

비 전기식 뇌관(하이넬)의 품질 특성에 관한 연구

Quality Characteristics of the Non-Electric Detonators(HiNEL)

김성호* 임한욱**
Kim, Sung-Ho Lim, Han-Uk

ABSTRACT

The firing systems for the detonators called ordinary blasting caps have almost completely been substituted by safer and more trust worthy systems that can be classified in two groups ; Electric systems, and Non-electric systems.

The characteristics of the different initiation devices for both group will be discussed, along with other useful elements for the correct execution of blastings.

These detonators are commercialized in several countries under different names such as HiNEL, Nonel, Anodet, Detaline etc. A great advantage is that they do not initiate blasting agents such as slurries and ANFO, allowing bottom priming to be carried out.

키워드 : 뇌관, 비전기식뇌관, 지연시간, 점화튜브

Keywords : blasting caps, non-electric detonator, delay time, signal tube

1. 서 론

일반 발파작업에서는 폭약이 폭발할 때 형성되는 고압의 가스와 열에너지로 인하여 암반의 파쇄 이외에도 지반의 진동, 폭발압 및 소음, 암편의 비산 등으로 소위 발파 환경공해를 유발시키고 있다.

더욱이 인구가 조밀한 도심지에서 지하철 건설과 같은 작업을 실시할 때는 환경공해 요인을 저감시키면서도 안전성을 추구할 수 있는 발파공법이 제시되어야 한다. 일반적으로 암반파쇄를 위한 기폭방법은 기폭시차(時差)에 따라 제발발파, DS발파, MS발파, 분할발파 등이 쓰이는데, 안전성과 발파 환경요인 저감을 위해 지금까지 MS발파를 선호하는 경향이 있다. MS발파는 뇌관의 기폭시차가 20~25/1,000 초 내외로 발파시 제발발파와 같은 효과를 얻을 수 있으면서도 발파 환경공해 요인을 저감시키기 때문이다.

전기뇌관은 결선 후 도통시험 등이 용이하여 불발 또는 잔류공을 제거 할 수 있는 장점을 갖고 있으나, 유도전류 등이 흐르는 곳에서는 자체 기폭 위험성이 있어 사용할때 안전상 각별한 주의를 요한다.

뿐만 아니라 국내에서 생산되는 MS뇌관은 그 단차가 20여개 뿐이기 때문에 대단면 터널굴착 즉, 발파공수가 100여개를 초과하는 경우 시차의 중복으로 인하여 발파환경공해요인이 되는 폐단이 있다.

따라서 전기뇌관의 이러한 단점을 보완하기 위하여 최근에 개발, 사용되는 대체품으로 비전기식 뇌관(Non-electric detonator)이 있다. 이 뇌관은 지발(단발)전기뇌관과 도폭선 시스템의 장점을 택하여 조합한 형식으로 저약량(低藥量) 도폭선이라 할 수 있는 특수한 화약처리를 한 프라스틱 튜브를 각선 대신에 사용함으로써 미주전류, 정전기, 천둥, 무선전파에너지 등에 대하여 안전하며, 튜브길이의 변화와 뇌관내부에 연시장치를 이용하여 초시 정밀도를 양호하게 조정할 수 있는 장점을 갖고 있으나, 전기뇌관과는 달리 결선 단락을 계측기로서 점검할 수 없는 단점을 가지고 있다.

이러한 신기폭 시스템인 비전기식 뇌관으로 국내에서는 하이넬(HiNEL, 한화)과 노넬(NONEL, 고려화약)이라는 상품명으로 제조, 판매되고 있다.

화약류는 사용에 따라 위험성이 수반되므로 안전 및 성능을 보장하기 위한 몇가지 품질특성 실험법과 그 결과에 따른 조치사항이 한국공업규격(KS)과 관련

* (주) 한화 영업부

** 강원대학교 자원공학과 교수

법규(총포·도검, 화약류 단속법규 등)에 명시되어 있다. 그러나 위에 제시한 하이넬 뇌관과 같은 비전기식 뇌관의 품질특성과 그 기준에 대하여 구체적으로 제시된 자료는 아직 발표되지 않고, 다만 제조회사에서 외국의 제품 및 관련자료를 참고하여 제조상의 품질 관리 기준으로만 제안 되어 있을 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 최근 새로운 기폭시스템으로 각광을 받고 있는 비전기식 뇌관중의 한가지인 (주)한화 제품 하이넬을 대상으로 품질특성 실험을 실시하고 그 기준을 수정, 보완하여 새로운 기준안을 제시함으로써, 앞으로 국가차원의 관리기준을 설정하는데 기본 자료로 활용될 수 있도록 하였다.

아울러 발파산업 현장에서 종사하는 기술자들로 하여금 품질특성에 관한 이해를 제고시키으로써, 산업용 화약류 사용에 따른 안전성을 도모할 목적으로 수행되었다. 여기서 채택한 실험방법은 원칙적으로 일반 화약류의 특성 시험법(KS-M Series)을 준용하였으며, 실험방법이 없는 항목은 제조회사 등에서 시행하고 있거나 기타 다른 화약류의 품질 평가법을 응용하여 실시하였다.

2. 비전기식 뇌관의 개요

비전기식 뇌관(하이넬)은 퍼어슨(Per Anders Persson)박사에 의해 1968년 처음으로 시험에 성공한 이래, 1973년부터 본격적으로 세계시장에 보급, 사용되기 시작하였다. 비전기식 뇌관의 기폭시스템은 전기 뇌관시스템에 의한 위험성을 개선하기 위하여 지발(遲發) 전기뇌관과 저약량(低藥量) 도폭선시스템의 장점을 응용한 신 기폭시스템이라 할 수 있다.

현재 세계적으로 개발, 사용되고 있는 비전기식 뇌관의 종류는 (주)한화의 하이넬(HINEL), 호주 ICI사의 엑셀(EXEL), 스웨덴 NNAB사의 노넬(NONEL), 미국 Austin Powder사의 쇼크 스타(Shock Star) 등의 상품명을 들 수 있는데, 본 연구에서는 하이넬 제품을 대상으로 선정하였으며, 이하 하이넬을 『비전기식 뇌관』이라 칭하기로 한다.

비전기식 뇌관은 전기뇌관에 해당되는 원관(Detonator)과, 각선에 해당되는 점화튜브(Signal tube), 그리고 이들 두 부품을 통합한 기폭용 뇌관(DHD)으로 구성되어 있다.

그리고 전기뇌관과 마찬가지로 20ms 간격의 단별 지연초시를 갖는 비전기식 뇌관인 MS시리즈 뇌관, 100~500ms 간격의 비교적 긴 지연시차를 갖는 LP시리즈 뇌관, 발파공과 발파공간의 기폭용 뇌관을 연결

하는 표면 연결용 뇌관(TLD)이 있다. 이 외에 번치 커넥터, 비전기식 뇌관을 초기 기폭시키는 스타터 그리고 MS커넥터 등을 들 수 있다.

2.1 하이넬의 구성부품

비전기식 뇌관의 기폭시스템은 크게 점화튜브(Signal tube)와 원관(Detonator) 2가지로 구성되어 있다. 원관에는 플러그(Anti-static sealing plug), 가이드 컵(Guide cup), 연시약(Delay charge), 점화약(Ignition charge), 첨장약(Base charge), 알루미늄 관체(Al shell) 등 6종류로 구성되어 있으며, Fig.1에 그 구조도를 나타내었다.

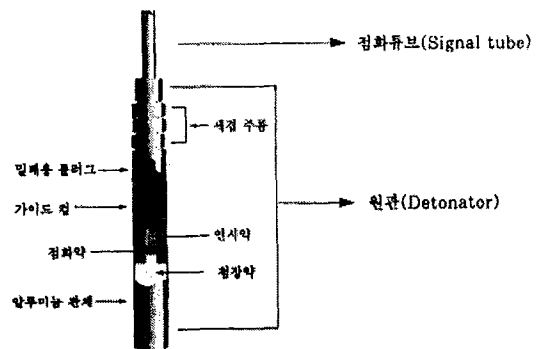


Fig. 1. Schematic diagram of non-electric detonator type

1) 점화튜브(Signal tube)

점화튜브는 2중 압출(Double extruded)하여 제작된 것으로 규격은 외경 3.0mm, 내경 1.2mm이고 재질은 아이노머 레진(Inomer resin)로 되어 있다. 내벽에 HMX 혼합물(HMX : 92%, Al : 8%)이 약 15~25 mg/m 코팅되어있고, 외부색깔은 오렌지(Orange)색과 흰색(White) 2가지가 있다.

점화튜브를 전용 점화기(Sure firer)나 뇌관류로 기폭시키면 충격과에 의해 미분말의 부유상태에서 폭발력이 전달되어 내부에 코팅된 HMX 혼합물이 분진폭발을 일으키며, 화염이 2,000m/sec(지연시간 : 0.5s/m)의 속도로 전파되어 전달된다. 또한 점화튜브의 내부 화약량은 매우적게 코팅되어 있어 점화시 폭발적 효과와 소음이 거의 없으며, 주위의 어느것에도 영향을 주지 않는 것이 특징이다.

2) 원관(Detonator)

원관(Detonator)은 하부에서 부터 첨장약(Base charge), 기폭약(Initial charge), 지연제(Delay charge) 순으로 알루미늄 관체(Aluminium tube)에 장전되어

있다. 원관(Detonator)을 구성하고 있는 화약류의 원료는 세가지 종류이며, 그 특징은 다음과 같다.

첫째, 침장약(Base charge)은 기폭약보다 감도는 둔감하나 폭발력이 큰 폭약으로서 원관(Detonator)의 위력을 증폭하는 역할을 하며, 그 종류는 PETN, RDX, Tetryl 등이다. 이들의 분자식은 각각 $C(CH_2 ONO_2)_4$, $(CH_2 -N-NO_2)_3$, $(NO_2)_3 CH_2 2N(CH_3)NO_2$ 이다.

둘째, 기폭약(Initial charge)은 외부로 부터의 점화 또는 발화점까지 가열하면 쉽게 폭발하고, 동시에 인접부에 있는 폭약을 신속하게 점폭시킬 수 있는 폭약으로서, 그 종류는 아지화연, 뇌홍, DDNP, 스티판산납, 테트라센이 있다. 이들의 분자식은 각각 $Pb(N_3)_2$, $Hg(ONC)_2$, $C_6H_2 ON_2 (NO_2)_2$, $C_6H(NO_2)_3 O_2 Pb$, $C_6H_8N_{10}O$ 이다.

세째, 지연제(Delay charge)는 뇌관의 단수에 따라 일정한 지연단차를 주기위해 지연약품(Retardative agent)으로 구성된 화학성분이다. 지연제의 조성은 조건에 따라 여러가지 성분으로 혼합한 지르코늄(Zr)계열, 보론(B)계열, 망간(Mn)계열, 규소철(Fe-Si)계열 등으로 구분할 수 있다.

2.2 비전기식 뇌관의 종류 및 용도

비전기식 뇌관은 용도에 따라 기폭용 뇌관, 표면 연결용 뇌관, MS 및 LP시리즈뇌관, 그리고 그 밖의 제품으로 구분 할 수 있다. 이들에 대한 특징을 살펴보면 다음과 같다.

1) 기폭용 뇌관(DHD, Down-hole delay detonator)

발파공내에 사용되는 비전기식 뇌관으로서 전폭약포(Primer)를 기폭시키기 위한 기폭용 뇌관이다. 주로 노천발파에 사용된다. 지연시차에 따라 400, 425, 450, 475, 500ms 등 5가지 종류가 있다.

2) 표면 연결용 뇌관(TLD, Trunk-line delay detonator)

발파공과 발파공간의 기폭용 뇌관을 연결하는 표면 연결용 비전기식 뇌관으로서 주로 노천발파에 사용된다. 0, 17, 25, 42, 67, 109, 176ms 등 7가지 종류가 있다.

3) MS시리즈 뇌관(Milli-second delay detonator)

0~380ms까지 20ms간격의 단별지연초시를 갖는 비전기식 뇌관으로서 주로 노천과 터널발파 등에 사용된다. MS시리즈 뇌관의 종류는 20가지로 1~19단까지 있다. 또한, MS 및 LP시리즈에서 점화튜브와 도폭선을 연결하는 핀을 도폭선 클립 또는 멀티클립(Multiclip)이라 한다.

4) LP시리즈 뇌관(Long-period delay detonator)

100~7000ms 까지 100~500ms 간격의 비교적 긴 단차별 지연초시를 갖는 비전기식 뇌관으로서 주로 노천과 터널발파의 장공발파 등에 효율적으로 사용된다. LP시리즈 뇌관의 종류는 1~25단 까지 25가지가 있다.

5) 그 밖의 제품

(가) 번치 커넥터(Bunch connector)

점화튜브의 한쪽 방향에서 전달되어 오는 충격파를 받아, 증폭하여 많은 튜브를 연결시켜 주는 연결자 역할을 한다. 따라서 많은 발수(發數)의 비전기식관을 동시에 기폭시키기 위해, 여러개의 점화튜브를 묶은 묶음과 묶음을 연결하는 비전기식 뇌관으로서 주로 터널발파에 사용된다. 번치 커넥터의 종류는 TLD와 같이 7가지가 있다.

(나) 스타터(Starter)

비전기식 뇌관의 기폭시스템을 안전거리가 확보된 장소에서 초기에 기폭시키는 비전기식 뇌관이며, 초시는 0ms 단 1가지가 있다.

(다) MS 커넥터(MS connector)

발파공내는 비전기식 뇌관을 사용하고, 발파공과 발파공을 도폭선(Detonating cord)으로 연결할 때, 또는 열(Row)과 열에 일정한 지연단차를 주기위해 사용하는 비전기식 뇌관 시스템이다. MS 커넥터의 종류는 17, 25, 42, 67, 109ms 등 5가지가 있다.

2.3 사용상의 특징

하이벨 비전기식 뇌관의 일반적 특징을 요약하면 다음과 같다. 즉 안전하고, 신뢰성이 높으며, 효율적인 것으로 알려지고 있으나 몇가지 결점도 갖고 있다.

1) 하이벨 뇌관의 장점

(가) 안전성(Safety) : 비전기식 시스템이므로, 미주전류(Stray current), 정전기(Static electricity), 낙뢰(Electrical storms), 무선 전파에너지(Radiofrequency energy), 고압선(High-voltage powerline), 화염(Flame), 마찰 및 충격(Friction & Impact)등에 대하여 안전하다. 또한, 점화튜브의 연소속도는 2,000m/sec로 빠르지만, 연소할 때 폭음이 거의 없으며, 발파공내에 장전된 초유폭약(AN-FO)이나 다른 폭약류 가운데를 통과하여도 사압(Deadpressure) 등의 영향을 주지 않는다.

즉 점화튜브는 오직 뇌관을 기폭시키기 위해 점화원을 공급해 주는 역할을한다.

(나) 신뢰성(Reliability) : 점화튜브가 두 겹으로 되어 있어 내광성, 내흡유성, 내인장강도 및 내마모성

이 우수하여 신뢰할 수 있다. 점화튜브가 밀폐되어 충격파에 의한 점화원 전달이 확실하며, 한쪽 끝은 밀봉되고 다른쪽 끝은 세겹 주름(Triple crimping)으로 원관과 연결되어 있기 때문에 내수성이 우수하다. 지연제(Delay chage)를 원관내 별도의 금속관식 튜브에 장전하였기 때문에 초시 정밀도가 우수하며, 조절발파 또는 정밀발파(Controlled & cautious blasting)가 가능하다.

또한 전기뇌관의 기폭시스템처럼 도통 및 회로점검 등이 필요치 않으며, 누설전류와 접속불량으로 인한 발파실패가 거의 없다. 이외에도 기폭성이 큰8호 뇌관으로 구성되어 있어, 폭약류를 기폭시키는 기폭력이 우수하며, 잔류폭약이 없다는 점이다.

(다) 효율성(Efficiency) : 번치 커넥터와 표면 연결용 뇌관(TLD)을 사용하기 때문에 이론상으로는 무한대의 지연단수를 얻을 수 있어, 다수의 발파공을 기폭시킬 수 있으며, 또한 발파진동과 소음을 감소시킬 수 있다. 또한, 초시 정밀도가 우수하여 발파효율성, 버럭(파쇄석)의 크기 및 이동방향을 조절 할 수 있고, 다양한 제품이 있어 용도별로 선택할 수 있는 폭이 넓다.

2) 하이벨 뇌관의 단점

전기식 발파와는 달리 결선여부를 계측기로 계측할 수 없으며, 오로지 육안에 의존해야 하므로 결선불량에 따른 발파실패가 발생할 수 있으며, 숙련된 기술자를 필요로 한다. 또한, 점화튜브가 손상되면 흡습되거나 침수되어 점화가 불량해 진다. 그리고 발파후 점화튜브가 그대로 남기 때문에 환경오염 문제를 야기시킬 수 있다.

3. 실험방법 및 측정

신기폭 시스템인 비전기식 뇌관의 물리적 특성에 관한 실험방법은 일부는 KS공업규격의 실험방법에 따라 실시하고, KS공업규격에 명시되어 있지 않은 실험항목은 비전기식 뇌관의 특수성을 감안하여 각종 화약류의 실험항목과 방법을 준용하여 실험을 실시 하였다.

3.1 점화튜브(Signal tube)의 물리적 특성실험

점화튜브의 물리적 특성은 여러가지가 있으나 본 연구에서는 인장강도(Tensile strength)의 6가지 종류에 대하여 실험하였다.

1) 인장강도(Tensile strength)

인장강도는 점화튜브(Signal tube)의 강도를 판단하

는 기준으로 Fig. 2와 같이 실내온도에서 점화튜브 10발을 인장강도 측정기를 이용하여 200mm/min 속도로 인장시킬 때, 점화튜브가 절단되는 인장강도를 측정하였다. 이 실험결과는 전폭약포 제작시, 전폭약포의 양을 어느 정도까지 매달거나 힘을 작용시켜도 늘어나거나 끊어지지 않아 기능을 발휘 할 수 있는지를 판단하는데 이용된다. 인장강도가 크면 불발은 감소한다. 그 결과는 Table 1과 같다. Fig. 3은 인장강도 측정기의 모습을 보여주고 있다.

2) 인발강도(Seperation strength)

인발강도는 점화튜브와 원관 사이의 조임력(Crimping)을 측정하는 시험으로 Fig. 4와 같이 점화튜브 20발에 대해 원관을 치구에 고정시켜 놓고 점화튜브를 잡아 당겼을때, 분리되는 정도를 측정한다. 이 결과는 전폭약포 제작후 발파공에 장전시 자중이나 또는 장약 도중 필요에 따라 당겨 올릴 때, 기폭에 미치는 영향을 검토하는데 기준으로 이용된다. 인발강도가 낮으면 제품의 불발원인이 될 수 있다. 그 결과는 Table 2와 같다.

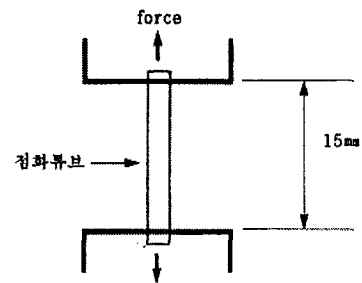


Fig. 2. Schematic diagram of tensile strength

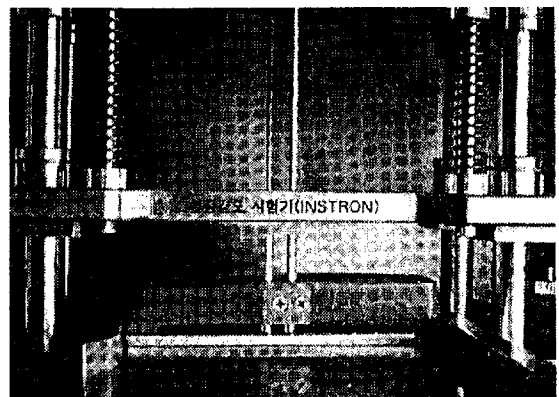


Fig. 3. Tensile strength equipment(Instron, Model No, 1175)

Table 1. Results of tensile strength(Sinal tube)

구 분	인장 강도(kgf)				
실험Data (총 10발)	1)17	2)15	3)17	4)16	5)16
	6)14	7)17	8)16	9)15	10)17
결 과					

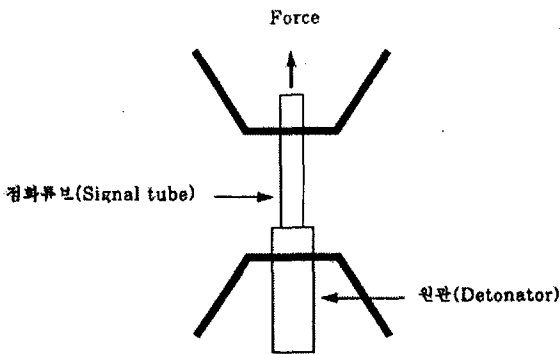


Fig. 4. Schematic diagram of seperation strength

Table 2. Results of seperation strength Signal tube & Detonator

구 분	인 발 강 도 (kg f)				
실험 Data (총 20발)	1) 9.2	2) 9.4	3) 8.4	4) 7.9	5) 8.3
	6) 8.8	7) 8.0	8) 8.6	9) 8.4	10) 8.2
	11) 10	12) 8.3	13) 8.7	14) 8.3	15) 8.8
	16) 8.6	17) 8.7	18) 8.5	19) 7.8	20) 7.8
결 과					

3) 압착강도(Compression strength)

압착강도는 점화튜브의 찌그러짐을 판단하는 기준

으로 Fig. 3-4와 같이 길이가 20mm인 점화튜브를 치구에 올려 놓고 압착시켰을 때, 점화튜브의 압착 저항력을 측정하였다. 점화튜브는 원주형으로 되어 있기 때문에 인위적으로 압착시켰을 때, 찌그러지는 힘이 어느 정도 인가를 측정하는 실험이다. 즉 발파현장에서 작업자가 밟은 경우 또는 중량물이 올려질 때에도 본래의 기능을 발휘하는지 판단하기 위함이다.

이 압착강도가 너무 약하면 찌그러져 내공이 막히므로 기능이 저하되어 불폭이 되는 원인이 된다. 반면에 너무 강하면 제작이 어렵고 제조 원가가 상승하기 때문에 일정 수준 이상이면 된다. Table 3은 그 결과를 보여주고 있다.

4) 낙추시험(Drop test)

낙추시험은 기존 화약류의 낙추감도를 측정하는 방법(KS-M-4802)을 준용하였는데, 점화튜브의 충격감도를 판단하는 기준으로 길이 10mm인 점화튜브를 치구에 올려 놓고, 그 튜브 위에 높이와 지름이 각각 12.7mm인 원형 철주를 얹어 놓은 다음, 그 위에 5Kg 무게의 추를 1m 높이에서 낙하시켰을 때 발파유무를 측정하는 시험으로 10회에 걸쳐 실시하였다. 이 시험은 점화튜브에 코팅되어있는 특수 폭약류가 어느 정도의 충격에 의해 폭발 할 수 있는가, 즉 충격감도를 구하는데 목적이 있다.

발파현장에서 낙석이나 비석 또는 중량물이 떨어질 때, 발화 또는 기폭에 대한 안전성을 평가하는 기준이 된다. 낙추감도가 낮으면 충격감도가 민감하여 운반, 취급 및 사용할 때 위험성이 높고, 반대로 높으면 충격감도가 둔감하여 사용할 때 안전성이 높다. 실험방법 및 결과는 각각 Fig. 6 및 Table 4와 같다. Fig. 6에서 철주 5Kg을 일정한 높이에서 6회 낙하시켰을 때, 6회 모두 시료가 폭발 또는 발화할 때의 최소높이를 완폭점(P₁, 100%), 한번도 폭발 또는 발화하지 않을 때의 최대높이를 불폭점(P₂, 0%), 그리고 폭발 또는 발화를 일으키는데 필요한 평균높이를 임계폭점(A, 50%)이라 한다.

5) 연소속도(Burning rate) 실험

점화튜브의 연소상태와 속도를 측정하는 실험으로 그 방법은 Fig. 7과 같다. 이 실험방법은 기존 화약류의 폭발속도를 측정하는 방법(KS-M-4802)을 준용하여 실시하였는데, 광섬유(Light fiber)법 이라고도 한다. 연소속도 측정을 위해 두 점간의 거리를 정확히 1m가 되도록 측정하고 시작(Start), 종료(Stop)광섬유선을 점화튜브 위에 수직으로 각각 설치한 다음 흑색 테이프로 고정시킨다.

다음에 발파기로 뇌관을 기폭시키면 속도 측정기

가 시작과 종료에서 발산되는 빛의 통과 시간을 측정하는 것으로 연소속도는 50회에 걸쳐 실시하였는데, 그 결과는 Table 5와 같다.

이 실험은 많은 량의 점화튜브를 사용할 때, 연소속도가 지연시차에 미치는 영향을 분석하는데 이용된다. 즉 연소속도가 너무 느리면 계획발파가 어렵고, Cut-off 로 인해 불발이 발생할 수 있다. 반면에 너무 빠르면 점화튜브의 파열로 인접 폭약에 사압(Dead pressure)의 영향을 미치게 되며, 때로는 인접 점화튜브에 손상을 미치기도 한다.

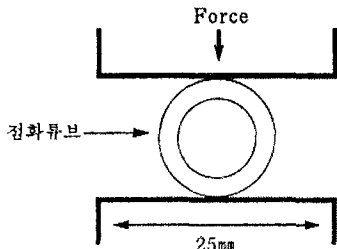


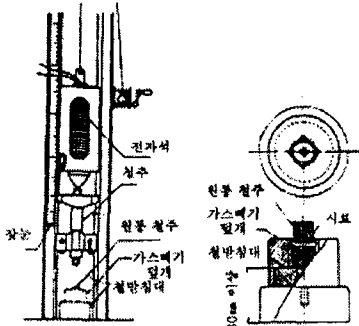
Fig. 5. Schematic diagram of compression strength

Table 3. Results of compression strength(Signal tube)

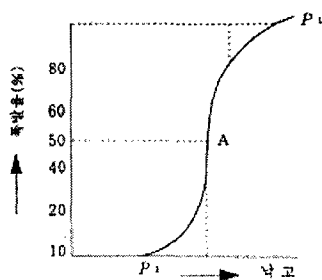
구 분	압 착 강 도 (kg f)				
실험 Data (총 10발)	1) 40	2) 39	3) 42	4) 41	5) 39
	6) 40	7) 39	8) 40	9) 40	10) 39
결 과	<div style="text-align: center;"> 39 40 41 42 </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> 39(최소) 40(평균) 42(최대) </div>				

Table 4. Results of impact sensitivity by drop test

구 분	낙 추 시 험					비 고
실험 Data (총 10발)	1) ×	2) ×	3) ×	4) ×	5) ×	○: 발화 ×: 발화 안됨
	6) ×	7) ×	8) ×	9) ×	10) ×	
결 과	※ 모두 발화 안됨					



a) Drop test m/c



b) Curve of drop sensitivity

Table 5. Results of burning rate

구 분	연 소 속 도 (m/sec)				
실험 Data (총 50회)	1)2045	2)2024	3)2029	4)2016	5)2031
	6)2038	7)2018	8)2017	9)2030	10)2052
	11)2026	12)2028	13)2041	14)2033	15)2054
	16)2031	17)1997	18)2032	19)2032	20)2034
	21)2052	22)2045	23)2038	24)2029	25)2019
	26)2054	27)2035	28)2048	29)2036	30)2029
	31)2034	32)2038	33)2034	34)2046	35)2054
	36)2028	37)2018	38)2038	39)2008	40)2018
	41)2014	42)2017	43)2036	44)2068	45)2028
	46)2026	47)2030	48)2030	49)2043	50)1997
결 과	<div style="text-align: center;"> 1990 2010 2030 2050 2070 2090 </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> 1997(최소) 2032(평균) 2068(최대) </div>				

6) 코팅 화약량의 측정

점화튜브내의 코팅된 화약량을 측정하고, 또 균일하게 분포되어 있는지를 평가하기 위한 시험이다. 1m 길이의 점화튜브를 지름방향의 반쪽으로 절개한 다음,

Fig. 6. Schematic diagram of drop test m/c & example curve of drop sensitivity

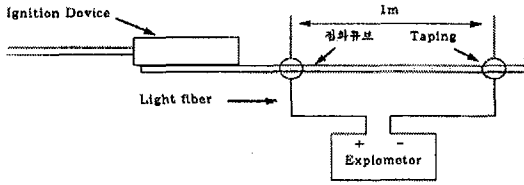


Fig. 7. Measuring method of burning rate

튜브 내부에 코팅된 화약량을 대나무 주걱으로 긁어내어 이를 평량용지에 모은다.

그리고 이것을 계량기(Mettler-1300)로 계량하여 화약량을 측정하는 것으로 총50회를 실시하였는데, 그 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Coreload weight of signal tube

구 분	코팅된 약량(gr/m)																		
실험 Data (총 50회)	1)16 2)16 3)16 4)16 5)15 6)16 7)16 8)16 9)17 10)16 11)16 12)16 13)16 14)16 15)17 16)16 17)16 18)16 19)16 20)16 21)15 22)17 23)16 24)16 25)16 26)16 27)16 28)16 29)15 30)16 31)16 32)16 33)16 34)16 35)16 36)16 37)16 38)16 39)16 40)16 41)16 42)16 43)16 44)16 45)16 46)16 47)16 48)16																		
	<table style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>←</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>↑</td> <td>↑</td> <td>↑</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>15(최소)</td> <td>16(평균)</td> <td>17(최대)</td> <td></td> </tr> </table>	←	14	15	16	17	→			↑	↑	↑				15(최소)	16(평균)	17(최대)	
	←	14	15	16	17	→													
			↑	↑	↑														
			15(최소)	16(평균)	17(최대)														

코팅 화약량의 측정을 통하여 연소속도에 미치는 영향을 평가 할 수 있다.

즉 약량이 너무 많으면 튜브가 연소하지 않고 파열되므로 연소기능을 잃고, 인접폭약에 사압을 미치게 되어 잔류 폭약을 발생시키는 원인이 된다. 또한, 주변의 다른 점화튜브에 때때로 손상을 미쳐 발파가 실패하기도 한다. 반대로 약량이 너무 적으면 연소속도에 영향을 주어 때때로 원관이 점폭되지 않아 불발의 원인이되기도 한다.

7) 전폭성(Detonation transmission) 실험

현장에서 발생이 예상되는 여러 형태의 나쁜 상태를 인위적으로 만든 다음, 이들 각각에 대한 전폭성 실험을 실시한 것이다. 이와 같은 실험은 현장에서 사용시 발파실패를 방지하기 위해서이다.

실험방법은 연신을 220%로 강제 인상시킨 경우 등 8가지 경우로 이들 각각에 대하여 5회씩 실험을 실시

하였는데 실험조건, 품질수준, 전폭성의 정도 등은 Table 7과 같다.

Table 7. Results of detonation transmission under various conditions

악조건 상태	품질수준 (불발수량/실험수량)	전폭성 상태
1. 강제로 인상시킨 상태	0/5	- 모두 전폭
2. 완전히 끼인 상태	0/5	- 파열되지 않고 전폭
3. 심하게 꼬인 상태	0/5	- 파열되지 않고 전폭
4. 일정한 길이만큼 화약이 코팅 안된 상태	1) 20cm : 5/5 2) 15cm : 0/5 3) 10cm : 0/5	1) 모두 전폭 안됨 2) 모두 전폭 3) 모두 전폭
5. 코팅화약이 과량으로 충전된 상태	0/5	- 튜브는 파열되나 전폭되어 뇌관은 기폭됨
6. 압착시킨 상태	0/5	- 파열되지 않고 전폭
7. 구멍이 난 상태	0/5	- 모두 전폭
8. 튜브를 접고 뒹을 반복하여 손상을 준 상태	0/5	- 모두 전폭

3.2 원관(Detonator)의 물리적 특성실험

비전기식 뇌관의 주요 부품인 원관에 대한 성능을 파악하기 위한 수단으로 지연초시의 5종류에 대하여 물리적 특성실험을 실시하였다.

비전기식 뇌관의 실험방법은 정해진 규격이나 규정이 없기 때문에 기존 뇌관류의 품질수준을 평가하는 KS-M-4802와 KS-M-4803을 토대로 하였으며, 없는 항목은 다른 화약류의 품질특성을 응용하였다.

1) 지연초시(Delay time) 실험

지연초시의 정밀도를 측정함으로써 압질에 따른 최소저항선과 천공간격 등 발파패턴 설계, 발파진동 및 소음의 경감, 파쇄암의 입도 조정 등을 목적으로 사용코져 할때, 그 효과를 예측할 수 있기 때문이다.

실험방법은 기존 화약류의 폭발속도 실험방법(KS-M-4803)을 준용하였으며, Fig. 8과 같은 이온갭(Ion gap) 법을 이용하였다. 이온갭의 양쪽 끝을 원관의 상부와 하부에 수직으로 놓은 다음, 흑색 테이프를 고정시킨다. 그리고 한쪽 끝(상부)에 6호 공업용 뇌관이나 전기뇌관을 꽂고 이를 기폭시키면, 이온갭 사이를 통과하는 시간을 측정하여 지연초시를 구할

수 있다.

비전기식 뇌관은 MS시리즈 2종류와 LP시리즈 5종류를 실험 대상으로 하였으며, 실험 수량은 다수의 뇌관중 임의로 각각 40발씩 선정하여 실시하였는데, 그 결과는 Table 8과 같다.

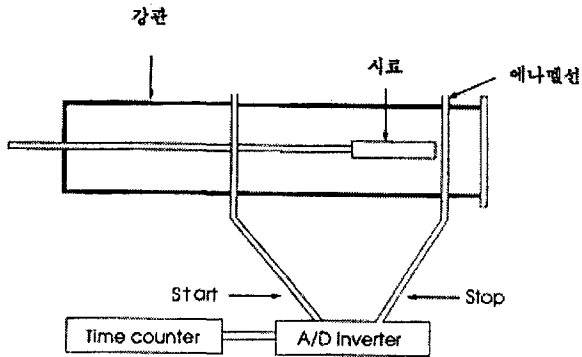


Fig. 8. A view of Ion gap method

2) 낙추시험(Drop test)

원관 내부의 금속지연관에는 기폭감도가 예민한 점화약(Ignition charge)이 장전되어 있다. 따라서 원관 자체의 충격에 의한 감도를 측정하는 실험이다.

실험방법은 기존 뇌관류의 낙추감도를 측정하는 방법(KS-M-4802)을 준용하였으며, 구체적인 실험장치는 Fig. 6과 같다. 다만 실험방법은 2가지로

첫째, 원관을 가로방향(측면 중앙방향)으로, 둘째, 원관을 세워 놓은상태(하부면중심 방향)로 철 받침대에 올려 놓고, 그 원관 위에 높이와 지름이 각각 12.7mm인 원형 철주를 얹어 놓은 다음, 여기에 5Kg 무게의 철주를 단계적으로 높이를조정하면서 낙하시켜 충격을 가한다. 이때 폭발여부를 각 방향별로 20발씩 실험하였는데, 그 결과는 Table 9와 같다.

Table 8. Results of delay time test

단수	실험 수량	실험 Data (ms)	결과 (ms)
MS 1	40발	18,22,18,22,22,21,18,17,22,17,22,17,26,20,23,16,22,16,20,19,19,16,18,21,23,19,20,16,21,17,17,20,21,19,20,18,17,18,22,22	- 최대 : 26 - 최소 : 16 - 평균 : 19.60 - 표준편차 : 2.4
MS 10	40발	198,202,203,198,204,202,204,196,200,192,200,198,196,198,201,194,208,205,198,194,192,202,198,194,195,194,198,195,192,196,196,198,192,196,200,198,196,198,190,192	- 최대 : 208 - 최소 : 190 - 평균 : 197.6 - 표준편차 : 4.1
LP 4	40발	392,395,394,397,390,392,390,410,392,397,390,392,395,398,393,392,389,390,394,397,397,393,385,394,404,400,385,392,402,392,388,385,402,397,405,383,392,385,390,405	- 최대 : 410 - 최소 : 383 - 평균 : 393.6 - 표준편차 : 7.6
LP 6	40발	614,613,615,635,613,618,615,618,612,610,615,616,610,608,617,614,602,615,610,608,615,608,577,612,616,614,608,605,617,616,618,614,614,612,604,610,616,614,604,615	- 최대 : 632 - 최소 : 577 - 평균 : 612.1 - 표준편차 : 7.6
LP 8	40발	805,806,804,806,795,805,810,806,804,812,796,795,802,840,804,793,804,794,792,802,796,795,804,800,772,805,802,800,803,807,803,798,793,796,804,804,791,801,799,800	- 최대 : 840 - 최소 : 772 - 평균 : 801.2 - 표준편차 : 9.3
LP 10	40발	1046,1024,1034,1021,1018,1016,1085,1007,1015,1010,1005,1012,1018,1024,1015,1014,1020,1018,1020,1028,1016,1018,1021,1021,1018,1007,985,1010,1005,1024,1021,1020,995,1014,1024,1016,1020,1028,1005,1020	- 최대 : 1085 - 최소 : 985 - 평균 : 1018.4 - 표준편차 : 14.9
LP 11	40발	1228,1311,1220,1218,1223,1230,1228,1220,1220,1211,1227,1208,1228,1220,1228,1229,1220,1214,1228,1235,1257,1230,1248,1157,1253,1286,1164,1235,1155,1145,1264,1284,1234,1236,1227,1208,1228,1235,1195,1200	- 최대 : 1311 - 최소 : 1145 - 평균 : 1225.1 - 표준편차 : 32.5

Table 9. Results of drop test of detonator

구 분	낙하 높이	낙 추 시 험	
		측면 중앙방향 낙하 (폭발수량/시험수량)	하부면 중심방향 낙하 (폭발수량/시험수량)
	100cm	5/5	0/20
	90cm	5/5	-
	80cm	4/5	-
	70cm	0/5	-
	60cm	-	-

3) 공중 순폭시험(Air gap test)

일반적으로 폭약류의 순폭시험 목적은 1개의 약포가 폭굉에 의해 인접한 다른약포를 감응 폭발시킬 수 있는지를 평가하는 것으로 사상 순폭시험(Gap test on sand), 밀폐 순폭시험(Gap test at closed), 카드 겹 시험(Card gap test) 및 반약포 시험(Half cartridge

test) 등이 있다.

그러나 폭약류의 순폭도 시험(KS-M-4802 준용)과는 달리 원관은 기폭감도가 예민하여 적은 충격과 마찰에 의해 기폭될 수 있기 때문에, 원관의 공중 순폭 시험을 실시하였다. 이 방법은 Fig. 9와 같이 원관을 측면과 측면, 하부면(Base charge)과 하부면을 2가지 방법으로 평행하게 놓고, 제 1원관을 기폭시켰을 때, 반대편에 있는 제 2원관이 순폭되지 않는 최대 거리를 구하는 실험으로 각각 5회씩 실험하였다. 실험 결과는 Table 10과 같다.

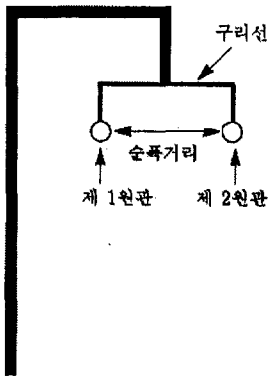


Fig. 9. Schematic diagram of air gap test

Table 10. Results of air gap test

공중 순폭시험		비 고
순폭시험 방향	순폭거리 (cm)	
측면과 측면	6	
하부면과 하부면	8	

4) 수중 순폭시험(Under water gap test)

수중 순폭시험은 공중 순폭시험 목적과 유사하다. 그러나 전자는 교각 설치를 위한 우물통 공사나 기타 수중(水中)에 있는 콘크리트나 암반을 제거하기 위해 수중 발파를 할때, 원관 자체의 수중 안전성이 어느정도 인가를 평가하기 위한 실험이다.

실험방법은 2가지로 실시하였다. 먼저 도폭선(Detonating cord, 10g/m) 1m를 준비하고, 양쪽을 침수되지 않도록 절연 테이프로 방수한 다음, 한쪽 끝에 전기뇌관을 테이프로 고정시킨다. 다른 한가지는 다이 나마이트(HiMITE-5500) 50gr에 역시 전기뇌관을 테이프로 결합시킨다.

다음에 이들 2가지를 각각 수중에 넣고 전기뇌관을

발파기로 기폭시킬 때, 수중에 있는 원관이 감응 폭발하는 순폭거리를 측정하였는데 각각 10회씩 실시하였다. 이들 실험 결과는 Table 11과 같다.

Table 11. Results of under water gap test

수중 순폭시험			비 고
기폭 공급원	Gap (cm)	순폭여부	
도폭선 (10g/m, 1m)	30	불폭	-
	20	불폭	-
	10	불폭	- 원관은 파열
	5	불폭	- 원관은 파열
다이 나마이트 (HiMITE-5500, 50g)	40	불폭	-
	20	불폭	- 원관은 파열
	10	폭발	-

5) 연판시험(Lead plate test)

원관의 기능은 전폭약포에 폭굉파의 충격을 주어 잔류폭약이 남지 않도록 완전히 폭발시키는 것이다. 폭약이 불폭되거나 또는 완전 폭발을 못하는 주요 원인이 원관에 있기 때문에, 원관의 위력 및 성능을 평가하기 위한 수단의 하나로 본 실험을 실시하였다.

실험방법은 KS-M-4803에 준하여 실시하였는데, 이 시험기는 Fig. 10과 같다. 연판(40×40×4mm)을 철판(지름 25mm, 높이 30mm)위에 놓은 다음, 원관을 중앙에 세우고 기폭시킬때, 연판위에 생긴 폭발 흔적과 관통 상태를 조사하여 위력을 측정한다. 시험은 10회 실시하였으며, 관통된 연판의 지름은 캘리퍼스(Caliper)로 측정한다. 폭발 흔적은 원관의 가로 방향의 위력을, 그리고 관통상태는 세로 방향의 위력을 나타낸다. 한편 이들의 실험 결과를 Table 12와 같다.

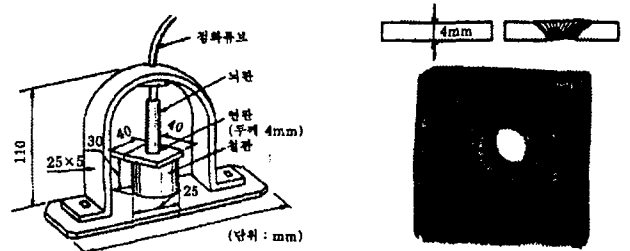


Fig. 10. Lead plate test set & shape example of lead plate after test

Table 14. Test results of Signal tube

번호	실험항목		실험규정 및 기준		실험결과 (평균)	품질기준 제안(안)
			실험규정	합격기준		
1	인장강도(Kgf)		-	-	16	12이상
2	인발강도(Kgf)		-	-	8.5	6이상
3	압착강도(Kgf)		-	-	40	35이상
4	낙추감도(cm)		KS-M-4802 준용	50이상	100이상	50이상
5	연소속도(m/sec)		KS-M-4802 준용	1,800-2,200	2,032	1,900-2,100
6	코팅된 약량(gr/m)		-	-	16	15-25
7	약조건 상황에서의 전폭성시험	강제인장 상태 (연신율 220%)	-	-	전폭	전폭
		완전히 꺾인 상태	-	-	전폭	전폭
		뭉은 상태	-	-	전폭	전폭
		튜브내부에 일정한 길이 만큼 화약이 코팅이 안된 상태	-	-	150mm까지 전폭	120mm까지 전폭
		튜브내부에 화약이 확차게 충전된 상태	-	-	전폭	전폭
		압착상태	-	-	전폭	전폭
		튜브 내부에 구멍이 뚫린 상태	-	-	전폭	전폭
		튜브를 접히고 펴를 반복하여 금이 간 상태	-	-	전폭	전폭

Table 15. Test results of Detonator

번호	실험항목		실험규정 및 기준		실험결과 (평균)	품질 기준 제안(안)
			실험규정	합격기준		
1	지연초시 (ms)	MS 10단	KS-M-4803준용	191~210	198	192~205
		LP 10단		951~1100	1030	971~1070
2	낙추감도(cm)		KS-M-4802준용	50이상	70이상	50이상
3	공중 순폭거리(mm)		KS-M-4802준용	-	60mm까지는 순폭안됨	80mm이내(측면 기준)
4	수중 순폭거리(cm)		KS-M-4802준용	-	10cm에서 순폭됨	30cm이상(기폭원:다이내마이트)
5	연판시험(mm)		KS-M-4803준용	관통되어야한다.	12.5	10이상
6	내수성 시험		KS-M-4803준용	침수후 기폭되어야 함.	기폭	기폭

5. 결 론

전기뇌관의 결점이 안전성 결여로 위험성 잠재와 발파환경공해 발생에 있었으나 이의 결점을 보완한 신기폭시스템의 하나로 최근에 국내에서도 하이넬(HiNEL)이라는 상품 명칭으로 비전기식 뇌관이 개발되어 제조, 사용되고 있다. 그러나, 이 뇌관의 품질 특성에 관하여 별로 알려진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 하이넬을 대상으로 일반 뇌관 및 기타 화약류의 품질 특성 실험법을 준용하여 실험을 실시하고, 그 실험내용과 결과를 바탕으로 품질관리를 위한 기준을 제안하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 점화튜브(Signal tube)를 발파현장에서 사용할 때, 전폭약포의 양과 하중에 따라 어느 정도의 힘에도 견딜 수 있는지, 중량물이나 낙석 등에 눌려도 제기능을 발휘할 수 있는지 등 현장에서 예상되는 여러 조건에 대하여 안전성을 평가하기 위한 수단으로 인장강도의 6종류의 실험을 실시하였는데, 모두 시험기준에 적절한 것으로 검토되었다. 이 결과를 가지고 현재 국내에서 설정기준이 없는 점화튜브의 품질 특성 기준안을 Table 14와 같이 제안 한다. 현장에서 발생할 수 있는 악조건의 예를 들면 강제로 인장할 때, 완전히 격일 때, 심하게 꼬인 경우 등 8종류의 경우에 대해서도 Table 14와 같이 제안 한다.

2. 원관(Detonator)은 폭약의 위력과 발파의 효율성을 좌우하는데 중요한 요소이다.

즉, 지연초시의 정밀도에 따라 과쇄물의 크기와 양, 발파진동 및 소음의 크기 등에 영향을 미친다. 원관의 물리적 특성 실험으로는 지연초시의 5종류의 실험을 실시하였는데, 모두 시험기준에 적절한 것으로 검토되었으며, 이 결과를 토대로 현재 국내에서 설정기준이 없는 원관의 품질 특성 기준안을 Table 15와 같이 제안한다.

3. 뇌관의 품질 특성 실험법이 미비한 상태에서 이들의 구체적인 실험법을 제시하고, 그 결과를 위향에서 제안 하였다. 외국의 유사 사례를 참조로 한 국내 기준을 마련할 때, 본 연구 결과가 참고가 되었으면 한다.

참 고 문 헌

- [1] 김재극, 『산업화약과 발파공학』, 서울대학교 출판부, pp. 57~117, 1986
- [2] 공업화약협회, 『화약 핸드북』, pp. 20~62, 130~150, 234~270. 1987
- [3] 양형식, 『발파진동학』, 구미서관, pp. 227~243. 1992.
- [4] 임한옥, 『N.A.T.M. 통신구 설계 및 시공기준 설정용역』, 한국통신건설사업단, pp. 294~306. 1993.
- [5] 임한옥, 이희근, 『굴착공학』, 구미서관, pp. 77~95. 1995.
- [6] 임한옥, 『암발파 설계 기법에 관한 연구』, 한국토지개발공사 기술연구처, pp. 535~579. 1993.
- [7] 임한옥, 이정인, 『국내외 엔지니어링 발파의 기술발전과 응용』, 한국자원공학회 최신엔지니어링 발파 특별 심포지움 논문집, pp. 217~237, 341~352. 1995.
- [8] 원기술 역, 『발파진동 주변에의 영향과 대책』, pp. 200~217. 1994.
- [9] 윤지선, 『최신 발파기술』, 구미서관 pp. 107~140. 1992.
- [10] (주)한화, 『공업화약 사전』, 개발부 pp. 47, 278~279. 1987.
- [11] (주)한화, 『기술자를 위한 화약 취급 해서』, 개발부 pp. 13~20, 59~73. 1988.
- [12] (주)한화, 『전기발파』, 개발부 pp. 13~18, 31~41. 1989.
- [13] (주)한화, 『정전기의 이해와 방지대책』, 환경안전실 pp. 11~28. 1997.
- [14] (주)한화, 『화공품 기술시험 모음집』, 품질보증부 pp. 31~119. 1997.
- [15] Calvin J. Konya & Edward J. Walter, 『Surface Blast Design』, Prentice-Hall, Inc., pp. 90~104, 217~239, 1990.
- [16] Du-Pont, 『BLASTERS' HANDBOOK』, E.I. du Pont de Nemours & Co., pp. 87~202. 1802~1977.
- [17] ICI Explosives, 『Safe and Efficient Blasting in Quarries』, 1994.
- [18] ITALESPLOSIVI-Milano, 『Explosives : An Engineering Tool』, LA MODERNA-Novara, pp. 24~31. 1990.

- [19] National Highway Institute,
『*Rock Blasting and Overbreak Control*』 ,
pp. 55~77. 1991.
- [20] Peking University Press(Beijing, China),
『*Proceeding of the International Conference on
Engineering Blasting Technique*』 ,
pp. 411~416. 1991.
- [21] Per-Anders Persson 외 2,
『*Rock Blasting and Explosives Engineering*』 ,
pp. 143~181. 1993,
- [22] Richard A. Dick 외 2,
『*Explosives and Blasting Procedures*』 ,
pp. 21~73. 1990.
- [23] Rune Gustafsson,
『*SWEDISH Blasting Technique*』 ,
pp. 31~56. 1973.
- [24] Stig O. Olofsson, 『*Applied Explosives
Technology for Construction and Mining*』 ,
pp. 33~199. 1988.