

산업용 뇌관의 변천과 향후 발전사항

A History Of Industrial Detonators And The Direction Of Development In Future



윤지선
정회원, 인하대학교 교수



조영근
정회원, (주)고려 Noble화학 상무



이형원
정회원, SK건설주식회사 부장

1. 서론

현재 산업용 폭약으로 사용되고 있는 에멀전계 폭약이나 ANFO가 자체의 강력한 폭발력을 충분하게 발휘하기 위해서는 점화, 점폭, 전폭의 3단계 과정이 필요한데 이들 과정을 완벽하게 만족시켜 주는 역할을 하는 것이 바로 뇌관(Blasting cap, Detonator)이다. 뇌관이란 금속관체에 민감한 점폭약과 다량의 폭약을 동시에 전폭시킬 수 있는 강력한 침장약을 소량 함유한 화공품의 하나로 점화방법에 따라 크게 공업뇌관, 전기뇌관, 비 전기뇌관, 전자뇌관으로 나눌 수 있다. 산업용 폭약의 발달과 더불어 산업용 뇌관의 발달에 있어서도 더욱 안전하고 더욱 정밀하며 또한 환경 유해적인 요소를 저감하는 방향으로 개발되어 왔다. 안전성면에서는 뇌관의 구성요소 중 민감한 기폭약 대신 둔감한 약재를 사용하여 과거의 기폭약의 폭발에 의한 뇌관의 폭발방식에서 둔감한 약재로 대체하고 대신, 뇌관내부의 구조상 변화로 폭연에서 폭발을 유도 (일명 DDT현상 : Deflagration to Detonation Transition)하는 방식으로 발전하였다. 정밀성면에서는 MS(Milli Second)뇌관의 경우 25ms의 정밀한 시차로 순차적으로 기폭함으로써 발파효과의 극대화와 소음 및 진

동제어에 큰 효과를 이루었으며 최근 개발된 전자뇌관의 경우 자체 IC회로(Electronic chip)를 내장하여 1~2ms의 초 정밀시차로 기존 뇌관에 비해 더욱 우수한 진동억제(Vibration control), 제어발파(Cautious blasting)의 효과 극대화, 터널에서 최 외곽공의 발파(Contour blasting in tunnel)에서 미려한 파단면의 생성에 따른 콘크리트 취부량의 감소와 주변암반의 손상영역 저감등에 대한 효과가 현장 실험을 통하여 보고되고 있다.

현재 세계 뇌관시장은 연간 약 15억개 정도로 추산되며 대부분이 비 전기식뇌관으로 아직 전자뇌관의 수요량은 지극히 미미하지만 앞으로 엄격한 환경문제의 대비와 기술개발 향상에 따른 단가 절감으로 수요가 급증할 것으로 기대하고 있다.

2. 본론

뇌관은 비교적 오랜 시간동안 공업용 뇌관과 도화선을 사용하는 기폭방식이 사용되어 오다가 2차 세계대전 이후에 전기뇌관이 본격적으로 보급되게 되었다. 또한 단발 전기뇌관의 발명에 의해 안전하고 계획적인 발파작업이

가능하게 되었고 광공업의 성장에 발맞춰 수요는 급속도로 확산되었다. 더불어 1950년대의 ANFO 발명 및 그 이후 전세계적인 보급에 따라 ANFO 장전 시에 발생하는 정전기에 의한 전기뇌관의 폭발이라는 심각한 문제가 발생하였지만 1970년대 내정전성(耐靜電性) 뇌관의 발명에 의해 문제가 해결되어 현재 시장에 나오는 전기뇌관은 모두 이 내 정전기능을 가진 뇌관이다. 이후 뇌관의 발달은 가속화되어 보다 안전하고 신뢰성이 높은 것으로의 소비욕구가 늘어나면서 기존의 전기방식에 의한 기폭시스템과는 완전히 다른 새로운 개념의 기폭시스템이 개발되게 되었다. 이 기폭 시스템이 바로 전기를 사용하지 않는다는 뜻으로 NONEL (Non-Electric)이며 이는 단발 전기 뇌관과 도폭선의 장점을 택하여 조합한 안전하고 정밀한 기폭방식이다.

또한, 이와 거의 비슷한 개념으로 개발된 것이 Herculite이며 이 역시 뇌관의 각선 대신 Plastic tube를 사용하여 혼합 Gas를 Tube내에 주입하여 전용발파기의 Spark에 의해 점화하는 기폭방식이지만 이는 NONEL 기폭방식에 비하여 널리 상용화되지 못하였다.

전 세계적으로 폭약에서는 NG 계열의 폭약이 사양화되고 Emulsion 계 폭약이 우위를 점하듯 뇌관에서는 전기뇌관의 사용 비중이 점차 감소하고 대부분 비 전기식 시스템을 범용화하고 있는 추세이며 전 세계 뇌관 사용의 약 90%를 차지하고 있다. 현재 국내에서의 연간 뇌관 소요량은 약 2000만개이지만 이중 비 전기뇌관의 사용은 10%에 미치지 못하고 있는바 이와 같이 보급률이 저조한 이유로는 사용자의 안전에 대한 의식 부족 및 새로운 시스템 사용에 대한 경험 부족과 불안감, 그리고 제품 홍보가 미흡하였던 것으로 생각되며 전기뇌관 사용에 따라 연간 꾸준히 발생하고 있는 산업재해로 인한 인명피해와 경비 손실 및 작업의 효율성과 환경 친화성 등의 목적으로 점차 제품 보급률이 늘어날 전망이다.

2.1 공업용 뇌관

표 1. Plain detonator

구분 \ 종류	6호 뇌관	8호 뇌관
관 체 재질	Al, Cu	
관 체 길이	43 mm	50 mm
관 체 직경	6.2 mm	6.2 mm
첨 장 약	0.45 g	0.9 g
기 폭 약	0.4 g	0.5 g

관체 상부 약 12mm 공간에 도화선을 끼우고 이를 점화하여 도화선의 점화력으로 뇌관을 기폭시키는 방식으로 관체의 재질은 Cu나 Al으로 되어 있고 국내에서는 1980년대 초반까지 널리 사용되었으나 현재는 거의 사용되고 있지 않다. 기폭약으로는 주로 DDNP (Diazodinitrophenol)이 사용되며 첨장약으로는 PETN(Pentaerithritol tetranitrate) 나 Tetryl이 주로 사용되고 6호와 8호뇌관으로 생산된다.

공업뇌관의 연시장치는 따로 없고 도화선의 길이에 따라 기폭시간이 결정되는데 보통 도화선의 연시속도는 m당 평균 120초로 ±10초를 넘어서는 안된다.

보통 도화선은 m당 4~5g의 흑색화약을 피복한 것으

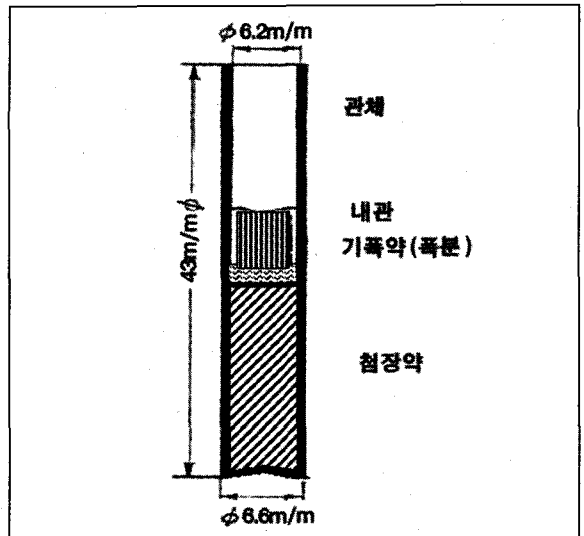


그림 1. The internal structure of Plain detonator

로 중간이 끊어지거나 피복이 고르지 못한 경우, 흡습된 경우 연소속도가 고르지 못하여 대형 사고를 초래하는 경우가 있어 매우 신중한 선택이 요구된다.

2.2 전기뇌관

전기적으로 폭발시키는 장치를 관내에 내장한 뇌관으로 색전으로 고정시킨 각선의 일단에 전교를 간착하여 거기에 점화옥¹⁾ 을 도포한다. 각선에 전류를 통하면 전교는 적열되어 그 열에 의하여 점화옥이 발화된다. 그후 점폭약²⁾이 폭발하는 것을 순발 전기뇌관이라고 하고 연시약(지연요소)³⁾이 연소하여 일정시간이 경과한 후에 점폭약이 폭발하는 것을 지발전기 뇌관이라고 한다. 각선의 재질은 일반적으로 동(구리)을 사용하지만 특수한 경우 철을 사용하는 철각선도 있다. 이런 종류의 전기뇌관들은 저압 전기뇌관중에서 백열 전기뇌관이라고 불리우는 것이고 이외 고압 전기뇌관이 있으며 이 중에는 백열 유극 전기뇌관, 유극전기 뇌관, 분로 전기뇌관이 있으나 일반적인 것은 아니다. 전기뇌관은 지연시간의 유무에 따라 순발 전기뇌관과 지발 전기뇌관으로 대별할 수 있으며 지발 전기뇌관은 초시 편차의 크기에 따라 MSD 와 DSD(LP)로 구분할 수 있다. 아래 그림은 전기뇌관의 구조(그림. 2) 이다.

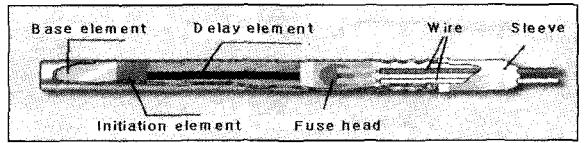


그림 2. The internal structure of Electric detonator

전기뇌관의 가장 예민한 부분은 점폭약부이다. 이는 미세한 열이나 기계적인 충격에 의해서도 쉽게 폭발되어 뜻하지 않은 많은 인명사고를 발생시킬 수 있다. 이와같은 문제점을 해결하기 위하여 Sweden의 Dyno-Nobel社에서는 세계 최초로 뇌관의 점폭약부에 민감한 뇌홍이나 아지화납을 사용하는 대신에 지극히 둔감한 폭약으로 대체하여 점폭부위의 특수한 구조에 의한 폭발을 유도(DDT 현상⁴⁾ 함으로서 뇌관을 기폭시키는 안전한 뇌관을 발명하였다.

이를 최초 기폭약 (점폭약)을 사용하지 않는 뇌관이라는 뜻으로 NPED⁵⁾(Non-Primary Explosive Detonator)라고 하고 현재 (주)고려노벨화약의 전기뇌관과 비 전기뇌관은 모두 NPED구조로 생산되고 있다. NPED 전기뇌관과 일반 전기뇌관과의 차이는 표 2에 나타내었다.

이는 기존의 전기뇌관이 점화옥의 가열만이 아닌 기타 여러 요인(터널 내 낙석이나 낙반 등에 의한 직접적인 충격 및 이웃한 뇌관의 기폭에 의한 순폭 등)에 의해서 기폭

1) 점화옥(Fuse Head) : 전기뇌관의 점화제로서 전교에 도포되어 있는 물질

2) 기폭약(Initial explosives)

- 점화나 가열후 단시간 내에 폭발상태에 이르게하는 성질을 가진 화약류
- 폴민산수은 III [뇌홍 : $Hg(ONC)_2$], 아지화납 [질화납 : $Pb(N_3)_2$]
- 디아조디니트로페놀 [DDNP : $C_6H_2O(NO_2)_2N_2$]

- 제조원료 : 피크린산(picric acid)

- 제조과정 : 피크린산을 환원하여 sodium picrate를 만들고 다시 이것으로 sodium picramate를 만들어 디아조(diazo)화하면 생성

3) 지연약(Delay powder)

- 산화제와 환원제를 주로 한 혼합물
- 산화제 : BaO_2 , CaO_2 , MnO_2 , PbO_2 , Pb_3O_4 , KNO_3 , $PbCrO_4$, $KMnO_4$ 등
- 환원제 : Si, Ti, Mg, Zn, Zr, Fe, Ni, Sb, Mn, Se, Te, P, S, Fe-Si, Cu-Si 등

4) DDT(Deflagration to Detonation Transition)현상 : 폭연에서 폭굉으로의 전이 현상

5) NPED(Non-Primary Explosive Detonator) : 민감한 기폭약을 사용하지 않고 둔감한 기폭약을 사용함으로써 DDT 현상에 의해 점장약을 폭발시키는 구조를 가진 뇌관

표 2. Comparison between NPED and Electric detonator

구분	NPED 전기뇌관	일반 전기뇌관	비고
시공상 안정성	- 관체내부 각 성분이 개개의 cell로 구성되어 있고 뇌관 삽입방향으로 폭굉력이 중전달되므로 안정한 전폭효과	우 수	
순폭감도	- 측면 순폭거리 : 1.5 cm - 정면 순폭거리 : 2.0 cm	- 순폭거리 : 약 20 cm	공기중
내수성	- 일주일간의 침수시료를 단차실험한 결과 : 모든 실험 뇌관이 허용 기준치 내에서 이상 없이 기폭	- 침수 후 24시간 경과시부터 불발뇌관 발생, 이후 일주일 경과 후 약 40 % 정도의 불발뇌관 생성	해수 및 담수
정밀성	- 각 단수별 허용 범위내 중앙값 기준으로 분산률이 10% 이내로 이웃단수와 겹쳐질 확률은 거의 0 %에 가깝다	- n단과 n+1단의 겹쳐질 확률이 15 % 정도로 인접단수의 혼용초시가 증가할수록 발파 효과를 저해하고 소음, 진동을 증가시키는 요인으로 작용한다.	
민감성	- 뇌관의 외피와 각 성분이 개개의 cell로 구성되어 있어 외부의 기계적인 충격에 대하여 둔감	- 점폭약부가 뇌홍이나 질화연으로 구성되어 있어 외부의 충격에 대하여 극히 민감	
환경 친화도	- 후가스에 납성분 감소 - 정확한 단차에 의한 진동 및 소음의 감소	- 초시가 정확하지 않을 경우 공발 및 폭음 발생 우려되며 발파효과도 만족스럽지 못함.	
점화전류에 대한 안전도	- 1.5 Amp 이하의 전류에서 기폭하지 않음 (Pulse time : 3.56ms) - 2.0 Amp 이상이어야만 정상적으로 기폭 - 뇌관의 각 구성요소가 내정전성으로 되어있고 정전기에 대한 안전성이 높으며 높은 발화에너지가 필요하므로 누설전류나 미주전류에 대한 안전성이 우수함.	- 발화 전류가 대부분 1.0A 정도로 상대적으로 낮기 때문에 현장에서 발생할 수 있는 누설전류나 미주전류 및 정전기에 대한 사고위험 가능성이 높다.	
수명년한	3~4 년	1~ 2 년	

될 수 있는 원인을 근본적으로 차단하였다는 점에서 가장 큰 의의를 찾을 수 있다. 이와 같은 터널 내 작업도중에 흔하게 발생할 수 있는 기계적 충격에 대하여 안전할 수 있다는 것은 NPED 뇌관의 가장 큰 장점이라고 할 수 있다. 일반적으로 작업도중 발생한 낙석이나 낙반이 뇌관을 타격 하였을 경우나 패이 로우더나 백호우(Back-Hoe)의 타격에 의해서 NPED 뇌관은 절대로 기폭하지

않으며 단지 가압에 의한 관체의 찌그러짐이나 극심한 손상만이 있었다고 여러 실험 결과에서 증명되었다. NPED 뇌관을 기폭에 이르게 하기 위해서는 오직 NPED 뇌관이 요구하는 충분한 전류에 의해서 만이 가능하다. 일반 전기뇌관은 대체로 1.0A 정도의 전류에 기폭되지만 NPED 뇌관은 약 2.0A 이상의 충분한 전류를 공급 해야지만 뇌관을 기폭시킬 수 있다. 이와 같은 차이는 터널작업장내

6) 미주전류 : 터널 갱내에는 전기기기가 많고 이들의 전원에서 전원을 전하는 전류가 여러 약조건 하에서 누설하여 갱내에 흐르는 전류로서 미주전류가 크면 전기뇌관이 발화할 수 있으므로 취급상 주의가 요구된다.

7) 누설전류 (Leakage Current) : 결선한 나선부위가 접지되어 있거나 폭약 장전중에 뇌관 각선이 손상되면 발파전류의 일부가 회로를 떠나 지면이나 기타 전도체를 따라 흘러나가게 되는데 이와같은 상황을 누설전류라 한다.

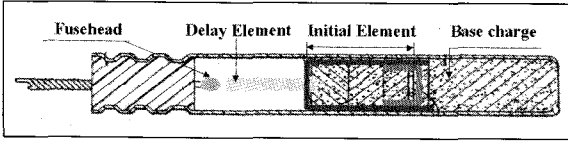


그림 3. The internal structure of NPED Konel (before firing)

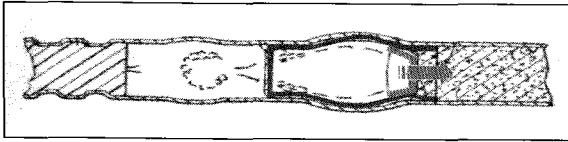


그림 4. The process of DDT (deflagration to detonation transition)

에 흔히 발생할 수 있는 미주전류⁹⁾나 누설전류⁹⁾에 대하여 안정성을 높이는데 그 의의가 있다.

요즘 종종 발생하는 터널 막장 내 뇌관의 기폭사고는 이와 별개의 문제는 아닐 것이다. 하지만 반대로 일반 전기뇌관에 비하여 전류의 소모가 크기 때문에 NPED 뇌관을 사용하는 경우에는 충분한 용량의 발파기를 사용해야만 한다. NPED뇌관의 기폭요소는 다음과 같다. (그림 3, 그림 4 참조)

기존뇌관의 기폭요소가 민감한 뇌홍(Mercury fulminate : $Hg(ONC)_2$)이나 아지화연(Lead azide : PbN_3) 인데 반하여 NPED 뇌관의 경우 둔감한 헥소젠(Hexo-gen : $RDX(CH_2NNO_2)$)이나 펜트리트(PETN : $C(CH_2NO_2)_4$)로 대체 사용함으로써 제조에서 사용에 이르는 모든 단계에서 안전을 더욱 강화했다. 기존 뇌관의 기폭약의 특징은 대기압하에서 급속히 연소되며 이는 곧 폭굉으로 유도된다. 또한 폭굉을 달성하는데 소요되는 점폭약은 불과 몇 mg이면 충분하다. 이와 동시에 기폭약은 타격이나 열, 또는 마찰에 의해서도 쉽게 발화하므로 항상 위험성을 내포하고 있다. 그러나 NPED뇌관을 구성하고 있는 RDX나 PETN와 같은 기폭요소는 충격 및 마찰에 대하여 상대적으로 매우 둔감하여 점화 시 소량으로 스스로 폭굉할 수 없으며 이를 Steel-Tube 내에 밀폐장전하여 점화옥의 발화에 의해서만 폭약을 연소시킴으

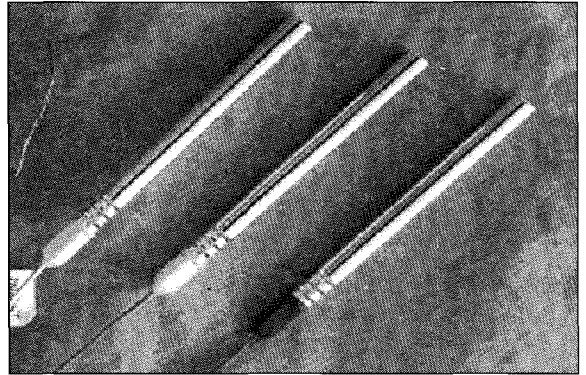


그림 5. NPED KONEL

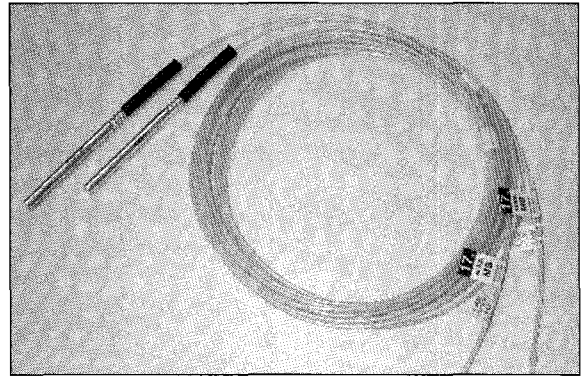


그림 6. NPED NONEL

로서 DDT(Deflagration to Detonation Transition) 현상을 유도하여 기폭요소가 폭굉에 도달할 수 있도록 하는 것이다.

2.3 비전기식 뇌관

비전기뇌관(Non-Electric)이란 말 그대로 전기를 사용하지 않는 신 개념의 기폭 시스템을 의미한다. 이는 상품명으로 이어져 현재 전 세계적으로 “NONEL”이란 상품명으로 시판되고 있다. NONEL은 어떠한 전기적인 위험에도 안전하므로 전기발파를 사용할 수 없고 허락되지 않는 곳에서도 이상적이다. 이미 유럽의 여러 나라(Sweden 등)에서는 터널내 전기뇌관 사용이 법으로 금지되고 있으

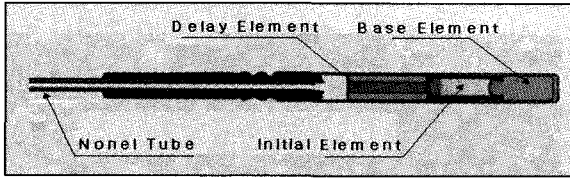


그림 7. The internal structure of NPED-Nonel

며 모든 터널현장이나 전기적 위험요소가 조금이라도 있는 노천현장에서도 모두 비전기식 뇌관이 범용화 되어있다. NONEL 뇌관은 전기적 지연뇌관의 기능을 하지만 전기뇌관의 각선과 Fuse Head 대신에 충격파를 점폭약에 전달하는 플라스틱 튜브⁸⁾로 대체된다. 플라스틱 튜브의 끝 부분에서 나오는 충격파는 뇌관의 지연요소(연시약)를 점화시킨다.(그림 7)

외경이 3m/m인 플라스틱 튜브는 얇은 반응물질(HMX 와 알루미늄)으로 도포되어 있으며 초당 약 2,100m/sec의 속도로 충격파를 전달하여 지연요소를 점화시키지만 튜브 자체는 손상을 입지 않을 정도로 안전하다. 즉, 일정 충격파 열을 동시에 동반하여야만 NONEL Tube를 점화시킬 수 있으며 tube 가 타들어 가는 동안 이 플라스틱 튜브자체는 충격파의 영향을 받지 않으므로 폭약이 포설된 곳을 튜브가 지난다 할지라도 폭약을 기폭시키지는 못한다.

오직 튜브의 최 후단을 통하여 전달된 충격파에 의하여 관체내 지연요소를 점화시킬 수 있어 이후 뇌관이 폭굉하여야만 폭약을 전폭시킬 수 있을 만큼 NONEL은 안전한 뇌관이다. 향간에 NONEL 튜브내에 알루미늄 성분이 도

포되어 있다는 사실을 문제삼아 전기적인 위험성을 언급한 사례가 있는데 이는 근거 없는 추측에 불가하며 세계적으로 권위 있는 단체(美國의 DUPONT社, Dyno-Nobel社)에서 이미 전기적 안정도 실험에 문제가 없음이 판명되었다. (튜브내 성분 중 알루미늄은 전기를 전달할 수 있을 정도로 연속상의 입자분포와 입도구조를 가지지 않으며 그 양도 지극히 미량에 불과하다.)

2.4 전자뇌관

초 정밀시차를 이용하여 특수한 용도로 사용하기 위해 개발된 전자뇌관(Electronic detonator)은 전 세계적으로 약 1400만개를 생산하여 전체 뇌관 소비의 약 2.3%를 차지하고 있으며 미국, 유럽과 일본등 선진국에서 특수한 목적으로 사용되고 있으나 국내에서는 아직 적용된 바 없다. 전자뇌관의 내부구조는 그림 8과 같이 전기뇌관과의 차이점은 전자제어판(IC회로, 전자칩)을 내장하고 있다는 점이다. 이는 각국에서 생산되는 기준에 따라 약간의 차이가 있지만 본 장에서는 주로 Dyno Nobel사에서 개발

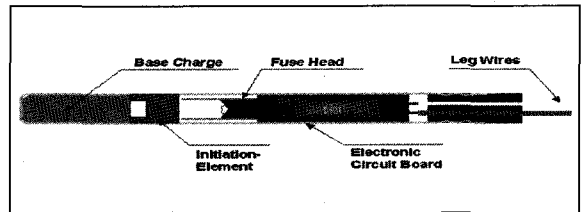


그림 8. The internal structure of electronic detonator

표 3. Interval times of NPED NONEL series

ITEM	UNIDET					Connector						
	Code	U400	U425	U450	U475	U500	SL0	SL17	SL25	SL42	SL67	SL109
Delay time	400	425	450	475	500	0	17	25	42	67	109	176
Colour of label	-	-	-	-	-	Green	Yellow	Red	White	Blue	Black	Orange

8) Nonel 의 플라스틱 튜브 : 외경이 약 3m/m , 내경이 약 1.2 m/m 이며 3중 구조로 구성되어 있다.

표 4. The Specification of EDS(Electronic Detonator System)

Maximum number of detonators per blasting machine (20m detonator wires)	1000
Maximum length of connecting wires (per row)	1000m
Delay time range (steps of 1 ms)	1-16,000ms
Re-programmability	Unlimited
Detonators can be regarded as identical and can be assigned any delay time	Yes
Delay time accuracy	100PPM/0,1ms
Wires, detonator and leg wires	2-wire
Communication, blasting machine-detonators Technology (chip, fuse head, safety principles etc.)	2-way Dyno control

한 EDS(Electronic Detonator System)에 대해서 소개하고자 한다.

(1) EDS의 특성

EDS(Electronic Detonator System)의 특성을 요약하면 표 4와 같다.

(2) EDS 사용방법

- ① 입력장치기에 각 뇌관의 ID-code 입력
- ② 각 뇌관의 ID-Code를 Cable연결 후 PC로 전송
- ③ PC 내 자체 Software에 의해 적정 지발 시간 부여

(1ms간격)

- ④ 발파기에 입력수치 전송
- ⑤ 발파기 충전 후 발파

(3) 전자뇌관과 다른 기폭 시스템과의 차이점.

전자뇌관은 점화옥의 가열에 의해 지연요소가 점화되는 방식이고 비 전자뇌관은 플라스틱 튜브내 얇게 도포되어 있는 HMX와 Al이 약 2,100m/s속도로 충격파의 형태로 튜브내로 전파하여 지연요소를 점화시킨다. 이에 반해 전자뇌관은 전자회로보드에 전력을 공급, 충전하여 전자 Timer에 의해 점화되어 기폭된다.

(4) 전자뇌관의 사용실적 예 (일본의 EDD뇌관)

전자뇌관에 사용에 의한 Smooth blasting효과를 알아보기 위하여 일본 국도 108호 개량공사 송목 3호 터널현장에서 기존 뇌관과 EDD 발파를 병행 실험한 결과 총 노미적장(Half cast factor, %)에 대해서는 양구간에 대해서 EDD가 컸으며 이로서 굴착면이 평활하게 된 것은 명백한 결과이다. 또한 주변 암반에 대한 손상 영역의 저감 효과 면에서도 발파후 PS 검층에 있어서도 현행발파에서는 2.0~2.5m로서 평균 2.25m였으나 EDD발파위치에서는 이완영역의 두께가 0~3.3m로서 평균 1.65m를 나타내어 EDD발파에 의한 손상영역이 상대적으로 작은 수

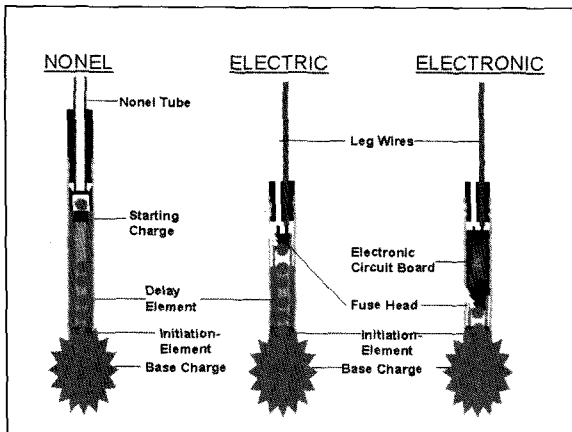


그림 9. Basic Differences : Functionality

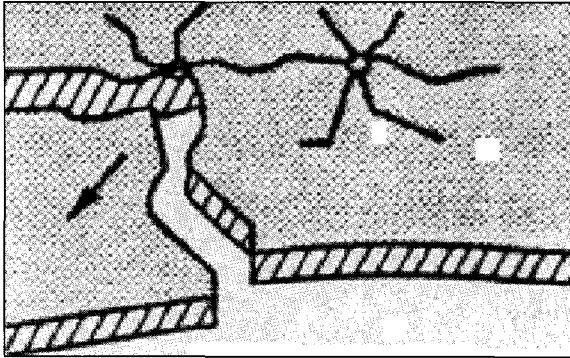


그림 10. 현행발파

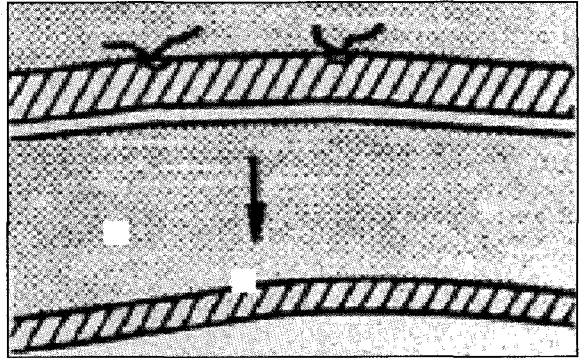


그림 11. EDD뇌관을 사용한 발파

표 5. 세대별 뇌관의 장·단점 비교

구분	제 1 세대	제 2 세대	제 3세대	제 4세대
뇌관명	공업뇌관	전기뇌관 (NPED)	NONEL 뇌관(NPED)	전자뇌관(NPED)
각선재질	도화선	전선	NONEL튜브	전선
기폭전달속도	120~130m/sec		app. 2,100m/sec	
국내생산뇌관	6호, 8호	8호	8호	8호
종 류	완연, 속연	ID 1단 MS 19단 DS 19단	GT/MS 18단 GT/T 25단 UNIDET 5단 Snapline, Bunch 7단	무한단차
장 점	-가격이 저렴	-상대적으로 가격이 저렴 -소할발파에는 간편하다 -구하기가 쉽다. -보편적으로 많이 사용	-단차를 무한대로 쓸 수 있다. -진동 및 소음을 줄여준다 -미주 전류에 대해 안전하다 -낙뢰등에 대해 안전 -사용이 안전하다 -결선이 쉽다 -대발파, 터널등 다용도로 사용 -시공 시간이 절감 -8호 뇌관을 기폭력이 좋으며, 잔류폭약이 없다.	-무한단차 -1~2ms의 단차간격 -정밀한 시차에 의한 진동제어 -미려한 파단면 효과 -S/C 취부량 감소 -주변 암반손상 영역 저감
단 점	-조립이 번거로움 -습기에 약하다 -작업 여건이 열악 -대형사고 위험	-단차가 제한 됨 -대발파에는 사용이 곤란 -전기적인 위험요소	-가격이 다소 비싸다	-고가이다 -정확한 사용을 위해 발파진동 및 초사분석에 대한 고도의 지식 함양 -Computer에 의한 조작이 번거로움 -미주전류에 위험
용 도	소할발파	소 발 파	대발파, 소발파, 미진동발파	대발파, 소발파 미진동발파

치를 나타내었다.

또한, 기존 발파방법과 이완영역에 있어 암질별로 검토 해본 결과 중경암과 경암($V_p=3.4\sim 4.0\text{km/sec}$)에서 현행 발파의 경우 평균 $0.7\sim 0.8\text{m}$ 였으나 EDD발파의 경우 평균 $0.36\sim 0.46$ 정도로 기존발파에 비해 약 45% 이완영역이 절감되었다.

따라서 PS검층 및 탄성파 탐사의 결과 SB공법에 EDD를 사용함으로써 여굴량, S/C취부량의 감소 및 주변 암반 손상영역에 대한 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

EDD뇌관이 개발되어 터널발파에 대한 적용성이 검토되고 있으며 그 일례로서 터널에서 SB공법 사용에 따른 취부, 여굴, 주변암반손상 정도를 목적으로 실험을 실시한 결과 아래와 같은 장점이 있다.

- ① EDD를 사용함으로써 노미적장이 많고 평활한 굴착면을 형성하였다.
- ② 여굴량, 취부량에 대해서는 동일 암반 조건이라도 5~10% 감소시킬 수 있다.
- ③ 주변 암반에 대한 손상영역에 대해서도 동일암질 비교시 50%(40~70%) 저감효과가 있다.

더불어 지속적으로 데이터를 축적하여 터널 굴진에 따른 아래와 같은 효과를 기대할 수 있다.

- ① 사이클 타임의 향상
- ② 균열암반에 대해 여굴저감효과
- ③ 지보설계 반영
- ④ 경암에 대한 장공 발파공법의 도입

(5) 전자뇌관의 사용에 따른 문제점

가격기준 전기뇌관에 비해 약 8~10배 정도로 아직까지는 가격 경쟁력을 가지고 있지 않다.

2.5 세대별 뇌관 비교

산업용 뇌관의 장·단점을 세대별로 비교하면 표 5와 같다.

3. 결론

“필요는 발명의 어머니다”란 귀에 친숙한 말이 새삼스럽게 생각난다. 위에서 본 바와 같이 제1세대인 공업뇌관으로부터 시작해서 제2세대인 전기식 뇌관으로 발달해 온 것은 일면에서는 폭파에 있어서의 안전성 추구라고도 볼 수 있다. 또한 제3세대인 비전기식 뇌관의 발명은 약간의 번거로움은 있지만 안전성의 완성 단계라고도 볼 수 있다. 그러나 안전하고 정확한 폭파를 하기 위해서는

- 첫째---정확한 marking,
- 둘째---정확한 천공,
- 셋째---정확한 초시

의 세 가지 조건을 만족시킬 필요가 있다.

제3세대까지의 뇌관으로서는 세 번째 조건을 만족시킬 수 없었지만 제4세대의 전자뇌관은 위에서 언급한 바와 같이 매우 정확한 초시를 구현할 수 있다. 정확한 초시를 구현함으로써 소음·진동을 획기적으로 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 터널 굴착에서 항상 문제시되는 과잉 굴착도 줄일 수 있을 것이다. 물론 재래식 뇌관에 비교해서 단가가 비싸다는 단점은 있지만 이 문제는 앞으로의 수요와 공급의 문제라고 생각된다. 어떻든 폭파 기술 선진국에서는 전자 뇌관의 도입에 의해 상당한 효과를 보고 있는 사실에 직면할 때, 하루 빨리 우리나라에 도입이 요망된다.

참고문헌

1. 전자지연식 뇌관(EDD)과 신 발파기술의 개발, 터널과 지하, 1992.1
2. 전자뇌관에 대한 SB공법에 대하여, 건설토목뉴스, NO1809,1993.8
3. Dobrushin, L. D, Volgin, L. A : "Explosive cutting by linear core-shaped charges and its on-land, underwater and heavy-duty applications", DVS 185, 1995, pp.131~135

4. Dowding, Charles H.,1985,"Blast Vibration Monitoring and Control", Northwestern University,Evanston,IL
5. Medearis,K,1976,"Development of Rational Damage Criteria for Low Rise Structures Subjected to Blasting Vibrations",Reort to the National Crushed Stone Association,Washington,DC.
6. Siskind,D,E,Stagg,M.S.,Kopp,J.W.,Dowding,C.H.,1980," Structure Response and Dama-ge Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting",Bureau of Mines RI 8507, OSM Dept.of interior Washington, DC.
7. Chareles T. Jordan, 1988. 3.1, United states patent(19) No. 4, 727,808
8. Stig O. Olofsson, 1995, Applied Explosives technology for construction and mining, pp. 40~62

회원님들, 혹시 2001년 협회의 연회비를 내셨는지요?

대한터널협회에는 회원님들의 회비가 중요한 수입원이며, 사무국운영 및 협회사업에 사용되고 있습니다. 그런데 많은 회원님들이 회비를 잊으셔서 미납하고 계시는데 회원님들의 조그만 관심이 저희 협회에는 많은 도움이 됩니다. 회비는 아래의 계좌로 입금하여주시고 이때 회원님의 성함으로 보내주시면 됩니다.

연회비는 24,000원이며, 혹시 회원님께서 미납내역을 모르시면 (02)2203-3442로 전화를 주시기 바랍니다.

많은 참여 부탁드립니다.

외환은행	234-13-00742-9	(사)대한터널협회
한빛은행	441-04-101796	(사)대한터널협회
국민은행	816-01-0192-570	(사)대한터널협회
주택은행	932637-01-006218	(사)대한터널협회