화약 · 발파, 대한화약발파공학회
제22권 제4호, 2004, pp. 23～29

EXPLOSIVES & BLASTING, Vol. 22, No. 4 (2004) pp. 23～29
J. of Korean Society of Explosives & Blasting Engineering

비전기 뇌관의 발파와 기본 설계 및 시공

최영천[1)]

Blasting Utilizing Non-electric Detonator and Its Principle Planning and Operation

Young-Cheon Choi

ABSTRACT. Non-electric detonator was developed to improve the blasting efficiency of electric detonator. It is increasingly utilized in surface and tunnel blasting due to its safety in external electric shock, precise delayed time, and decrease in blasting vibration and noise.

The paper describes the detonating system of non-electric detonator, principle operating and planning methods, and case history so that it can be contributed to improve blasting technology.

Key words : non-electric detonator, external electricity, detonating system

초 록. 비전기 뇌관은 전기뇌관의 단점을 보완하기 위하여 개발한 뇌관이다. 외부전기로 인한 기폭위험으로부터 전기뇌관보다 더욱 안전한 뇌관으로 각광을 받고 있으며, 또한 정밀한 시차, 발파진동 · 소음의 감소효과와 노천 및 터널발파에서 다량발파에 이용되고 있는 비전기 뇌관의 기폭시스템 및 기본적인 사용방법과 설계 및 시공사례를 소개함으로써 국내발파 기술향상에 도움이 되고자 한다.

핵심어 : 비전기 뇌관, 외부전기, 기폭시스템

1. 서 론

최근 국가 기간사업의 확충 및 대단위 공단, 도심지 아파트 건설 등으로 인구가 밀집되거나, 전기전자시설이 산재한 공장 및 기존시설과 근접한 환경의 토목, 건축현장에서 발파작업이 시행되고 있다. 발파작업은 진동, 소음 및 비산의 요인으로 주변에서 민원을 발생시키고 있으며, 이로 인하여 현장 실무자는 발생요인 파악 및 해결을 위한 적절한 공법을 선정하여야 한다. 이는 시공에 따른 계획 및 비용관리 측면과 관련하기 때문에 오늘날 발파작업의 중요성이 점차 높은 비중을 차지하고 있다.

본 연구는 낙뢰 및 전기적인 안전, 정밀한 초시 및 발파진동 소음의 감소효과로 노천 및 터널발파에서의 다량발파에 이용되고 있는 비전기뇌관의 기폭시스템 및 기본적인 사용 방법과 설계 및 시공사례를 소개함으로써 비전기 발파공법의 기술향상에 도움이 되고자 한다.

1) 상지대학교 자원공학과
접수일 : 2004년 12월 27일

2. 점화시스템 및 특성

2.1 개요

전기뇌관은 발파작업시 미주전류(stray current), 정전기(static electricity), 낙뢰(electrical storms), 무선전파에너지(RF energy), 고압선(high voltage power line) 등에 의한 유도 전류 등에 안전하지 못하여 전기뇌관에 대한 안전대책으로 연구가 시작되어 1973년 스웨덴의 니트로 노벨(Nitro Nobel)사의 Per-Anders Persson 박사에 의해 개발되고, 1979년 제품으로 시판되었다. 비전기뇌관은 외부전기에 의한 불의의 대형사고가 발생하는 것을 방지할 수 있는 안전한 뇌관이라 할 수 있다.

현재 우리나라에서는 (주)한화의 HINEL, (주)고려노벨화약의 NONEL 제품이 1993년 6월부터 생산공급되어 사용되고 있다.

2.2 원리 및 구성

기폭시스템은 전기뇌관과 도폭선 시스템의 장점을 조합한 형식으로서 위력이 매우 작은 약 도폭선에 해당하는 비닐튜브와 MS뇌관에 해당하는 공저기폭뇌관으로 이루어졌다.

기폭방법은 결선을 한 후 발파기를 사용하여 전기에너지를 공급하는 종래의 전기뇌관 기폭방법과는 전혀 다른 타격식으로 별도의 비전기뇌관 발파용 수동식발파기 및 원격조정발파기 혹은 스타터를 사용하여 기폭시킨다.

시그널 튜브

튜브는 외경 3.0mm, 내경 1.5mm의 가운데가 비어있는 플라스틱 튜브이며 (5.5g/m) 이 내벽에 얇은 폭약 [(HMX) + Al, 0.02g/m]이 도포(coating)되어 있다. 이 튜브의 한쪽에서 기폭 시키면 이 도포된 폭약이 튜브내에서 미분말의 부유상태로 폭굉하고, 약 2,000m/sec의 속도로 전파한다. 불길을 내뿜어도 튜브는 폭굉하지 않으며 충격, 마찰에 대하여서도 극히 안전하며 통상 생각되는 기계적 타격, 마찰로는 폭발도 폭굉도 일어나지 않는다. 인장, 마찰, 내압 등의 기계적 강도는 높으며, 약량이 매우 적기 때문에 외부에 폭발적 효과를 나타내지 않고 폭발음도 적으며, 폭발 후에도 튜브는 원형 그대로이다. 교차한 튜브는 아무런 영향을 받지 않으며 내습, 내수성이 우수하다.

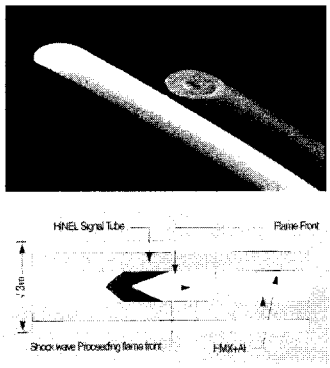

Fig. 1. Structure of signal tube and propagation phenomenon

비전기 뇌관(Non-Electric)

알류미늄 관체이며 바깥지름은 7.5mm이며, 약량은 공업용 8호 뇌관에 해당하며, 일정한 길이의 튜브가 장착되어 있는 순발 및 지발뇌관이며, 튜브중의 충격파가 튜브 맨 앞부분에서 나올 때 순간적으로 발생하는 화염에 의하여 연시장치를 통하여 점화 기폭 된다.

① 하이넬 MS(Milli-second Delay Detonators)

시리즈 0~380ms까지 20ms의 단별 지연초시를 갖는 지연뇌관이며, 벤치, 터널 등에서 효율적인 발파를 위해 사용되고 1~19단계까지 19종류와 순발이 있다. 도폭선 크림 부착으로 Bunch Type은 물론 보다 효율적인 결선방식인 Hooking-up Type의 결선 방식으로 결선 할 수 있다.

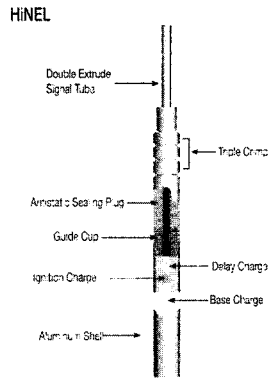

Fig. 2. Structure of non-electric detonator

② 하이넬 LP(Long Period Delay Detonators)

시리즈100~700ms까지 100~500ms 간격의 비교적 긴 단별 지연초시를 갖는 지연뇌관이며, 저항선이 큰 벤치발파나 터널굴착시 장공발파 등에 사용되고, 1~25단까지 25종류가 있다.

발파공수가 많은 경우 발파효율 증대와 진동제어를 위한 MS시리즈와 조합하여 사용 시 42단계까지 가능하며, TLD를 이용시 무한 단수로 확장이 가능하다. 도폭선 크림 부착으로 Bunch Type의 결선방식으로 결선 할 수 있다.

③ 하이넬 DHD(Down-Hole Delay Detonators)

기폭용 뇌관으로 발파공 내에 사용되는 뇌관으로서 전폭 약포를 기폭 시키기 위한 기폭용 뇌간이며, DHD의 종류는 400, 425, 450, 475, 500ms 5가지가 있다.

커넥터(Connector)

비전기식 튜브의 한쪽 방향에서 전달되어 오는 충격파를 받아 증폭하여 많은 튜브로 연결시켜주는 연결자 역할을 한다. 커넥터[TLD(Trunk-Line Delay Detonators)-(주)한화,UB-(주)고려노벨화약]의 뭉치는 연결뇌관을 보호하도록 플라스틱으로 되어있으며, 뇌관의 위력은 보통 뇌관의 1/3정도인 3호뇌관이며, 1개의 커넥터에는 8개정도의 비전기식 튜브를 연결할 수 있고, 연속적으로 사용할 때는 무한대의 다단발파도 가능하다.

스타터(Starter)

커넥터와 같은 기능을 가지고 있으며 뇌관의 원격기폭용으로 비전기식 튜브 길이가 50~100m정도로 발파모선으로 사용한다. 튜브안에서 폭굉이 일어나기 위해서는 충격파와 불꽃이 필요하다. 작은 충격뇌관에 의하여 발파기 속에서 충격파와 불꽃이 일어나게 된다.

번치 컨넥터(Bunch Connector)

여러개의 signal tube를 묶은 묶음과 묶음을 연결하는 뇌관으로서, 주로 tunnel blasting에 사용된다. 종류는 TLD[(주)한화], UB[(주)고려노벨화약]와 동일하고 도폭선과 연결하여 1개의 bunch connector에 20개의 signal tube를 결합할 수 있으며, 연속적으로 사용시 무한대의 다단발파가 가능하다.

2.3 특성

① 비전기뇌관은 외부전기인 미주전류, 정전기, 낙뢰, 무선전파 에너지로부터 안전하다

- 고압전선이 있는 작업장에도 장약가능.
- 정전기 발생되는 각종 charger기 사용가능.
- 낙뢰발생우려 있는 노천작업장에서도 사용가능.
- 장약중에도 각종 전기식 기계 사용가능

② 비전기 뇌관은 연결작업이 신속하다.

- 전기뇌관은 뇌관 1개씩을 연결하여야 하나 비전기 뇌관은 몇 개씩을 1개 묶음으로 연결하므로 연결시간이 단축된다.

③ 비전기뇌관의 튜브는 외부의 충격, 열 등 기계적인 에너지에 강하다

- 갱도 및 터널 천반에서 부석(12kg)이 떨어져도 절단되지 않는다
- 불로 태워도 폭발하지 않으며 고온(50℃)에서도 안전하다.
- 전파에너지에 강하다

④ 비전기뇌관은 계단발파 및 장공발파에서 Delaytime을 다양하게 조절하여 발파효과가 증대된다.

⑤ 비전기뇌관은 100, 200, 500개등을 TLD 또는 UB커넥터로 다양하게 조정이 가능하다.

3. 사용방법 및 주의사항

3.1 사용방법

표면연결뇌관 및 공저기폭뇌관은 튜브와 결합되어 있으며, 결합된 표면연결뇌관은 충격파를 다른 여러 개의 튜브에 전파하는 중계자 역할을 하며, 공저기폭뇌관은 이 전달된 충격파에 의해 주어진 단차별로 기폭이 된다. 튜브를 기폭시키는 방법은 ① 공업뇌관과 도화선을 결합하여 점화하는 법, ② 전기뇌관을 튜브에 밀착시켜 발파기로 점화하는 법, ③ shot primer 뇌관으로 점화하는 법, ④ 공압스파크타입을 사용하여 점화하는 법 등이 있으며, 현장에서는 대체로 전기 뇌관을 튜브에 밀착시켜 발파기로 점화하는 법을 가장 많이 사용하고 있다.

공저기폭뇌관은 25ms 간격으로 400~500ms로 판매되고 있으며, 사용 규격은 천공간격, 길이, 1회 발파시 총 사용수량에 따라 달라지나 100~500공을

1회에 발파시 400ms를 사용하고 있다. 소규모 발파시에는 200ms 등 단차가 낮은 뇌관을 사용해도 무방하나 표면연결뇌관의 열간 사용수량과 천공조건, 암반상태, 안전율을 감안하여 사용하여야 한다.

표면연결뇌관은 0, 17, 25, 42, 67, 109, 176(ms)로 시판되고 있으며, 17ms와 42ms를 조합한 패턴이 가장 일반적이고 기폭순서 및 연결방향에 따라 버럭의 크기와 방향을 조정할 수 있다. 또한, 터널발파에 사용할 때는 튜브를 1발씩 도폭선에 거는 방법(도폭선+표면연결뇌관+공저기폭뇌관, Hooking UP Style)과 점화튜브를 15~20발씩 다발로 묶은 것을 표면연결뇌관과 도폭선으로 묶어 기폭시키는 방법(공저기폭뇌관+표면연결뇌관+Bunch Style)이 있다.

3.2 주의사항

① 장약전

- 천공장과 천공배열을 고려한 적당한 길이의 튜브를 선택한다.
- 포장을 뜯을 때 제품이 손상을 입지 않도록 한다.
- 포장에 기재된 시간내에 사용하도록 한다.
- 포장이 개봉되어 대기에 노출된 시그널 튜브는 대기중의 수분이 서서히 내부로 침투되어 나중에는 점화가 되지 않거나, 점화가 되더라도 흡습된 상태이므로 화력이 약해져 뇌관을 점화시킬 수 가 없으므로 개봉한 후에는 반드시 30일 이내에 사용하여야 한다.

또한 수중에서 사용할 경우에는 설치 후 24시간 이내에 발파하도록 한다.

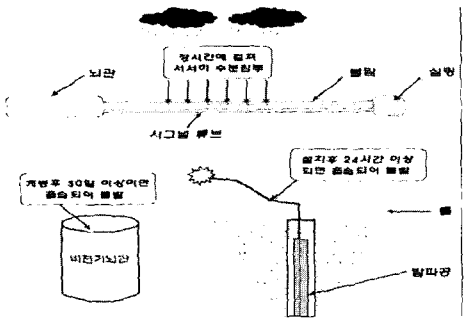

Fig. 3. Caution to humidity

② 장약중

- 튜브 포장은 손으로 찢어 사용하고 손상여부를 확인한다.
- 손상된 뇌관은 사용하지 않는다
- 장약 중에 연결자들이 파손되지 않도록 가끔씩 약간 당겨준다.
- 장약하는 동안에 튜브들이 연결자에서 이탈되지 않도록 한다.
- 햇볕에 장시간 노출시키면 시그널튜브의 화약에서 수소가스가 발생되어 화염을 약화시키고 시그널 튜브가 파열되면서 비전기뇌관이 불폭되는 경우가 있으므로 장시간 햇볕에 노출되지 않도록 하고 불가피한 경우에는 열을 차단할 수 있는 것으로 덮는다.

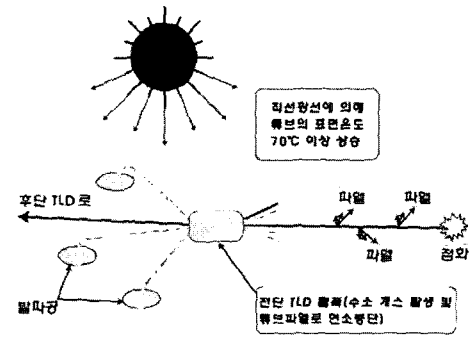

Fig. 4. Caution to high temperature

③ 연결중

- 연결 작업시 불필요한 장비는 이동시킨다.
- 가능한 1인이 연결하도록 한다.
- 커넥터들을 가능한 발파공과 가깝게 한다면 육안으로 확인하기 쉽다.
- 커넥터의 튜브는 가능한 짧은 것으로 하며 최소 0.6m 이상으로 한다.
- 발파공 입구에서 커넥터 뭉치의 튜브가 손상되지 않았는가 확인하며, 커넥터도 같은 방법으로 확인한다.
- 지표에서 연결할 때 지나치게 튜브를 당기지 말고, 가능한 짧게하여 튜브에 손상을 주지 않도록 한다.

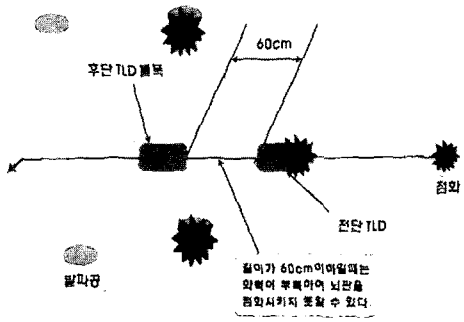

Fig. 5. Connection of signal tube

- 시그널 튜브가 60cm 이하 일 때에는 위력이 약해져 뇌관을 점화시킬 수 있는 화력이 부족하므로 시그널튜브의 길이를 60cm 이상으로 하여 가능한 최대길이를 유지하도록 한다.

④ 연결후 확인

- 모든 뇌관들과 연결 뭉치가 잘 연결되어 있는가 확인한다.

- 튜브와 커넥터 뭉치, Bunch 뭉치가 최대 0.2m를 유지하고 있는가 확인한다.

- 모든 주 연결선이 연결되어 있는가 주의 깊게 확인한다.

- 전기뇌간을 사용하여 점화한다면 주변의 전원을 완전하게 차단한다.

4. 발파패턴 설계 사례

4.1 트렌치 발파

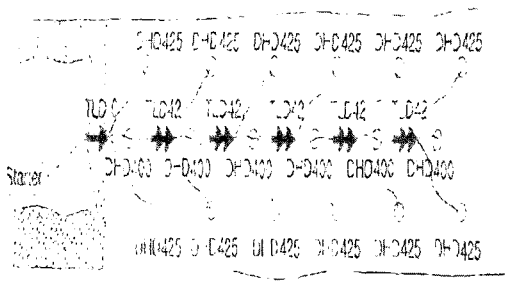

Fig. 6. Initial priming system

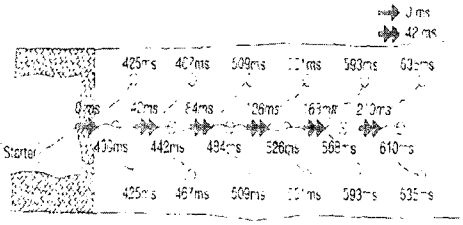

Fig. 7. Planning of blasting hole and charging

Table 1. Trench blasting

구 분	제원	구분	제원
암 질	경암	Bench 높이	2.0~3.0m
자유면수	2	천공방법	경사천공(70)
천공경	75mm	천공장	2.2~3.2m
저항선	0.7~1.0m	공간격	0.8~1.2m
총공수	18공	폭약종류	NewMITE Plus Ⅱ
공당장약량	0.375~1.0kg	지발당장약량	0.75~2.5kg
총폭약량	3.75~22.5kg	비장약량	0.33~0.28kg/m³
뇌관종류	DHD 400, 425ms TLD 0, 42ms	뇌관사용량	DHD 18EA, TLD 0ms : 1EA TLD 42ms : 5EA

4.2 벤치발파

벤치발파는 기폭시스템에 따라 아래와 같은 방법으로 사용할 수 있다.

① DHD와 TLD사용 기폭방법

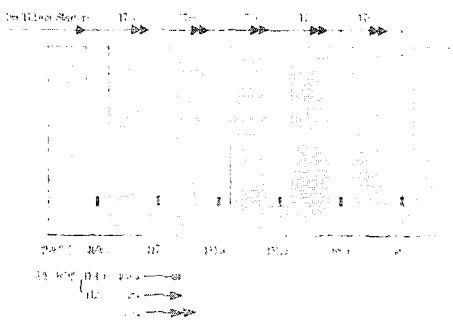

Fig. 8. Priming system of DHD and TLD

② MS Series뇌관과 도폭선 사용방법

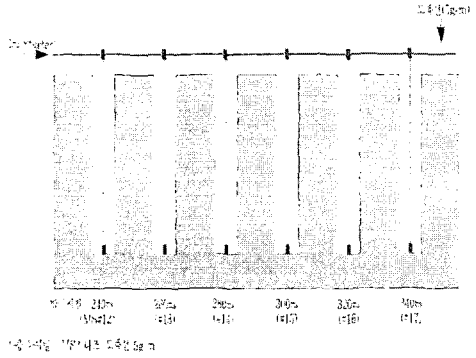

Fig. 9. Priming system of MS series detonator and detonating fuse

③ 뇌관의 기폭순서에 따라 버럭의 크기와 방향을 조절할 수 있다.

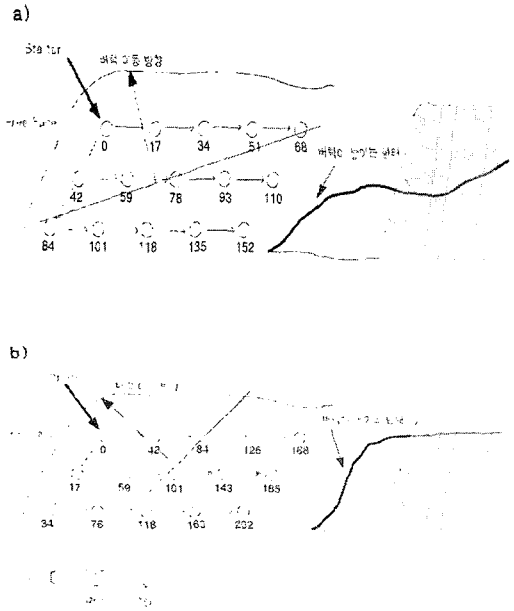

Fig. 10. Rock breakage movement by priming system (a, b)

4.3 터널발파

• TYPE-1

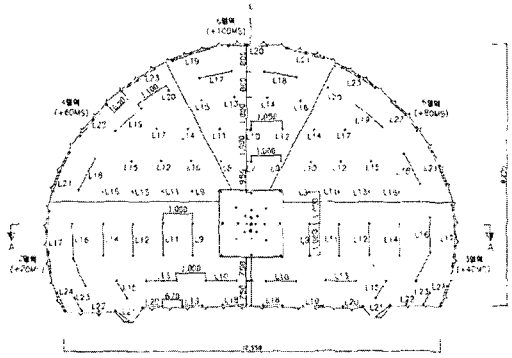

Fig. 11. Arrangement of detonator

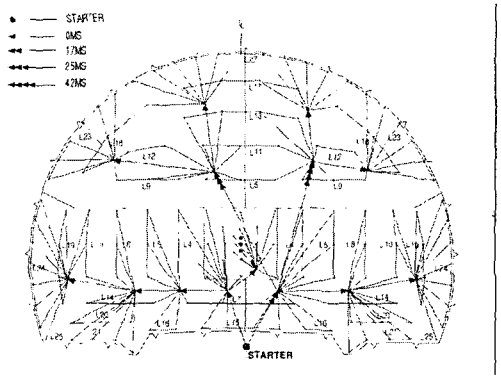

Fig. 12. Connection of detonator

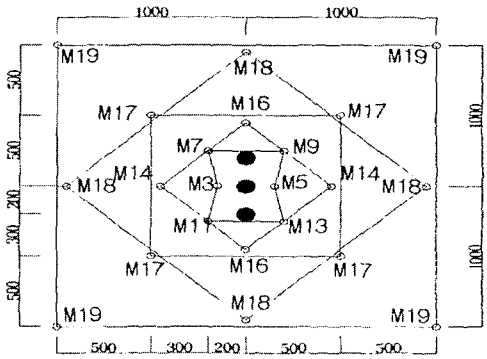

Fig. 13. Details of center cut blasting

5. 맺음말

비전기뇌관은 기존 전기뇌관에 비해 가격이 비싸고, 결선후 측정기로 결선확인이 불가능하며, 불발뇌관 및 Cut Off로 인한 발파중단 및 안전사고 우려등의 근본적인 문제점이 있으나, 낙뢰, 누설전류등의 전기적인 안전이 보장되고, 민원발생우려지역에 대한 발파진동, 소음 및 비산의 감소효과가 뛰어나며, 트렌치 발파시 다량발파 가능, 벤치발파에서 채석량 증가, 파쇄입도 양호 및 대량발파, 터널발파에서 굴진장 증가 및 진동·소음의 감소효과 등의 우수성이 인정되고 있으므로 사용기술의 개발과 보급에 더욱 노력하여야 할 것이다.

감사의 말

본 연구는 2002 학년도 상지대학교 학술연구 조성비와 (주)한화의 도움을 받아 수행되었으며, 연구비를 지원해준 당국에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 강대우, 1998, 알기쉬운 발파공학, 구미서관, pp. 47-55.
2. 강대우외, 1995. 건설기술자를 위한 응용발파기술, 구미서관, pp. 52-60.
3. 기경철 외, 2002, 산학인을 위한 발파공학, 동화기술, pp. 70-73.
4. 서동열, 1994, 발파실무, 원기술, pp. 502-520.
5. 윤지선, 1996, 발파기술, 구미서관, pp. 109-115.
6. 윤철현, 1997, 화약발파 해설, 구미서관, pp. 78-88.
7. 편집부, 1997, 새로운 발파기술, 원기술, pp. 57-63.
8. Persson, P-A , Roger Holmberg, Jainmin Lee, 1993, Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, pp. 160-170.
9. Gustafsson, R., 1973, Swedish Blasting Technique, Nora BoktryckeriAB, pp. 275-284.
10. Olofsson, S. O., 1990, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Nora BoktryckeriAB, pp. 49-58.