

화약발파 용어에 대한 고찰

A Review of Some Technical Terms on Explosive Blasting

최병희

Byung-Hee Choi

한국지질자원연구원 탐사개발연구부

1. 서 언

근래 많이 부각되고 있는 발파공해 문제에 있어서나 터널, 도로사면 등의 건설발파 문제에 있어서 발파의 효과는 극대화하면서도 그 부작용은 최소화할 수 있는 각종 제어발파에 대한 요구가 급증하고 있다. 이는 도시화, 현대화를 지향함과 동시에 환경을 보존코자 하는 시대적인 요구이며, 아울러 발파기술의 발전에 대한 채찍질이기도 하다. 이런 조류에 부응하듯 현재 국내 화약발파기술은 각계에 종사하는 많은 전문가들에 의한 관련 서적류의 잇따른 출판과 학계의 활발한 활동으로 하루가 다르게 발전하고 있다. 더욱이 미국, 유럽, 일본 및 중국 등 외국의 경험과 기술이 정보화 사회의 흐름을 타고 여러 경로를 통해 도입되고 있으며, 이를 바탕으로 새로운 발파 기술이 산업계와 학계를 중심으로 연구, 보급되고 있는 것은 상당히 고무적인 일이 아닐 수 없다.

하지만 이와 같은 기술발전의 뒤편에는 여전히 정립되지 못한 문제들이 많으며, 특히 발파 진동 및 소음에 대한 규제기준의 정립 등은 모두가 공감하는 급선무라 할 것이다. 그렇지만 이에 앞서 무엇보다 발파 그 자체를 정의하는 용어의 정립에 관한 문제는 가장 기

본적인 것임에도 불구하고 지금까지 등한시되어 온 것이 사실이다. 과학기술에 있어 용어란 어떤 물리현상의 개념을 정의하고 나아가 이론과 법칙을 유도하는 중요한 요소가 되며, 또 개발된 이론과 기술에 대한 교류와 발전이라는 측면에서도 더욱 중요한 의미를 지닌다.

이런 맥락에서 이 글에서는 우리들이 가장 잘 알고 가장 많이 사용하면서도 그 개념이 모호하거나 외국의 용어를 받아들이는 과정에서 저마다 정의를 달리하여 사용하고 있는 어휘들을 몇몇 나열하여 놓고 그 의미를 한번 짚어보고자 한다. 여기 제시된 용어들의 정의는 대체로 국내와 해외의 주요 문헌들을 참고로 한 것이며, 또 문맥에 따라 「폭약」이라는 용어가 화약 및 폭약 등을 가리키는 「화약류」 일반을 의미할 때도 있다.

2. 기폭약(primer)과 전폭약(booster)

기폭¹(initiation)이란 어떤 화약류의 폭발(폭굉 또는 폭연)을 일으키는 행위로서 그 방법은 불문으로 하는 광의의 기폭인 반면, 기폭²(priming)는 어떤 폭약을 사용하여 다른 폭약[화약류]을 기폭¹시킬 때 주로 사용한다. 이로부터 다른 폭약을 기폭²시킬 목적으로 사용하는 폭약을 기폭약(primer (charge))이라고 하고, 「연소를 일으킨다」는 뜻의 점화

(ignition)에 비유하여 「폭굉을 일으킨다」는 의미에서 **점폭약**이라고도 한다. 이러한 기폭약이 약포의 형태로 되어 있으면 **기폭약포** 또는 **점폭약포**라 부른다. 이와 같이 기폭약에는 「폭굉을 최초로 일으킨다」는 의미가 담겨 있으므로 반드시 **뇌관**(detonator) 또는 뇌관이 붙은 **도폭선**(detonating cord)을 포함하는 개념이라는 점에 주목해야 한다. 한편, 충격 등에 매우 민감한 폭약으로서 일단 점화되면 폭연에서 시작하여 폭굉까지 이어지는 폭약도 **기폭약**(primary explosive)이라 하며, 그 가루를 뇌관에 사용한 것을 **폭분**(primer charge)이라 하므로 유의해야 한다.

기폭약과 자주 혼동되어 사용되는 용어로 **전폭약**(booster)이 있다. 전폭약은 둔성폭약류를 기폭¹시키는데 사용하는 고폭속, 고폭력의 폭약을 지칭한다는 점에서는 기폭약과 동일하나 뇌관을 배제한다는 점에서 서로 다르다. 즉, 전폭약에는 「폭굉을 최초로 일으킨다」는 개념이 포함되지 않고 단지 「폭굉을 다른 폭약으로 전달한다」는 의미만 담겨있다. 전폭약의 대표적 용례로는 장공발파에서 주장약이 되는 ANFO의 중간쯤에다 다이너마이트와 같은 고폭속의 폭약을 둬으로써 기폭지점이 되는 뇌관 또는 기폭약포로부터 거리가 멀어짐에 따른 ANFO의 폭력감소 문제를 해결하는 경우가 있다. 물론 이 때에도 중간부분의 다이너마이트에 뇌관을 꽂아 사용하면 다이너마이트는 「기폭약포」의 역할을 하게 된다. 이와 유사한 형태로 하나의 발파공에 여러 개의 기폭약포를 사용하는 경우를 보통 **분산장약**(deck charge, decking)이라 한다. 현재 「OO 부스터」란 이름의 제품들이 많이 시판, 사용되고 있으나 그 상표명과는 관계없이 거기에 뇌관을 꽂아 사용하면 「기폭약포」가 되고 뇌관 없이 사용하면 「전폭약포」가 된다.

물론 넓은 의미에서는 기폭약도 폭굉을 전달하는 것이므로 전폭약의 특수한 경우로 간주하여 기폭약포를 전폭약포라 부를 수도 있으나 분산장약에서와 같이 뇌관에 의한 기폭이 중시될 때는 이를 분명하게 구분하는 것이 좋을 것이다.

3. 후굴(back break)과 과굴(over break)

후굴(back break)이란 문자 그대로 다열발파시 발파공의 최후열 또는 발파예정선의 뒤쪽에서 발생된 파괴를 의미하며, **과굴**(over break)도 발파예정선을 넘어 지나치게 발생된 파괴를 의미하므로 서로 동일한 개념으로 볼 수 있다. 이 외에도 'out break'이라는 용어도 같은 뜻으로 사용된다. 이에 반해 우리가 관습적으로 많이 사용하는 **여굴**(餘掘)이란 용어는 그냥 「지나치다」는 의미보다는 많아서 「남다」는 뜻이 강하여 원래 의도하는 예정선을 넘어 「뒤쪽까지」 내지는 「지나친」 파괴란 개념에는 오히려 부적합한 것으로 여겨진다.

4. 저항선(burden)과 최대저항선(maximum burden)

저항선과 최대저항선은 여러 문헌에서 애매하게 정의되어 사용되는 용어에 속한다.

먼저, **저항선**(burden)이란 i) 발파공에 장전된 폭약의 중심으로부터 가장 가까운 자유면까지의 거리, ii) 다열발파 등에서 공간격(spacing)과 직각방향으로 측정된 발파공 사이의 거리, iii) 하나의 공에 의해 발파되는 암석의 총량(단위: ton, yd³) 등으로 정의된다. 그런데 저항선에 대한 i)과 ii)의 정의에도 불구하고 '**line of the least resistance**'에서 기원된 「최소저항선」을 굳이 「minimum

burden」이라는 용어로 사용하는 경우가 있다. 저항선에는 이미 「최소거리」라는 개념이 들어 있으므로 「최소」라는 용어를 중복하여 사용하는 것은 사족에 다름 아니다.

다음으로, 최대저항선(max. burden)은 위의 「minimum burden」의 반대가 아니라 발파설계상의 용어로서 주어진 발파조건하에서 파괴할 수 있는 저항선의 최대치를 말한다. 이는 주어진 장약량으로 주어진 저항선을 의도한대로 떼어낼 수 있는 저항선의 최대값을 말하는 것으로, 만일 저항선이 이보다 길어지면 약장약이 되어 성공적인 발파가 될 수 없음을 의미한다. 발파를 설계할 때는 작업 도중에 발생될 수 있는 오차들(천공오차 및 착점오차)을 감안하여 최대저항선에서 이들 오차를 뺀 값을 설계 저항선으로 하는 것이 보통이다.

따라서 주의할 것은 장약공에서 가장 가까운 자유면까지의 거리를 최소저항선, 가장 먼 자유면까지의 거리를 최대저항선으로 생각하여 단편적으로 사용해서는 안 된다는 점이다.

5. 폭약의 밀도(density of explosive)와 장전밀도(loading density)

일반적인 물질의 밀도(density)를 말할 때와 마찬가지로 폭약에 있어서도 밀도(density)는 주어진 폭약의 단위 부피당 질량[중량]을 말하며, 단위는 g/cm^3 또는 pcf(pound per cubic foot)이다. 반면, 장약(charge)이란 약실[발파공]에 「폭약을 켜다[장전한다]」 내지 「켄[장전된] 폭약」의 뜻이므로 폭약 그 자체와는 성질이 달라진다. 예를 들어 발파공에 장전된 폭약은 장전방식에 따라 폭약이 원래 지니던 밀도가 변화될 수 있다.

물론, 광의에 있어서는 제품 상태에 있는 폭약의 밀도나 발파공에 장전되어 밀도가 변화된 폭약의 밀도나 모두 밀도임에는 틀림없으나 장약에 있어서는 일반적으로 「발파공 단위길이당 질량」이란 개념을 도입하여 장약 밀도(charging density) 또는 장전밀도(loading density)를 사용하는데, 이는 발파설계에 있어 중요한 요소가 되기 때문이다.

Langefors⁵⁾는 장전방식의 차이에 따른 폭약의 밀도변화를 고려하여 kg/dm^3 단위의 압입도(degree of packing)를 도입하여 발파설계에 이용하였으며, 장약밀도와 같은 개념으로 장약집중도(concentration of charge)를

표 1. 장약밀도 관련 용어

문헌	단위 부피당 질량의 차원		단위 길이당 질[중]량의 차원	
	용어	단위	용어	단위
산업화약과 발파공학 ¹⁾	장약밀도	g/cm^3	장약밀도 발파공 단위길이당 장약량	kg/m
신화약발파해설 ²⁾	장약밀도(charging density) 장전밀도(loading density)	g/cm^3		
Explosives and Rock Blasting ³⁾	Density of explosive	g/cm^3	Loading density Charge weight of foot of explosive	kg/m 또는 lb/ft
Blasters' Handbook ⁴⁾	Density of explosive	no. exp./lb	Loading density Pound of explosive per foot of borehole	lb/ft
The Modern Technique of Rock Blasting ⁵⁾	Degree of packing	kg/dm^3	Concentration of charge	kg/m

사용하였다. 이 외의 여러 문헌들에서 정의되어 있는 장약밀도와 관련된 용어들을 간추려 보면 표 1과 같다.

표 1에서 보면 미국에서는 폭약의 밀도(density of explosive)와 장전밀도(loading density)를 사용하는데, Du Pont 사의 경우에는 편의상 폭약의 밀도를 「기준무게당 기준규격의 약포개수」로 표시하나 이는 결국 「단위 부피당 중량」의 차원과 같은 것이다. 한편, 스웨덴에서는 장전된 폭약의 밀도를 의미하는 압입도(degree of packing)와 「발파공 단위 길이당 장약량」을 의미하는 장약집중도(concentration of charge)를 사용한다. 하지만 Gustafsson⁶⁾의 경우에는 압입도와 장약집중도를 서로 같은 개념으로 사용하여 kg/dm³ 및 kg/m를 혼용하고 있음에 유의해야 한다. 국내의 경우 몇몇 문헌에서는 장약밀도와 장전밀도를 폭약의 밀도와 같은 개념으로 사용하는데 비해 다른 문헌들이나 현장에서는 「발파공 단위 길이당 장약량」의 뜻으로 사용하는 경우가 많아 혼란의 여지가 있다. 또 「장전비중」이라는 용어를 사용하는 사람들도 많다.

결국 유럽과 미국에서는 「폭약의 밀도」와 「발파공 단위 길이당 장약량」에 대하여 각각 별개의 용어를 사용하고 있으므로 오해의 소지가 크게 없음에도 이들의 도입단계에서 언어의 차이에 의한 혼동이 발생된 것으로 판단된다. 따라서 이들 혼란을 없애고 유럽과 미국의 독특한 설계방식을 있는 그대로 이해하기 위해서는 표 2에 제시된 것과 같은 용어

표 2. 미국식 및 유럽식 용어 차이

구분	단위 부피당 질[중]량의 차원 (g/cm ³ , lb/ft ³ , kg/dm ³)	단위 길이당 질[중]량의 차원 (kg/m, lb/ft)
미국식	폭약의 밀도(density of explosive)	장전[장약] 밀도(loading[charging] density)
유럽식	압입도(degree of packing)	장약집중도(concentration of charge)

의 재정립이 필요하다고 본다.

6. 연시(delay time), 단수(delay period) 및 단차(delay interval)

지연시간(delay time)이란 주어진 지발뇌관(delay detonator)에서 기폭신호의 적용과 첨장약(base charge)의 폭발 사이에 걸리는 시간을 말하며, 지발[지연] 시간[초시] 또는 간단히 연시라고도 한다.

한편 지발뇌관의 계열(series)에는 기본적으로 MS 계열과 LP 계열이 있다. MS 계열은 연시가 밀리세컨드(millisecond) 단위로서 대개 20~25 ms 정도이고, LP 계열은 데시세컨드(decisecond) 단위로서 대개 0.1~0.5 sec 정도이다.

지발단수(delay period)는 종종 지연시간과 같이 사용되기도 하지만 엄밀히 말하면 어떤 계열 내의 뇌관들이 지나는 상대적 혹은 절대적 지연시간을 표시하기 위해 각 뇌관에 붙인 「이름(designation)」을 말한다. 대개는 단수(period number)라 하여 1번, 2번 등의 번호로 표시하거나 각 뇌관의 지연시간으로 표시하거나 이 둘을 함께 사용하기도 한다.

지발단차(delay interval)는 i) 어떤 주어진 지발뇌관 계열에서 인접된 지발단수의 뇌관들 사이의 폭발 시차를 말하거나 ii) 어떤 발파에서 주어진 뇌관들의 연속적인 폭발 사이의 시차를 말하며, 지발간격 또는 지발시차라고도 한다.

7. 커플링(coupling)과 디커플링(decoupling)

커플링(coupling)이란 폭약이 발파공의 단면을 채우고 있는 정도를 말하며, 디커플링(decoupling)은 이와는 반대로 발파공의 단면상에서 폭약이 공벽과 떨어져 있는 정도를 말한다. 따라서 커플링과 디커플링은 역수의 관계에 있으며, 대개 아래와 같이 디커플링(d)을 약경(ϕ_e)에 대한 공경(ϕ_h)의 비로 정의하여 사용한다.

$$d = \frac{\phi_h}{\phi_e}$$

8. 전폭(propagation)과 순폭(sym pathetic propagation)

전폭(propagation)은 「접촉 또는 근접」한 폭약으로부터 받은 충격으로 인한 폭약의 폭핑으로 정의되며, 순폭(sym pathetic propagation)은 「공기, 물 또는 땅속을 통해 전파」된 다른 폭약의 폭핑충격으로 인한 인접한 폭약의 폭핑으로 정의된다. 즉, 전폭은 폭약간의 「일반적인」폭핑의 전파를 말하는 포괄적인 의미인 반면, 순폭은 일반적인 전폭 현상이 아니라 「서로 떨어져 있는」 내지는 「함께 폭핑하지 않도록 의도된」 폭약 사이에서 발생하는 전폭현상을 말한다. 순폭의 뜻으로 사용되는 'flashover'는 장약간 또는 장약공간에 발생하는 순폭으로 정의되며, 함께 폭핑하지 않도록 설계된 장약 또는 장약공이 주변의 장약 또는 장약공의 폭핑충격으로 「덩달아 터지는」 현상을 말한다.

한편, 다른 폭약에 충격을 가하는 폭약을 유도폭약(donor)이라 하고, 폭발하는 유도폭약으로부터 충격을 받는 폭약을 감응폭약(acceptor; receptor)이라 한다. 일반적으로 유

도폭약을 유폭약 또는 여폭약이라 하고, 감응폭약을 감폭약 또는 수폭약이라 한다

순폭도(gap sensitivity)는 표준규격의 유도폭약과 순폭성을 시험코자 하는 감응폭약 사이에서 전폭이 발생될 수 있는 최대거리를 말하는 것으로 폭약의 순폭 가능성을 예측하는데 사용된다.

9. 결 언

지금까지 살펴본 몇몇 용어들 외에도 많은 다른 어휘들이 명확하게 정의되지 않은 채 사용되고 있으며, 특히 위의 여폭약, 수폭약 등에서와 같이 일본식 용어가 걸리지 않고 그대로 사용되어 어색한 경우가 허다하다. 이와 같은 문제는 화약기술을 처음 배우고자 하는 사람이나 자신의 경험을 전달코자 새로운 문헌을 집필하는 전문가 모두에게 걸림돌이 될 뿐만 아니라 나아가서는 국내 발파분야의 저변확대와 기술발전을 저해하는 요소가 될 수 있으므로 하루빨리 해결해야 할 문제라 생각한다.

참 고 문 헌

1. 김재극, 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부, p.21, p.367-368, 1992.
2. 윤철현, 신화약발파해설, 구미서관, p.274, 1994.
3. Atlas Powder Co., Explosives and rock blasting, 1987.
4. Du Pont Inc., Blasters' handbook, Sesquicentennial ed., p.51, pp.163-172, 1952.
5. Langefors, U. & Kihlstrom, B., The modern technique of rock blasting, John Wiley & Sons, p. 44, 1978.
6. Gustafsson, R., Blasting technique, Dynamit Nobel Wien, p.20, 1981.