

천공수 산출기법에 의한 암반발파 철탑기초공법에 관한 연구

김점식*·권세원*·박용범*·권신원*·문성원*·신운용*·박용철**

* 대원전기(주) · **우창전력(주)

A Study on the Bedrock Blasting Method for Transmission Tower Foundation using the Drilling Hole Calculation Technique

Jeom-Sik Kim*·Seo-Won Kwon*·Yong-Beom Park*·Sin-won Kwon*·Sung-Won Moon*·Woon-Yong Shin*·Yong-Chul Park**

* Daewon Electric Corporation · ** Wochang Electric Corporation

Abstract - 본 논문은 천공수 산출기법에 의해 천공수를 산출하여 크롤러드릴을 이용한 기계천공으로 1회에 필요한 깊이를 천공하고, 장약공과 무장약공을 구분하여 장약 및 전색을 하고, 지발너관에 의한 순차적 발파 시공방법에 관한 것으로 현장 적용 시 심빠기 발파효과와 동시에 무장약공에 의한 2차 자유면을 얻는 효과로 진동, 소음, 비석을 줄이고 암반지대의 정밀한 철탑기초굴착이 가능한 기술에 관한 연구이다.

1. 서 론

급속한 경제성장과 자동화 및 정보화 사회로의 급진전에 따라 고품질의 전력에 대한 고객의 요구 및 수요의 증가로 전력설비의 추가 건설이 절실한 반면 송전철탑 등 전력 시설물 건설에 있어 환경과파, 전자파, 미관저해 등의 민원으로 인하여 송전선로는 설치목적상 개발이 제한되는 장소를 택하여 주로 산악 지역에 건설되고 있는 실정이다.

산악지역에 송전철탑을 건설함으로써 산악의 특성상 지하에는 주로 암반층으로 형성되어 있어 철탑건설 기초공사의 암반굴착 작업에 많은 시간이 소요되고 이에 따라 암반굴착 공사비가 기초공사의 대부분을 차지하고 있는 것이 사실이다.

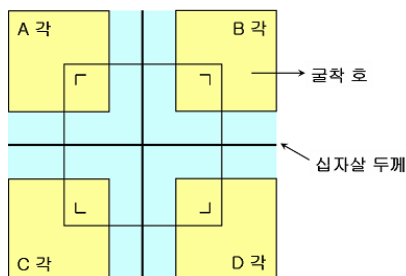
현재 대부분의 송전 철탑건설 기초공사에는 콤팩트사를 이용한 인력 천공으로 철탑 1기 기초공사에 천공과 발파를 3~4회 이상 반복으로 발파 때마다 천공작업에 투입된 장비의 대기 및 인력과 장비의 대피로 인해 장비의 이용 효율성과 시공능을 저하로 공사기간이 길어지고 이에 따른 경제성 및 안전성이 낮음에도 불구하고 설계, 공사, 정산이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 송전철탑건설시 암반의 천공 및 발파과정 최소화 화로 공사기간을 단축하고 상기 문제점을 해소할 수 있는 천공수 산출기법에 의한 암반발파 철탑기초공법을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 기존공법

기존 철탑기초공사의 암반발파는 콤팩트사를 이용한 인력천공에 의한 방법으로 시행되고 있다. 통상 345kV 또는 154kV 2B×2C의 송전철탑의 경우 가로, 세로, 깊이를 각각 4~5m 정도로 굴착하는데 18~20일 가량 소요된다.



〈그림 1〉 철탑기초 굴착 평면도

또한, 1회 인력 암반천공 깊이가 1m 정도이며, 철탑 1기 A, B, C, D 4개 각 중 A각 1개를 4~5m 굴착하기 위해서는 81공의 천공수가 필요하며 암반발파를 위해 3~4회 인력천공과 발파를 반복하여 발파충격에 의한 주변 암반 균열로 B, C, D각 인력천공

작업중 주변 붕괴 위험성이 있다. 또한 수차례 발파에 따른 비석, 낙석 그리고 비산먼지, 소음, 진동 등으로 인한 환경문제와 더불어 철탑기초 구조상 부지내 그림 1과 같은 십자살의 살 두께가 얇아져 각입틀 고정을 위한 별도의 장치와 방법을 고려해야 한다.

2.2 천공수 산출

본 논문에서 제안하는 암반발파 철탑기초공법은 천공수 산출 공식에 의하여 경제적인 천공수 산출이 가능하여 기존 인력천공 작업에 의한 불필요한 천공수를 줄이고, 크롤러드릴을 이용해서 1회에 천공함으로써 천공 작업시간 단축 및 공사기간을 줄이며 기존공법에 의한 공기의 장기화로 인한 환경문제 등을 줄일 수 있는 공법이다.

다음 식 (1)은 본 신기술에서 개발한 천공수 산출공식이다.

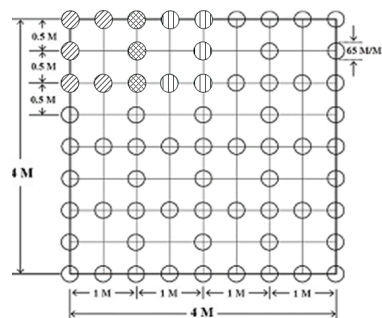
$$\text{굴착호 1각의 천공수} = \left(\frac{\text{암석의 항력계수}}{\left(\frac{0.5}{\text{굴착호 1변의 길이}} \right)} + 1 \right)^2 - \text{면적계수} \quad (1)$$

(단, 암석의 항력계수 g가 0.7 이하일 경우에는 적용하지 않는다.)

통상 345kV 또는 154kV의 송전철탑의 경우 가로, 세로, 깊이가 각각 4~5m 정도로 굴착하게 되는데, 예를 들어 4m×4m×4m의 화강암 지대의 천공수 산출을 계산하면 다음 식(2)와 같이 천공수를 구할 수 있다.

$$N_b = \left(\frac{1 \cdot 4}{0.5} + 1 \right)^2 - 16 = (8 + 1)^2 - 16 = 65 \text{공} \quad (2)$$

그림 1처럼 A, B, C, D 4각 즉, 4군데 형성된 각 굴착호 지점에 그림 2와 같이 면적 1㎡당 1변이 3공으로 4변 각 모서리가 겹치는 8공으로 구성되는 단위로 굴착호 1㎡ 면적이 증가 할 때마다 증가하는 변이 겹치는 부분의 공수를 제외하는 방법으로 천공수 산출공식을 이용하여 천공수를 계산한다. ⊙은 겹치는 공수이다.



〈그림 2〉 천공수 산출공식에 의해 계산된 천공수

다만, 각 1열마다 0.5m 간격으로 하되 경암과 연암에 따라 암석의 항력계수(g)를 적용하여 천공간격(허용오차±10%)을 조절하고 암석의 항력계수가 1인 화강암의 경우 굴착호 1변의 길이가 4m인 경우에 그림 2와 같이 그 천공위치와 천공수를 총 65공(허용오차±5%)이 형성되게 하며 암석의 항력계수에 따라 천공수를 가감한다.

여기서 장전공 형성의 전체넓이와 깊이는 송전탑의 규격에 따라 달

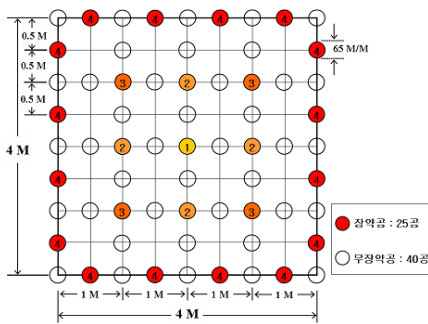
라질 수 있으나 천공위치가 표시된 부분에 대하여 크롤러드릴에 의해 천공경 65mm(허용오차±10%) 직경으로 깊이 4.5m(허용오차±10%)로 천공한다.

2.3 지발뇌관을 이용한 순차발파

기존의 인력천공시 3~4회 천공 및 발파를 반복하여 잦은 발파충격으로 인한 주변 암반 균열로 주변 붕괴 위험성 및 시공품질 저하 등 문제점이 많았다.

그러나 본 논문에서는 기계화로 원하는 깊이를 1회에 천공하고, 지발뇌관을 사용한 장약 및 전색을 한 후 순차발파로 1회에 4각을 동시에 발파시킬 수 있는 공법이다. 즉 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 최소화시킨 기술이다.

그림 3에 번호①→②→③→④로 표시한 바와 같이 중앙에서부터 지발발파 초시간격이 짧은 뇌관을 빠른 순번으로 배열하여 심빼기 발파를 하고 외측으로 순차적인 연속 발파가 되도록 한다.



〈그림 3〉 지발발파 순서

2.4 현장적용성에 대한 이론적 분석

본 논문에서는 암반발파 철타기초공법의 현장적용을 위한 이론적 분석은 기존 인력굴착에 의한 공법과 제안한 신공법의 진동, 소음, 비산 영향 비교·분석을 통해 검증하였다.

2.4.2. 발파소음 분석

발파소음의 영향 분석은 ISO9613에 근거하여 VisualFEA를 통해 3D해석을 통해 구조물 및 지형조건을 반영하여 소음전달경향 예측하였으며 철타기초 대부분 산악지형에 적용되는 것을 감안하여 200m 이격 소음을 분석한 결과는 표 4와 같다.

〈표 4〉 소음 분석 단위 : [dB(A)]

구 분	개 활 지		산 약 지 형	
	기존공법	제안공법	기존공법	제안공법
1차 발파	81.9	86.9	65.6	70.6
2차 발파	64.9	-	64.6	-
3차 발파	62.5	-	64.3	-
최대 소음	81.9	86.9	65.6	70.6

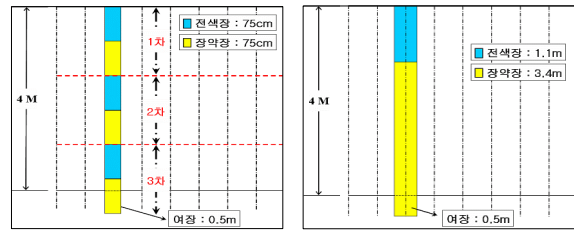
소음은 산악지형으로 모델링한 경우 기존공법이 65.5dB 12회 발생, 제안공법은 70.6dB 1회 발생으로 모두 안정권으로 산정되었다.

2.5 현장적용성에 대한 실증 분석

기존공법과 제안공법의 발파시 진동, 소음, 비산에 대해 현장 실증실험을 통해 비교분석을 하였다.

기존공법은 철타기초 4각중 1각을 1차 발파하고 제안공법은 4각을 동시에 1회 발파하여 진동, 소음, 비산을 측정하였다.

기존공법과 제안공법의 장약 및 전색 패턴은 그림 5와 같다.



(a) 기존공법 (b) 제안공법
〈그림 5〉 장약 및 전색 패턴

현장 실증실험의 진동, 소음, 비산 분석결과는 표 5와 같다.

〈표 5〉 진동, 소음, 비산 분석

구분	계측거리	기존공법	제안공법	비고
진동	150m	0.2 [cm/sec]	0.3 [cm/sec]	진동에너지 87.5%감소
소음	150m	93.1[dB]	73.2[dB]	21% 감소
비산	150m	30m	7m	77% 감소

현장실험결과 기존공법에 비해 제안공법 적용시 전색장의 길이를 충분히 확보하고 지발뇌관을 이용한 다단발파, 그리고 무장약공에 의한 2차 자유면의 효과 등으로 소음 및 비산이 감소된다. 또한 기존공법의 현장적용시 12회에 걸쳐 사용되는 화약량이 1회 발파에 사용되고 4각 동시발파로 인한 진동은 약간 상승하지만 진동에너지 측면에서는 발파횟수가 줄어 기존공법에 비해 제안공법에서 87.5% 감소되었다.

3. 결 론

본 논문은 천공수 산출공식에 의하여 천공수를 산출하고 크롤러드릴(Crawler Drill)을 이용한 기계화 천공으로 1회에 원하는 깊이만큼 천공하고 장약공과 무장약공을 구분하여 장약 및 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 최소화 시켰다.

1회 천공, 1회 발파로 진동, 소음, 비산면치 등을 줄여 정밀시공이 가능하고 작업장 환경개선과 공사기간을 기존공법 대비 1/5로 단축이 가능하리라고 본다.

또한, 기존공법의 문제점을 해소하여 시공능률향상과 안전성 및 시공품질 향상, 현장적용성과 경제성이 높은 공법으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 기경철, 김일중, “발파공학”, 동화기술, 2002, 1.
- [2] 강대우, “알기쉬운 발파공학”, 구미서관, 2006, 3.
- [3] 강대우, 김남중 “에어튜브(Air Tube)를 이용한 발파공해(진동, 소음, 비산) 제어와 공사비 절감을 위한 암 발파공법”, 건설기술쌍용, 2006, Summer.
- [4] 원앤비기술사사무소, “재개발, 전력구 등 시험발파보고서”, 2002~2003.
- [5] Per-Anders Persson, Roger Holmberg, Jaimin Lee(2001), “Rock Blasting and Explosives Engineering”, pp.276~285.
- [6] 양형식의 3인, 노천발파 표준공법의 진동 예상식, “화약·발파” 대한화약발파공학회, 제22권 제3호 pp.27~33, 2004.
- [7] 건설교통부(2003), “암 발파공법 설계 및 시험발파 장정지침”.
- [8] S.M. Tariq and P.N.Worsey, “An investigation into the effect of varying joint aperture and nature of surface on pre splitting, on Explosives, and Blasting”, pp.186~195, 1995.
- [9] F.V.Donze, J.Bouchez, and A.A.Magnier, “Modeling Fractures in Rock Blasting”, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol.34, No.8. pp.1153~1163, 1997.
- [10] 두준기, 양형식, “최소저항선과 자유면의 크기가 발파진동에 미치는 영향 고찰”, 화약발파 대한화약기술학회, Vol.19, No.3, pp.59~66, 2001.