

# 뇌관당 파쇄암량을 고려한 발파작업수량 산정 연구

## A Study on the Estimation of Total Amounts of Blasted Rock by Detonator Volume used in the Blasting

김 민규<sup>1)</sup>, 안 명석<sup>2)</sup>

Min-kyu Kim<sup>1)</sup>, Myung-seog Ahn<sup>2)</sup>

1) 한국지질자원연구원, 2) 동서대학교

---

**ABSTRACT.** A large scale blasting is necessary for the construction of road, harbor or ground foundation of building and it is common that the blasting work is performed by a specialist subcontracted from the construction company who is originally responsible for the project. Sometimes the latter do not agree with the former in total amount of blasted rock. They try to find out real work amount as precisely as possible. The estimation is sometimes carried out by an entrusted person when it is impossible to come to an agreement with each other.

There are several methods in estimating the blasted rock volume; a calculation by prescribed equivalents of explosive before construction, a calculation by specific charge per unit volume of rock, and a calculation by rock volume per detonator. In this study, the last method is reviewed and recommended as most reliable one.

Key words: large scale blasting, amount of blasted rock, equivalents of explosives, specific charge, detonator volume

**초 록.** 도로, 항만, 터파기 등의 공사에서 대량의 발파 작업이 선행되는 경우가 빈번하다. 발파작업은 시공을 맡은 원청 회사측에서 직접 행하는 수도 있지만 대개는 전문적으로 발파를 시행하는 업체에게 하청을 주게 마련이다. 이럴 경우 종종 발파작업이 완료된 이후 원청회사와 하청회사 사이에 발파작업 수량에 대한 원만한 합의를 보지 못할 경우가 있는데 이럴 경우 쌍방 혹은 쌍방이 위입한 제3자가 발파작업 수량을 추정하게 된다. 사후에 발파작업수량을 추정하는 방법으로는 일위대가표를 적용한 추정, 시행된 발파의 비장약량을 적용한 추정, 발파작업일보를 비교하여 뇌관당 발파암량을 적용하는 방법들이 있다. 본 연구에서는 특정한 사례를 통하여 뇌관당 발파암량을 적용하여 발파작업수량을 추정하는 방법을 소개하고 이 방법이 다른 여타의 추정 방법에 비하여 가장 신뢰성이 높음을 입증하였다.

핵심어: 대량발파작업, 발파작업수량, 일위대가표, 비장약량, 뇌관당 발파암량

---

## 1. 서론

도로, 항만, 터파기 등의 공사에서 대량의 발파 작업이 진행되는 경우가 빈번하다. 발파작업은 시공을 맡은 원청 회사측에서 직접 행하는 수도 있지만 대개는 전문적으로 발파를 시행하는 업체에게 하청을 주게 마련이다. 이럴 경우 종종 발파작업이 완료된 이후 원청회사과 하청회사 사이에 발파작업 수량에 대한 원만한 합의를 보지 못할 경우가 있는데 이럴 경우 에는 법정에서 시비를 가리게 된다. 이런 경우에도 법정은 객관적인 전문가를 선임하여 발파작업수량을 감정토록 한다. 이처럼 발파작업이 종료된 이후에 발파작업수량을 추정하는 방법으로는 일위대가표를 적용한 추정, 시행된 발파의 비장약량을 적용한 추정, 발파작업일보를 비교하여 뇌관당 발파암량을 적용하는 방법들이 있다. 본 연구는 특정한 사례를 통하여 뇌관당 발파암량을 적용하여 발파작업수량을 추정하는 방법을 소개하고자 한다.

## 2. 개요 및 지질

본 논문은 경인지역에서 배수지 공사에서 시행된 발파작업에서 발파작업 종료 후 발파작업을 발주했던 원청회사와 이를 시행한 하청회사 사이에 발파작업수량에 대한 합의를 보지 못하고 법정에서의 판단을 필요로 하여 이에 대한 감정을 시행했던 사례를 바탕으로 한 것이다.

감정 시점에는 공사가 이미 완료된 이후여서 현장 답사 및 조사는 큰 의미가 없는 것으로 판단되어, “기본 및 실시설계 보고서”, “화약류출납대장”, “시험발파결과 보고서”, “발파작업 일보”, “사전 암반발파

절단공법 시공자료” 등의 자료를 공사 중 촬영된 사진들을 검토하였으며 이 가운데서도 가능한 한 정량적인 자료 제시를 위해 그 중 신뢰도가 가장 높은 “화약류출납대장”, “발파작업일보”에 기록된 폭약 및 뇌관 사용량과 “시험발파 결과 보고서”에 의하여 설계된 적정공법 시행 사항을 중점적으로 분석하였다.

## 3. 지질 및 적용된 발파공법 제원

발파 현장의 지질은 쥐라기(Jurassic Period)에 속하는 대보화강암(Deabo Granite)을 기반으로 하고 있으며, 대부분이 경암으로 구성되어 있다. 그러나 지질보고서에는 기반암의 물성조사가 누락되어 있어 필자의 경험상 해당 암석의 강도는 100~150MPa 정도로 추정하였다. 현장은 일부구역이 매립된 상태이나 매립토를 제거하면 전 구역이 경암으로 노출되어 있다.

본 논문의 발파 사례는 민가 등의 주거시설과 학교 등의 공공시설이 인접하고 있어서 발파진동과 소음을 적절히 제어해야만 하는 도심지형 발파작업이다. 이 발파작업에서는 이러한 사정을 감안하여 발파의 진동을 제어할 목적으로 발파진동을 규모를 조절하였다. 이를 위하여 수차례의 시험발파를 시행하였고 시험발파를 통하여 발파 중 발생하는 발파진동과 소음의 크기를 측정하여 인근 시설물의 안전여부를 판단하였으며 발파의 적정성 여부를 효율을 점검하였다. 이 결과 발파작업장의 경계면을 곧게 절단하고 암반을 따라 이동하는 진동의 크기를 줄이기 위하여 선균열발파(사전암반절단발파)를 적용하였고, 인접한 건물과의 거리를 고려하여 발파의 규모에 따라서 편의상 이를 세 가지 등급 즉 미진동발파, 정밀발파, 일반발파로

표 1. 발파공법별 제원

	미진동발파	정밀발파	일반발파
천공경 (mm)	38~45	38~45	45
천공간격 (m)	0.6~0.7	0.8~1.0	1.0
저항선 (m)	0.5~0.6	0.7~0.8	0.8
천공장 (m)	1.5~1.8	1.8~2.0	2.7
진행장 (m)	1.3~1.6	1.6~1.8	2.5
공당장약량 (kg)	0.125~0.375 (화약1~3개)	0.625≥, <0.75 (화약5, 6개 미만)	0.75~1.0 (화약6~8개)

구분하였고 이들 발파에 대한 설계제원은 표 1과 같다.

현장에서 사용된 폭약은 한국화약에서 생산된 에멀전폭약으로 약경 25mm, 약포장 248mm인 뉴마이트 5500(Newmite 5500)이며 약포 1개의 중량은 125g이다. 공당장약량에서 정밀발파의 상한값과 일반발파의 하한값이 공당 0.75kg(화약6개)으로 그 값이 중첩되고 있어, 이 경우에는 발파량이 더 많은 것으로 계산되는 일반발파로 구분하여 계산하였다.

한편 발파작업일보상 공당 0.5kg(화약4개)를 사용한 경우 공당장약량에서 미진동발파와 정밀발파의 사이 값에 해당하지만, 이것도 역시 발파량이 많은 것으로 계산되는 정밀발파로 구분하여 계산하였다.

#### 4. 공법별 장약공당 작업수량

사전 암발절단이나 수중 발파와 같은 특수한 발파를 할 경우가 아니면, 보통 발파에서는 기폭수단으로서 1개의 장약공당 1개의 뇌관을 사용한다. 그래서 뇌관 1개의 소요는 1공의 발파가 이루어졌음을 의미하게 된다. 발파가 성공적으로 이루어졌을 경우의 작업발파수량을  $V_f$  라 하면,

$$V_f = S \times B \times L$$

( S=공간간격, B=최소저항선, L=진행장)

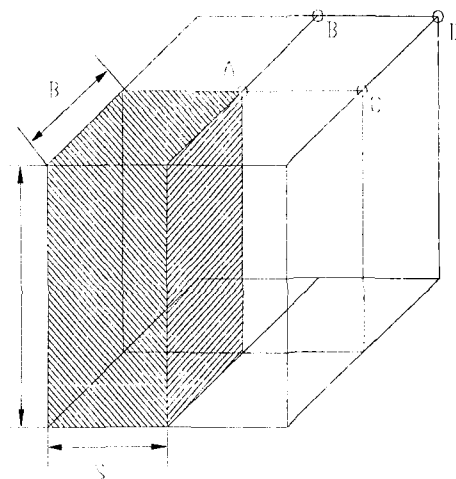


그림 1. 발파작업시 1뇌관당 파쇄암량 산정 개략도

"진행장"이란 실제로 발파로 인하여 파괴되어 분리되는 암괴의 깊이를 의미하며, 보통 천공깊이에서 발파 후 남게 되는 잔류공의 깊이를 제하면 되는데 대략 잔류공의 깊이는 20cm 정도이다.

그림 1에서 4개의 육면체는 4개의 발파공 즉 "A, B, C, D" 가 성공적으로 발파를 하였을 경우 모암(母巖)으로부터 분리되어 나오는 파괴된 암괴이다. 상기의 서술 내용 즉 발파가 성공적으로 이루어졌을 경우에 1개

공의 발파에 의한 작업수량은 그림1에서 빗금 친 부분(즉 "A" 1개 공에 의한 발파작업수량)으로 표시된다.

발파작업일지에서 뇌관의 소요량과 적용된 발파공법을 알면, 해당되는 공당작업수량에 뇌관수를 곱하여 산출한 값이 해당 발파에서의 발파작업수량이 된다. 즉,

$$\text{발파작업수량} = \text{공당발파작업수량} \times \text{소요 뇌관수}$$

본 사례에서는 천공간격, 최소저항선, 진행장은 표1의 미진동발파 설계제원에서 각각의 평균값을 취하였고 이 경우 1공당 혹은 1뇌관당 파쇄 암량은 표 2 와 같다.

표 2. 발파등급별 1뇌관당 파쇄암량

발파종류	파쇄암량 (천공간격×최소저항선×진행장)	
미진동발파	0.65 × 0.55 × 1.45	0.5184 m <sup>3</sup>
정밀발파	0.9 × 0.75 × 1.7	1.1475 m <sup>3</sup>
일반발파	1.0 × 0.8 × 2.5	2.0 m <sup>3</sup>

## 5. 공법별 비장약량 산출

비장약량(比裝藥量/Specific Charge)은 암석의 단위체적당 굴착 혹은 절취량에 소요되는 화약의 중량이며 단위는 "kg/m<sup>3</sup>"이다. 즉, 1m<sup>3</sup> (1루베)의 암석을 굴착 혹은 절취하는데 소요되는 화약량(kg)이다. 비장약량은 1개의 공당 소요된 폭약을 1개의 공당 파쇄된 암량 나누면 된다. 비장약량을 'q' 라고 하면;

$$q = \frac{1 \text{ 공당 폭약량}}{1 \text{ 공당 파쇄암량}}$$

보통 비장약량은 공사 시행 전 시험발파를

통해 결정된다. 발파공법별 설계제원을 제시한 표1부터에서 저항선, 공간간격, 진행장의 평균값을 취하여 각각의 경우에 해당하는 비장약량을 표 3과 같이 계산하였다.

표 3. 발파등급별 비장약량

발파종류	파쇄암량 (m <sup>3</sup> )	비장약량 (kg/m <sup>3</sup> )
미진동발파	0.5184	0.4823
정밀발파	1.1475	0.4902
일반발파	2.0	0.4375

## 6. 사전 암반절단 공법

사전암반절단(New Pre-splitting: NPS) 공법은 발파를 하여 암석을 절취하는 것이 아니라 단순히 암반에 균열면 만을 생성시키는 공법이다. 사전암반절단은 암반 경계부의 벽면을 반듯하게 절개하는 데에 주된 목적이 있으며, 이렇게 하여 사전에 조성된 균열면은 어느 정도 발파진동을 완화시키는 방진구(防振溝)의 역할을 할 수 있다.

NPS공법에서는 보통 주거지건물이나 여타 보안을 요하는 건물이 인접한 경우가 대부분이므로 발파진동을 최소화하기 위하여 가능한 한 많은 분산장약(deck charge)을 한다. 그리고 각 분산된 장약을 별도의 시점에서 폭발하기 위하여 각각의 분산된 장약에 시차(時差)가 다른 뇌관을 사용하게 된다. NPS공법에서는 1개의 장약공에 소요되는 뇌관의 수는 1개의 장약공에 배치되는 분산장약의 수와 일치하게 된다. 본 감정대상의 공사에 적용된 NPS설계제원에서는 길이가 9m인 1개의 장약공당 18개의 분산장약(길이 0.5m)이 배치되고

따라서 18개의 뇌관이 소요된다. 그러나 현장에서는 정확하게 설계 제원대로 9m의 장약공을 천공한다고 볼 수는 없으며 실제로 6~9m 정도의 천공이 주로 이루어졌던 것으로 보인다. NPS의 설계제원은 아래와 같다.

- 천공 깊이 : 9.0 m/공
- 천공 간격 : 0.25m
- 9m 천공시 장약층수 : 18 데커(Deck, 분산장약)
- 데커당 장약량 : 62.5g(1열), 72.5g(2,3열)
- 공당 장약량 : 1.125kg/공(1열), 1.305kg/공(2,3열)
- 열간격 : 50~40cm 이격 (중간에 무장약공이 위치함)
- 그림 2의 NPS에 대한 개략도면 참조

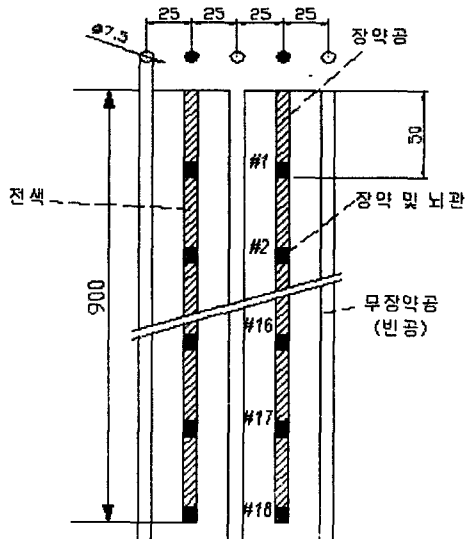


그림 2. NPS 공법의 개략도 (단위:cm)

NPS에서 1공에서 분산된 장약마다 1개의 뇌관이 소요된다. 분산장약(데커/deck)의 길이는 0.5m이다. 1개의 분산장약이 성공적으로 발파되면 암반의 균열면은 좌우의 무장약공(빈공/空孔)으로 확장되고 이때

생성되는 균열면적,  $A_f$  는;

$$A_f = 0.5m \times 0.25m \times 2 = 0.25 \text{ m}^2 \text{ (헤베)}$$

따라서 NPS의 작업수량(균열면적)

$$= A_f \times (\text{소요된 뇌관수})$$

## 7. 감정(勘定)의 예(例)

### 7.1 감정할 사항

1998년 7월 13일부터 같은 해 10월 2일까지, 하도급자 ○○○가 위 기간 동안 발파 작업일보상 반입하여 사용한 폭약은 873.5kg, 뇌관 12,344개이며, 이에 따라 작업한 수량이 작업일보상 미진동발파가 2,884루베( $\text{m}^3$ )인데, 위 작업수량(미진동발파)이 적정한지 여부를 밝혀주시기 바랍니다.

### 7.2 답변

위 미진동발파의 작업수량 2,884 루베( $\text{m}^3$ )는 적절하지 않다. 발파작업일보를 분석한 결과 실제 작업수량은 아래 표 4와 같이 추정됩니다.

표 4. 발파작업수량 감정결과(예1)

	소요폭약 (kg)	소요뇌관 (개/장약공)	작업수량 ( $\text{m}^3$ )
미진동발파	38.5	162	84
정밀발파	33.75	38	44
일반발파	30	70	140
(합 계)	102.25	270	268

### 7.3 발파작업수량 산출 내역

위 기간동안의 발파작업일지(발파일보)를 대조하여 분석한 결과, 발파에 소요된 폭약은 102.25kg, 뇌관(혹은 장약공)은 270개이다. 이 중에서 미진동발파에 폭약 38.5kg, 뇌관 162개,

정밀발파에 폭약 33.75kg, 뇌관 38개, 일반발파에 폭약 30kg, 뇌관 70개가 각각 소요되었다. 이를 각각 작업수량으로 산출하면;

- ① 미진동발파 작업수량  
:  $162\text{공} \times 0.5184\text{m}^3/\text{공} = 83.98 \text{ m}^3$
  - ② 정밀발파 작업수량  
:  $38\text{공} \times 1.1475\text{m}^3/\text{공} = 43.605 \text{ m}^3$
  - ③ 일반발파 작업수량  
:  $70\text{공} \times 2.0\text{m}^3/\text{공} = 140 \text{ m}^3$
- 따라서 각 작업수량을 합산하면,  
①+②+③=  $84+44+140=268\text{m}^3$

#### 7.4 사전암반절단공사 수량

발파작업일보를 참조한 결과 NPS는 1998.7.13~1998.10.2 일 사이에 이루어졌다. 상기 기간 동안 하청회사가 시공한 작업수량은 3,019 헤베로 추정된다. NPS 작업수량은 아래와 같이 산출되었다.

- ① NPS에서는 한 장약공에 분산장약을 하고, 분산된 장약에 시차가 다른 MSD 전기뇌관을 각각 설치하게 된다.
- ② 분산장약당 폭약량은 62.5g 혹은 72.5g 이고, 장약과 전색을 합해진 부분(데커, Deck)의 길이는 50cm(0.5m)로 설계되어 있다.
- ③ 1공당 18개의 데커로 이루어지고, 각 데커마다 1개의 뇌관이 설치된다.
- ④ 18개의 데커로 이루어진 장약공의 길이는 9m이다.
- ⑤ 발파작업일지를 보면 발파공수가 정확하게 계산되어지지 않지만, 사용된 뇌관의 수가 정확하게 기재되어 있으므로, 사용된 총 뇌관수에 0.5m를 곱하면, 장약공의 총 길이가 된다.
- ⑥ NPS에서는 장약공 사이에 0.25m의 간격으로 무장약공이 천공되고, 장약공과

무장약공이 로 균열면으로 연결된다.

- ⑦ 작업수량은,  
장약공의 총길이  $\times 0.25\text{m} \times 2$  로 계산된다.
- ⑧ 따라서,  
NPS(사전암반절단) 작업수량은  
 $12,074 \text{ 개} \times 0.5\text{m} \times 0.25\text{m} \times 2 = 3,018.5 \text{ m}^3$

이상과 같은 감정이 이루어질 경우, 그림 3에서와 같이 작업일지와 발파작업일보 상에는 미진동발파로 기록되어 있지만 공당장약량을 보면 실제로는 정밀발파에 적용되는 공당 장약량이다. 그러므로 작업일보상의 기록에만 근거하여 비장약량으로 계산하면 실제와는 차이가 날 수 밖에 없고 불출하고 사용한 뇌관이 수와 계산상의 수가 맞지 않게 된다. 그러므로 화약류불출대장과 발파작업일보의 기록이 남아있을 경우 이를 대조하여 실제로 적용된 발파방식을 식별해야만 정확한 작업수량을 계산할 수 있게 된다.

본 사례에서는 시험발파결과, 발파설계제원, 화약류불출대장, 발파작업일보를 대조하여 상기한 방법으로 감정을 실시하였고 이 과정에서 사전암반절단 공사의 수량도 쌍방이 주장하는 바와는 상당한 차이를 지적하면 감정을 마칠 수 있었다. 본 사례에서 최종적인 감정결과는 표 5와 같다. 표 5에서는 일위대가에서 제시한 비장약량으로 추정된 감정결과를 본 사례의 감정과 비교하였고 또한 그 차이를 제시하였다. 일위대가는 공사를 시행하기 전에 공사비를 견적하기 위하여 적용하는 자료로써 본 공사가 시행될 경우 실제와는 상당한 차이가 있게 마련이다.

발파작업일보

공사명 : 연동터널지 건설공사      총량대리인 : 조영

1998년 1월 1일      일일작업일      날씨 : 맑음      총량대리인 : 조영

일일 일수	발파 위치 (STA)	비장약 수량 (Kg)	비관 (EA)	비장약 총량 (Kg/Day)	비관 수량 (EA/Day)	간 격 (m)	소 요 시 간 (hr)	비고
1		2,500	10	2,500	10	0.25	11:00	비정
2		2,500	10	2,500	10	0.25		
3		2,500	10	2,500	10	0.25		
4		2,500	10	2,500	10	0.25		
5		2,500	10	2,500	10	0.25	12:30	
6								
7	미진동발파				정밀발파			
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
계		25,000	100	25,000	100			
일일 총량		비관(EA)	비관(EA)	비관(EA)	비관(EA)			
비관		비관(EA)	비관(EA)	비관(EA)	비관(EA)			
비관 시간		09:30	12:30	12:30	12:30			
특기 사항								

그림 3. 발파작업일보의 미진동발파와 정밀발파의 구분 예

표 5. 발파 작업수량 감정결과 비교

작업 종류	일위대가 에 의한 감정(A)	비관당 파쇄암량에 의한 감정(B)	증감 (A-B)
NPS	3,565 m <sup>2</sup>	3,019 m <sup>2</sup>	-546 m <sup>2</sup>
미진동발파	14,626 m <sup>3</sup>	570 m <sup>3</sup>	-14,056 m <sup>3</sup>
정밀발파	3,711 m <sup>3</sup>	9,454 m <sup>3</sup>	+5,743 m <sup>3</sup>
일반발파	-	1,156 m <sup>3</sup>	+1,156 m <sup>3</sup>

8. 결 론

공사가 완료된 이후에 발파작업수량을 산정함에 있어서 본 현장을 확인하는 것은 의미가 없고, 남겨진 기록과 감정인의 전문적인 지식에 근거하여 감정을 할 수 밖에

없다.

이런 경우 일위대가에서 나오는 비장약량과 비관수 및 작업일보를 근거할 경우 그 정확도는 가장 낮을 수밖에 없는데, 일위대가에서 나오는 비장약량과 비관밀도는 시험발파 이전에 소요될 폭약량과 비용을 산출하기 위하여 대략적으로 주어지는 값으로, 실제 공사에서의 비장약량과는 차이가 있을 수 있기 때문이다.

발파작업일보, 발파설계제원을 근거하여 비장약을 적용할 경우에는 발파작업일보에 기록된 발파방식의 표기에 착오가 있을 수가 있다. 이런 경우는 비장약을 근거하는 발파작업수량계산은 그 착오만큼 차이가 난다. 즉 비장약량을 근거로 하는 경우에도 발파공사에서 실제로 적용된 발파유형이 파악되지 않으면 소요된 비관수가 일치하지 않아서 계산된 비관이 남거나 모자라게 되고 일치하지 않는 만큼 작업수량에는 오차가 발생하게 된다.

따라서 발파설계제원, 화약출납대장, 발파작업일보를 대조하여 발파작업일보 상의 기록과 적용된 발파방식의 진위(眞僞) 여부 혹은 정확성을 분석하고 감정인의 전문적인 지식과 상식에 합치할 경우 이를 근거로 발파작업수량을 감정하는 것이 가장 신뢰할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 심동수, 1998.2, 발파작업 관련 소음·진동검토 보고서
2. 무진엔지니어링, 1998, 일위대가표 : 절취 제어발파에 의한 지반(암반)절단기술
3. 정덕훈, 1997, 발파진동 및 소음이 주변 보안건물에 미치는 영향권 검토