

爆藥의 特性과 Bench發破의 破碎效果

On The effect for Bench Cut and explosive feature

※ 李千植¹⁾ 外3人

S.s Lee and Associate

I. 폭약의 중요성

1. VOD
2. Charge Diameter
3. Confinement
4. Particle Size
5. 밀도
6. 온도
7. 수분
8. Initiation Explosive
 - 가. Thermal Explosive
 - 나. Shok Initiation
 - 다. Hot Spot 개념
9. Cap Test와 Sensitivity
10. The Channel Effect
 - 가. Internal Channel Effect
 - 나. External Channel Effect
 - 다. Channel Effect 방지

3. 발파사례

4. 결과

II. 폭약의 중요특성

발파시 중요한 요소로 화약,지질조건,사용장비,기록방법,자유면등이 있으나 각 작업장마다 그 조건이 달라 상대적인 비교가 곤란하나 발파에 있어 기본이 되는 화약의 특성을 이해하지 않고서는 설계에 따른 화약류를 결정하는데 어려움이 있다. 화약을 선정하는데 있어 여러가지 매개변수가 있으나 그 중 대표적인 Technology에 대해 열거해보면VOD,장약경,장전밀도,입자크기등이 있으므로 이에 대해 설명해보기로 한다.

III. Bench발파에서의 파쇄효과를 극대화시키는 방안

1. 개요
2. 초시영향 검토
 - 가. 공간 지발간격 초시에 의한 평균 파쇄관계
 - 나. 열간 다열발파시 기폭초시 간격과 파쇄도입의 영향
 - 다. 발파공 분리장약시 파쇄효과

1. VOD(Velocity Of Detonation)

화약이 장약공내에서 폭발하여 발생한 충격파가 진행되는 속도이며 화약의 특성 중 가장 중요한 것으로서, 일반적으로 비반응 물체곳을 통과하는 음속보다 빠르다. Commercial Explosive의 전형적인 VOD는 2,500~7,000M/sec이며 이것은 실제 정확하게 측정되어 장약공내의 Air Pressure및 폭발력의 산정에 중요한 자료로 쓰인다.

2. Charge Diameter

1) (株) 한화, 火藥事業部 次長. 火藥類管理技術士

장약경이 아주 작으면 화약은 전혀 폭력을 가지지 못하며, 적정 장약경에 도달하여야 폭발을 일으키는데 이것을 임계약경이라 한다. 일반적으로 장약경이 증가할수록 VOD는 점점 상승한다. 그러나 최대 VOD에 도달하면 더 이상 증가는 없다.

3. Confinement

Confinement의 효과는 장약공의 측면으로의 Gas 팽창비를 줄이는 것으로 그결과, 측면으로 방출되는 파를 더 오래 지속시킨다. Confinement한 것과 Unconfinement한 것과 차이는 크다.

만약, 장전된 화약이 일정 약경에 소폭 발하지 않는다면 Confinement되어야 하며 Confinement는 임계약경을 줄인다.

4. Particle Size

폭입자가 적어지면 입자 표면적의 증가로 반응정도는 크다. 즉 임계약경이 작아지고 반응력은 커진다.

5. 밀도

밀도가 증가하면 Specific Energy가 증가하며 폭속도 커진다. 그러나 일정한계 이상으로 증가할 경우, 오히려 기폭이 어려워지는 현상이 발생하는데 이것을 Dead Packing이라 한다.

6. 온도

실제로 Vod와 온도와는 큰 관계가 없으나 임계약경은 온도에 크게 영향을 받으므로 2차적인 요소라 하겠다. 온도가 떨어질수록 임계약경은 증가한다.

7. 수분

Slurries Emulsion 또는 GD등은 발파공 내의 수분에 그리 영향을 받지 않으나

ANFO등은 물에 대한 저항성이 전혀 없으므로 물을 흡수하여 둔감해진다.

8. Initiation Of Explosive

Explosive는 열, 마찰, 화염에 의하여 폭발한다. 일반적으로 Primary Explosive는 화염에 의하여 기폭되어 Shock를 발생하고 이 Shock는 또다시 Secondary Explosive를 기폭시킨다.

가. Thermal Explosive

모든 화약은 그 특성으로 발화점 (critical Temperature)을 가지고 있다. 화약이 열을 흡수하여 발화점에 도달하면 그 자체로 발산할 수 있는 속도보다도 빠르게 열을 방출하고 또 다시 받아들이며, 화학적 분해를 일으킨다. 이를 막기 위해서는 열의 발산을 자연적으로 할 수 있도록 저장되어야 하며 작은 조각으로 분산되어야 한다.

나. Shock Initiation

Shock Initiation에 관련하여 화약은 두가지로 구분할 수 있는데, 그것은 Homogeneous와 Heterogeneous 이다. Homogeneous의 균질성에 반하여 Heterogeneous는 Gas Bubble, Grit, 금속, 비금속입자등의 물질을 함유한 Mader (numerical Modelling Of Detonation)에 의하면 Heterogeneous 내에 하나의 Gas Bubble, Grit가 있으면 Initiation에 필요한 최소의 Shock Pressure는 대폭 줄어들게 된다.

발파공내에서 일정간격을 두고 Doner와 Acceptor를 설치하고 Doner를 기폭하여 Acceptor를 기폭하도록 만드는 실험에서 Homogeneous 보다 Heterogeneous는 훨씬 큰 차이를 보인다.

Mader는 이것을 "Hot-Spot"로 설명하였다. Shock Wave가 진행하게 되면 재료의

재료의 불연속으로 인한 에너지의 집중이 발생하는 Hot Spot가 생기고 또 에너지를 방출하여 더 큰 Hot Spot를 만들어 점점 Shock Wave도 커지게 된다.

다. Hot-Spot의 개념

Bowden & Yoffee에 의하면 Hot-Spot는 일에 근거하다고 하였다. 화약에 충격, 마찰등의 기계적인 작용을 가하면 열을 생성하고 상승시켜 일부지역에 집중시키므로 Hot-Spot를 만든다.

Hot-Spot를 생성시키는 요소는 다음과 같다.

위의 3가지 중 가장 신뢰도가 높은 것은 내부에 존재하는 빈 공간에 의한 Hot-Spot 생성이다. 초창기 이론은 Gas Bubble의 단열압축에 의하여 고열이 축적되는 것으로 설명하였으나, 실제로 화약과 Bubble사이의 열전달은 수 Ms정도로 Blasting의 속도에 비해 느린 것으로 측정되어, 현재에는 Bubble표면을 자극하여 높은 온도와 압력의 Hot Spot를 형성하는 것으로 설명하고 있다.

정확한 Hot Spot의 생성원리는 규명되지 않았으나 위3가지 정도의 Mechanism으로 보고되고 있다.

9. Gap Test와 Sensitivity

화약의 Gap Sensitivity는 중요한 화약의 특성이다. Gap Sensitivity가 낮다면, 발파공내에서 암분이나 Air Gap에 의하여 전폭력이 방해받으므로 불발을 유발하고 그 반대편의 경우에는 발파공내에서 순폭을 보일수 있으며 정해진 Delay Pattern이 아닌 열과 열사이를 뛰어넘어 기폭될 수 있으며 그 결과로 과도한 진동과 피석을 발생시킬 수 있다.

10. The Channel Effect

가. 소개

Channel Effect는 발파 Pattern을 선정하거나 Wall Control Blasting의 설계에서 중요한 요소이며 Internal Effect & External Channel Effect의 2가지로 나뉘어진다.

나. Internal Channel Effect

원통형 장약(cylindrical Charge)에서 내부축을 따라 구멍(channel)이 뚫려 있으면 화약은 내부의 Channel 속을 흐르는 Gas에 영향을 받는다. Presson에 따르면, Channel속의 Gas는 발파에 의하여 움직이게 되고 기폭면에서 화약을 압축하게 되어 그 결과로 순수한 원통형 장약에 비해 Vod을 높이는 작용을 한다.

Channel Diameter에 따른 Vod의 변화.

$$v = \frac{Up}{1 - \rho_0 / \rho_1}$$

여기서 v : gas전면에서의 air shock속도

Up : 공기중에서의 입자속도

P₀ : 초기 공기 밀도

P₁ : 발파 후 공기밀도

VOD를 위식으로 Air Shock Wave의 속도를 구할 수 있다. 그러나 Air Shock 속도는 보통 계산치보다 상위하는 수준으로 측정된다. Persson은 이것을 높은 온도를 가진 압축공기의 층에 의한 효과를 보고 있다.

Persson's Mechanism

먼저, 기폭점과 Shock Wave사이에는 고온 고압의 Gas층이 형성되고 팽창하면서 그 길이가 점점 커진다. 최소 기폭시 발생한

Shock Wave와 입자속도는 반대로 점점 약해져 감소하는데 이것이 화약의 VOD 수준으로 떨어졌을때 2차적인 충격이 가해지고 새로운 충격파를 형성한다.

TNT보다 Tetryl과 PETN에서의 VOD 차이가 더 큰것을 보면 예감한 화약일수록 더욱 Channel Effect가 크다는 것을 알 수 있다.

Internal Channel Effect는 비전기식 뇌관의 Shock Tube에 응용되어 쓰이고 있으며 Blasting Cap이나 Detonation의 전달에 사용된다.

다. External Channel Effect

Rock Blasting 분야에서 External Channel Effect는 매우 중요하다. 이것은 원통형 장약과 그 외부의 용기(발파공 또는 파이프)사이의 Channel에서 생기며 그 형식은 Internal Channel Effect와 비슷하다. 그러나 결과 및 적용방식이 다르며 Channel Effect라고 하는 것은 이것을 말한다. 대체로 기폭된 화약에 의한 Gas는 Channel을 통해 이동하여 Air Column을 형성하고 화약을 압축하게 되는데 그 결과로 Dead Packing현상을 생기게 하거나 Pre-shocking에 의하여 화약을 둔감화시킬수 있다.

Johansson은 Ammonia Gelatine으로 현상에 대해 조사하고 다음과 같이 Channel Effect에 의한 사압 또는 불폭범위를 규정하였다.(VOD가 2,100~2,200m/sec에서만 적용)

$$0.25 < Q < 13.6$$

여기서 $Q = (St - Sc)/Sc$

St : 발파공의 단면적

Sc : 폭약의 단면적

또, Udy는 Slurry와 ANFO에서 이 현상을 발견하고 Slurry에서는 q치를 0.85~2.25로 정의하였다.

$$v = \frac{D}{1 - \rho_0 / \rho_1}$$

$$= \frac{K+1}{2} D = 1.12D$$

여기서, V : Gas전면에서의 Air Shock속도

D : VOD(=UP)

K : 단위발열비

P₀ : 초기 공기 밀도

P₁ : 발파 후 공기 밀도

위식이 의미하는 것은 발파공내에서 화약이 기폭되면 폭속(vod)보다 공기의 Shock 속도가 약1.2배 정도 빠르다는 것을 의미한다. 실제로 측정된 V값은 계산치보다 상당히 높게 나타난다.

라. Channel Effect방지

Channel Effect란 Presplitting의 응용에서 기본적인 기술이다. 그러나, Open Pit Blasting에서는 오히려 화약의 힘을 감소시키는(-)요인으로 작용하므로 Channel Effect가 생기지 않도록 하여야 한다. 대부분의 Commercial Explosive는 약경이 25m/m이상으로 사용되며 ϕ_1/ϕ_c 도 1.25 이하이다.

Channel Effect방지하는 방법으로는 아래와 같다.

- ① Bulk 장전
 - ② 장약외부의 빈 공간에 물,모래,거품(기름방울)등을 채우는 방법
 - ③ 약포와 약포사이에 CardbordRibg, Plastic Spider, Sleeve등을 끼우는 방법
- Channel이 생기더라도 구간구간 발생

하여 소멸함.

④ 대약경 발파 - Emulsion은 40mm이상, Slurry는 90m/m이상으로 함.

⑤ 도폭선발파

II. Bench 발파에서 파쇄효과를 극대화시키는 방법

1. 개요

발파시 파쇄효과에 영향을 미치는 요소로서는 암질상태, 자유면, 공간격, 폭약의 선택등 많은 영향이 있겠으나 본 자료에서는 뇌관 배열 초시에 의한 파쇄효과를 검토해 보기로 한다.

BENCH 발파에서의 파쇄효과에 영향을 주는 요소로서는 첫째, 공간 지발간격초시와 평균 파쇄입도

관계

둘째, 열간 다열발파시 기폭초시 간격과 파쇄도입의 영향.

셋째, 발파공 분리장약이 있다.

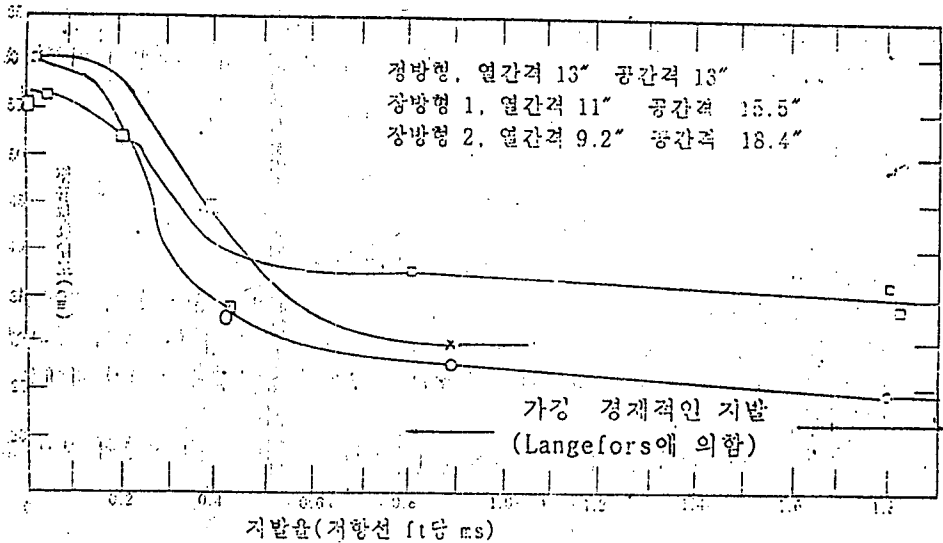
그러면, 각항에 의한 초시영향을 검토해 보기로 한다.

2. 초시 영향 검토

가. 공간 지발간격의 초시에 의해 평균파쇄입도 조정시킬수 있다.

최적의 파쇄를 이루기 위해서는 열내 인접 발파 공간의 지발시간을 유효저항선 1ft (0.3048m) 당 최소한 1ms(3.28ms/m)로 해야 한다.

단열내의 5개 발파공에 대한 실험 (Bergman외, 1994.)에서 보면 $S/b=1,1.4,2$



중 어느것이든 지발 시간이 0.7ms/ft (2.3ms/m)이상이면 평균파쇄 입도가 일정하다.

※ 공간 지발간격이 평균파쇄입도에 미치는 영향

모든 발파에 대해 화약계수(저항선×공간격)은 같음.(Bergman외, 1974)

☞ 12m 천공시 - 천공패턴 : 2×3m
공간지발시간은

$$3m / 0.328(1ft) \times 1ms = 9.8ms$$

$$3m / 0.328(1ft) \times 0.7ms = 6.9ms$$

☞ 9m 천공시 -

①천공패턴 : 2 × 2.5m이면

$$2.5m / 0.328m(1ft) \times 1ms = 8.2ms$$

$$2.5m / 0.328m(1ft) \times 0.7ms = 5.8ms$$

②천공패턴 : 2 × 2m

$$2m / 0.328m(1ft) \times 1ms = 6.6ms$$

$$2m / 0.328m(1ft) \times 0.7ms = 4.6ms$$