

장약조건에 따른 폭속 변화 연구

Investigation of the Relationship between Velocity of Detonation and Charging Condition

조 영곤, 김 희도, 안 봉도

Young-gon Joe, Hee-Do Kim, Bong-do An

(주)고려노벨화학

초 록

화약의 힘을 결정하는 요인은 폭속, 가스량, 폭발열등이 있다. 이중 폭속은 화약의 힘을 결정하는 중요한 요인이다. 이러한 폭속을 결정하는 조건은 화약내 구성성분에 따라서 달라진다. 그러나 동일한 화약조성일 경우 폭발속도는 공기중과 같은 개방상태, 천공 내와 같은 밀폐상태에서 차이가 있을 것이며, 또한 이론상 약경, 장전밀도, 뇌관의 위력, 장전방법 등에 의해 지배를 받는다고 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 국내 산업용화약류를 대상으로 상기의 조건들을 달리하여 폭속을 측정하고, 그 결과를 바탕으로 실제 폭약의 폭속에 영향을 미치는 조건을 찾아내고 이러한 조건의 변화에 따라 폭속이 어떻게 변화는 지를 알아보고자 한다.

핵심어 : 폭속, 장전밀도, 뇌관의 위력

1. 서 론

화약은 폭발시 발생하는 충격압과 가스압을 이용하여 암석을 파괴하게 된다. 화약의 폭발에는 폭연(Deflagration)과 폭굉(Detonation)이 있다.

폭연이란 저성능 폭약에서의 폭발반응으로서 반응속도가 음속보다 느리며 따라서 폭발에 의해 충격파가 발생하지 않는다. 반응속도는 보통 300m/sec내로 된다. 폭굉은 물체가 발열화학반응을 수반해 분해할 때에는 화염을 수반하지만 화염의 전파속도가 매질중의 음속보다 빠르고,

화염면의 직전에 압력의 불연속적인 용기를 수반해 충격파가 급속도로 빨라진다. 이 현상을 폭굉이라 하고, 연소와는 구별한다. 국내에서 생산되는 산업용화약류 대부분이 폭굉반응을 띄는 화약류이다. 반응속도는 2,000~8,000 m/sec에 이른다. 여기서 말하는 화약의 폭굉속도(VOD, Velocity of Detonation)란 폭속이라고도 한다. 폭속은 폭발파가 폭약을 통해 전달되는 속도로서 폭약의 강도를 결정하는 중요한 성질이다. 일반적으로 동일한 화약류를 사용하더라도 폭속을 측정하는 조건에 따라서 차이를 보이게 된다. 개방상태에서의 폭속은 밀폐 폭속의 70~80% 정도이다.(Richard, 1969) 또한 폭속

(VOD, Velocity of Detonation)은 1.약포의 지름, 2.폭약의 양, 3.폭발할 때의 저항, 4.장전밀도, 5.뇌관의 위력, 6.장전방법 등에 의해 지배를 받는다고 알려져 있다. 폭속 측정조건과 장약조건을 달리하여 현재 국내에서 사용하고 있는 산업용 폭약을 대상으로 폭속의 변화를 알아보고 또한 최대의 폭속을 얻을 수 있는 조건을 구하는 것이 본 실험의 목적이다.

2. 본론

2.1 폭속측정방법

국내에서 폭속시험은 KS-M-4802에서 규정하는 방법이 있다. 그러나 본 시험에서는 세계적으로 공인되고 국내화약 제조사에서 사용하고 있는 Instantel사의 VM0122측정기(그림 5.)를 사용하였다. 이 측정기는 Timer식과 저항식을 두 가지 방식으로 측정할 수 있는 기계이며, 본 시험에서는 Timer식을 기준으로 시험을 실시하였다.

(1) Timer 방식

1) 폭발 속도는 두 지점간의 시간으로 결정된다.

2) 폭약에 일정한 거리(30cm)를 두고 구멍을 뚫는다.

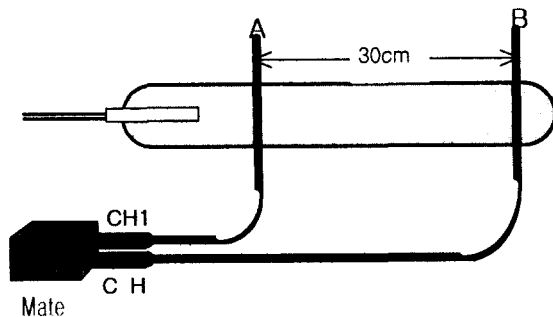


그림 1. Timer 방식에 의한 VOD Mate

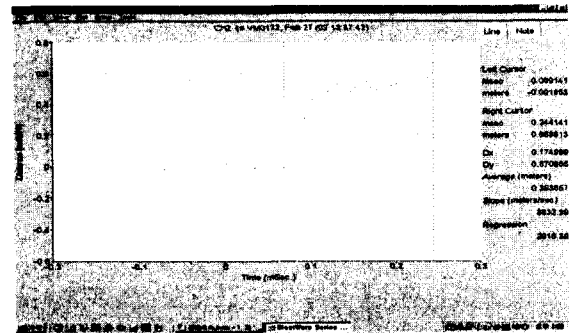


그림 2. Timer 방식에 의한 VOD 측정결과

3) Sensing cable의 끝부분을 단락 시킨 후, 두 지점에 Sensing cable을 꽂는다.(그림 1 참고)

4) Sensing cable이 빠지지 않도록 테이프로 감는다.

5) 공 내에 넣는다.

6) 두 Sensing cable(CH1, CH2)을 VOD Mate에 연결한다.

7) 발파로 인해 VOD Mate가 영향을 받지 않도록 안전한 곳에 둔다.

8) 발파를 실시하면 자동적으로 Data가 저장된다.

9) VOD Mate를 PC에 연결한다.

10) 기록된 Data를 분석하여 두 지점간의 시간을 측정한다.

11) 아래의 계산식에 의하여 VOD를 측정한다.

$$VOD(m/s) = \frac{A지점과 B지점간의 거리}{A지점 시간 - B지점 시간}$$

(2) 저항방식

1) 폭약에 sensing cable 을 끝부분을 단락 시킨 후 연결한다.

2) 폭약에서 떨어지지 않도록 Tape로 묶어준다.

3) 공속에 폭약과 함께 약장이 약 2m 정도

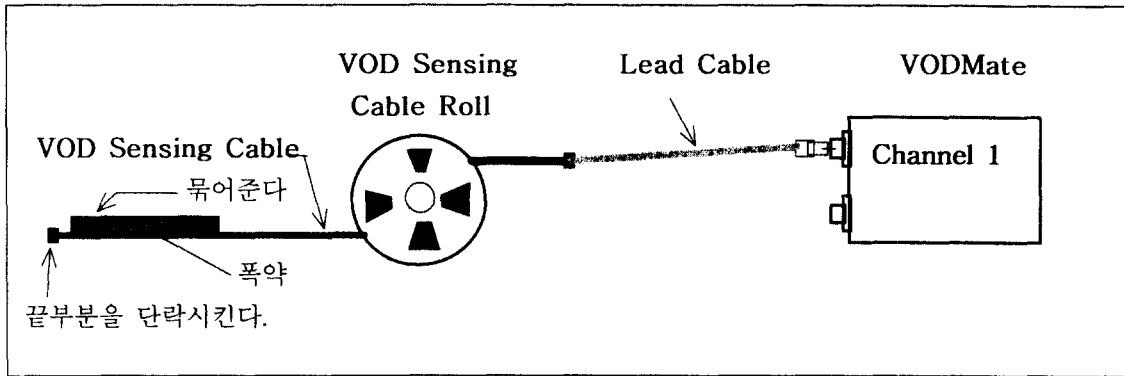


그림 3. 저항 방식에 의한 VOD Mate 설치 방법

되게 넣는다.

4) 발파로 인해 VOD Mate가 영향을 받지 않도록 안전한 곳에 둔다.

5) 발파를 실시하면 자동적으로 Data가 저장된다.

6) VOD Mate를 PC에 연결한다.

7) PC에서 그래프의 기울기로 VOD를 구한다.



그림 5. InstanTel사의 VODMate

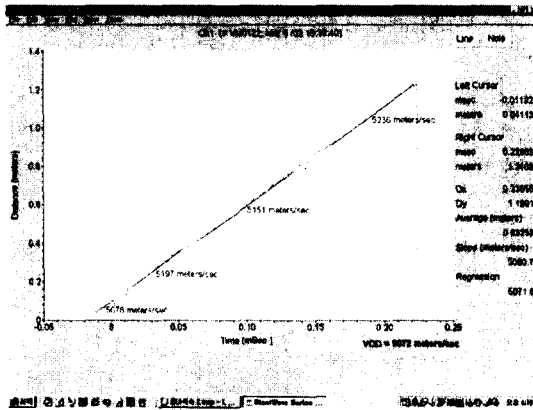


그림 4. 저항 방식에 의한 VOD 측정결과 그래프

2.2 시험 방법

본 시험에서는 폭속의 변화를 알아보기 위하여 다음과 같이 시험을 실시하였다.

(1) 장약조건에 따른 폭속의 변화를 알기 위하여 동일 암반에 천공경 45 mm, 천공장 3 m로 천공을 하고 Emulsion계 폭약을 사용하여 약포지름(32 mm, 36 mm), 뇌관의 위력(3호 뇌관, 8호 뇌관), 전색의 유무에 대하여 각 3회씩 실시하였다.

(2) 공내 화약의 충전정도에 따라 폭속이 어떻게 변화는지 알아보기 위하여 36.7 mm 철관에 약경이 다른 Emulsion계 폭약을 사용 충전정도를 달리하여 각 3회씩 시험하여 평균폭속을 얻었다.

(3) 개방상태와 밀폐상태의 폭속변화를 알기 위하여 개방상태는 대기 중에서, 밀폐상태는 천공 내에서 각 3회씩 시험하여 평균폭속을 얻었다.

3. 시험결과

3.1 천공 내 장약조건에 따른 폭속 변화

균일한 암반에 천공경 45 mm, 천공장 3 m 를 기준하여 폭약은 Emulsion 32 mm, 36 mm 폭약을 사용하였고, 뇌관의 위력은 3호 뇌관과 8호 뇌관을 사용하였으며 (3호 뇌관은 현재 국내에서 생산되지 않아서 비슷한 약량의 비전기 뇌관 미니뇌관을 사용), 장전방법은 전색의 유 무로서 판단하여 각 3회씩 시험하여 표 1과 같은 결과를 얻었다.



그림 7. 32 mm 전색, 8호 뇌관

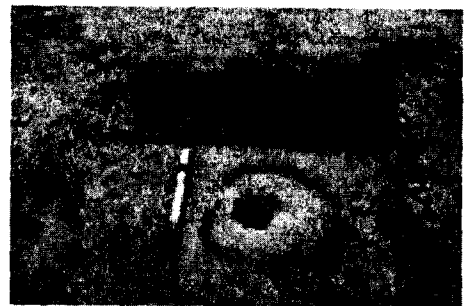


그림 8. 32 mm 무전색

표 1. 장약조건에 따른 폭속의 변화

순서	Φ32mm		Φ32mm		Φ36mm	비 고
	3호 뇌관	8호 뇌관	전색	무전 색		
1	4,700	4,695	4,559	4,369	4,954	
2	4,733	4,723	4,695	4,730	4,993	
3	4,695	4,640	4,523	미계측	5,165	
평균	4,709	4,686	4,592	4,549	5,037	

*실제 제조회사의 폭속과는 시험방법 및 조건이 틀리므로 다소 차이가 있을 수 있다.

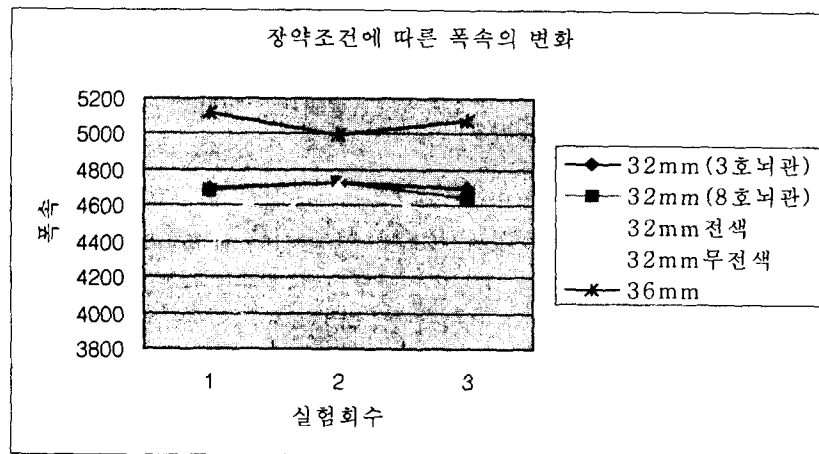


그림 6. 장약조건에 따른 폭속변화 그래프



그림 9. 36 mm 전색

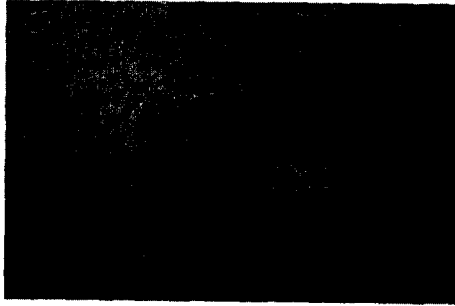


그림 10. 32 mm 3호 뇌관

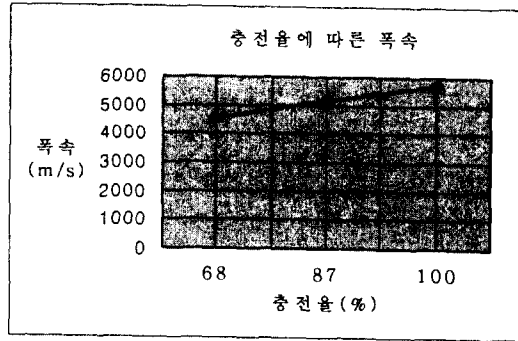


그림 11. 충전율에 따른 폭속변화 그래프



그림 12. 시험에 사용한 철관의 직경

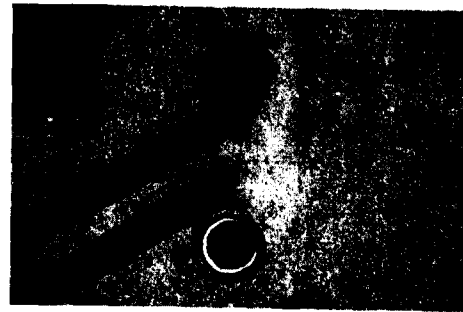


그림 13. 철관에 폭약을 충전한 모습

3.2 폭약 충전율에 따른 폭속 변화

공속을 폭약이 채우는 정도를 충전율이라 할 때 충전율 변화에 따른 폭속의 변화는 표 2와 같다.

표 2. 측정상태에 따른 폭속의 변화

폭약종류	구분	개방상태 (대기중)	밀폐상태 (천공내)
	평균폭속(m/s)		
Emulsion계		4,726	4,686
Ng계		4,308	4,335

* 실제 제조회사의 폭속과는 실험방법 및 조건이 틀리므로 다소 차이가 있을 수 있다.

3.3 개방상태와 밀폐상태에 따른 폭속 변화

국내에서 주로 사용되는 산업용 화약류를 대상으로 폭속을 측정된 결과 표 3과 같다.

표 3. 폭약 충전율에 따른 평균폭속

충전율(%)	구분	평균폭속(m/s)
68		4,560
87		5,142
100		5,720

4. 결 론

폭속에 대해 일반적으로 알려진 이론들을 바탕으로 폭속에 영향을 미치는 요인 및 기타 조건들을 달리하여 폭속을 측정한 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 약경, 뇌관의 위력, 전색의 유무 세 가지 조건중 약경 외 다른 조건들은 폭속에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(2) 충전율에 따라서 폭속의 변화는 68% 충전시 4,560m/s, 87% 충전시 5,142m/s, 100% 충전시 5,720m/s로 충전율이 높을수록 폭속이 높게 나타났다. 즉 동일한 화약류를 사용하더라도 충전율에 따라서 폭속이 최대 1,160m/s정도의 차이가 있는 것으로 밝혀졌다.

(3) 충전율이 약71% 이하부터는 개방상태와 밀폐상태의 폭속이 비슷하였고, 충전율이 71% 이상이면 밀폐상태의 폭속이 증가하기 시작하였다.

(4) 폭속 시험자료의 정확성을 높이기 위하여 앞으로 지속적으로 추가적인 시험을 실시하여 자료를 보강할 것이다.

참 고 문 헌

1. 김 재극, 산업화약과 발파공학
2. 윤 철현, 최신화약발파해설
3. 원기술, 신 발파핸드북
4. InstanTel, VODMate Operator Manual
5. Richard, A.D., 1969, Factors in selecting and applying commercial explosives and blasting agents, US Department of the Interior