



含水爆藥에 對한 小考

-原料 및 製品의 特性을 中心으로-

A Study on Water-containing Explosives Slurry and Emulsion Explosives
-respect on the characteristics of the raw materials and products-

金 熙 昶*
Kim, Hee Chang

1. 머리말

산업용 폭약은 다음과 같이 3개 그룹으로 생산되고 있으며 각 세대별로 분류할 수 있다.

표 1 폭약의 세대분류

세대구분	폭약의 내용	
1 세대	니트로글리세린을 사용한 폭약, 다이나마이트등 (1860년대출현)	
2 세대	초안유제폭약(ANFO), 1950년대 중반에 소개 됨	
3 세대	함수폭약	슬러리폭약, 1960년대 중반 출현
		에멀전폭약, 1970년대 후반 출현

내수성이 없는 초안유제폭약(ANFO)의 단점을 개선한 함수폭약의 출현은 획기적인 발명이 되었으며 소구경 종이 포장이 가능한 제품까지 나오게 되었음은 괄목한 발전이다.

함수폭약에는 슬러리(Slurry)폭약과 에멀전(Emulsion)폭약이 있다. 그리고, 함수폭약의 장점은 안전에 있다. 그러나 알루미늄이 함유된 에멀전폭약이 발파현장에서 1차 발파후 재차 발화되어 불이나는 경우가 발생되고 있어 위험성이 나타나고 있다. 이처럼 알루미늄이 함유된 에멀전폭약은 안전상 문제가 있을 수 있다.

이에 신세대 폭약인 함수폭약에 대하여 발전과정을 일별하고 주요 원료와 제품의 특성 및 알루미늄에 관한 문제점에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 함수폭약의 발전

슬러리폭약과 에멀전폭약은 다같이 질산암모늄을 주체로 하고 물을 함유하는 함수폭약이지만, 이들은 다른 개념 하에서 각각 발전된 것이다. 즉, 슬러리 폭약은 질산암모늄 수용액에 점조제와 가교제를 가하여 분산된 상태이고 에멀전폭약은 기름과 질산암모늄 수용액을 계면활성제로 유화시킨 것이다.

(1) 슬러리 폭약

슬러리폭약은 미국 M.A.Cook에 의하여 1960년경에 발명되었다. 초기의 슬러리폭약은 예감제로서 TNT, 무연화약, RDX, 알루미늄등을 사용하고 죽과 같은 상태였으며 뇌관에는 기폭되지 않고 전폭약(Booster)이 있어야 기폭되는 것이었다. 이 시기가 슬러리폭약 발전사의 제1기로 부르는 시대이다.

슬러리폭약의 제2기는 물속에 고체성분이 현탁된 콜로이드상태를 겔화 한 것에 미세한 기포(氣泡)를 분산시키는 방향으로 발전하여 뇌관으로 기폭되어 사용하기에 매우 편리하게 되었고, 예감제로서도 수용성인 MMAN(CH₃NH₂·HN-O₃)와 EGMN(CH₂OH·CH₂ONO₂)을 사용하게 되었다. 슬러리폭약이 다이나마이트의 대체품으로 된 것이 제2기 이후로서 1970년경이며, 국내

에서 제조되고 있는 것도 제2기 이후의 것이다.

(2) 에멀전폭약

에멀전폭약은 1961년에 Richard S. Egly등이 W/O형(油中水適型)에멀전을 슬러리폭약에 배합한 것이 최초이고, 1963년에 Neil E. Gehrig이 W/O형 에멀전폭약을 보고하였다. 그 후 여러 회사에서 연구를 하였으나 실용화에는 훨씬 먼 것이었다. 그러다가 1977년에 Atlass Powder Co.의 Charles G. Wade등이 중공구체(中空球體, Hollow microsphere)로서 무기질중공구체(無氣質中空球體, Glass microballoon, GMB)을 사용한 뇌관기폭성(Capsensitive)인 에멀전폭약을 특허로서 세상에 소개하고 상품화하는데 성공하였다. 이렇게 하여 에멀전폭약이 알루미늄등의 예감제 없이도 뇌관으로 기폭가능할 수 있게 되었으며 최근에 소구경 종이포장 제품이 출현하게 되었다.

3. 함수폭약 원료의 특성

함수폭약의 기본조성은 산화제가 50~80%, 가연제가 1~10%, 물이 5~20%이다.

슬러리폭약에서는 약의 형태를 이루기 위하여 구아검(Guar Gum)과 같은 점조제가 필수적인 원료이다.

에멀전폭약에서는 슬러리폭약과 달리 기름이 함유되므로 계면활성제가 필수적이다.

함수폭약의 예감성 부여는 기포형성에 의존한다.

기포형성방법은 슬러리폭약이 가스발생제나 기포제에 의하는 데 반하여 에멀전폭약은 Glass microballoon(GMB)과 같은 무기질중공구체에 의한다.

슬러리폭약의 예감제로는 수용성인 MMAN이나 EGMN을 사용한다.

함수폭약에서 가연제로서 알루미늄을 사용하

기도하나 알루미늄 함유제품은 제조와 사용상에서 발화내지 폭발의 문제점이 있어 주의를 요한다. 몇가지 주요원료에 대하여 살펴본다.

3.1 산화제

슬러리폭약과 에멀전폭약이 다 함께 질산암모늄이 주체이며, 알카리토금속의 질산염이나 과염소산염도 연구되어 있다.

3.2 가연제 및 예감제

슬러리 폭약에는 예감제가 반드시 필요하나, 에멀전폭약에는 예감제가 필요하지 않는다.

3.2.1 TNT, RDX, 무연화약

초기의 슬러리폭약에 예감제로 사용하였으나 현재는 사용하지 않는다.

3.2.2 알루미늄

알루미늄은 제법에 따라 작은 입자형태(小粒子)인 atomized 알루미늄과 미세입자 형태인 flake(또는 paint grade)알루미늄이 있다.

Paint grade(flake)알루미늄은 폭약의 예감성인 감도를 향상시키는 데 사용하고, atomized 알루미늄은 폭발할 때, 고열량이 발생되는 것을 이용한다.

알루미늄은 폭약의 강도(strength)를 증가시킨다.

초기의 슬러리폭약에 알루미늄을 사용하였으나 최근에는 거의 사용하지 않는다.

에멀전폭약에는 알루미늄을 사용하지 않는 것이 원칙이다.

3.2.3 MMAN

Monomethylaminenitrate의 약칭으로서 슬러리폭약에서 예감제로 사용한다.

MMAN수용액을 사용하는 데 있어서 MMA-

N의 농도가 높을 경우에는 제조과정에서 펌프로 이송할 때 폭발의 위험이 있다. 그러므로 MMAN을 사용할 때에는 농도를 낮게 하여 사용하여야 한다.

MMAN의 86%수용액은 미국 수송규정에서 가연성액체(flammable liquid)로 규정한다.

3.2.4 기름

기름은 가연제로서 에멀전폭약에서 반드시 필요한 원료이다. 여기서의 기름은 상온에서 액체인 기름 뿐 아니라 고체인 왁스를 포함한다.

3.3 점조제

슬러리폭약에 반드시 필요한 성분으로 Gel상태의 약상태를 이루게 한다. CMC(Carboxy methyl cellulose), 구마 껌(Guar Gum)등이 있다. 에멀전폭약에는 필요하지 않다.

3.4 계면활성제

슬러리폭약에서는 반드시 필요한 것은 아니지만, 에멀전폭약에서는 반드시 필요하다.

계면활성제를 사용한 미세유화기술로해서 뇌관기폭성에멀전폭약의 출현이 가능하게 되었다.

3.5 무기질중공구체

무기질중공구체(無氣質中空球體)로 보통, Glass microballoon을 사용한다. 무기질중공구체 자체는 다공성미세한 물질로서 천연 반응성을 갖고 있지 않지만 에멀전폭약으로 하여금 뇌관기폭성을 갖게하는 중요한 원료로서 폭발시 Hot Spot(열원, 熱源)를 형성하므로써 MMAN이나 알루미늄이 없이도 뇌관만으로 기폭가능하게 한다. Glass microballoon의 양으로 에멀전폭약의 비중과 기폭능력을 조절할 수 있다.

3.6 물

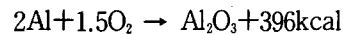
합수폭약에서 물의 역할은 함유원료에 대한 매체로서 혼화성과 유동성을 갖게 하는데 기여한다.

또한 물이 수증기가 될 때 539cal/g의 증발잠열이 필요하다. 이 때문에 폭발위력을 저하시키는 반면 안전성을 증가 시킨다. 물을 다량 첨가하면 이 영향이 커진다.

합수폭약은 물이 5~20%인바 다이아마이트와 같은 굳기를 갖게하는 소형 종이포장 에멀전폭약에서는 수분함량을 적은 쪽으로 한다.

4. 알루미늄에 관한 문제점

알루미늄은 폭발시에 가스를 형성하지 않아도(반응생성물인 Al_2O_3 는 고체) 산화물의 생성열이 대단히 크기 때문에 다음과 같은 반응식에 의하여 폭발열을 증가시키고 fume에 높은 온도를 내게 한다.



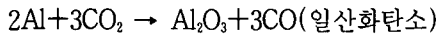
그러나, 알루미늄은 초기 폭발에서는 반응이 완결되지 않고, 발연대(fume zone)에서 계속되어 완결된다. 즉 일차 폭발하고 발생된 fume에서 반응안된 알루미늄이 공기와 혼화되어 뒤늦게 2차 폭발을 한다.

이러한 알루미늄에 관한 문제점을 지적한 것은 여러학자에 의하여 제기되었다. 이러한 문제점을 살펴본다.

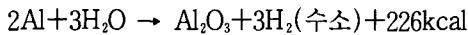
- (1) 알루미늄이 연소할 때 고열로 인하여 에너지를 증가시키므로 화약의 강도(strength)를 높이지만 폭속을 떨어뜨린다.
- (2) 화염이 크고 고열임으로 인화성가스와 폭발할 수 있다. 그러므로 지하발파에는 위험하다.

- (3) 물과 접촉할 때 수소가스가 발생될 수 있고 경시변화가 있을 수 있다.
- (4) 1차 폭발후 발연대(發燃帶, fume zone)에서 2차 폭발을 할 수 있다.

Kast, Stettbacher등이 발표한 바에 따르면 알루미늄(Al)은 실제 폭발에서는 역할을 못하고 이산화탄소(CO₂)와 물(H₂O)같은 폭발반응물질(폭발후 생성물질)과 뒤 따라서 즉시 반응한다고 주장하였다.



+196kcal



- (5) 알루미늄을 함수폭약에 첨가하면 이론방출 에너지를 상당히 증가시킨다고 한다. 그러나 실험에 의하면 알루미늄분말은 폭발 반응역내에서 완전히 반응이 안된다. 그러므로 암석파쇄가 일어나는 중요한 초기 팽창 상태에서 알루미늄의 연소에너지가 전부 발생하지 못한다.

일반적으로 연소후의 저압인 상태에서 알루미늄의 전부 또는 일부가 반응하여 비산되는 반응물질을 가열하는데 기여할 뿐이다.

- (6) 알루미늄이 함유된 함수폭약을 제조할 때 펌프이송 중에 폭발한 예가 있으므로 주의 하여야 한다.

5. 슬러리 폭약과 에멀전폭약의 특성

둘 다 물을 함유한 함수폭약이지만 계면화학적 측면에서 보면 슬러리 폭약은 물이 연속상인 형이고 에멀전폭약은 W/O형이다. 즉, 슬러리 폭약은 수용성 성분에 점조제로 결합된 상태이고, 에멀전폭약은 기름막의 연속상내에 수용성

물질의 작은 미립자가 내포된 상태이다.

공통점으로 내수성, 안전성등이 우수하고, 후가스가 매우 좋다. 특성은 다음과 같다.(표2)

(1) 약상태

약상태는 슬러리폭약이 슬러리상 내지 겔상인데 비하여 에멀전폭약은 다이ना마이트와 같은 교질상태가 가능하여 종이포장이 가능하다.

(2) 저온기폭성

뇌관으로 기폭되는 최저온도가 슬러리폭약이 약 -5℃인데 비하여 에멀전폭약은 약 -20℃이다.

(3) 폭속

슬러리폭약이 3500~4500m/sec이고 에멀전폭약은 4000~5500m/sec이다. 다이ना마이트는 5000~7000m/sec이다.

(4) 내압성

폭약이 압축되었을 때 폭발하지 않는 사압현상에 대한 저항성을 내압성으로 나타내는데 이 내압성은 다이ना마이트가 가장 우수하고, 다음이 에멀전폭약, 슬러리폭약 순서이다.

이처럼 에멀전폭약은 예감제를 포함하고 있지 않음에도 불구하고, 폭속치와 저온기폭성에 있어서 슬러리폭약보다 우수한 것이 특징이다. 그러나 다이나마이트보다는 폭속치가 떨어진다.

6. 맺음말

함수폭약은 내수성이 없는 ANFO를 개선하여 뇌관비기폭성(전폭약이 있어야 기폭되는 것)에

표 2 합수폭약과 다이나마이트의 특성

항목 \ 종류	슬러리폭약	에멀전폭약	다이나마이트(GD)
약 상 태	겔 상	교 질	교 질
포 장 형 태	플 라 스틱	종이, 플라스틱	종 이
저온기폭성(6호뇌관)	-5℃ 완폭	-20℃ 완폭	-20℃ 완폭
비 중	1.0~1.2	1.0~1.2	1.3~1.5
폭속 m/sec	3500~4500	4000~5500	5000~7000
내 수 성	우 수	우 수	우 수
순 폭	1~2	1~2	4~6

서부터 발달되어 뇌관기폭성(전폭약이 필요없이 뇌관만으로 기폭되는 것)으로 개발되어 왔다.

한편, 에멀전폭약과 슬러리폭약이 각기 다른 개념으로 개발되어 에멀전폭약은 다이나마이트와 같은 교질상태로 소구경종이포장이 가능하게끔 개발되어 왔다.

합수폭약은 안전을 고려하여 발전된 폭약이다. 다이나마이트에 비하여 충격 및 화염에 대한 안전성이 좋고 후가스가 좋으므로 앞으로 더욱 발전될 폭약이다.

그러나 수분을 5내지 20퍼센트 함유하고 있으므로 위력에 있어서는 다이나마이트와 비교하여 약간 적은 편이다.

위력이 다이나마이트와 비교하여 같거나 큰 것을 바라는 요구때문에 알루미늄이 에멀전폭약에 넣어지게 되는데, 알루미늄을 넣었다고 해서 폭속이 증가되는 것은 아니다. 오히려 사용시에 2차 폭발의 우려가 있어 안전상 위험하다.

계열활성제의 발달과 중공구체의 발전으로 알

루미늄을 넣지 않고도 특수 유화기술로 해서 계면을 활성화하여 위력을 향상시킬 수 있다.

따라서 수요자는 다이나마이트보다는 위력에 있어서 약간 떨어지더라도 안정상 사용하는 것이라는 마음가짐이 있어야 할 것이다.

또한 불가피하게 알루미늄을 함유한 에멀전폭약을 사용할 경우에는 2차 폭발이 있어도 위험하지 않는 외부 발파에만 주의하여 사용해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 工業火藥協會編: 火藥 Hand book
2. 石井康夫 外 3名: 最新發破技術
3. Per-Anders Persson의 2名: Rock Blasting and Explosives Engineering
4. Stig O Olofsson: Applied Explosives Technology for Construction and Mining
5. Basil T Fedoroff: Encyclopedia of Explosives and Related Items.