

스파크 트리거에 의한 비전기식 뇌관의 기폭 시스템

유선진¹⁾, 강대진¹⁾, 김남수²⁾, 장형두³⁾, 양형식^{3)*}

Non-electric Detonator Initiation System Using Spark Trigger

Seon-Jin Yu, Dae-Jin Kang, Nam-Soo Kim, Hyong-Doo Jang and Hyung-Sik Yang

Abstract Non-electric detonator has been used in underground excavations because of its strong resistance against electric impacts. However, electric detonator is often used to initiate the non-electric detonator instead of using an exclusive non-electric blasting machine due to economical reason. Spark Trigger is introduced as a solution of unexpected explosive hazard from using an electric detonator as an initiator of non-electric system. Since Spark Trigger System does not need expensive tube and no plastic waste is left, this system is proved to be more economical and eco-friendly initiate system than the standard non-electric initiating system.

Key words Spark Trigger, Non-electric detonator, Underground excavation, Explosive hazard

초 록 전기적 충격에 안전한 비전기뇌관은 지하 굴착에 널리 이용되고 있다. 그러나 국내 많은 현장에서 경제적인 이유로 전용 격발기 대신 전기뇌관으로 대신하고 있는 경우가 많다. 스파크 트리거는 이러한 비전기뇌관의 특성을 활용하지 못하는 기폭 시스템에 의한 발파사고를 막기 위해 개발되었다. 이 시스템은 비싼 튜브가 필요 없어서 경제적이며 기폭 후에 플라스틱 폐기물이 남지 않아 환경 친화적인 것으로 판단된다.

핵심어 스파크 트리거, 비전기뇌관, 지하 굴착, 발파사고

1. 서 론

터널 및 지하구조물 굴착공사는 고압전기를 이용한 굴착장비 및 낙뢰 등에 의해 전기에 노출되기 쉽고 이때 사용되는 전기뇌관은 예기치 못한 폭발사고를 야기할 수 있다. 근래에는 이러한 지하구조물 굴착공사 시 전기뇌관에 의한 사고를 예방하기 위해 비전기식 뇌관이 주로 사용되고 있으나 경제적인 이유로 격발기에 의한 표준적인 기폭방법보다 전기뇌관을 이용한 편법적인 기폭방법이 많이 이용되고 있다. 긴 연장의

시그널튜브를 사용하는 표준적인 기폭방법은 전기적 충격에 안전하나 비용이 비싸고 매 발파 시 수백 미터의 폐 튜브가 발생하는 단점이 있고, 전기뇌관을 이용하여 시그널튜브를 기폭 시키는 방법은 저렴한 기폭 방법이지만 하나 전기적 충격에 취약하여 비전기뇌관 사용의 근본적 취지에 어긋난다. 스파크 트리거를 이용한 비전기식 뇌관의 기폭시스템은 상기 두 가지 기폭방법의 장점만을 채택하여 안전하고 확실한 비전기 뇌관 기폭 시스템을 구축한 것이다. 종류에 따라 약 1,200V 이상의 전류를 인가한 경우에만 기폭 되도록 고안되었으며 표준적인 비전기뇌관 기폭방법에 비해 저렴하고 폐튜브가 발생하지 않은 장점이 있다.

¹⁾ 승원산업

²⁾ NSB 기술사사무소

³⁾ 전남대학교 에너지자원공학과

* 교신저자 : hsyang@jnu.ac.kr

접수일 : 2011년 6월 13일

심사 완료일 : 2011년 6월 24일

계재 승인일 : 2011년 6월 27일

2. 스파크 트리거 개발 동기

터널 및 지하철 등의 지하굴착공사에서 사용되는

굴착장비들은 매연 및 분진발생을 최소화하기 위하여 고압전기를 동력으로 사용하며 이러한 환경에서 전기 뇌관을 이용한 발파방법은 필연적으로 전기적인 위험에 노출될 수밖에 없었다. 또한 터널 밖에서 발생하는 낙되는 지면을 통하여 흡수되는데 이때 터널 막장에 장약 된 전기뇌관에 작은 전류가 흐르게 될 경우 예기치 않는 발파사고를 야기하게 된다. 이러한 전기적인 위험요소로부터 안전하게 발파를 할 수 있도록 개발된 비전기식 뇌관이 개발되어 이용되고 있으나 비전기식 뇌관을 최초로 기폭 시키기 위한 표준적인 기폭 방법은 고가의 기폭비용이 소요되기 때문에 근래에는 전기적 위험을 감수하고라도 기폭비용이 저렴하고 간편한 전기뇌관을 이용한 기폭방법을 이용하고 있다.

2.1 지하구조물 발파공사시 전기뇌관 사용의 위험성

지식경제부 기술표준원에서 규정하는 한국산업규격 KS M 4803(Electric Blasting Caps)에 따른 전기뇌관의 점화전류시험에서 전기뇌관은 0.25A의 직류전류에는 발화하지 않고 1.0A 이상의 일정한 직류전류에는 기폭 할 것으로 정의된다(한국표준협회, 2003). 그림 1 과 표 1은 Breceton Test의 결과를 보여주고 있으며 이에 의한 전기뇌관의 발화전류는 사용하는 전교의 재료에 따라 상이하나 1 ~ 1.5A의 매우 작은 전류에 기폭 되도록 되어 있어 전기적 충격에 쉽게 노출되기 쉬

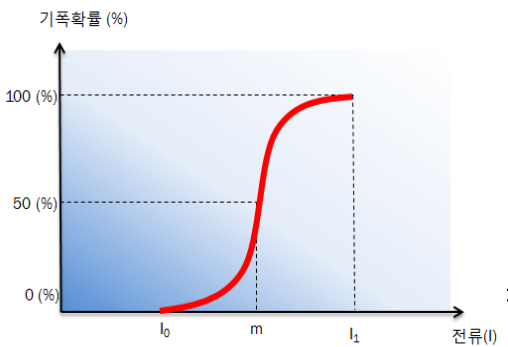


그림 1. Breceton Test에 의한 전기뇌관의 전류별 기폭 확률.

운 지하 구조물 발파에는 적용하기 힘들다(Wild and Collani, 2002). 그림 1의 I0은 최대불폭전류(maximum no firing current), m은 기폭될 확률이 50%인 전류, I1은 최소기폭전류(minimum firing current)를 나타낸다(한화, 2006).

2.2 비전기뇌관 시스템의 기폭방법별 특징

비전기뇌관의 두 가지 기폭방법의 특징 및 장단점을 간략히 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 표준적인 기폭방법은 터널막장에서 최종적으로 결선된 마지막 비전기식 뇌관의 시그널튜브에 스타터라 불리는 수백 미터의 시그널튜브를 추가로 연결하여 안전지대까지 대피한 후 시그널튜브의 끝단에 폭발충격 또는 스파크충격을 인가하여 시그널튜브 내의 폭약을 점화시키는 방법이다. 이 방법은 굴착터널 내부의 전기 시설 또는 터널 외부의 낙뢰로부터 매우 안전한 기폭방법 이기는 하나 매 발파 시 수백 미터의 시그널튜브가 사용되기 때문에 고가의 기폭비용이 소요되고 더불어 발파 후 수백 미터의 페플라스틱 튜브가 잔류하여 환경적으로도 문제가 된다. 둘째, 전기뇌관을 이용한 기폭방법은 터널막장에서 최종적으로 결선 된 마지막 비전기식 뇌관의 시그널튜브에 전기뇌관을 연결하고 전기뇌관의 각선에 수백 미터의 발파모선을 연결하여 안전지대까지 대피한 후 통상의 전기발파기를 이용하여 전기뇌관을 폭발시킴으로써 전기뇌관에 묶여있는 시그널튜브가 기폭되도록 하는 방법이다. 이 방법은 발파모선을 이용하기 때문에 기폭비용이 저렴하고 환경적인 문제도 발생하지 않은 장점이 있으나, 단 1개의 전기뇌관으로 인하여 터널 전체 막장에 설치된 고가의 비전기식 뇌관이 전기뇌관화 될 뿐만 아니라, 전기적으로 안전한 발파방법으로 개발된 비전기식 발파방법의 근본적인 취지를 상실하게 하는 매우 비합리적인 기폭방법이다(승원산업, 2010).

스파크 트리거는 위의 두 가지 기폭방법의 문제점을 해결하고 장점만을 채택하여 전기적으로도 안전하

표 1. 전기뇌관의 전교 재료에 따른 추천 발파 전류

전교 재료	I0	I1	I0 - I1	추천발파전류
백금선	0.41 A	0.48 A	0.07 A	1.00 A
니크롬선	0.32 A	1.00 A	0.68 A	1.50 A

고, 기폭비용이 저렴하며, 먼 거리에서도 확실하게 비전기식 뇌관을 기폭 시키도록 고안된 것이며 그림 2와 표 2는 각각의 기폭방법을 상호 비교한 것이다.

3. 스파크 트리거를 이용한 비전기식 뇌관의 기폭시스템

3.1 스파크 트리거의 전기적 안전성 실험

스파크 트리거의 전기적 안정성을 실험하기 위하여 한국기계전기전자시험연구원에 의뢰한 시험결과에 따르면 개발된 스파크 트리거는 일반 가정용 220V의 전류를 직접 인가하여도 기폭 되지 않으며, 스파크 트리거의 종류에 따라 일반 발파기용 증폭형은 1297V, 고압발파기용 일반형은 1312V, 고압발파기용 증폭형은 1656V의 전류를 인가하여야만 스파크를 발생하는 것으로 나타났다(한국기계전기전자시험연구원, 2010).

3.2 스파크 트리거의 개요

비교적 장기적으로 사용이 가능한 발파모선에 연결

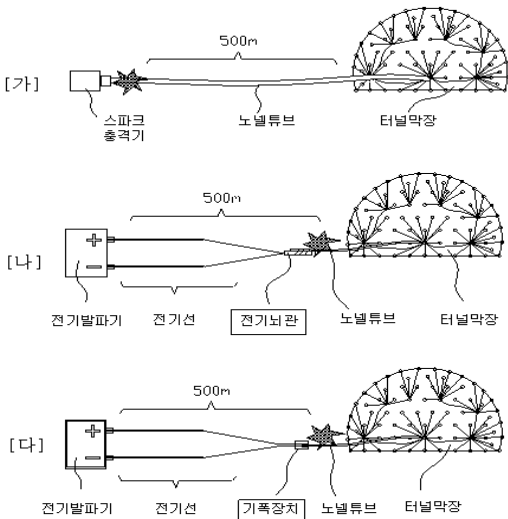


그림 2. 비전기식 뇌관의 3가지 기폭방법 비교.

하여 비전기기튜브를 기폭 시키도록 고안된 스파크 트리거의 모형도 및 부품도는 그림 3, 4와 같다. 발파모선에 연결된 리드선을 통해 전기적 충격을 안전장치인 캐패시터와 바리스터를 통해 축적 및 방전함으로써 스파크 단자에 불꽃방전을 일으켜 비전기기튜브를 기폭하게 된다(특허청, 2010).

스파크단자는 조밀한 간극을 갖는 두 개의 전극으로 구성되며, 두 개의 전극이 시그널튜브에 삽입되어 전기발파기에서 발생한 고전압의 전류를 인가받아 시그널튜브에 강력한 스파크를 일으키는 점화장치이며, 캐패시터는 전기발파기에서 발생한 고압의 전류를 임시 축적했다가 방전하는 역할을 하며, 긴 발파모선을 통하여 손실된 전압을 보정하여 스파크단자에 충분한 전류가 흐르도록 하는 역할을 한다. 전기저항은 발파회로의 이상 유무를 검사할 수 있도록 하는 수단을 제공함과 동시에 캐패시터가 삽입된 스파크 트리거에 대하여는 안전장치로 사용되는 것이며, 바리스터는 일정전압 이하에서는 스파크단자에 전류가 흐르지 않



그림 3. 스파크 트리거의 모형도.

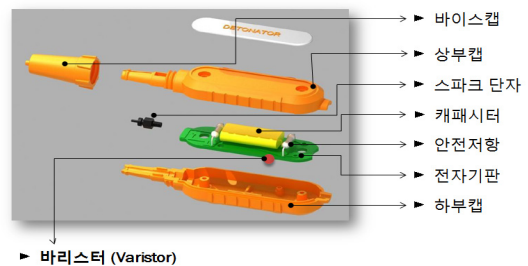


그림 4. 스파크 트리거의 부품도

표 2. 비전기식 발파방법의 전통적 기폭 방법과 스파크 트리거 기폭방법의 경제성 비교

구분	전기식	비전기식	스파크 트리거
전기적 안전성	불안전	안전	안전
경제성	좋다	나쁘다	좋다

도록 하는 전자부품으로, 터널 내부에 흐르는 전기시설 혹은 터널 외부로부터 발생하는 낙뢰에 대하여는 스파크 트리거가 반응하지 않고, 고압의 전기발파기에 의하여만 스파크 트리거가 스파크를 발생토록 하는 안전부품이다.

3.3 스파크 트리거를 이용한 비전기식 뇌관의 기폭시스템의 장점

스파크 트리거를 이용한 비전기식 뇌관의 기폭시스템의 장점은 다음과 같다. 비전기식 뇌관을 안전하게 기폭시키기 위해 필요한 긴 연장의 starter 대신 장기적으로 사용이 가능한 발파모선을 이용하여 기폭비용이 저렴하며, 비전기식 튜브가 남지 않아 환경오염이 없다. 또한, 전기발파기에 의해서만 스파크가 발생하므로 전기적으로 안전하며 정전기, 낙뢰에 의한 유도전류, 누설전류 등에 의해 스파크가 발생하지 않는다. 화약류가 아닌 순수 전자부품으로만 구성되어 보관 및 취급이 용이하고 국내 생산되는 폭약류를 직접 기폭시키지 못하며 전기모선을 사용함으로써 도통시험기를 이용한 발파회로의 이상 유무 검사가 가능하다.

3.4 스파크 트리거의 현장 적용

개발된 스파크 트리거의 현장 적용성을 확인하기 위하여 섬진강댐 비상 여수로 공사현장에서 개발단계부터 100회 이상의 성능 및 타 기폭시스템과 비교분석을 실시하였으며 고서-성산간 88고속도로 7~8개 터널현장, 구이-금산간 도로 확포장공사 현장, 진주-광양간 철도 복선화공사 현장, 생비량-쌍백간 도로확장공사, 동홍천-양양간 고속도로 5개 현장등 약 20여개의 터널 현장에서 스파크 트리거의 현장 적용 모니터링이 실시되었다. 각 현장에 20여개의 스파크 트리거 완제품이 제공되었으며 모든 현장에서 안전하게 발파가 실시되어 스파크 트리거의 현장적용은 성공적이라 할 수 있다. 그러나 1200V 이상의 고압전류에 기폭되는 스파크 트리거의 특성상 기존의 전기뇌관 발파기를 사용하면서 완전충전상태로 기폭을 시켜야 하나 미충전 상태로 기폭을 시도하여 3회의 불폭현상이 발생하였다. 이러한 현상은 스파크 트리거 기폭시 500Ω이상의 발파기를 사용할 것과 완전충전 후 기폭하는 것으로 해결될 수 있을 것으로 판단된다. 이상의

현장 적용성 결과는 전기뇌관을 사용하여 비전기식 시스템을 기폭시키는 시스템에 비해 월등한 작업 안정성과 경제성을 확인하는 계기가 되었으며 복단양 소재 신소재 산업단지 진입도로 개설공사 현장의 기폭시스템으로 채택되어 안전하게 공사를 마쳤으며 현재 용주댐 철도이설공사 설계에 반영되어 있다. 실제로 1일 4회 발파 및 발파당 300m 길이의 비전기 스타터를 사용하여 발파하는 경우 연간 8,300만원의 기폭비용과 438Km의 페플라스틱 튜브가 발생하는 반면 스파크 트리거를 사용하여 발파하는 경우 연간 2,900만원의 기폭비용이 예상되어 1년 공사기준 연간 약 5,000만 원 이상의 기폭비용이 절감되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

스파크 트리거를 이용한 비전기식 뇌관의 기폭시스템은 장기적 사용이 가능한 전기모선을 이용함으로써 시그널튜브 리드선을 격발기를 통해 기폭시키는 표준적인 방법보다 경제적이며 발파 후 시그널튜브의 잔류로 인한 환경적인 위해가 없는 점화방법이다. 국내 현장에서 즐겨 사용되는 비전기식발파 시스템의 기폭방법은 경제적인 이유로 고가의 시그널튜브 리드선을 이용한 표준적인 기폭방법을 이용하지 않고 전기모선과 1발의 전기뇌관으로 시그널튜브를 기폭하는 것이며 이는 전기적인 충격에 매우 위험한 비전기 뇌관의 특성을 활용하지 못하는 기폭방법인 것에 반해 스파크 트리거를 이용한 비전기식 뇌관의 기폭시스템은 약 1,200V 이상의 전류를 인가한 경우에만 기폭되는 안전한 점화방법이다.

수십 차례의 현장 적용 결과와 실제 시공사례 등은 스파크 트리거의 안정성과 경제성을 다시 한 번 확인하는 계기가 되었으며 스파크 트리거 기폭 시스템을 사용함으로써 터널 및 지하 구조물 공사 시 발생할 수 있는 전기적 트러블로 인한 발파사고는 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

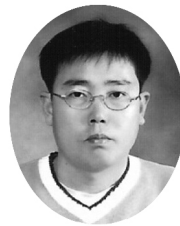
1. 승원산업, 2010, 스파크 트리거를 이용한 비전기뇌관의 기폭시스템 카탈로그.

2. 특허청, 2010, 전기발파기와 스파크 트리거를 이용한 비전기식 뇌관의 기폭시스템, 10-2010-0109387.
3. 한국기계전기전자시험연구원, 2010, 스파크 기폭장치 시험성적서.
4. 한국표준협회, 2003, 한국산업규격, 전기뇌관(KS M 4803).
5. 한화, 2006, Technical support, 전기뇌관의 점화전류.
6. Wild, R. and E.V. Collani, 2002, Modelling of explosives sensitivity Part 1: The Bruceton Method, Economic Quality Control, Vol. 17, No. 1, pp. 113-122.



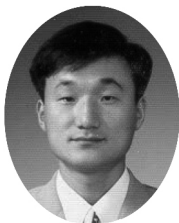
유 선 진
화약류관리보안책임자

Tel: 062-682-4518
E-mail: blasting@daum.net



강 대 진
승원산업 대표

Tel: 062-512-4283
E-mail: kdj1128a@hanmail.net



김 남 수
NSB 기술사 사무소 대표이사

Tel: 02-458-2646
E-mail: nsbpro@hanmail.net



장 형 두
전남대학교 대학원
에너지자원공학과 박사과정

Tel: 062-530-0824
E-mail: hdjang75@gmail.com



양 형 식
전남대학교
에너지자원공학과 교수

Tel: 062-530-1724
E-mail: hsyang@jnu.ac.kr