

카트리지 폭약의 장약실험에 따른 위력변화 및 장약방법에 대한 연구

김희도^{1)*)}, 이익주¹⁾, 안봉도¹⁾, 최성현¹⁾, 박진호¹⁾

1. 서 론

국내 발파현장에서 사용하는 폭약의 종류는 발파장소, 발파목적 및 규모에 따라 다양한 위력과 직경 및 종류의 폭약을 사용하고 있다. 이는 대부분 카트리지 형태로 포장된 제품으로써 발파장소에서는 발파효율을 집중시키기 위하여 장약작업시 장약봉을 이용하여 다짐을 실시하고 있다. 또한, 과거에는 인력작업이 아닌 공기압축기를 이용하여 카트리지 폭약의 장약집중도를 높이기 위한 장약작업이 사용되기도 하였으나, 최근에는 선진화된 폭약제품과 장약방법으로서 벌크형태의 폭약제품인 ANFO나 벌크에멀전을 이용한 집중장약이 가능하여 발파효율을 향상시키고 있으며, 많은 발파현장에 보급되고 있다. 본 연구에서는 카트리지 폭약의 종류 및 작업형태에 따른 장약 실험을 실시하였으며, 장약작업시 카트리지 폭약의 다짐전과 다짐후의 외형변화를 관찰하였고, 이때 발생한 위력수준의 변화를 알아보려고 한다.

2. 카트리지 폭약의 장약실험

2.1 실험항목 및 방법

카트리지 폭약의 장약작업을 실시하기 위하여 폭약의 종류와 포장재질에 따라 투명관을 이용하여 장약봉을 2M, 4M로 변화하면서 다짐작업을 각각 실시하였고, 이를 통한 카트리지 폭약의 외형변화 및 장약길이 변화와 다짐전후의 폭속측정을 통한 위력변화를 관찰하였다.

2.2 실험 폭약의 종류

장약실험을 위해서 국내 발파현장에서 가장 일반적으로 사용하고 있는 (주)고려노벨화약에서 생산하는 표1의 제품을 사용하였다.

1) (주)고려노벨화약

*Corresponding author : nonelgim@hanmail.net

표1. 실험폭약의 종류 및 제원

| 폭약의 종류 | 제원 | 직경 | 포장재질 | 사용현장 |
|--------------------|-----|----|-----------|---------|
| New Emulite 150 | 400 | 32 | 지관 | 노천용 터널용 |
| New Emulite 150 | 200 | 32 | wax paper | 노천용 터널용 |
| Super Emulsion 200 | 400 | 32 | 지관 | 터널용 |

2.3 폭속 시험 장치

국내에서 폭속시험은 KS-M-4802에서 규정하는 방법이 있다. 그러나 본 시험에서는 세계적으로 공인되고 국내화약 제조사에서 사용하고 있는 Instantel사의 VM0122측정기(그림 1)를 사용하였다. 이 측정기는 Timer식과 저항식을 두 가지 방식으로 측정할 수 있는 기계이며 본 시험에서는 저항식을 기준으로 시험을 실시하였다.

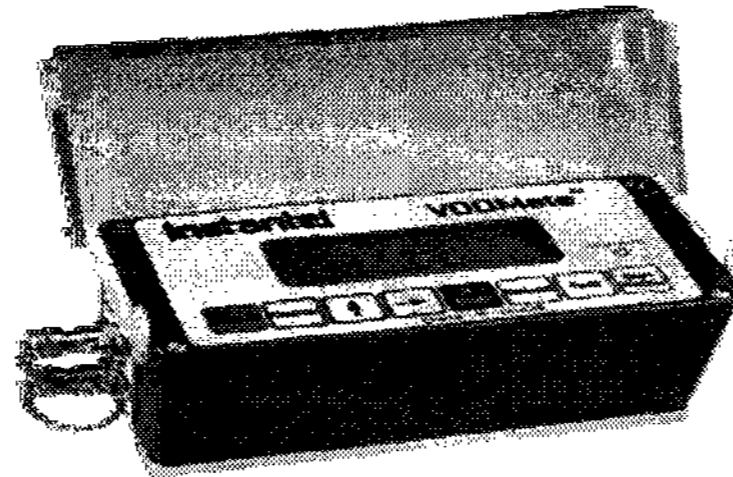


그림 1. VM0122 폭속측정기

(1) Timer 방식

폭속측정기와 에멀전폭약 샘플을 준비하여 그림 2와 같이 폭속측정기의 채널1을 뇌관의 기폭 부분이 되게 에멀전 폭약에 일정거리(30cm)를 두고 센서케이블을 단락시켜 설치하고 폭약을 폭발시키면 폭속자료가 자동으로 폭속측정기에 기록된다. 기록된 폭속자료는 컴퓨터로 불러서 그래프의 변화가 시작되는 시점의 시간을 읽어 그 값을 거리에 대하여 나누어 주면 폭속이 계산되어지며 아래식으로 표시된다.

$$VOD(m/s) = \frac{A지점과 B지점사이의 거리}{A지점의 시간 - B지점의 시간} \quad (1)$$

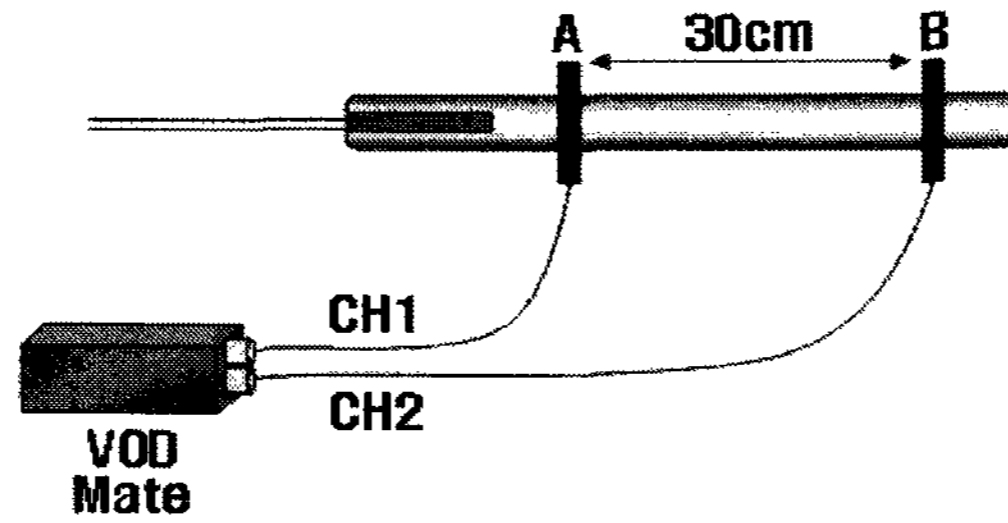


그림 2. VOD Mate 설치 방법

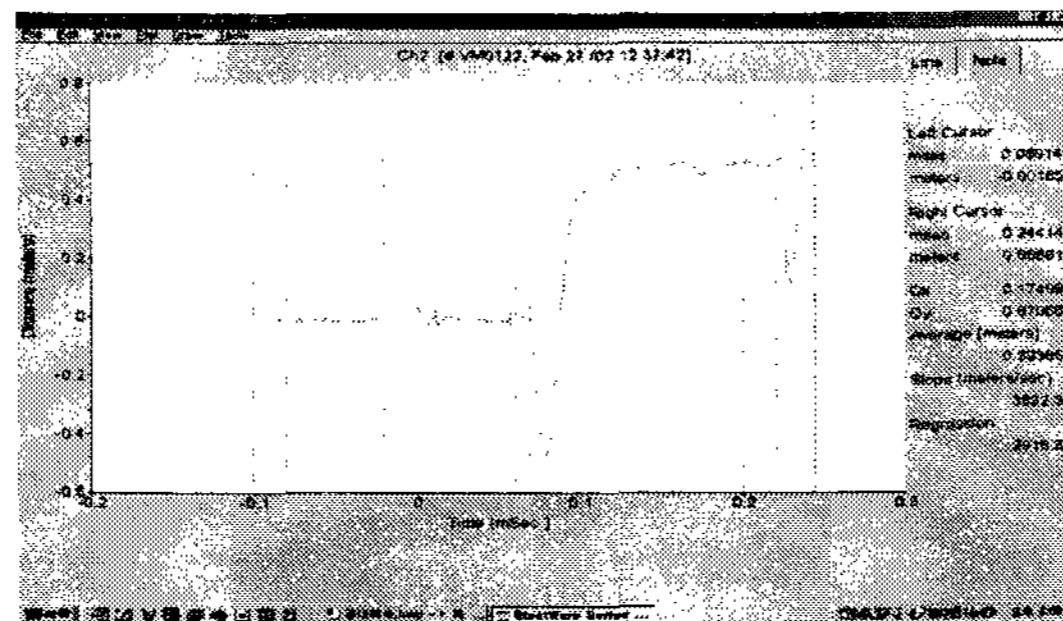


그림 3. VOD 측정결과 그래프

(2) 저항방식

그림 4와 같이 폭약에 sensing cable을 끝 부분을 단락시킨 후 폭약에서 떨어 지지 않도록 Tape로 묶어 준다. 폭약의 최소 0.4m 이상은 센서케이블과 묶어야 하며 발파로 인해 폭속 측정기가 영향을 받지 않도록 안전한 곳에 설치한 후 발파를 실시하면 자동적으로 Data가 저장된다. 측정 종료 후 폭속측정기를 PC에 연결하면 그림 5의 그래프로 나타나며 그래프의 기울기로 VOD를 구한다.

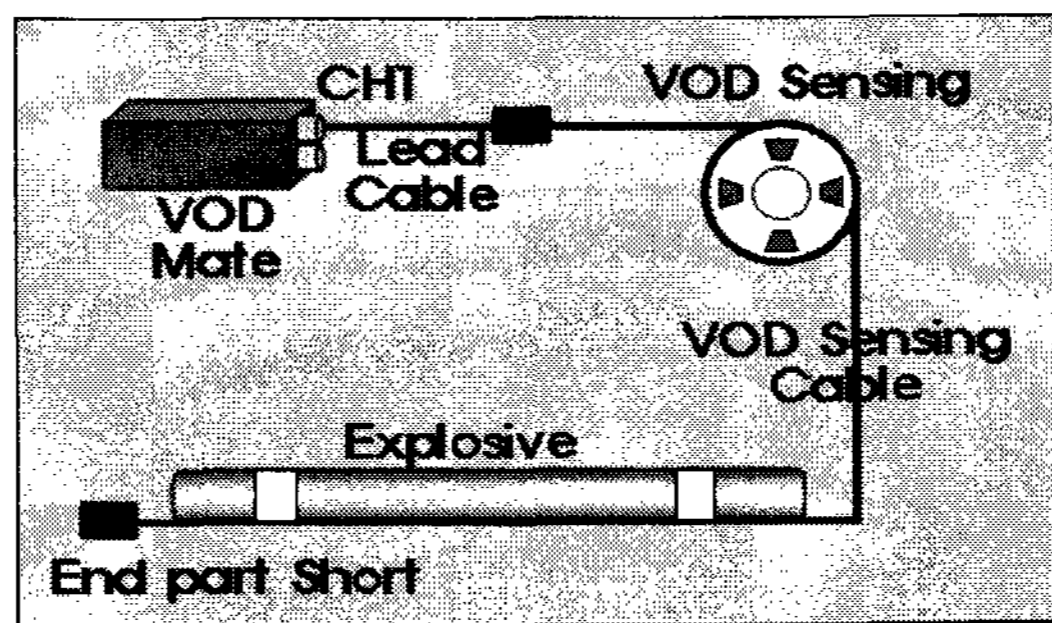


그림 4. 저항방식 폭속 측정 방법

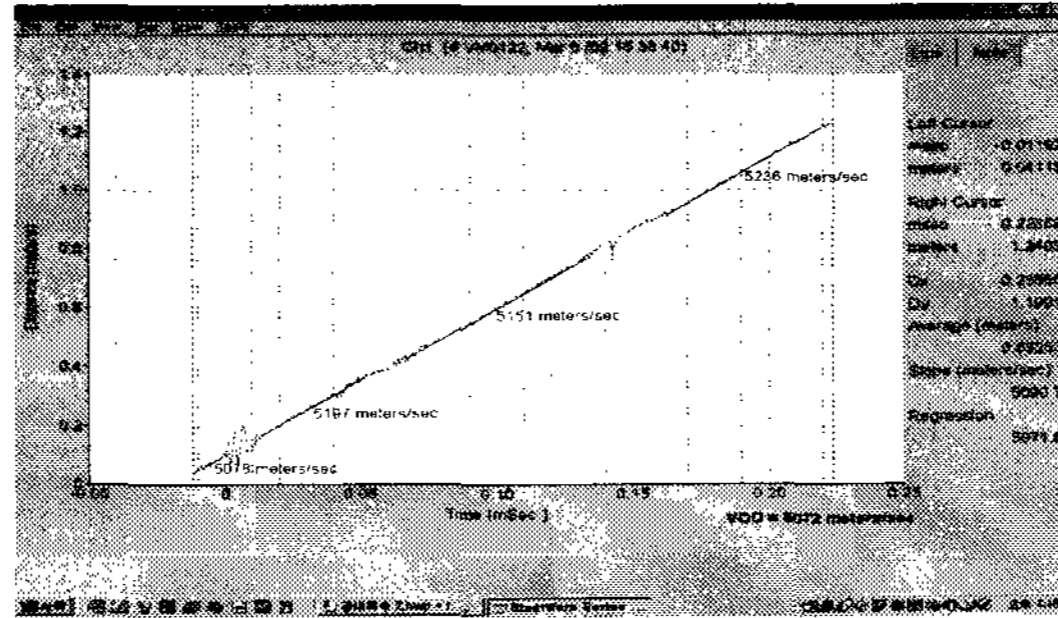


그림 5. VOD 측정결과 그래프(저항방식)

2.4 장약 실험

본 실험을 위하여 사용한 카트리지 폭약에 대하여 장약봉을 각각 2M, 4M로 변경하면서 3차례에 걸쳐 폭약의 다짐상태를 확인하여 투명관내의 다짐상태를 비교하였다.

가. 1차 장약실험

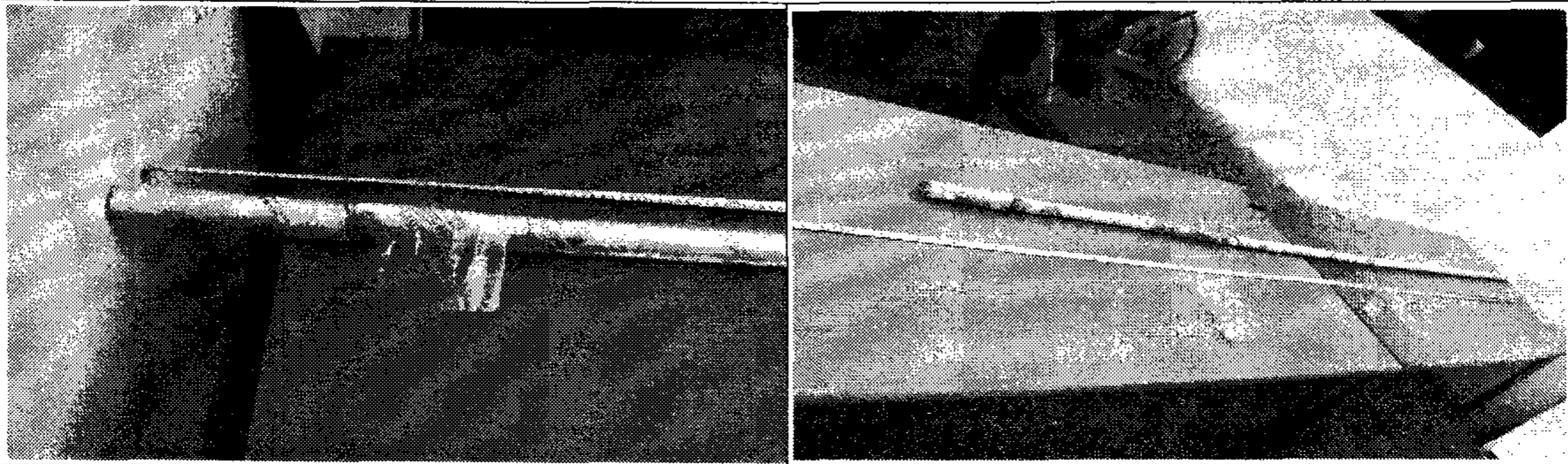
New Emulite 150 (32m/m x 400m/m) 지관 포장제품에 대하여 장약봉을 변경하면서 장약 실험을 실시하였다. 천공길이를 4M 기준으로 폭약은 8분을 사용하여 총 장약장은 3,200m/m이다. 일반적으로 발파현장에서와 같이 장약봉을 2M로 한 경우는 2차에 걸쳐 장약을 실시하였으며, 다짐후 길이는 2,990m/m로 210m/m가 다짐이 되었고, 압축률은 6.5%이었다. 또한, 공저부분 밀장전을 위하여 장약봉을 4M로 사용한 경우는 3차에 걸쳐 장약이 이루어졌으며, 다짐후 길이는 2,800m/m로 400m/m가 다짐이 되어 압축률은 12.5%가 되었다. 그림 6은 투명관을 이용하여 장약실험을 하는 모습이며, 다짐후 천공경 내의 압축률 결과는 표 2와 같다.

나. 2차 장약실험

동일한 방법으로 New Emulite 150 (32m/m x 200m/m) wax paper 포장제품에 대하여 장약실험을 실시하였다. 폭약은 16분을 사용하여 총 장약장은 3,200m/m이다. 장약봉을 2M와 4M로 한 경우 다짐후 장약길이는 각각 2,770m/m와 2,370m/m가 되었으며, 다짐길이는 430, 830m/m가 되어 압축률은 각각 13.4%와 25.9%로 나타났다.

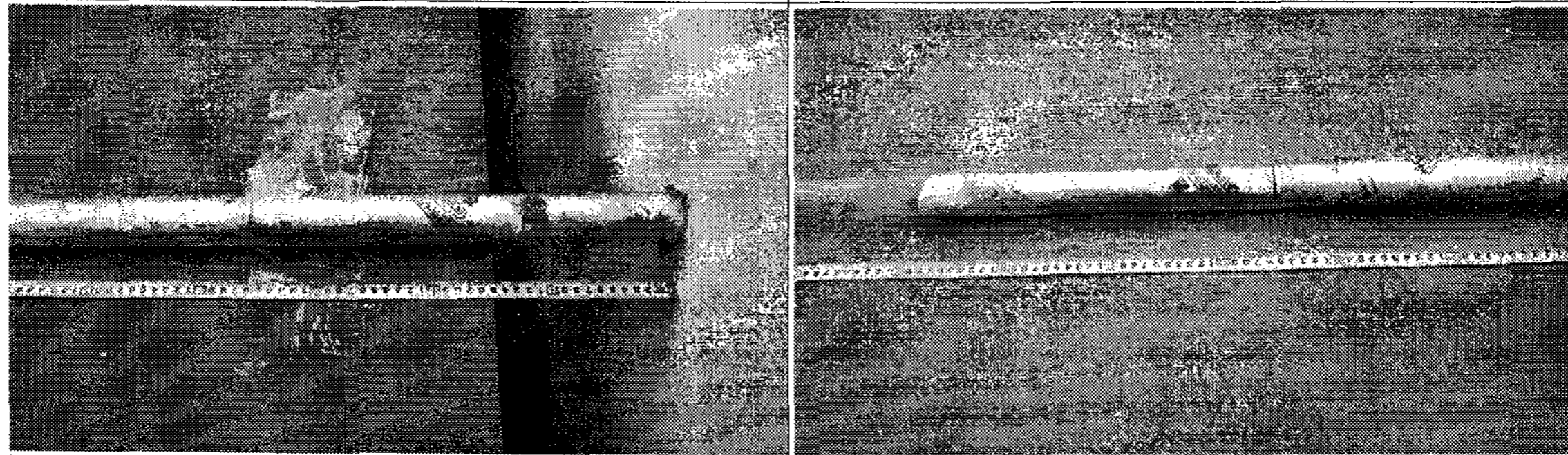
다. 3차 장약실험

동일한 방법으로 Super Emulsion 200 (32m/m x 400m/m) 지관 포장제품에 대하여 장약실험을 실시하였다. 폭약은 8분을 사용하여 총 장약장은 3,200m/m이다. 장약봉을 2M와 4M로 한 경우 다짐후 장약길이는 각각 2,990m/m와 2,800m/m가 되었으며, 다짐길이는 210, 400m/m가 되어 압축률은 각각 6.5%와 12.5%로 New Emulite 150 (32m/m x 400m/m) 지관 제품과 동일하였다. 그림 6은 투명관을 이용하여 폭약의 종류에 따라 장약한 결과를 보여주는 사진이며, 일반 발파현장에서와 같이 장약봉을 2M 미만으로 사용했을 경우는 공저부분의 폭약은 재질에 상관없이 거의 외형적인 변화가 없었으며, 공구부분의 2~3개의 약포에만 다짐이 일어나는 것을 볼 수 있다. 따라



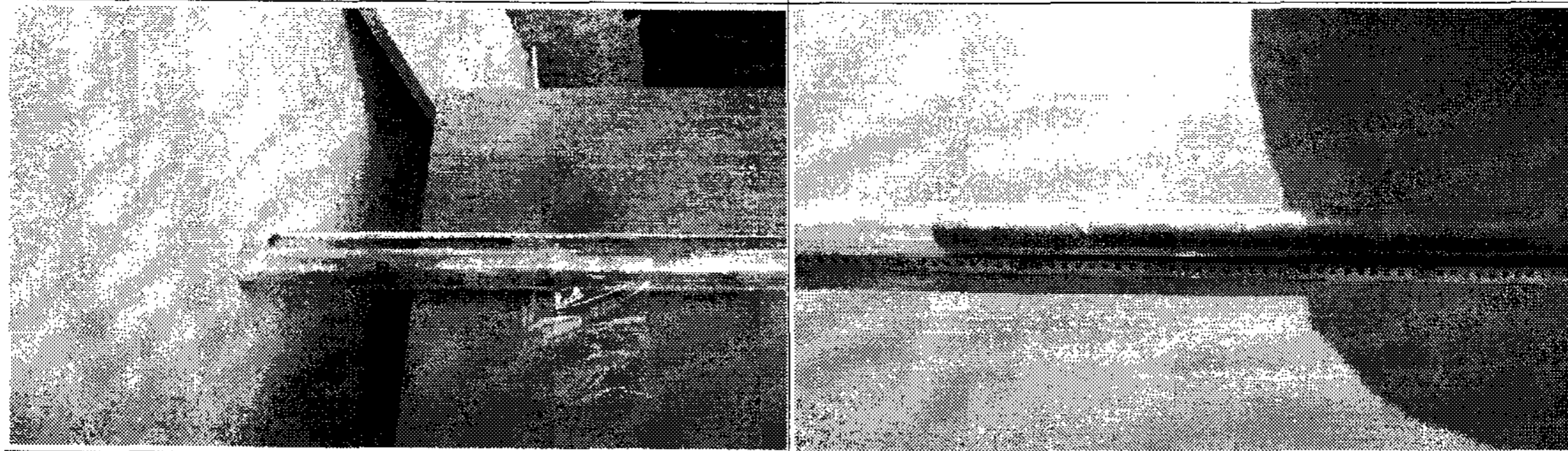
(a) NE 150 (32m/m 지관) 공저부, 장약봉 2M

(b) NE 150 (32m/m 지관) 공구부, 장약봉 2M



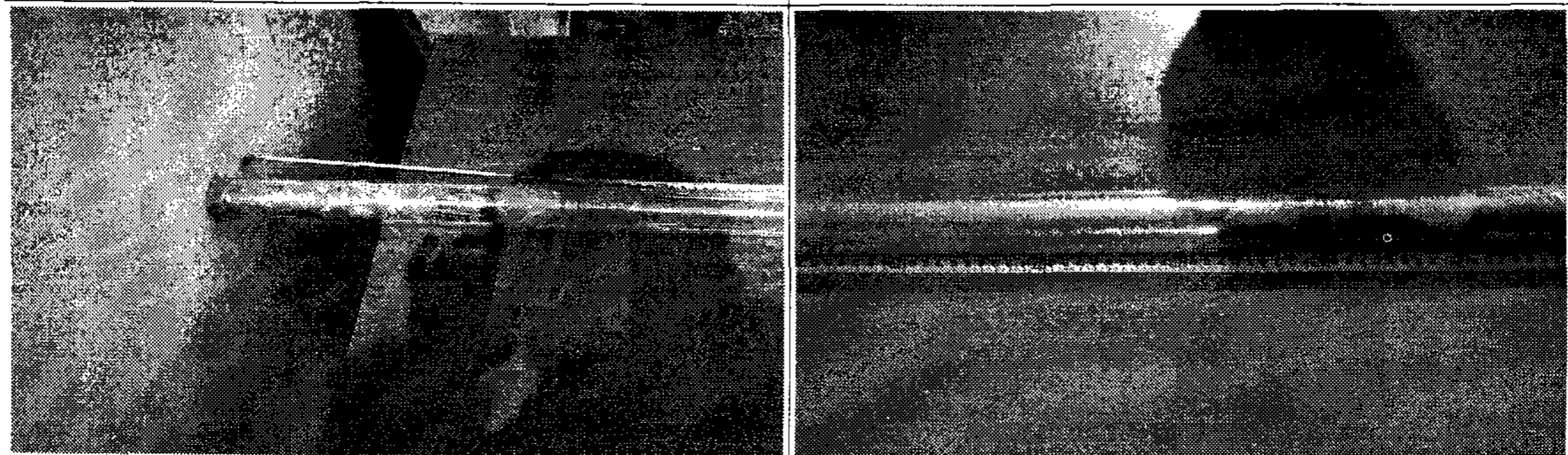
(c) NE 150 (32m/m 지관) 공저부, 장약봉 4M

(d) NE 150 (32m/m 지관) 공구부, 장약봉 4M



(e) NE 150 (32m/m, w.p) 공저부, 장약봉 2M

(f) NE 150 (32m/m, w.p) 공구부, 장약봉 2M



(g) NE 150 (32m/m, w.p) 공저부, 장약봉 4M

(h) NE 150 (32m/m, w.p) 공구부, 장약봉 4M

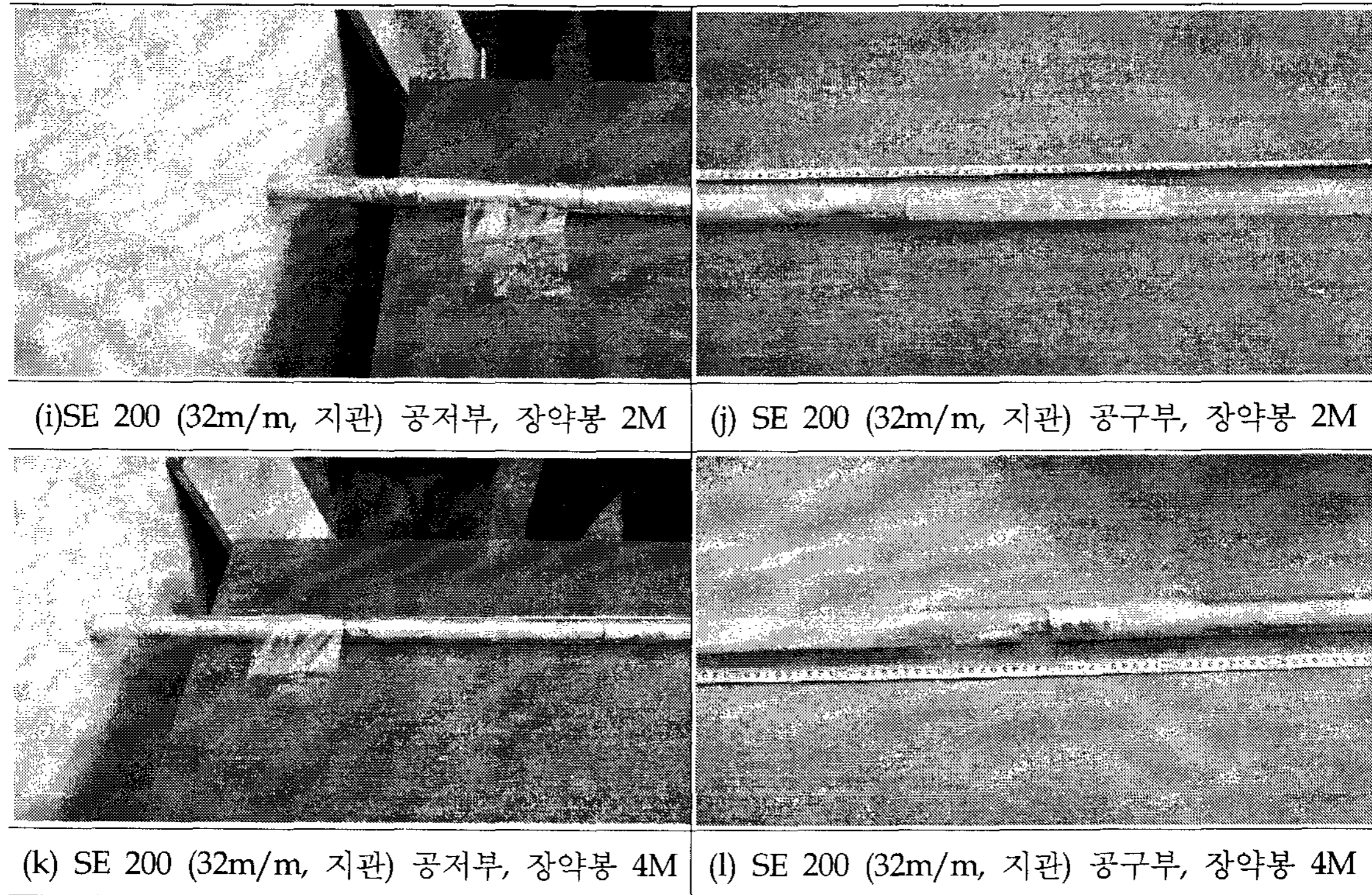


그림 6. 카트리지 폭약의 장약실험

표2. 카트리지 폭약의 장약실험 결과

| 실험 회수 | 폭약 종류 | 장약 봉길이 (M) | 장약 분수 (본) | 장약 수량 (분) | | | | 다짐전 장약길이 (mm) | 다짐후 장약길이 (mm) | 다짐된 길이 (mm) | 압축율 (%) |
|-------|----------------------|------------|-----------|-----------|----|----|----|---------------|---------------|-------------|---------|
| | | | | 1회 | 2회 | 3회 | 4회 | | | | |
| 1 | NE 150 32m/m, 지관 | 2 | 8 | 6 | 2 | - | - | 3,200 | 2,990 | 210 | 6.5 |
| | | 4 | 8 | 3 | 3 | 2 | - | 3,200 | 2,800 | 400 | 12.5 |
| 2 | NE 150 32m/m, w.p | 2 | 16 | 12 | 4 | - | - | 3,200 | 2,770 | 430 | 13.4 |
| | | 4 | 16 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3,200 | 2,370 | 830 | 25.9 |
| 3 | SE 200 | 2 | 8 | 6 | 2 | - | - | 3,200 | 2,990 | 210 | 6.5 |
| | | 4 | 8 | 3 | 3 | 2 | - | 3,200 | 2,800 | 400 | 12.5 |

서, 현장에서 장약집중도를 높여 발파효율을 높이하고자 실시하는 다짐현상이 일반적으로 알고 있는 공저부분이 아닌 공구부분으로 이루어져 오류가 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한, 표 2는 3차에 걸쳐 실시한 장약실험 결과를 나타낸다.

천공경과 폭약경에 대한 해외의 장약밀도 실험 결과를 살펴보면, 미국 광산국 애치슨의 실험 결과 약포지름이 발파공지름의 1/2이면 그 힘은 1/3로 줄어든다. 따라서, 일반적으로 보통 발파 작업에서 천공지름과 약포지름과의 차이는 10mm 정도이다. 예를 들면 발파공의 지름이 35mm 이고 약포지름이 25mm이면 약 60%의 발파효과를 나타냄으로써 발파효과가 현저하게 저하됨을 알 수 있다.

이러한 이유로 발파작업에서 폭약을 장약할 때에는 Decoupling index가 1에 근접하도록 하여 장전비중을 크게 하는 벌크형 폭약을 사용한 기계화 장전방법을 적용하고 있다.

2.5 폭속시험

3차례에 걸쳐 장약실험을 실시한 후 다짐이 이루어진 폭약과 정상적인 제품에 대하여 각각 폭속시험을 실시하여 다짐과정에서 발생할 수 있는 폭약의 외형 및 위력변화를 관찰하였다. 폭속시험을 위하여 약 40cm이상의 다짐작업후 시료폭약을 만들어 각각 3가지 종류의 카트리지 폭약에 대하여 3회씩 폭속시험을 실시하고 그 결과를 정상적인 카트리지 제품과 비교하였다.

New Emulite 150 (32m/m x 400m/m) 지관제품은 정상제품을 100%의 위력으로 보았을 때 평균 98.1%의 폭속이 측정되었고, New Emulite 150 (32m/m x 200m/m) wax paper 제품은 평균 98.8%로 측정되었으며, Super Emulsion 200 (32m/m x 400m/m) 지관 제품은 평균 96.1%로 측정되었다. 따라서, 카트리지 폭약의 다짐작업 전후 시료폭약의 폭속측정을 한 결과 각각 1.9%, 1.2% 및 3.9% 저하로 위력변화가 크게 발생하지 않았다. 그러나, 장약작업으로 인한 다짐과정에서 에멀전의 경화현상이 발생함을 관찰할 수 있었다. 또한, 폭속시험에 따른 기폭상태는 모든 시료폭약에서 완전히 기폭하였다. 그림 7은 폭속측정을 위한 다짐후 시료폭약의 모습이고, 표 3은 폭속시험 결과 정상제품과 비교한 결과이다.

3. 결론

본 논문은 국내 발파현장에서 일반적으로 사용하고 있는 카트리지 폭약의 장약작업시 폭약의 종류 및 포장재질에 따른 다짐정도를 비교하였으며, 폭약의 외형적인 변화 및 폭속시험을 통한 위력변화 등을 정상적인 제품과 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 장약봉 길이를 2M, 4M로 변경하면서 길이 3,200m/m 장약장에 대한 투명관내의 장약실험을 실시한 결과 New Emulite 150 (32m/m x 400m/m) 지관제품은 다짐정도(압축율)가 각각 6.5%와 12.5%였고, New Emulite 150 (32m/m x 200m/m) wax paper 제품은 각각 13.4%와 25.9%였으며, Super Emulsion 200 (32m/m x 400m/m) 지관제품은 각각 6.5%와 12.5%로 나타났다.
2. 장약작업은 공저부분에 집중장약을 실시하여 Decoupling index가 1에 근접하도록 함으로써 발파효율을 높이는데 있으나, 일반 발파현장에서와 같이 장약봉길이를 2M 이하로 장약작업을 실시한 경우는 천공입구 부분의 2~3개 폭약제품에만 다짐현상이 발생하고 공저부분 및 공의

중앙부분은 외형상 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다.

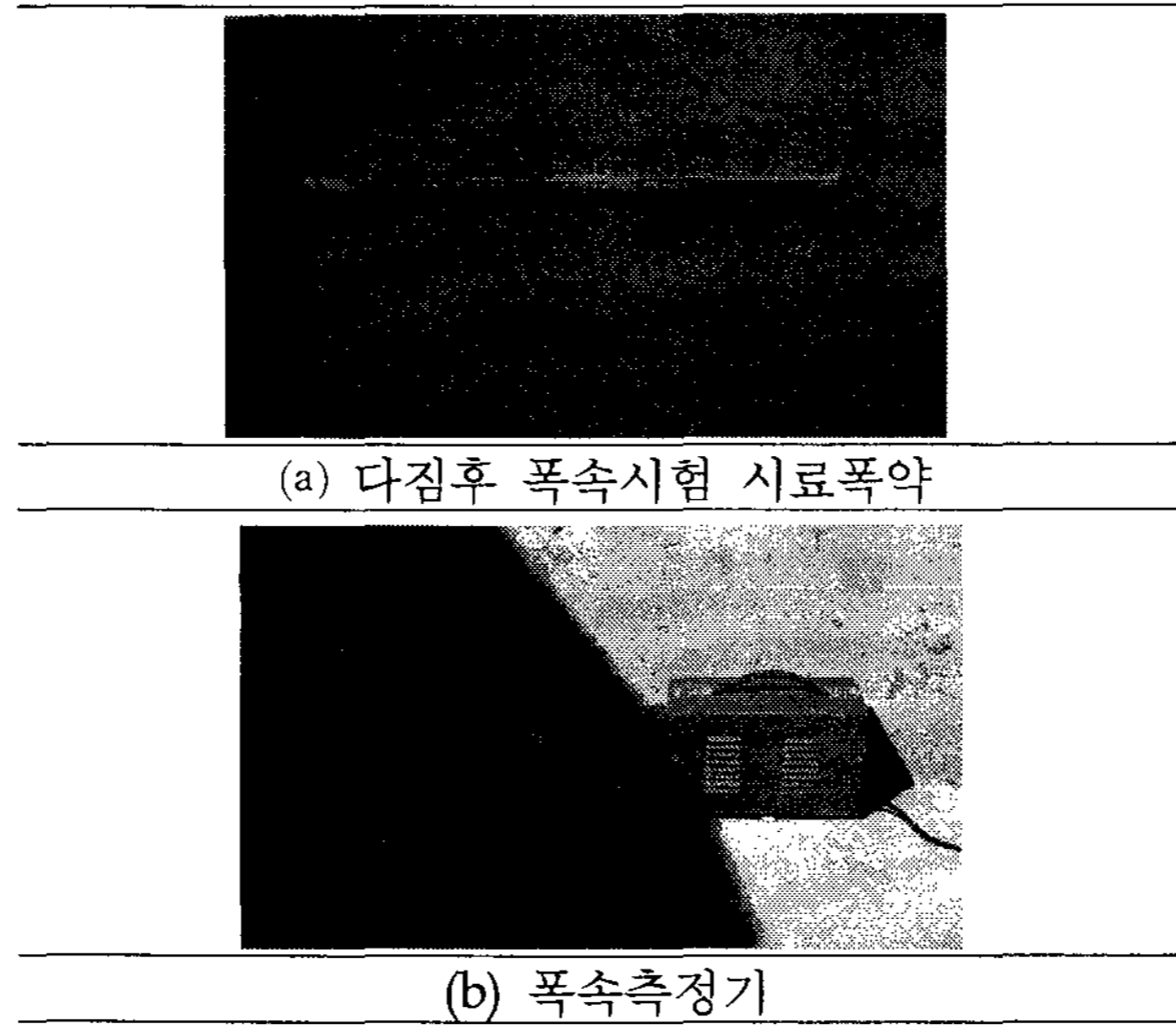


그림 7. 다짐후 시료 폭약과 폭속측정기

표3 . 폭약의 다짐전후 폭속시험결과

| 제 품 명 | 정상제품 | 다짐후 (평균, %) |
|--|------|----------------|
| New Emulite 150 (32m/m x 400m/m) 지관제품 | 100 | 98.1 |
| New Emulite 150 (32m/m x 200m/m) wax paper | 100 | 98.8 |
| Super Emulsion 200 (32m/m x 400m/m) 지관제품 | 100 | 96.1 |

3. 장약작업에 따른 다짐후 제품과 정상제품과의 위력변화를 알아보기 위하여 폭속시험을 실시한 결과 New Emulite 150 지관제품, New Emulite 150 wax paper 제품, Super Emulsion 200 지관 제품은 정상제품과 대비하여 평균 98.1%, 98.8%, 96.1%로 폭속에는 큰 변화가 발생하지 않았다. 그러나, 외형적으로 에멀전 폭약의 특성상 경화과정이 진행됨을 알 수 있었다.
4. 최근 발파현장에서의 장약작업은 벌크형폭약을 이용하여 천공내 집중장약이 되도록 유도하고 발파효율을 증대하는 방향으로 변화하고 있다. 본 연구를 통하여 카트리지 폭약을 사용하는

발파현장에서는 장약작업시 다짐작업에 대한 인식의 전환이 필요하고, 천공내 밀폐상태의 순폭도를 참고하여 카트리지 폭약이 상호접촉만 하면 완폭이 이루어짐과 동시에 재위력을 발휘함으로 카트리지 폭약의 장약방법에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. U. Langefors and B. Kihlstrom, 1979, Rock Blasting, Almqvist & Wiksell, Stockholm, pp. 91-114
2. 강대우, 심동수, 1995, 건설기술자를 위한 응용발파기술, 구미서관, 서울, pp. 201-205.
3. Instanetel, Vodmate operator manual, pp. 2-1
4. 김재극, 2002, 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부, 서울, pp. 203-212.
5. Arve Fauske, 2004, The Titan SME Bulk Emulsion System, Dyno Nobel, Gyttop, pp. 1-13