

## 전자뇌관을 활용한 발파 시공 사례

황남순<sup>1)\*</sup>, 이동훈<sup>1)</sup>, 이승재<sup>1)</sup>

### A Case Study of Blasting with Electronic Detonator

Nam-Sun Hwang, Dong-Hoon Lee, Seung-Jae Lee

**Abstract** Sites, where explosives are used, are constantly under constraint of vibration and noise levels. If a sensitive area is located nearby the sites, mechanical excavation has been preferred rather than blasting. Recently, however, blasting using electronic detonators is applicable in the areas, where previously should be excavated by mechanical methods. HiTRONIC™ is a fourth-generation detonator that utilizes Hanwha Corporation's advanced electronic technology. The detonator contains IC-Chip, which allows delay times between 0~15,000ms with 1ms interval. Furthermore, the product can provide high accuracy(0.01%) for accurate-blasting. Electronic detonator is widely used in highway and railway construction sites, large limestone quarries, and other works. In this paper, several sites, in which HiTRONIC was used, are introduced in order to enhance understanding of electronic detonator.

**Key words** HiTRONIC™, Electronic detonator, mechanical excavation, explosives

**초 록** 화약을 사용하는 현장은 발파에 의해 발생하는 소음과 진동의 영향으로 사용상 제약을 받게 되며, 보안물건이 근접해 있는 경우 대부분 기계식굴착에 의해 작업이 이루어지고 있다. 최근 들어 기존의 기계식굴착 구간에 대해, 발파작업에 의한 암반굴착이 확대되고 있으며 이는 전자뇌관에 의해 가능하게 되었다. 하이트로닉(HiTRONIC™)은 진보된 전자기술을 이용하여 생산하는 4세대 뇌관으로 뇌관 내부에 IC-Chip을 내장하고 있어 0~15,000ms까지 1ms간격으로 시차를 설정할 수 있다. 또한 높은 정밀도(0.01%)를 구현하여 초정밀발파가 가능하다. 전자뇌관의 주요처는 고속도로 및 철도현장, 대형 석회석 광산을 비롯한 도심지 터파기 등에서 널리 사용되고 있으며 본고에서는 현재 하이트로닉(HiTRONIC™)을 사용하고 있는 현장의 사례를 통해 전자뇌관에 대한 이해를 돕고자 한다.

**핵심어** 하이트로닉, 전자뇌관, 기계식굴착, 발파

## 1. 서 론

화약을 사용하는 현장은 발파에 의해 발생하는 소음과 진동의 영향으로 사용상 제약을 받게 되며, 보안물건이 근접해 있는 경우 대부분 기계식굴착에 의해 작업이 이루어지고 있다. 최근 들어 기존의 기계식굴착 구간에 대해, 발파작업에 의한 암반굴착이 확대되고 있으며 이는 전자뇌관에 의해 가능하게 되었다.

일반적인 발파작업은 전기 및 비전기뇌관을 이용하여 시행되고 있으며, 이들 뇌관은 기본적으로 Pyrotechnics(화학적 지연제)를 사용하므로, 초시의 오차가  $\pm 10\%$ 로 매우 클 뿐 아니라, 뇌관의 시차도 MS(millisecond, 20~25ms) 또는 LP(long priod, 100~1,000ms)로 한정적이다.

HiTRONIC™은 진보된 전자기술을 이용하여 생산하는 4세대 뇌관으로 뇌관 내부에 IC-Chip을 내장하고 있어 0~15,000ms까지 1ms간격으로 시차를 설정할 수 있다. 또한 높은 정밀도(0.01%)를 구현하여 초정밀발파가 가능하다. 전자뇌관의 장점으로는 발파진동 및 소음 저감 효과가 탁월하며, 대규모 발파로 공사기간 및 공사비용을 절감할 수 있다. 또한 시차조절을 통한 파쇄도를 개선시키며 노천 및 터널현장에서 여굴을 감소시키는 효과가 있다.

<sup>1)</sup> (주)한화 D&B사업팀

\* 교신저자 : namsun@hanwha.com

접수일 : 2016년 12월 12일

심사 완료일 : 2016년 12월 16일

게재 승인일 : 2016년 12월 22일

HiTRONIC™를 사용하기 위해서는 Hanwha Electronic Blasting System(HEBS)이 필요하며 HEBS는 HiTRONIC(전자뇌관), Blaster(발파기), Tester(통신기), Logger(초시설정기), Connector(결선용컨넥터)로 구성되어 있다.

전자뇌관의 수요처는 고속도로 및 철도현장, 대형 석회석 광산을 비롯한 도심지 터파기 등에서 널리 사용되고 있으며 본고에서는 현재 HiTRONIC™를 사용하고 있는 현장의 사례를 통해 전자뇌관에 대한 이해를 돕고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 HEBS(Hanwha Electronic Blasting System)

Fig. 1은 HEBS(Hanwha Electronic Blasting System)를 구성하는 HiTRONIC(전자뇌관), Blaster(발파기), Tester(통신기), Logger(초시설정기), Connector(결선용 컨넥터)를 나타낸다.

### 2.2 작업절차

Fig. 2는 하이트로닉(HiTRONIC™)를 이용한 발파작업 절차를 나타낸 것으로 안전하고 효율적인 발파 결과를 얻기

위해서는 각 단계별로 이루어지는 작업절차 및 기기 사용법을 사전에 인지하고 있어야 한다.

### 2.3. HiTRONIC™ 시공사례

#### 2.3.1 ○○외곽순환 고속도로

당 현장은 터널 직상부에 공단이 조성되어 있어 공장들이 분포하고 있으며, 약 100m 지점에 측사가 위치하여 발파작업에 따른 소음·진동에 의한 민원이 예상되는 현장이다. 굴착초기 기계장비를 이용한 굴착을 시도하였으나 강한 암반 노출로 인하여 작업에 어려움을 겪고 있던 상태였다. Fig. 3는 현장전경과 보안물건 현황을 나타내며 Fig. 4는 당 현장에서 적용한 발파패턴도 및 화약에 관한 제원을 나타내고 있다. 전자뇌관의 초시입력 기능을 이용하여 심발부분은 80ms, 확대 및 외곽·바닥부분은 40ms로 설정하였다.

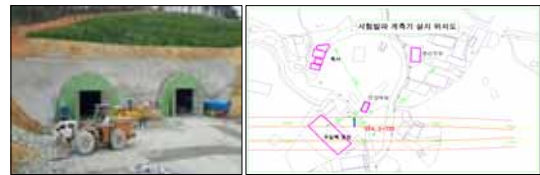


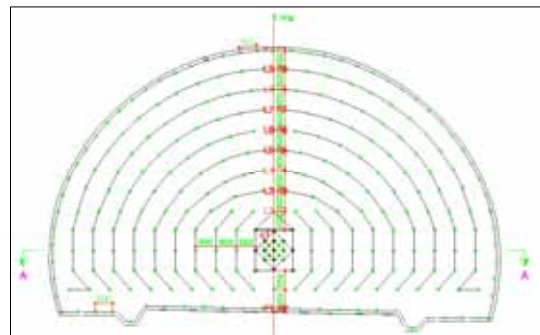
Fig. 3. 현장전경 및 보안물건 현황.



Fig. 1. HiTRONIC™ 발파시스템.



Fig. 2. HiTRONIC™ 작업절차.



| 구 분                      | 수 량     |
|--------------------------|---------|
| 굴착단면(m <sup>2</sup> )    | 88.5    |
| 천공경(mm)                  | φ45     |
| 천공장(m)                   | 1.2     |
| 굴진장(m)                   | 1.0     |
| 천공수/ 무장약공                | 272 / 4 |
| 지발당 최대장약량(kg)            | 0.25    |
| 총 장약량 (Kg)               | 79.0    |
| 비장약량(kg/m <sup>3</sup> ) | 0.893   |
| 비천공장(m/m <sup>3</sup> )  | 3.797   |

Fig. 4. 적용 발파패턴도.

당 현장의 발파진동 및 소음 규제기준은 Table 1과 같으며 뉴마이트플러스Ⅱ와 전자뇌관을 사용한 시험발파 결과는 기준치를 충족시켰다(Table 2).

### 2.3.2 ○○~○○간 철도공사

당 현장은 터널 직상부(9.8m지점)에 보안물건인 지방도가 교행하며 터널 진입로 인근에 민가가 위치하고 있어 발파에 따른 피해를 방지하기 위하여 전자발파를 적용한 시공이 이루어졌다.

Fig. 5는 터널 종단면과 보안물건에 대한 현황을 나타내며 Fig. 6은 현장에 적용한 발파 패턴도를 나타낸다. 당 현

장의 발파진동 및 소음 규제기준은 Table 3과 같으며 전자뇌관을 사용한 발파결과는 Table 4와 같이 허용기준치 이내로 측정되었다. 적용초시는 심발부분에 60~80ms, 기타 부분은 25~30ms로 설정하였다.

### 2.3.3 ○○~○○간 철도공사

당 현장은 본 터널 굴착을 위한 진입갱도 공사로서 주변에 다수의 보안물건이 위치하고 있어 발파에 따른 피해가 예상됨에 따라 전자뇌관을 이용한 시공이 이루어졌다. 당초 무진동공법으로 설계된 현장이나 전자뇌관의 적용을 통해 환

Table 1. 발파진동 및 소음 규제 기준

| 보안물건 | 진동속도<br>(Kine) | 내부기준<br>(Kine) | 진동레벨<br>(dB(V)) | 발파소음<br>(dB(A)) |
|------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 민가   | 0.3            | 0.2            | 75              | 75              |
| 공장   | 0.5            | 0.5            | 80              | 80              |
| 축사   | 0.1            | 0.09           | 60              | 60              |

Table 2. 시험발파 결과

| 구 분 | 진동속도<br>(Kine) | 진동레벨<br>(dB(V)) | 측정거리 |
|-----|----------------|-----------------|------|
| 공장1 | 0.146          | 66.52           | 35m  |
| 공장2 | 0.085          | 55.82           | 47m  |
| 축 사 | N/T*           | N/T             | 112m |

\* : Not Triggered

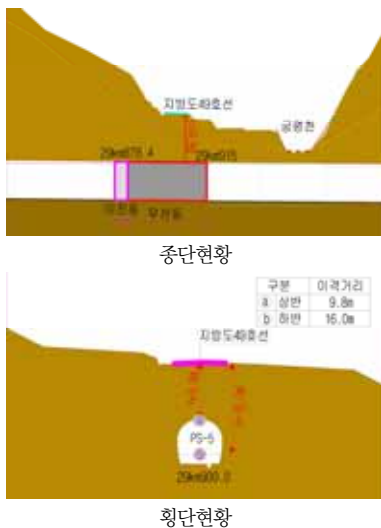
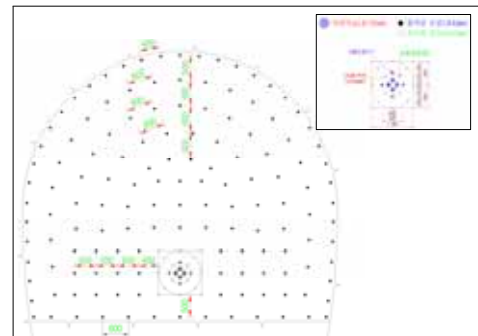


Fig. 5. 터널 종단면 및 보안물건 현황.



| 구 분           | 수 량           |
|---------------|---------------|
| 굴착단면(㎡)       | 39.211        |
| 천공경(mm)       | Φ45           |
| 천공장(m)        | 1.1           |
| 굴진장(m)        | 1.0           |
| 천공수/ 무장약공     | 161 / 4       |
| 지발당 최대장약량(kg) | 0.1875 ~ 0.25 |
| 총 장약량 (Kg)    | 38.125        |
| 비장약량(kg/m³)   | 0.972         |
| 비천공장(m/m³)    | 4.628         |

Fig. 6. 적용 발파패턴도.

Table 3. 발파진동 및 소음 규제 기준

| 보안물건 | 진동속도<br>(cm/sec) | 진동레벨<br>(dB(V)) | 발파소음<br>(dB(A)) |
|------|------------------|-----------------|-----------------|
| 지방도  | 1.0              | -               | -               |
| 민 가  | 0.2              | 75              | 75              |

Table 4. 시험발파 결과

| 구 분 | 진동속도<br>(Kine) | 진동레벨<br>(dB(V)) | 측정거리 |
|-----|----------------|-----------------|------|
| 지방도 | 0.664          | -               | 35m  |
| 민 가 | 0.007          | 43.96           | 112m |

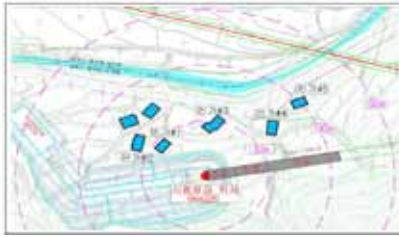


Fig. 7. 주변 보안물건 현황.

| 구분 | 보안물건  | 이격거리  | 현 황  |
|----|-------|-------|------|
| 1  | 민가 #1 | 37.3m | 주거시설 |
| 2  | 민가 #2 | 54.0m | 주거시설 |
| 3  | 민가 #3 | 35.8m | 주거시설 |
| 4  | 민가 #4 | 60.1m | 주거시설 |
| 5  | 민가 #5 | 91.4m | 주거시설 |

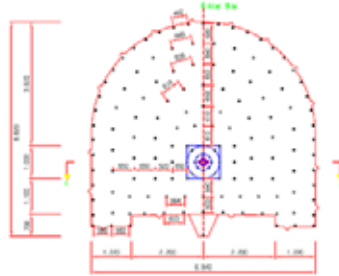


Fig. 8. 적용 발파패턴도.

| 구 분                       | 수 량           |
|---------------------------|---------------|
| 굴착단면(m <sup>2</sup> )     | 38.507        |
| 천공경(mm)                   | Φ45           |
| 천공장(m)                    | 1.1           |
| 굴진장(m)                    | 1.0           |
| 천공수/ 무장약공                 | 144 / 4       |
| 지발당 최대장약량(kg)             | 0.1875 ~ 0.25 |
| 총 장약량 (Kg)                | 35.125        |
| 비장약량(kg/ m <sup>3</sup> ) | 0.912         |
| 비천공장(m/ m <sup>3</sup> )  | 4.228         |

Table 5. 발파진동 및 소음 규제 기준

| 보안물건 | 진동속도<br>(cm/sec) | 진동레벨<br>(dB(V)) | 발파소음<br>(dB(A)) |
|------|------------------|-----------------|-----------------|
| 민 가  | 0.2              | 75              | 75              |

Table 6. 시험발파 결과

| 구 분 | 진동속도<br>(Kine) | 진동레벨<br>(dB(A)) | 측정거리   |
|-----|----------------|-----------------|--------|
| 민 가 | 0.01~0.124     | 68~74           | 37~60m |

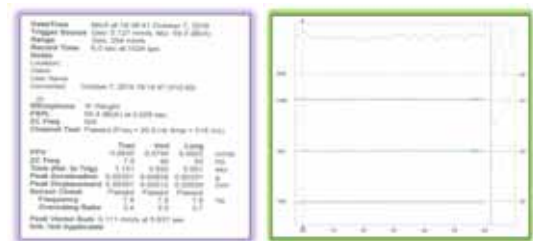


Fig. 10. 그룹모드의 계측데이터 및 파형.

며 전자뇌관을 사용한 발파결과 보안물건이 위치해 있는 37~60m 거리에서 규제기준을 충족시켰다(Table 6). 적용 초시는 심발부분에 60ms, 기타부분은 25~30ms로 설정하였다.

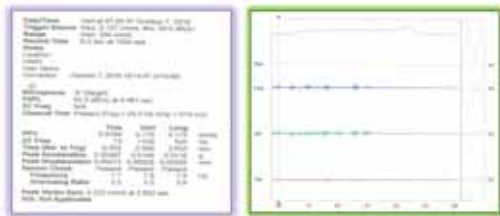


Fig. 9. 터널모드의 계측데이터 및 파형.

경규제 기준을 충족시키면서 발파공법으로 시공하였다. Fig. 7과 8은 현장 주변 보안물건 위치와 적용 발파패턴도를 나타낸다.

당 현장의 발파진동 및 소음 규제기준은 Table 5와 같으

### 2.3.4 HiTRONIC 계측 결과

Fig. 9와 10은 전자뇌관을 사용하고 있는 서울인근 00지 하철 현장에서 측정한 진동 및 소음에 대한 결과이다. 동일한 화약량 및 전자뇌관을 사용하였으나, 전자뇌관을 결선하는 발파 패턴을 터널모드와 그룹모드로 서로 다르게 설정하였다. 측정결과 그룹모드의 경우 Fig. 10과같이 진동(최대벡터합, Peak Vector Sum) 0.111mm/sec, 소음 59.4dB(A)으로 나타났으며, 터널모드의 경우 Fig. 9와같이 진동(최대벡터



일렬로(C1→L2→R2...→F1→F2→P1→P2) 기폭하는 방법이다. 터널 및 그룹모드에 대한 선택은 암반의 강도와 절리대의 분포상태등을 고려하여 시험발파를 통해 확정한다.

### 3. 결 론

일반적인 발파작업 시 주로 사용되는 뇌관은 정밀하지 못한 지연시차로 인해 발파진동 및 소음의 단차 간 간섭에 의한 증폭을 적절하게 제어할 수 없는 문제점 때문에 구조물과 근접된 구간에서 기계식굴착에 의존하였다. 그러나 정밀한 시차의 구현에 따른 전자뇌관을 이용한 발파작업이 이루어지면서 공사기간 단축 및 원가절감이 가능하게 되었다. 앞에서 사례로 살펴보았던 ○○외곽순환고속도로의 경우, 기계식굴착에 의해 일일 1m미만의 굴착이 이루어졌으나 전자뇌관을 이용하여 일일 2m의 굴진이 가능하였으며, 이에 따라 고정비등 공사금액을 대폭 절감할 수 있었다.

현재 전자뇌관의 사용량이 급속히 확대되고 있으며, 더불어 전자뇌관을 이용한 특허를 이미 출원 했거나 추진 중인 업체 또한 늘어나고 있다. 다만, 전자뇌관을 통한 효과적인 발파작업을 위해서는 정밀한 천공 및 메지(stemming)에 대한 철저한 작업이 선행되어야 하며 또한 암질 및 천공패턴에 따른 적절한 시차설정과 결선이 매우 중요하다.

### 참고문헌

1. 전자뇌관(HiTRONIC) 사용자 매뉴얼, 2016, (주)한화
2. ○○외곽순환고속도로 전자뇌관 시험발파결과보고서, 2016, 대림산업
3. ○○~○○간 철도공사 전자뇌관 시험발파결과보고서, 2016, (주)한양
4. ○○~○○간 철도공사 전자뇌관 시험발파결과보고서, 2016, 대우건설
5. ○○지하철공사 전자뇌관 시험발파결과보고서, 2016, 두산건설



**황 남 순**

(주)한화 D&B사업팀

Tel: 02-729-1555  
E-mail: namsun@hanwha.com



**이 동 훈**

(주)한화 D&B사업팀

Tel: 02-729-1574  
E-mail: leego@hanwha.com



**이 승 재**

(주)한화 D&B사업팀

Tel: 02-729-1557  
E-mail: omni@hanwha.com