약의 길이가 길 경우에는 중간기폭이 많이 사용됨. 비교적 둔감한 초유폭약을 이용하여 긴 장약을 기폭 할 경우에는 끝 부분에 전폭약을 설치할 수도 있음(그림 2.5(c))

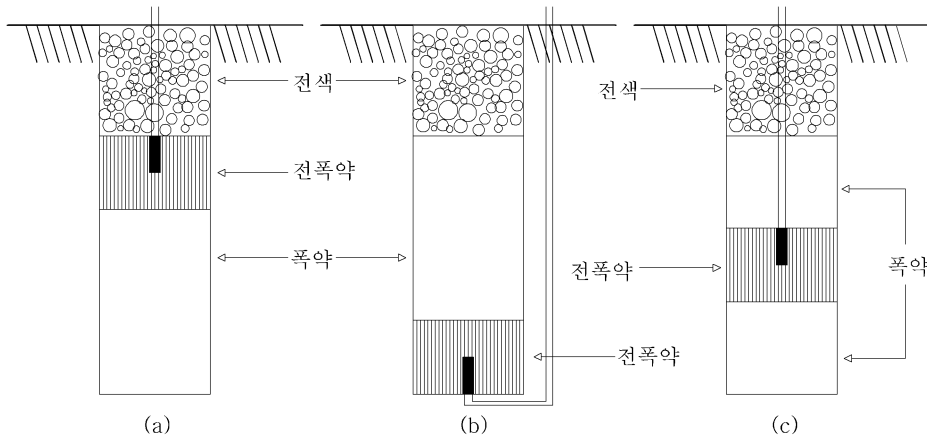


그림 2.5 전폭약의 위치

2.1.6 전색물(Tamping material)

- 전색은 발파위력을 크게 하고 폭풍압의 발생을 억제하며 갱내에서의 가스나 석탄가루에 대한 인화의 위험성을 적게 하여 안전도를 높이고 발파 후 발생 가스를 적게 하므로 특수한 경우를 제외하고는 전색 없이 발파하는 경우는 없음
- 전색은 폭약을 장전한 발파공의 잔여공부분에 삽입봉으로 전색물을 충전하는 것으로 이때 약포 부근에서 서서히 5~10cm 정도에서는 점차로 가압하면서 공구까지 충전
- 전색물로서 갖추어야 될 조건
 - 발파공 벽과의 마찰이 커서, 발파에 의한 발생Gas의 압력을 이겨낼 수 있어야 함
 - 압축률이 작지 않아서 단단하게 다져질 수 있어야 함
 - 틈새를 쉽고 빨리 메울 수 있는 것과 재료의 구입과 운반이 쉽고 값이 싼 것이어야 함
 - 연소되지 않는 것, 또 불발이나 잔류폭약을 회수하기에 안전한 것 등
- 전색으로 기대되는 효과
 - 밀폐에 의한 천공내 폭약의 완폭과 폭발에너지의 밀폐에 의한 효과상승, 탄광 등에 있어서 Gas, 탄진에 대한 안정성의 향상 등
- 전색물의 재질
 - 점토를 전색물로 사용할 경우: 함수율 20~25% 정도

- 모래와 점토를 혼합한 전색물: 함수율 13% 정도, 혼합비 1:1의 것, 모래는 함수율 10%, 크기 50mesh 이하를 50% 함유한 해사(海砂), 비닐 주머니에 물을 담은 것(방수성에서)
- 알갱이가 고체로 구성된 전색물에 있어서는 전색물의 알갱이가 작을수록 발파효과 높음
- 전색물 알갱이의 최적크기는 발파공 직경의 약 0.05배
- 점토를 전색물로 사용할 경우 수분의 함유량이 증가할수록 발파효과는 높아지며, 물은 충격파를 잘 전달시키고, 탄성한계를 넘어서 높은 응력을 일으킴으로써 점토나 모래보다 전색물로서의 발파효과가 큼
- 물을 전색물로 사용했을 때의 장점
 - 폭염을 적게 하여 석탄가루에 인화되는 위험성을 감소시킴
 - 분진 억제
 - 전색물로서 모래나 점토의 대용으로 사용
 - 메탄가스(CH_4)에 대한 안전도를 높임
 - 황 광산에서 황산 발화성 저하시킴

2.1.7 대피

2.1.1~2.1.6의 조작이 완료되면 점화에 필요한 사람 이외는 안전지대로 대피

2.1.8 경계

- 필요한 위치에 경계원 배치, 발파 시 경계원에게 경계하는 위치와 경계하는 구역, 발파 횟수, 발파완료 후의 연락방법 등을 확인시킨 후 작업 실시
- 발파 도중에 결선의 교정 등으로 인하여 예정시간보다 더 소요될 때가 있는데 경계원은 발파완료의 연락이 있을 때까지 그 위치를 이동해서는 안 되며, 경계에는 규정의 경계표지를 하고 갱외에서는 붉은 기를 가지도록 함

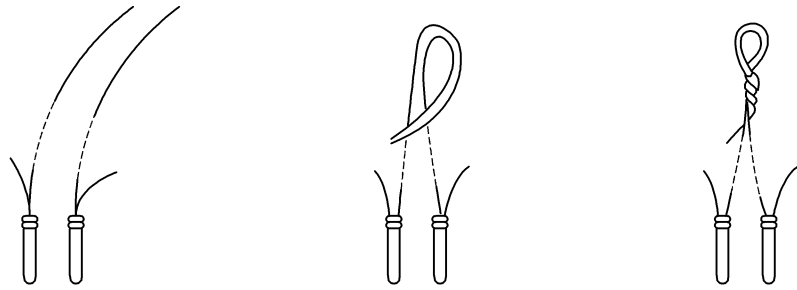
2.1.9 결선 및 점화

- 전기 발파에서는 전류가 발파기로부터 흘러 나와 각각의 리드선 및 연결선으로 전달되고, 다시 각선과 전기 뇌관으로 흘러 전기 뇌관 속의 지연 장치를 점화하게 되는데, 적절한 발파 회로 선택 및 설계, 선정된 발파 회로에 적합한 에너지원 사용, 전기 재해의 감지 및 해소, 회로 연결 점검 등을 해야 함
- 전기식 발파의 장점: 회로의 어느 점에서든지 회로 연결 상태를 점검할 수 있으므로 각각의 발파공들은 전색하기 전, 전색 후 그리고 발파 전에 점검할 수 있어 회로 손상으로 인한 불발 예방 가능
- 전기식 발파의 단점: 미주전류에 약하므로 전류가 흐를 가능성이 있을 시 조사

(1) 결선

1)각선 상호간의 결선 또는 각선과 보조모선과의 결선

- 가는 각선(보통 지름이 0.45mm인 가닥구리선) 상호간의 결선(그림 2.6)은 각각 결선할 선의 끝부분을 5cm 정도씩 꺾질을 벗긴 다음, 두 선을 묶음으로 하여 고리를 만들고, 이를 5회 이상 돌려 감아 단단하게 결선



(a) 결선할 선을 나란히 정렬함 (b) 두 선을 한 묶음으로 하여 고리를 만듦 (c) 5회 이상 돌려 감아서 단단하게 결선함

그림 2.6 각선 상호간의 결선

2) 각선과 모선의 결선

- 가는 각선과 굵은 모선(지름이 1.0mm인 가닥 구리선)과의 결선(그림 2.7)은 굵은 모선의 끝부분의 껍질을 벗긴 부분(길이 5cm 정도)에 가는 각선의 껍질을 벗긴 부분(이 경우, 껍질을 벗긴 부분의 길이는 10cm 이상)을 10회 이상 감아 붙인 다음, 굵은 모선의 남은 끝을 구부려 놓음

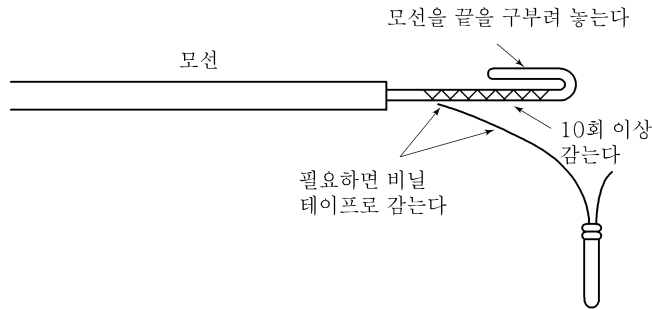


그림 2.7 각선과 모선의 결선방법

3) 굵은 모선 상호간의 결선

- 모선 상호간의 결선은 각각의 모선 끝부분을 5cm 이상씩 벗긴 다음, 지름이 0.95mm인 결속선으로 단단히 결속

4) 도폭선 상호간 결선 및 도폭선과 전기 뇌관의 결합

- 도폭선 상호간 결선 및 도폭선과 전기 뇌관의 결합을 잘못하면, 도폭선의 전폭이 되지 않고 불발될 염려가 있으므로 옳은 결선법에 의해서 결선(그림 2.8)
- 도폭선 결선의 경우: 그림 2.8의 (a) 및 (b)와 같이 결선. 도폭선의 결선은 흡습한 경우를 고려하여 끝으로부터 적어도 5cm 이상 되는 곳에서 실시
- 도폭선 분기의 경우: 그림 2.8(f)와 같이 도폭선의 분기방향이 발파의 진행방향과 반대로 되지 않도록 주의. 발파의 진행방향이 불명확할 때에는 그림 2.8(e)와 같이 간선과 지선을 직각으로 결선
- 도폭선과 뇌관의 결합: 그림 2.8(g)와 같이 도폭선과 뇌관을 평행으로 대고 테이프로 단단히 동여땀. 이 경우 그림 2.8(h)와 같이 발파방향과 각선방향이 일치하면 전폭하지 않음

분류	음음	나뭇
도 폭 선 의 결 선	<p>접속</p> <p>(a) 테이프 5cm이상</p> <p>(b) 5cm이상</p>	<p>(c)</p>
	<p>분기</p> <p>(d) 뇌관 폭파방향</p> <p>폭파 진행방향이 명확한 경우</p> <p>(e) 90°</p> <p>폭파 진행방향이 불명확한 경우 (좌우 어느쪽에서부터 전폭될까 불명)</p>	<p>(f) 뇌관 폭파방향</p> <p>θ</p> <p>X</p> <p>간선의 폭파에 의해서 X표시 부분이 날려 절단되는 경우가 있다. 각도 θ가 작을수록 이 경향은 많다. 따라서 폭파 방향에 대해서 반대방향으로 분기되도록 결선해서는 안 된다.</p>
도 폭 선 과 뇌 관 의 결 합	<p>(g) 뇌관 폭파방향</p> <p>뇌관은 후두부를 폭파방향으로 향하도록 한다.</p>	<p>(h) 뇌관 폭파방향</p>

그림 2.8 도폭선의 결선 및 전기뇌관의 결합

5) 제발결선

- 제발발파를 실시할 경우 전기뇌관의 사용 시 결선방법으로는 직렬결선, 병렬결선 및 직·병렬결선으로 분류
- 직렬결선
 - 인접되어 있는 전기뇌관의 각선을 연결하고 처음과 끝의 각선을 모선에 연결하는 방법이며, 결선이 틀리지 않고 불발 시 조사하기가 쉬움
 - 장점: 결선이 틀리지 않고 불발 시 조사가 쉽고, 모선과 각선의 단락이 일어나지 않고, 한 군데라도 불량한 곳이 있으면 전부 불발하며, MS뇌관 사용하여 전기발파기로 점화할 수 있는 것
 - 단점: 전기뇌관의 저항을 통일하지 않으면 안 되고, 저항이 큰 것이 있으면 그것이 먼저 폭발하므로 각선의 길이 및 뇌관의 형식을 동일하게 해야 함
- 병렬결선
 - 각 뇌관의 각선을 모선에 연결한 것
 - 장점: 전원에 동력선, 전등선을 이용할 수 있고, 전기뇌관의 저항이 조금씩 다르더라도 상관없으며, 대형발파에 이용
 - 단점: 결선이 복잡하여 틀리기 쉽고, 결선이나 뇌관에 불량한 것이 있으면 그것만 불발되

어 불발발견이 곤란하며, 모선과 각선의 단락이 일어나기 쉽고, 가스나 탄진의 위험이 있는 곳에서는 사용할 수 없고, 전류가 여러 뇌관에 고르게 흘러야 하며, 많은 전류가 필요

○ 직·병렬결선

- 몇 개의 직렬군을 병렬로 결선한 것
- 전등선이나 동력선으로 대량 제발 발파할 때 사용
- 수갱이나 사갱 등의 대발파를 할 때 사용
- 전등선이나 동력선으로 다수의 제발발파 및 수갱이나 사갱 등의 대폭파에 사용
- 지하철 건설, 채석 작업 등에서 많이 이용
- 적당한 전력으로 다수의 뇌관을 점화시킬 수 있고, 각각의 직렬회로 및 전회로를 도통시험기로 시험할 수 있고, 보조모선을 연결선으로 사용하면 전류를 쉽게 균등 배분할 수 있으며, 이 때 각 분로의 저항이 같아야 함

○ 비전기식 뇌관의 결선

- 스웨덴에서 처음 개발된 비전기식 기폭 시스템은 점화 에너지의 전달법으로 개발한 노넬 튜브를 기본 요소로 하고, 뇌관 및 연결구조 구성

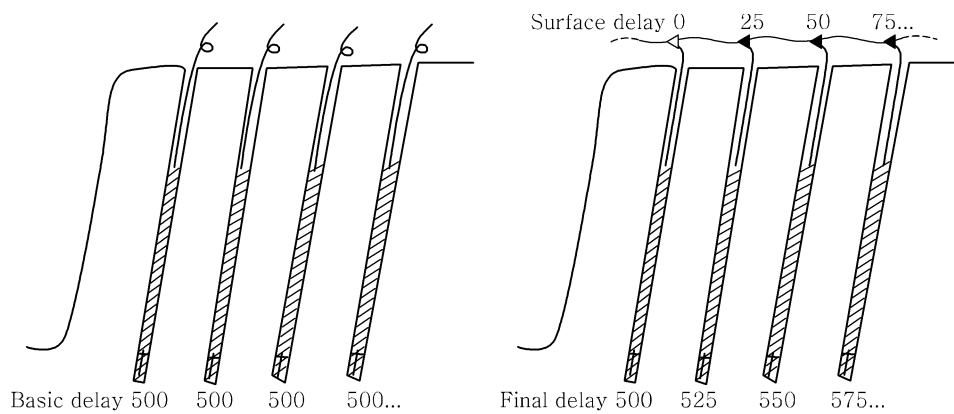


그림 2.9 NONEL System

- Deck charge시나 다수공의 제발효과를 얻기 위해서는 발파 패턴에 따른 결선 계획을 세움. 결선법은 직렬, 병렬, 직병렬 어느 것이든 가능하며 결선 후 결선상태를 완벽하게 점검하기 어려우므로 점검하기 쉽고 경제적인 결선법 선택
- 단발수 및 배치는 전기발파와 같음. 튜브의 전폭 시간은 0.5 ms/m 로 지연. MS시리즈의 단별지연초시는 20 ms 간격이고, LP시리즈는 $100\sim 500 \text{ ms}$ 이며, 발파공 내에 사용되는 뇌관으로 전폭약포를 기폭 시키기 위한 기폭용 뇌관은 $400\sim 500 \text{ ms}$ 까지 25 ms 초시 간격으로 되어 있음. 발파공과 발파공간의 연결용 뇌관은 $0\sim 176 \text{ ms}$ 까지 7가지로 되어 있으며, 기폭용 뇌관의 연결이나 Bunch용 연결뇌관으로도 활용. 따라서 보통 규모의 발파에서는 Cut-off 등의 배려는 필요 없으며, 이 지연을 활용한 단차 발파 가능
- 모든 튜브 끝은 밀폐 구조로 방습, 내수를 위하여 결선 시에도 절단하지 않고 그대로 사용
- 터널발파와 같이 천공 간격이 좁고 수가 많은 경우는 보통의 도폭선을 쓰고 다발로 한 튜브를 기폭하는 Bunch 결선법을 이용할 때에는 최대 20개의 튜브를 1다발로 함

- 연결용 뇌관의 튜브길이는 가급적 짧게 하되 60cm 이상은 되어야 함
- 튜브와 Connector Block 및 Bunch Connector간의 간격을 최소 20cm 이상 유지
- 만일 전기 뇌관을 사용하여 비전기식 Round를 발파할 경우 Round의 발파준비가 완벽하게 완료된 상태에서 전기뇌관 연결

(2) 점화

- 점화가 충분하다고 인정되면 다시 “발파” 라고 경고하여 피난에 철저를 기한 다음 점화 시작
- 점화 방법은 기폭 에너지원에 따라 전기식 및 비전기식으로 구분
 - 전기식 : 전기 뇌관, 전자 뇌관
 - 비전기식 : 도화선, 도폭선, 비전기식 뇌관 등
- 가장 많이 사용되고 있는 것은 전기 뇌관이며, 적당한 전기 에너지와 회로망으로 안전한 거리에서 하나의 전원으로부터 다량의 전기 뇌관 점화 가능
- 도화선과 공업뇌관은 소규모 발파에 사용되는 비전기식 점화 방법이며, 도폭선은 조절 발파에서 전기 뇌관을 대체할 수 있으며, 전기장의 위험이 있는 지역에서 사용
- 도화선 발파의 장점: 전기발파에서는 누설전류나 지전류가 있는 곳에서는 신중히 다루어야 하나 도화선발파에서는 이러한 염려가 없고, 발파작업이 비교적 안전하며, 발파용 기재가 극히 단순함 등
- 도화선 발파의 단점: 대형채굴장의 경우 발파 계획이 곤란하며, 점화작업에 위험이 수반되고, 발파의 후가스를 나쁘게 하고, 기폭순서의 불규칙으로 인하여 발파수의 확인곤란, Cut off, 비석 등의 원인이 되고, 도화선의 절심이나 Cut off 등에 의한 불발이 발생하기 쉬움 등
- 전기발파의 장점: 제발발파가 가능하여 발파효과를 증진시키고, 발파장소로부터 떨어진 안전한 곳에서 점화하게 되므로 안전하고, 메탄가스(CH_4)가 있는 곳에 발파하더라도 직접적인 인명피해가 없고, 내수성이 좋으며, 점화 후 발파하지 않을 경우에는 MS 및 DS 전기발파시는 5분만 경과하면 접근할 수 있으나 도화선 또는 보통 전기뇌관 발파 시는 15~30분이 경과한 후에 접근해야 함
- 장전이 끝나면 발파에 관계없는 사람은 도구를 지정된 장소에 가져다 놓고, 지시된 안전한 장소로 대피해야 함. 대피 장소는 발파의 진동으로 천반이나 측벽이 무너지지 않는 곳, 발파로 인한 파쇄석이 날아오지 않는 곳, 경계원으로부터 연락을 받을 수 있는 곳
- 발파공해를 계측하는 발파현장에서 무전기를 사용하여 경계원과 발파기사 및 관계자간에 상호 연락은 가급적 피해야 함. 진동 계측기의 Trigger Level을 낮게 설정한 경우는 이들 전파에 의해 계측기가 오작동하거나 이들이 기록되는 경우가 있음. 계측자료 출력 시 발파에 의한 자료와 구분되기는 하지만 불필요한 전파에 의해 계측되는 시간과 발파하는 시간의 차가 짧게 되면 발파에 의한 공해측정이 불가능하게 됨

1) 전기뇌관의 점화

- 전기발파는 도화선 발파에 비해 다수의 제발이나 희망의 초시간격으로 된 지발발파가 가능하고, 대피를 확인하고 모든 안전을 확인한 후에 점화할 수 있으며 불발이 적음
- 점화기와 뇌관의 각선을 잇는 전선인 발파모선으로 모선의 길이는 되도록 길게 하되 최소비산거리 이상이 되어야 함

- 발파모선은 고무 또는 무명천으로 피복한 전선으로서 기계적으로 강력한 것이어야 함
- 단선전선은 발파모선으로 사용할 수 없으며 다선전선 중 강선이 들어 있는 것이 좋음
- 발파모선 및 보조모선을 배선할 때에는 단락, 누전, 지전류를 없게 하기 위해서 물기가 있는 장소, 철관, 레일, 동력선 또는 신호선에서 되도록 멀리해야하며, 뇌관의 각선 근처는 파손이 심하므로 보조모선을 사용하면 좋고, 낙반이나 붕괴가 없는 안전한 위치를 선정해야 하며, 작업장 또는 각선의 결선을 쉽게 하기 위하여 여유를 갖게 함
- 각선 한 개의 끝은 길고, 다른 한 개의 끝은 짧게 하여 접선이 되지 않게 해야 하며, 발파 전후에 발파기 쪽의 모선은 전류가 흐르지 않도록 같이 묶고, 모선이 상할 염려가 있는 곳은 보조모선을 사용해야 하며, 결선부는 다른 선과 접촉하지 않도록 주의해야 하고, 결선상태를 점검하는 등 주의하여야 함
- 결선에 이상이 없으면 작업원은 전원을 안전한 지대로 대피시킨 것을 확인한 후에 1.0mA 이하의 도통시험기(저항계)로 도통시험을 실시하며, 이 때 계산 값과 실측값의 오차가 10% 이상 있을 때에는 결선이나 그 밖의 사항에 대해서 재점검 실시. 도통시험은 발파 때마다 재시행
- 다음 발파기의 단자에 모선을 접속하고, 발파신호를 경계원에게 보내 이상이 없으면 점화의 스위치를 넣고, 발파가 끝나고 발파기로부터 모선을 빼고 그 끝을 묶음
- 예기치 않게 발화가 되는 경우 그 원인은 번개, 낙뢰, 정전기, 무선주파에너지, 미주전류, 전지작용, 송전선, 기타 등
- 미주전류에 의한 발화: 발파현장부근에 동력선, 전등선, 전화선, 레일, 수도관, 기타 전기가 통할 염려가 있는 금속류나 도전성의 암반이 있을 때에는 그에 의한 전기뇌관의 폭발 염려. 전기뇌관 조작 작업 개시 전 누설전류검지기로 검사. 전기뇌관의 최소점화전류는 약 300 mA이지만, 안전율을 고려해서 100 mA 이상의 전류가 발견되면 위험으로 보고 작업을 중지하는 편이 좋음
- 전지작용에 의한 발화: 미국에서 다짐봉으로 알루미늄봉을 사용해서 발화사고를 일으켰던 경우가 있으며, 그 원인은 알루미늄봉과 천공 내 철관과의 사이에 알칼리성 흙의 용액을 통해 생긴 전지 작용에 의한 것으로, 재실험에서 약 1.2 V의 전류가 측정됨
- 송전선에 의한 폭발: 미국에서 고압선부근에서 발파를 하다 감전되어 화상을 입은 예가 있으며, 그것은 발파에 의해 발파공에서 각선이나 모선이 튀어 올라 이것이 고압선에 걸려서 일어난 것. 점화위치와 고압전선까지의 거리는 발파모선과 보조모선 길이의 2배 이상이 되도록 하거나 그 거리를 잡을 수 없으면 모선을 고정해서 날아오르지 않도록 함

2) 비전기뇌관의 점화

- 비전기식발파에서는 발파공들간의 시차 및 열간의 시차를 두기 위하여 지표면에서 연결 뇌관을 사용하므로 뇌관의 점화에 의한 소음발생이 필연적이므로 소음을 방지할 수 있는 조치 필요
- 비전기식발파에서 전기식발파의 모선의 역할을 하는 것이 Starter인데 안전상 Starter의 길이를 조절할 수 있으며, 배선 시 Starter의 손상여부를 확인. Starter의 기폭은 비전기식 전용발파기를 사용해야 하며 전기뇌관을 사용해서도 기폭 가능함. 전기뇌관은 폭원으로로부터 10m 이상 이격된 거리에서 발파개시 바로직전에 연결해야 함

2.1.10 발파의 확인

(1) 발파 후의 점검

- 도화선 발파시에는 점화 후 발파진동 및 비산으로부터 안전한 장소에 대피하여, 발파 소리를 세면서 점화수와 일치하는지 확인하고, 전기 점화시에는 발파 즉시 발파모선을 발파기에서 분리시켜 그 끝을 단락시키고, 재점화되지 않게 함
- 전기뇌관을 이용한 순발 발파시에는 발파 후 5분 이상, 그 밖의 발파시(도화선 및 지발 전기 뇌관 발파)에는 15분 이상 경과하기 전에는 현장에 접근해서는 안 되고, 터널의 발파에서는 30분 이상 경과한 후에 접근해야 함
- 발파 후 발파책임자는 불발, 잔류폭약의 유무, 천반, 측벽, 그 밖의 암반 등에 관해서 위험의 유무를 검사하여 안전상태를 확인
- 발파결과를 조사한 다음 산사태, 낙석 등 위험이 있는 곳은 출입금지구역으로 설정하여 일정한 시일 동안은 이 구역 안에 특히 필요하다고 인정한 자 이외의 사람은 출입 금지

(2) 불발과 잔류약

- 불발: 점화작업을 했는데도 불구하고 전혀 폭발을 발하지 않는 경우나 소폭음을 발할 경우 또는 뇌관의 일부가 폭발했으나 기폭력의 부족으로 전폭약이 폭발하지 않는 경우
- 잔류약: 천공에 장약한 폭약의 일부가 폭발하지 않은 채 남아 있거나 전폭약이 인접한 발파공의 폭발로 날려가 불폭 잔류된 것

1) 불발(Misfire)

○ 불발의 원인

- 결선법의 부적합과 발파기의 용량 부족과 같이 전원에 기인한 것
- 뇌관의 점폭약 부족 또는 습윤, 백금선 절단, 전기저항 이상과 같은 뇌관자체의 이상에 기인한 것
- 폭약의 변질, 습윤 동결의 폭약자체결합 등
- 전기뇌관의 특성에 적합한 사용방법을 강구하고 정상적인 전기발파기를 사용하더라도 불발이 발생할 때가 있는데 이것은 발파회로의 결선부에 방수처리가 되지 않아 전류가 암반이나 수중으로 누설되어 불발을 일으키는 것
- 누설부분이 2개 장소 이상이라면 그곳에서 전류가 누설되므로 직렬 결선부의 양단부분이 폭발하더라도 중앙부분은 침두 전류가 부족해서 불발되는데, 고전압의 발파기를 사용할 수록 이런 경향이 강하게 나타남

○ 불발방지 방법

- 준비작업 시: 전기뇌관의 각선을 늘릴 때에는 뇌관체를 쥐지 말고 양손으로 각선을 쥐고 각선이 꺾이거나 얽히지 않게 하여야 하며 사용 전에 도통시험 실시
- 장전, 결선 시
 - ✓ 타사제품과의 혼용은 불발의 원인이 되므로 절대 피할 것
 - ✓ 전기뇌관이 폭약에서 이탈하지 않도록 전폭약 제작에 있어서 주의를 요함.
 - ✓ 장전시 각선에 손상을 주지 않도록 할 것
 - ✓ 점화기를 이용해서 점화할 때에는 직렬결선을 원칙으로 하지만, 다수의 전기뇌관을 사용할 때에는 직병렬결선으로 할 것
 - ✓ 직렬 또는 직병렬결선의 경우 전기뇌관에 적어도 1.5A 이상의 전류를 통하게 하도록 결선할 것

- ✓ 접촉저항을 되도록 적게 하기 위해 결선을 확실히 하고, 녹이나 먼지를 잘 털어서 결선할 것
- ✓ 나무(裸部)접지, 침수, 금속과의 접촉은 전류가 도주하여 계산대로의 전류가 전기뇌관을 통하지 않으므로 절대 하지 않을 것
- ✓ 발파모선은 고무나 비닐피복 중 절연상태가 양호한 것으로 사용할 것
- ✓ 갱내에서 동력선이나 전등선이 있을 경우 발파모선은 그것과는 반대측 벽에 물기를 피해 나무나 실로 매어 달던가 해서 철기둥 등에 접촉되지 않도록 함
- ✓ 발파모선 전기뇌관의 각선에 접속하는 쪽은 심선이 상호 접촉되지 않도록 크기를 다르게 해둘 것

- 점화작업 시

- ✓ 점화전에 도통시험을 해서 결선불량 등을 조사할 것
- ✓ 점화기의 출력이 정상인 것을 사용할 것(네온램프의 점등시간으로 전지의 소모도를 검사하던가 점화기 능력측정기 등으로 능력을 체크하면 좋음)
- ✓ 점화기의 조작은 확실하게 할 것

2) 잔류약의 원인

- 발파 후 잔류약이 생기면 발파효과가 충분히 나타나지 않게 될 뿐만 아니라, 천공할 때 잔류약에 닿아 폭발사고를 일으킬 수도 있으므로 잔류가 발생하지 않도록 주의
- 잔류약 발생의 원인: 폭약에 의한 원인, 장전에 의한 원인, 발파에 의한 원인 등
 - 폭약에 의한 원인: 분말계 폭약의 비중 과대와 약경 과소(같은 종류의 폭약에서도 약경이 적으면 순폭도는 적게 됨), 장기저장에 의한 변질과 흡습에 의한 고체화, 동결 등 이상의 것들이 원인이 되어 폭약의 순폭도가 저하된 경우 잔류를 일으키기 쉬임
 - 장전에 의한 원인: 약포간에 접촉하지 않고 공간을 남긴 채 장전할 경우와 약포 간에 바위조각, 슬러지, 물 등이 개재될 경우, 천공 내에 약포 수가 너무 많을 경우 즉, 장약장이 너무 길 경우에는 폭굉이 중단될 때가 있음. 그리고 이중 폭약의 사용 시에는 각 폭약의 맹도나 감도를 고려해야 하며, 뇌관위치의 부적정과 Channel Effect에 의한 것 등이 있음
 - 발파에 의한 원인: 천공장 또는 장약장에 비해서 천공간격이 좁을 경우와 순발전기뇌관을 사용한 제발발파나 단발전기뇌관이라도 MS뇌관이 사용될 경우에는 거의 볼 수 없지만, 초시차가 비교적 긴 LP뇌관을 사용할 경우, 도화선발파에서의 단차 어긋남이나, 발파설계의 착오 및 장전시의 오차로 인한 점화순서를 정정하여 행해지지 않을 경우, 그리고 바위층이나 조인트 때문에 앞단의 장약폭발로 층판이 탈락하는 경우 등과 같은 것들이 원인이 되어 Cut off를 일으켜 잔류를 발생시킴

3) 불발 및 잔류약의 처리방법

○ 불발의 처리방법

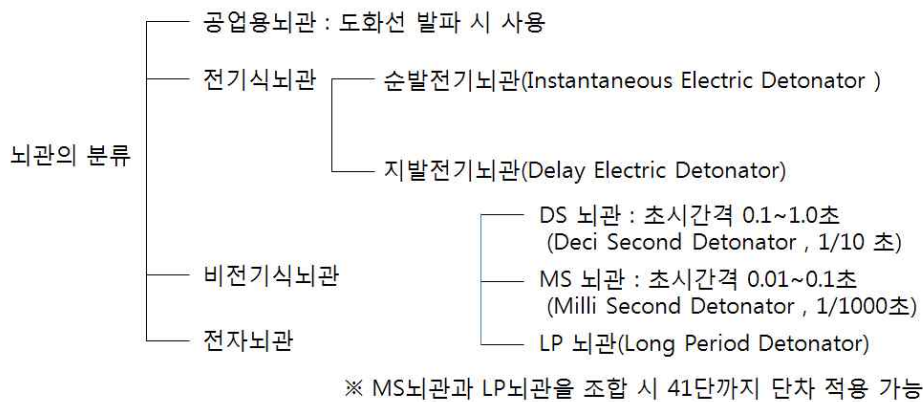
- 불발구멍이 생기면 각선 또는 모선 등을 점검하여 재점화 시도
- 불발구멍을 고무호스 등에 의한 압력수나 압축공기로 전색물과 화약류를 유출하여 불발화약류를 회수 또는 전색물만 유출하고 새로운 기폭약포를 장전하여 재점화
- 이상의 방법으로 회수를 하지 못할 때에는 불발의 발파구멍에서 0.6m 이상(손으로 팔 경우에는 0.3m 이상)의 간격을 두고 평행으로 천공해서 발파하여 불발화약류 회수하며 이외에는 불발화약류가 있는 염려가 되는 곳에 적당한 표식을 하고 책임자에게 보고한 후 지시를 받음

○ 잔류약의 처리방법

- 다짐대를 가만히 잔류공에 넣어 보거나 Cap Lamp를 비추어 잔류약의 유무를 조사하며, 잔류약을 발견하면 손끝으로 꺼낼 수 있는 것은 조심스럽게 꺼내도 좋지만 무리하게 파내면 안 됨
- 인접한 장약이 폭발했음에도 불구하고 이에 근접한 장약이 불발했을 경우에는 장약실 부근의 암석은 균열이 생겨 잔류폭약에 근접하는 일이 곤란하므로 장약에 충격이 미치지 않도록 주의해서 붕괴토석을 제거하여 폭약 회수

2.2 전기발파(Electric Blasting)

- 전기뇌관을 이용하여 발파를 하는 것으로 내수성이 좋고, 제발발파가 가능, 원하는 단발 발파가 가능(이것에 의해 암석의 파쇄도, 비산거리 등이 조정 가능), 대피할 염려가 없는 등의 장점이 있지만, 눈에 보이지 않는 전류가 흐르는 경우에 위험, 다수의 기구 필요, 조작이 어렵다는 단점이 있음



○ 전기뇌관

- 전기뇌관은 크게 순발뇌관, MS(Milli-Second, 1/1,000초) 및 DS(Deci- Second, 1/10초)뇌관으로 시차를 갖고 점화되도록 뇌관 내부에 연시장치가 있음
- 전기 점화의 큰 이점은 뇌관이나 전기발파회로를 도통시험기나 Ohm meter 등으로 사전에 Check할 수 있다는 것이며, 도화선 발파와는 달리 기폭 시점을 항상 조절할 수 있음
- 순발전기뇌관은 전류가 흐르는 즉시 뇌관이 발화하고 전기뇌관은 전기점화 장치를 제외하고는 구조가 공업 뇌관과 기본적으로 동일
- 국내에서 MS에 들어가는 전기뇌관은 각 단차의 초시는 20~25 ms 정도이며, DS, LP뇌관은 100~500 ms 단차를 가짐($1ms = 0.001초, \frac{1}{1000}초$)

2.2.1 발파기의 종류 및 기제

(1) 발파기

1) 발파기의 성능

○ 경량 소형일 것

- 휴대 편리: 발전기식 → 콘덴서식 → 트랜지스터 발파기로 변천

○ 절연성이 좋을 것

- 습기가 많은 곳, 용수가 있는 곳에서 사용할 때가 많아서 용기부식으로 인하여 누전되기 쉬우므로 현재는 금속성 용기는 사용되지 않고 플라스틱 용기가 사용

○ 확실하게 제발할 것

- 발파기를 사용할 때, 발전기식은 조작하는 개인차가 있어서 반드시 동일한 제발을 얻기 힘든 것에 반해, 콘덴서식은 정격 이상의 전압이 되면 표시 전구 등으로 콘덴서 내에 정격이상의 전압이 충전되어 있으므로 개인차가 없음

○ 파손되기 어려울 것

- 갭내에서 취급하는 것이므로 취급이 난폭하여도 이에 견딜 수 있도록 만들 필요가 있으므로, 내구성에 대하여 1m 높이에서 낙하시험을 5회 실시하여 기구에 지장이 없는 것으로 정함

○ Methane, 탄진에 안전할 것

- 탄광용 발파기는 발파기의 스파크를 방지하기 위하여 방폭 구조로 되어 있으며, 검정합격 품이어야 하며, 잔류전압을 짧은 시간에 소거하여 불의의 폭발 감전을 방지하여야 함

○ 발파기의 능력이 클 것

- 콘덴서식 발파기는 고정저항 5Ω 을 삽입하여 뇌관(1.2m 구리 각선부 전기 뇌관)을 발파기의 정격 용량의 2배에 상당하는 수만큼 직렬로 접속하여, 규정 전압으로 통전하여 제발해야 함

- 철각선 전기 뇌관일 때는 구리 각선 때의 최대 제발 수의 반수를 정격 용량으로 함. 그러나 실제의 발파에서는 배터리의 소모, 전류의 누설 등이 있으므로, 일반적으로 정격 용량의 60~70%로 하여 사용

2) 콘덴서식 발파기

○ 콘덴서식 발파기의 구조

- 전기 발파를 할 때 전등선 같은 교류 전원을 사용하는 것보다는 직류 전원으로 된 발파기를 사용하는 것이 확실

- 콘덴서식 발파기는 전기 에너지를 일단 콘덴서에 충전하여, 일정한 전압으로 되었을 때 발파 회로에 순간적으로 방전시키는 방식이므로, 항상 일정한 규격에 맞는 제발능력을 발휘할 수 있으며, 조작도 간단(그림 2.10)

- 모선을 T(terminal)에 연결하고 조작용 키(key)를 오른쪽으로 90° 회전하면 벨(bell) B가 울림 → 수 초 후 네온등 N에 불이 켜짐(콘덴서 충전 알림) → 네온등의 점등을 확인하고 키를 본래 위치로 돌림 → 충전된 콘덴서는 자동적으로 발파 회로에 접지되어 순간적으로 부하 회로에 충분한 에너지를 공급 → 공급 후의 잔류 에너지는 내부 저항에 의하여 순간적으로 소비

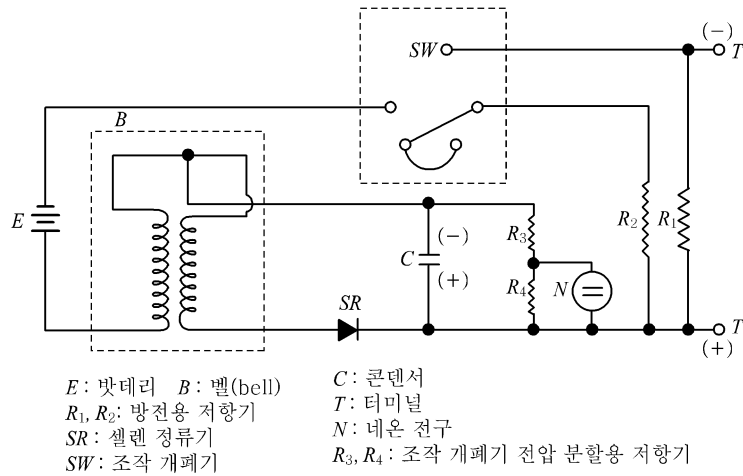


그림 2.10 콘덴서 발파기의 구조

○ 콘덴서 용량과 전압

- 전기뇌관 1개 1Ω당 점화역적(點火力積) $K(mWs/\Omega)$

$$K = CV^2/2R$$

C: 콘덴서 용량[μF (micro farad)], V: 직류 전압, R: 전기 뇌관 회로의 총저항(Ω)

- K를 크게 하려면 C 또는 V를 크게 하든지, R을 작게 하면 됨. R을 작게 한다는 것은 굵은 모선을 사용하여 저항을 작게 하며, 결선 등에 손실이 없도록 함. 콘덴서 용량은 10~50 μF 정도이며, 전압 V의 제곱에 비례하므로 높은 것이 유리. 그러나 실제로는 전압을 크게 하면 각선 등에 영향을 크게 미치며, 누전 등에 의한 불발 사고가 생기기도 하므로 보통 500~1200 V 정도 사용

3) 마그네트(Magnet) 발파기

○ 마제형 영구자석의 자극 중에서 발전자를 회전시켜서 전류를 발생하게 하는 것으로, 구조상 발생 전력이 소량이므로 주로 단발 혹은 5~6발 이하의 제발용으로 사용

4) 다단식 발파기

- 발파진동 및 소음을 제어(지발당 약량 조절)하면서 다수의 공인 대발파를 할 때 사용
- 파쇄입도의 개선, 대기 중의 충격파 감소효과를 위해 사용
- 다양한 발파패턴 설계 가능, 최대 420단 까지 가능

(2) 저항 측정기

○ 발파회로의 저항 및 회로와 지면사이에 절연 저항을 측정하는 기기

○ 저항측정기의 작동요령

- 측정하려고 하는 회로의 양단을 측정단자에 접속하면 저항치가 디지털로 표시
- 측정하려고 하는 회로가 단선되었거나 저항치가 측정 범위(2000Ω)를 초과하게 되면 Over 표시가 나타남(저항치가 아님)
- 저항 측정 범위는 0.1~1999Ω까지 가능
- 사용 시 디지털 표시부는 직사광선에 노출시키지 말아야 함
- 측정 저항이 큰 경우 나선부에 손이 닿지 않도록 주의

(3) 도통 시험기

- 전기 발파를 할 때 결선 상황을 조사하기 위하여 약간의 전류를 발파 회로에 통하여 회로의 도통 저항을 조사하는 것(총포·도검·화약류 단속법 시행령 제 19조 제 10호)
- 도통 시험기는 내압방폭형 구조로 되었으며, 터미널 사이의 단락 최대 전류가 0.01 A를 넘어서는 안 됨(표 2.2)

표 2.2 도통 시험기

상품명	측정범위(Ω)	검정
Y 01형 발파 회로 시험기	5, 50, 100, 200	검정품
K형 발파 회로 시험기	5, 50, 100, 200	검정품
옥식 발파용 시험기	5, 25, 50, 100, 200	검정품
일산 발파용 시험기	50, 100, 200	검정품
일산 안전 도통 시험기	저항 측정은 못함	검정품

(4) 누설 전류 검지기(표 2.3)

- 갱(坑)의 안팎이 전화(電化)되면 송전선 등 기타 가설물 때문에 누전 현상 발생. 누설 전류는 미소하지만 때로는 전기 뇌관을 발화시킬 정도로 되는 경우도 있으므로 이러한 위험을 방지하기 위하여 누설 전류를 측정할 필요가 있음
- 전기 뇌관의 전기 저항은 1.2m 각선으로 약 1Ω, 발화하는 최소 전류는 0.3 A이므로 0.3 V의 전압이면 위험한 것이며, 직류에서는 0.1 A 이상이면 위험 상태이므로 발파를 중지하여야 함
- 시험기의 구조
 - I 형: 직류 또는 교류의 전류 또는 전압을 측정하는 것
 - II 형: 전기 뇌관의 점화부와 같은 점화약이 발화함으로써 위험 전류의 크기를 확인하는 것

표 2.3 누설 전류 검지기

누설 전류 검지기	I 형
옥식 누설 전류 측정기	II형
일산(日産) 누설 전류 측정기	III형
일산(日産) 미주 전류 검지기	IV형

(5) 발파기 능력 시험기(표 2.4)

- 발파기는 축전지가 소모하면 정규의 능력을 발휘하지 못하므로 현재 이 발파기를 사용하면 몇 발의 제발이 가능한가를 측정하는 것이 발파기의 능력 시험기임
- 형식
 - I 형 : 니크롬선의 퓨우즈와 전기 저항을 병용하는 것
 - II 형 : 전기 저항과 전구를 병용하는 것
 - III 형 : 발파기의 능력을 직접 계기에 지시하는 것

표 2.4 발파기 능력 시험기

상품명	형식	측정 가능성 범위
발파기 능력 시험기(Fusion tester)	I 형	20~200발
옥식 발파기 출력 시험기	II형	20~200발
일산(日産) 발파기 능력 시험기	III형	30~200발

(6) 발파모선과 보조모선

1) 발파모선(Leading wire)

- 발파기와 전기뇌관을 연결시켜 주는 연결선
- 저항은 발파될 뇌관에 전달되는 전류의 크기를 결정하는 중요한 요소로 모선의 저항이 크면 뇌관회로에 전달되는 전류는 상대적으로 작아지게 되며 굵은 모선을 사용하여 모선 저항을 낮추면 뇌관 전류는 커지게 됨
- 발파모선은 일단 부설하면 수 회 사용하므로 기계적인 강도와 전기절연성이 좋은 연결 비닐 코드선 사용

2) 보조 모선(Connecting wire)

- 전기발파의 경우, 전기뇌관의 각선은 발파에 의하여 소모되므로 필요이상 긴 것을 사용하지 않고, 그 끝에 별도의 전선 접속하는데, 그 중에 각선과 발파모선의 중간에 접속하는 전선으로 굵기도 저항도 양자의 중간

(7) 기타

- 전기뇌관, 화약운반상자, 전색물 장전봉, 비닐테이프, Helmet 등

2.2.2 발파모선의 설치

- 모선은 30m 이상의 길이로 하고 점화 장소(발파기 설치 장소)는 채굴장에서 충분히 안전한 거리를 유지
- 누설 전류측정기로 누설(미주)전류의 유무를 조사하여 누설전류가 있을 경우 전기발파를 중단하고 그 원인을 확인한 후 조치. 누설전류를 방지하기 위하여 물기가 적은 곳, 철관이나 레일, 전기설비, 전동선, 동력선에서 떨어진 곳 혹은 발파 시에 낙석 등에 의해서 모선 절단 및 손상의 위험성이 없는 장소 선정
- 점화 장소에서 발파장소(막장)까지의 통행로에는 철제 기재 등 장애물을 두지 않도록 하고 통행에 방해가 되지 않도록 유의
- 막장쪽의 모선은 약간 여유를 두게 하여 결선이 원활히 될 수 있도록 하고, 모선의 선단은 막장에서 약 10m 떨어지게 하여 발파시 절단되거나 손상되지 않도록 함. 이를 위해서 모선과 각선과의 사이에 보조모선 사용
- 모선 중심선의 선단은 점화측(발파기측)에서는 발파 직전까지 발파기에 연결하지 않고 단락시켜 두고 막장측에서 상호 접촉되어 전류가 통하지 않도록 장단 분리시킴

2.2.3 저항 측정

- 결선이 끝나면 발파회로가 완성되므로 저항 측정을 행하여 회로에 소정의 저항이 있는지 여부를 확인

- 측정 중에 만일 폭발이 있더라도 위해를 받지 않도록 작업자가 안전한 장소인가 확인한 후 30m 이상 떨어진 안전한 점화장소(발파기 설치장소)에서 발파모선에 도통시험기를 이용하여 도통여부를 확인하고 저항 측정기를 이용하여 저항치 확인

- 발파 회로의 전기저항과 전압 계산

(1) 직렬 결선

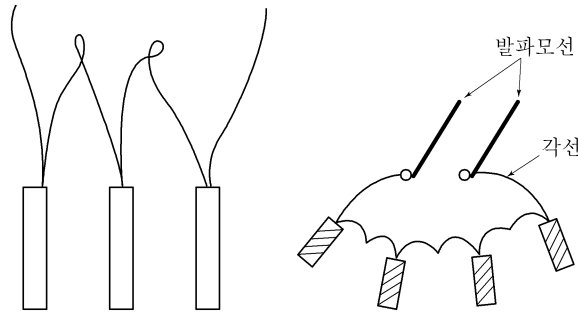


그림 2.11 직렬 결선

$$V = IR_1 + nIR_2 + IR_3 = I(R_1 + nR_2 + R_3), \quad R = r_1 + r_2 + r_3 \cdots r_n$$

(단, $r_1 = r_2 = r_3 \cdots r_n = r$ 이면 $r = R_2$ 로 표시하여 $R = nr = nR_2$)

여기서, V : 전기전압

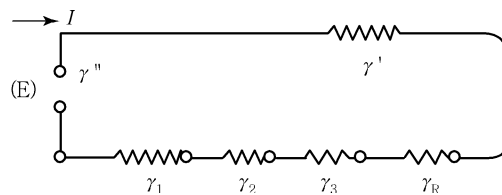
I : 발파회로에 흐르는 전류

r' : 발파모선의 저항(R_1)

r'' : 전원의 내부저항(R_3)

$r_1, r_2, \dots, r_{n-1}, r_n$ 은 임의의 뇌관의 저항

n : 뇌관의 수



(2) 병렬 결선

$$V = n \times I \left(R_1 + \frac{R_2}{n} + R_3 \right)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_{n-1}} + \frac{1}{r_n}$$

(단, $r_1 = r_2 = r_3 \cdots r_n = r$ 이면, $r = R_2$ 로 표시하여 $\frac{1}{R} = \frac{n}{r} = \frac{n}{R_2}$)

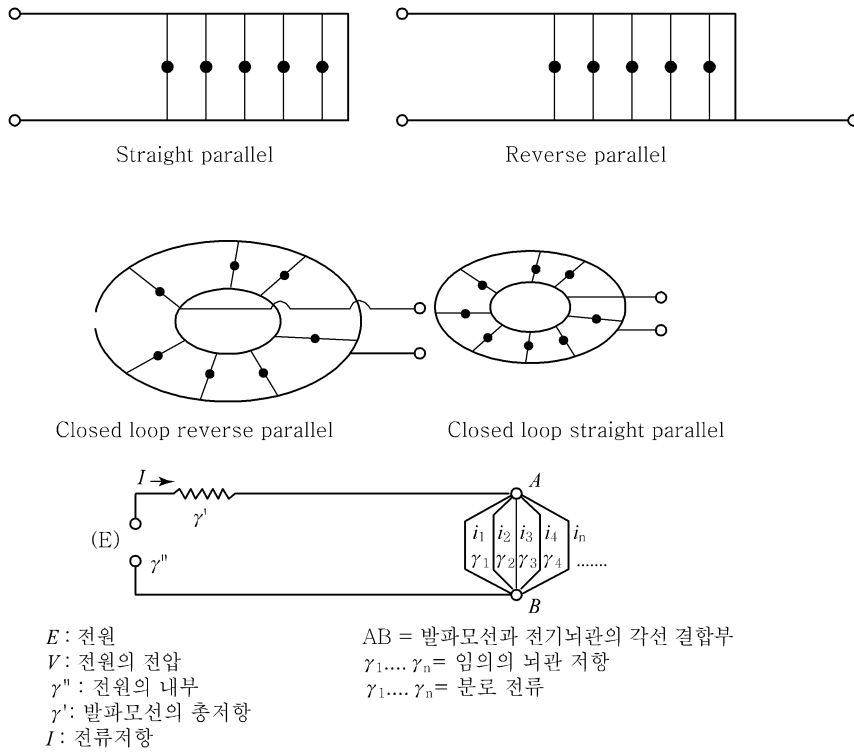


그림 2.12 병렬결선

(3) 직병렬 결선

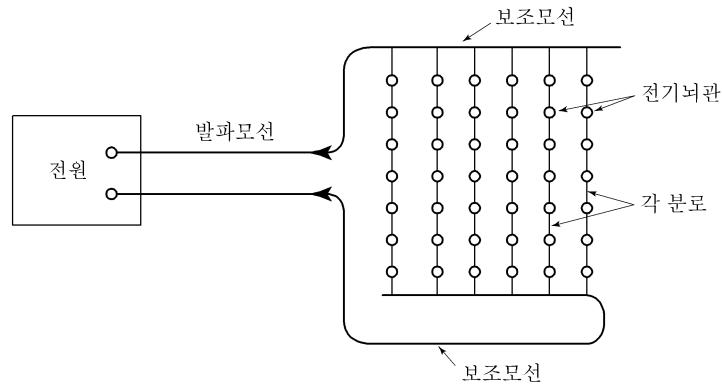


그림 2.13 직병렬 결선

a 개를 직렬 결선하고, b 열을 병렬로 결선했다면

$$V = bI(R_1 + \frac{a}{b}R_2 + R_3)$$

2.2.4 점화

(1) 점화작업

- 발파 준비 작업이 완료되면, 작업원 등이 안전한 장소에 대피한 것을 확인하고 저항 측정치를 재확인하여 규정된 저항이 얻어진 후 발파모선을 확실히 발파기의 단자에 연결.

발파기의 핸들, 혹은 key에 의해 발파기를 조작하고 콘덴서식 발파기를 사용할 때는 표시등에 의해 콘덴서가 충전된 것을 확인하고 점화

(2) 점화후의 처리

- 폭발음을 듣고 난 후 모선을 발파기 단자에서 뽑아내고 양쪽 끝을 단락시켜 재점화가 되지 않도록 함
- 발파기의 핸들을 점화할 때를 제외하고는 고정식의 것은 자물쇠를 채우고, 이탈식의 것은 필히 발파책임자가 휴대
- 발파 후는 5분 이상 경과하여 안전한 것을 확인한 후가 아니면 발파장소에 접근금지
- 불발화약류가 있는 경우에는 발파책임자의 입회하에 처리

2.2.5 전기 발파의 특성

- 제발 발파에 의하여 폭력을 가장 유효하게 이용할 수 있어 경비 절약과 채광 능률 증진
- 수중 발파 시 유효하게 작업 가능
- 가연성 가스나 탄진이 많은 갱내에 있어서 인화 폭발의 예방상 유효
- 점화는 폭발 장소를 떠나 안전한 지대에서 가능
- 폭발은 순간적으로 완료됨으로 연발에 의한 위험이 적으며 대피 시간 단축
- 갱내 작업에 있어서는 도화선과 같이 연기나 취기가 없어 유리. 지발 전기뇌관을 이용하는 이점

2.3 도폭선 발파(Detonating Fuse Blasting)

- 천둥, 번개가 많이 있는 지방이나, 누설 전류의 위험이 있는 경우, 또는 전기 뇌관의 각선이 충격파에 잘릴 우려가 있는 경우 등, 전기발파가 실용적이 되지 못할 때, 행하는 도폭선에 의한 발파로 도폭선에 뇌관을 묶고 이것을 도화선 또는 전기뇌관으로 발화

2.3.1 도폭선 점화

- 대구경의 장공 폭파에 적합하며, 도폭선을 전장약의 밑 부분까지 집어넣고, 전장약은 똑같이 점화되는 동시에 도폭선 폭파에 의한 압력도 부(-)가 되어서 폭파 위력은 대단히 높아짐

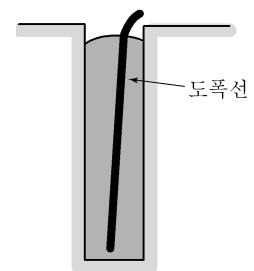


그림 2.14 도폭선 점화

2.3.2 주의사항

- 폭선을 연결하는 특별한 장치가 없는 경우 겹치는 부분이 적어도 10cm 이상 되도록 하여 비닐테이프로 감아야 되며, 폭광의 전달방향과 분기되는 선을 일치시켜 지선으로 전달되도록 해야 하며, 분기되는 도폭선의 구부리는 부분은 각도를 90°에 가깝도록 해야 함

2.4 신 기폭 System

2.4.1 전자유도 기폭공법

○ 전자유도 기폭공법은 대규모 수중발파를 원격조작에 의해 실시하는 것을 목적으로 하여 개발된 새로운 기폭공법

(1) 전자유도 기폭장치의 구성 및 특징

- 전자유도 기폭공법은 Nihonyushi가 독자적으로 개발한 전자유도 이론에 근거한 원격제어 발파장치(R.C.B system)의 기폭공법으로 발진기, Loop antenna, 기폭소자(Blaster)로 구성
- 약조건의 자연상태에서 암반 굴착이나 준설발파(浚渫發破)에서 유효하게 사용. 표토층의 영향을 거의 받지 않기 때문에 저니(底泥)가 많은 지점에서의 암반파쇄에 위력을 발휘하고, 육상의 갯도식 대발파와 같은 대규모 발파에의 적용도 가능하며, Blaster 내부에 전원이 없기 때문에 취급이 안전하고, 해수·암석 중에서도 감응하고 확실히 기폭할 수 있으며, 화공·장약이 작업성이 좋고, 발파 구간을 Cover하는 Loop antenna의 부설은 한번으로 되기 때문에 긴 기간의 시공에 유리

(2) 기폭

- Loop antenna에 흐르는 교류에 의해 생기는 자장내에 코일 정류용 다이오드(Diode) 및 콘덴서(Capacitor)로 구성된 소자를 설치하면 소자내의 코일에 유도전류가 발생하며 이것을 다이오드를 사용 정류하여 콘덴서를 충전하여 전기뇌관 기폭

2.4.2 초음파 기폭공법

○ Taisei 건설과 Oki 전기가 개발한 초음파 신호의 조합에 의한 원격조작 기폭공법

(1) 구성

- A형 소자와 B형 소자 및 초음파 발진용 사령기(송파기), 검사기로 구성
- A형 소자나 B형 소자는 초음파 신호를 수신하는 수신기(Microphone)와 전지, Condenser, Switch로서 구성된 전자 회로로부터 성립되고 있으며, 수신기를 해저면보다 위에 위치시킴으로써 송신기로부터 보낸 초음파 신호를 받고 전자 회로 작동

(2) 초음파 기폭 공법의 원리 및 특징

- 우선 발파 구역에서 수백m 떨어진 발파 지령선부터 초음파 신호를 방사하고 이것을 해저면 위에 위치하는 수신기로 받아서 이 파동 에너지를 전기신호로 변환해서 기폭용 전원회로 제어(그림 2.15)
- 특징
 - 완전한 무선발파
 - 스위치는 2단 전환이며 초음파 신호의 조합으로 순차회로를 닫기 때문에 오(誤)작동 없음
 - 수신기는 해저면 위에 위치시킬 필요가 있으며 전지 내장

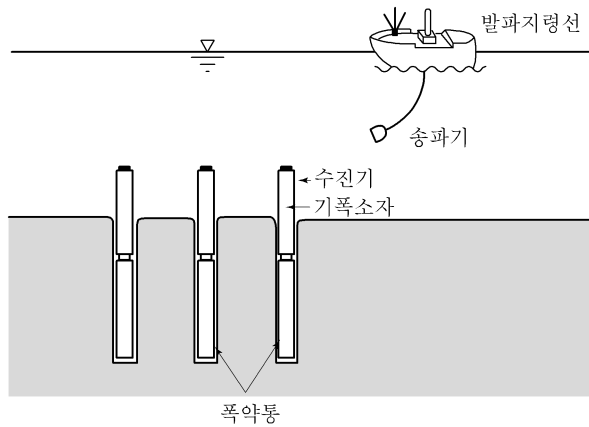


그림 2.15 초음파기폭법의 원리도

단원정리

1. 단위체적당 에너지

$$E_V = \frac{4P}{\pi D^2 R}$$

E_V : 단위체적당 에너지(energy per unit volume), $cm \cdot kg/cm^3$

P : 일률(work rate), $cm \cdot kg/min$

D : 비트직경(bit diameter), cm

R : 천공속도(penetration rate), cm/min

2. 폭약의 동적효과를 나타내는 폭굉압

$$P_d = K \Delta D^2$$

K : 상수, D : 폭속, Δ : 장전 비중

3. 전압(V)

$$\text{직렬} : V = I(R_1 + aR_2 + R_3)$$

$$\text{병렬} : V = b \times I(R_1 + \frac{R_2}{b} + R_3)$$

$$\text{직병렬} : V = b \times I(R_1 + \frac{a}{b} R_2 + R_3)$$

여기서, I : 전류(A), a : 직렬수, b : 병렬수, R_1 : 모선저항,

R_2 : 뇌관저항, R_3 : 발파기저항