

# 천공수 산출기법에 의한 암반발파 철탐기초공법

## 1. 신기술의 요약

산악의 암반에 많이 설치되는 송전철탐을 시공함에 있어서 철탐의 기초가 되는 콘크리트 구조물을 매설하기 위하여 굴착호를 형성하는 산악용 송전철탐의 기초시공을 위한 암반발파공법에 관한 것이다.

굴착호의 형태에 따른 천공수 산출공식의 적용 방법을 제시하였고 다양한 현장여건에 따라 효과적으로 암반발파가 가능하도록 시공능력을 극대화하여 기존 공법보다 공사기간을 단축시키고 시공품질을 향상시킬 수 있는 송전철탐의 기초를 시공하기 위한 철탐기초 지발다단 암반발파공법이다.

## 2. 신기술의 특징

- 천공수 산출공식으로 필요 천공수 계산
- 표시지점에 필요직경과 깊이의 구멍을 뚫는 천공공정
- 중심부의 장전공으로부터 한칸 건너씩 장전하는 장약장전공정
- 장약이 충전된 장전공을 전색하는 전색공정
- 중앙에서 외측으로 순차적으로 지발발파되게 한 발파공정
- 장약과 전색을 현장여건에 따라 필요 단수로 분할 다단으로 반복 장전
- 제3의 폭발 압력이 자연스럽게 지표면 상의 자유면쪽으로 발산 유도

가. 공사기간 단축



- 공사기간 80% 이상 단축
- 천공, 발파 및 굴착 횟수 단축
- 인원, 장비의 효율성 증대

나. 시공법 비교

기존공법	신기술
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 콤퓨레샤를 이용한 인력천공</li> <li>■ 천공과 발파를 수차례 반복</li> <li>■ 공사기간이 길다.(18~20일/1기)</li> <li>■ 소음, 진동, 비석이 많아서 민원 발생 빈발</li> <li>■ 발파 대비 횟수가 많음</li> <li>■ 토사붕괴 위험</li> <li>■ 과도한 장비대기시간(최대18일)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 크롤러드릴을 이용한기계 천공으로 1회에 천공</li> <li>■ 장약 및 전색을 한 후 1회에 발파</li> <li>■ 지발뇌관을 사용하여 순차적 발파</li> <li>■ 소음, 진동, 비석이 적음</li> <li>■ 정밀임반굴착으로 시공능률 향상</li> <li>■ 시공원가 절감 및 시공 품질 우수</li> <li>■ 작업장 환경개선으로 소음, 진동으로 인한 민원발생 방지</li> </ul>

3. 암반발파 기존기술

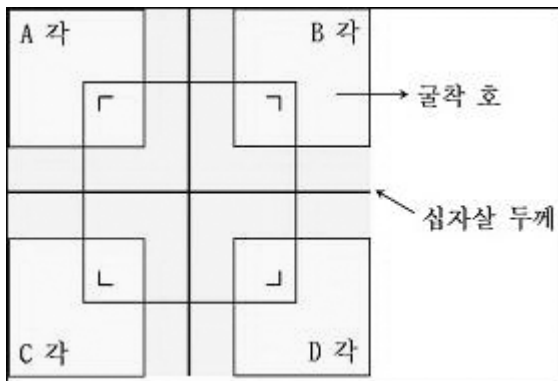
기존 철탑기초 공사는 산악지역에 건설이 되고 있어 장비의 운반, 진입이 곤란하여 콤퓨레샤를 이용한 인력천공에 의한 방법으로 시행되고 있다. 통상 345kV 또는 154kV 2B×2C의 송전철탑의 경우 가로, 세로, 깊이를 각각 4~5m 정도로 굴착하는데 소요일수는 18~20일 정도이다. 또한, 1회 인력암반천공 깊이가 1m 정도이며, 철탑 1기 A, B, C, D 4개각 중 A각 1개4~5m를 굴착하기 위해서는 81공의 천공수가 필요하며 4~5m 깊이를 굴착하기 위해서는 추가 3~4회 인력천공과 발파를 반복하고, 발파충격

에 의한 주변 암반 균열로 B, C, D각 인력천공 작업중 주변 붕괴 위험성이 있다. 또한 수차례 발파에 따른 비석, 낙석 그리고 비산먼지, 소음, 진동 및 인원통제 등으로 인한 민원 발생과 더불어 잦은 발파로 철탐기 초 구조상 부지내 “+”선의 살 두께가 얇아져 각입틀 고정을 위한 별도의 장치와 방법을 고려해야 한다.

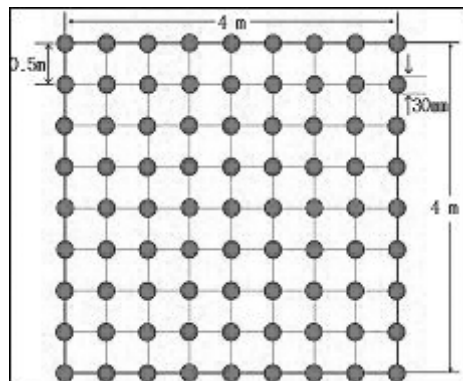
**가. 기존공법의 문제점**

- 인력천공으로 공사기간이 많이 소요됨
- 장비 및 인원 운영의 효율성이 떨어져 공사원가 상승 요인
- 공사비 과다소요
- 잦은 발파로 인한 비산먼지, 소음, 진동으로 민원 발생
- 인력천공시 낙석 발생으로 안전성 결여

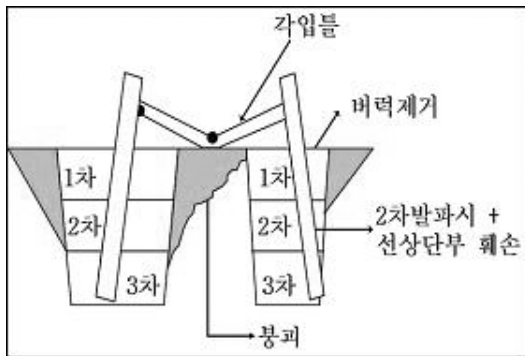
**나. 암반발파 기존기술**



철탐기초 굴착평면도



총 천공수 : 81공/1각(4각 972회 천공)

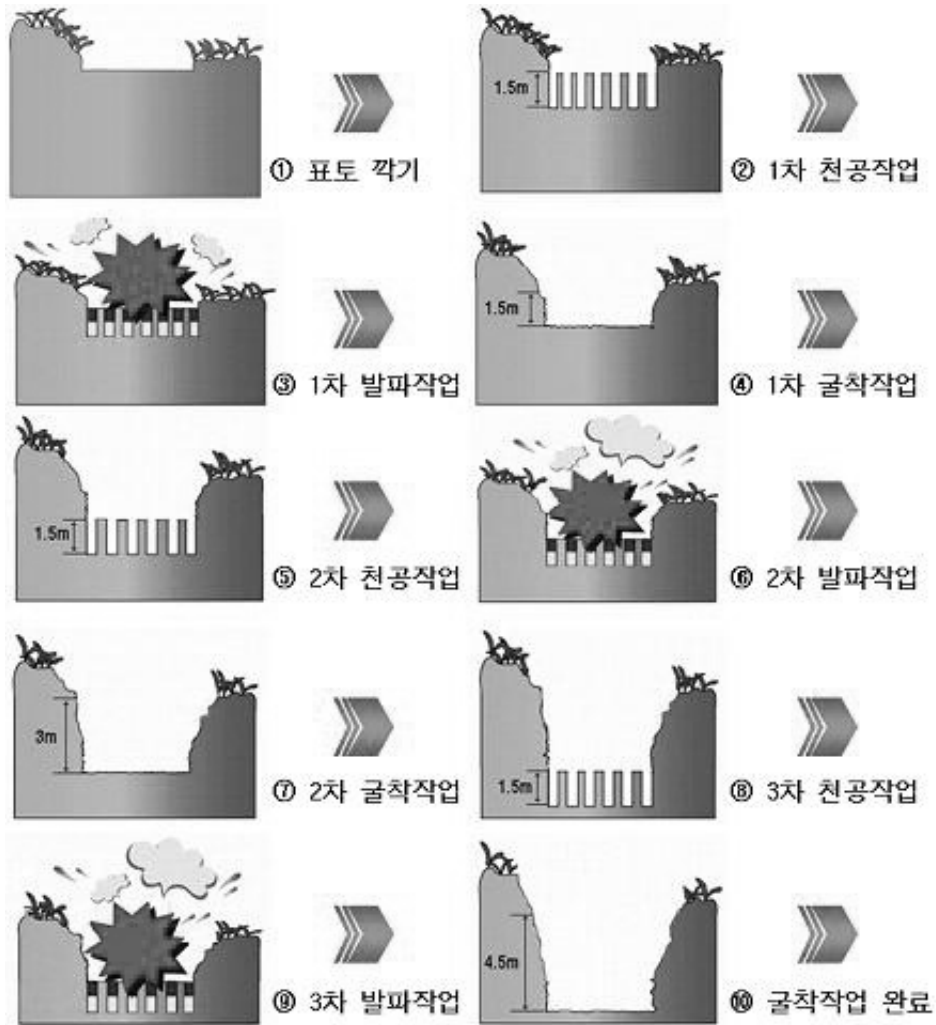


기존공법 인력천공발파 측면도



인력천공후 발파 모습

다. 기존인력천공에 의한 발파 절차



4. 암반발파 신기술

신기술의 명칭 : 천공수 산출기법에 의한 암반발파 철탐기초공법

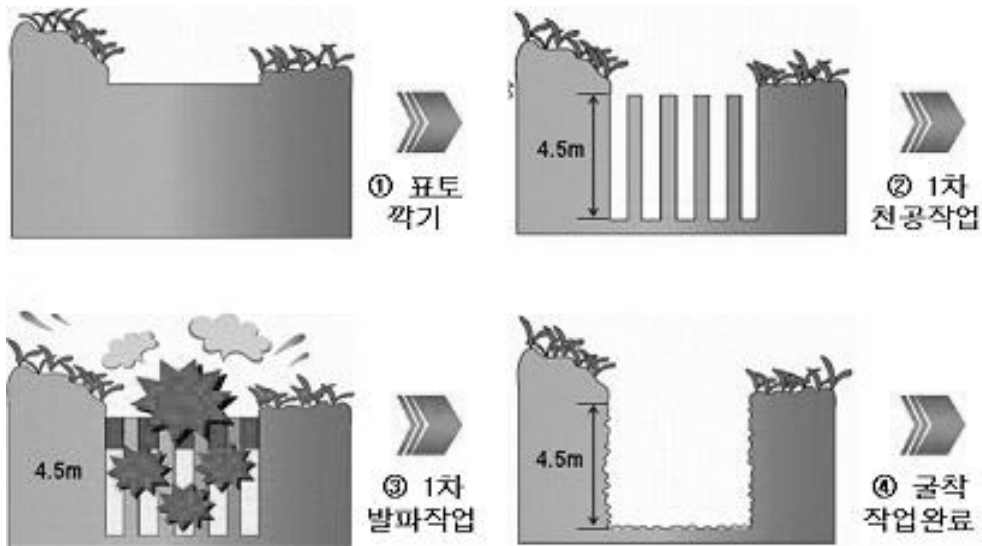
본 신기술은 수차례 현장 실증실험을 통하여 개발한 천공수 산출공식에 의하여 천공수를 산출하고 크

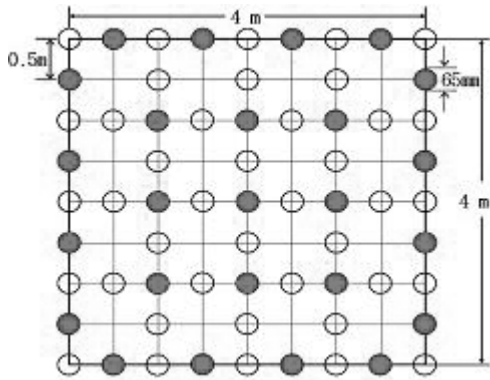
롤러드릴(Crawler Drill)을 이용한 기계화천공으로 1회에 원하는 깊이만큼 천공하고 장약공과 무장약공을 구분하여 장약및 전색을 한 후 지발뇌관을 사용하여 내측에서 외측으로 시간차를 두고 순차적 발파가 이루어지는 심빼기 발파효과와 동시에 무장약공에 의한 2차 자유면을 얻는 효과로 발파시 불필요한 공간의 무너짐이나 다른 공간에 미치는 영향을 최소화하는 시공기술로 1회 천공, 1회 발파로 진동, 소음, 비산먼지 등을 줄여 정밀시공이 가능하도록 하며 작업장 환경개선과 공사기간을 기존공법 대비 1/5로 단축 가능한 기술로 기존공법의 문제점을 해소하여 시공능력향상과 안전성 및 시공품질 향상, 현장적용성과 경제성이 높은 공법이다.

**가. 신기술의 효과**

- 기존 공법 대비 공사기간 1/5로 단축
- 인원 및 장비 운용 효율 증대
- 공사비 절감효과
- 1회 발파로 소음, 비산먼지, 진동감소
- 천공작업자 안전성 향상

**나. 신기술의 발파 절차**





총 천공수 : 65공/1각(4각 260회 천공)



신기술에 의한 발파 후 모습

#### 다. 작업능률 비교

공 종	기 존 공 법	신 기 술
장 비 조 건	공기 착암기 2조 컴프레샤 1대	크롤러드릴 (Crawler Drill) 1대
천 공 량	1일 2인 1조 깊이 1m기준 70~80공 ( 천공경 30 mm )	1일 드릴깊이 5m기준 90~100공 ( 천공경 65mm )
천 공 시 간	14 일/기	3 일/기
발파 대피 횟수	12 회 이상	1 회
버력제거용 굴삭기 대기일수	18 일	4 일
월 시공 능력	1.5 기/월	7 기/월

#### 5. 천공수 산출(정사각형)

본 신기술에서는 현장에서 수차례의 실험을 통해 암석의 종류에 따른 천공수를 산정하는 공식을 개발하였다.

개발된 천공수 산출 공식은 다음과 같다.

$$\text{굴착호 1각의 천공수} = \left( \frac{\text{굴착호 1변의 길이}(m)}{\left( \frac{0.5 \times 1 \text{ 변의 천공간격}(m)}{\text{암석의 항력계수}} \right) + 1} \right)^2 - \text{단위면적}(m^2)$$

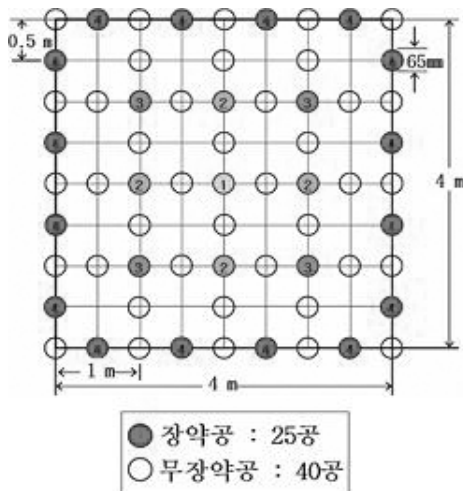
(조건 : 암석의 항력계수 > 0.7)

통상 345kV 또는 154kV의 송전철탑의 경우 가로, 세로, 깊이가 각각 4~5m 정도로 굴착하게 되는데, 예를 들어 화강암 지대에서 4m 천공의 경우 천공수 산출을 계산하면 다음식과 같이 구할 수 있다.

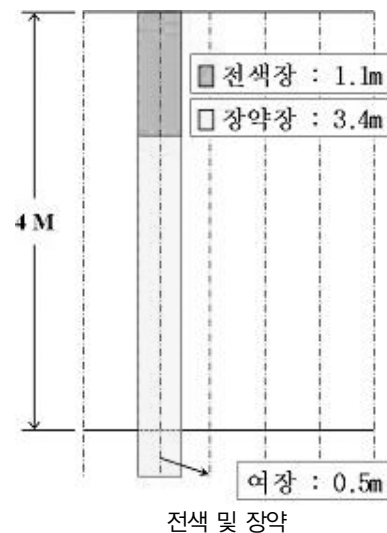
$$\text{굴착호 1각의 천공수} = \left( \frac{4(m)}{\left( \frac{0.5 \times 1(m)}{1} \right) + 1} \right)^2 - 16(m^2) = (8+1)^2 - 16 = 65\text{공}$$

이때, 각 1열마다 0.5m 간격으로 하되 연암에 따라 암석의 항력계수를 적용하여 천공간격(허용오차±10%)을 조절하고 암석항력계수가 1이고 1변의 길이가 4m인 경우에, 천공위치와 천공수를 총 65공(허용오차±5%)이 형성되게 하며 암석항력계수에 따라 천공수를 가감한다.

천공 형성의 전체넓이와 깊이는 송전탑의 규격에 따라 달라질 수 있으며, 천공위치가 표시된 부분에 대하여 유압식 크롤러드릴에 의해 천공경 65mm(허용오차±10%) 직경으로 깊이 4.5m(허용오차±10%)로 천공한다.



신기술에 의한 천공 및 장약 패턴



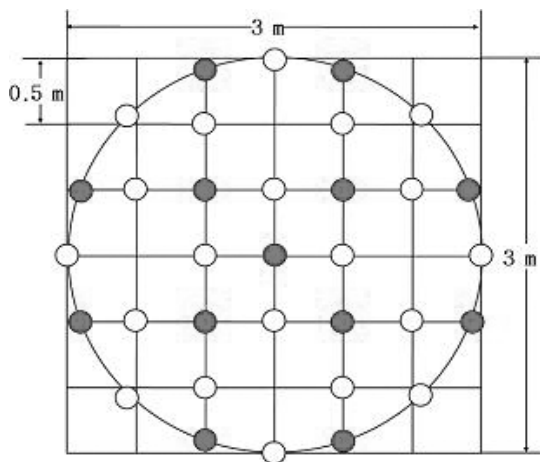
1회에 굴착필요 깊이를 모두 천공한 후, 필요한 천공수의 38%(허용오차±5%)에 장약(약포경 50mm, 허용오차±5%)을 장전하고, 지발뇌관을 사용하여 암반의 종류 및 성격에 따라 화약을 장약하여 25/100 초 정도의 시간차를 두고 중심-심빼기-주변를 순차적(① → ② → ③ → ④)으로 발파되게 하여 심빼기 발파효과와 동시에 무장약공에 의한 2차 자유면을 얻는 효과로 무너짐이나 다른 공간으로의 발파로 인한 영향을 미치지 않으면서도 안전하게 한번의 천공과 발파만으로 정밀시공이 가능한 발파공법이다.

## 6. 천공수 산출(심형기초)

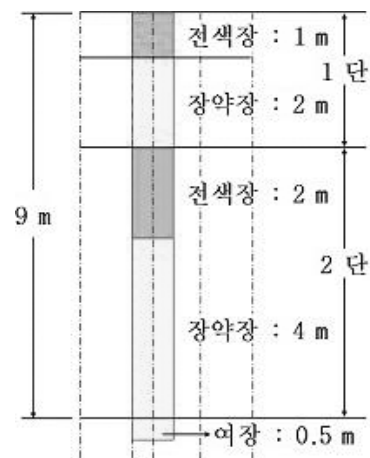
굴착호의 형태는 직경 3~5m 정도의 원형에 깊이 최대 18m 정도로 된 굴착호의 깊이에 있어서는 정사각형 굴착호에 적용되는 한 변의 길이(m)가 천공수를 산출하는데 중요한 요소로 작용하도록 구성되어 있지만, 심형기초의 굴착호의 형태는 사각인 경우도 존재하지만 대부분 원형으로서 수학적 도형 요소인 변이 존재하지 않는다.

그렇기 때문에 굴착호의 형태에 따라 천공수를 산출하는 공식의 적용 방법이나 굴착호의 형태에 알맞은 천공 패턴이 필요하고, 굴착호의 면적 비율에 의해 천공수를 산출하는 것이 타당하다는 것이 연구결과 나타났다.

- ▶ 면적 비율 : 원과 그 원에 외접한 정사각형의 면적관계를 수치적으로 표현한 것으로, 원의 직경이 달라진다 하더라도 그 면적은 원에 외접한 정사각형 면적의 약 79%로 일정한 비율관계를 가지게 되어 굴착호가 원형일 경우에 천공수를 산출하기 위해 적용하는 상수로 사용되는 것



신기술에 의한 천공패턴

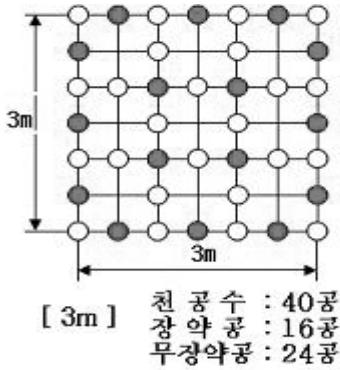


장약 및 전색



## 7. 발파면적에 따른 천공패턴

[ 정사각형 ]



[ 심형기초 ]

