

도폭선을 이용한 채석발파 설계 및 현장적용

류창하, 홍기표, 최병희, 선우춘, 한공창¹⁾

1. 서론

석재용 원석을 모암으로부터 분리하는 채석방법으로 국내에 사용되고 있는 것은 제트버너와 같이 열을 이용한 방법, 다이어몬드 와이어 쏘, 슬롯드릴과 같이 기계력을 이용한 방법과 화약 에너지를 이용한 방법등이 있다. 화약발파를 이용하는 방법은 다른 방법에 비해 작업공정 및 경제성면에서 매우 유리하다. 그러나 국내의 경우 화약발파가 차지하는 비중은 크지 않다. 국내에서 적용되고 있는 작업형태를 보면 제트버너를 이용하여 수직 자유면을 형성시키고 버너를 적용하기 어려운 하부면을 화약발파를 이용하여 형성시키는 1면발파방법이 가장 많이 적용되어 왔으며 자연적으로 절리가 형성되어 있을 경우 절리면을 자유면으로 하여 양면 또는 3면발파방법을 실시하는 경우가 있다. 화약발파가 기피되고 있는 이유는 실패할 경우 원석의 손상으로 인한 경제적 손실이 더 커지기 때문에 양면이상 동시발파에 따른 발파실패의 위험성을 피하고 있는 것이다. 그러나 화약발파를 최대한 활용한다면 작업능률 및 경제성이 타 방법에 비해 뛰어나므로 향후 경쟁력 제고를 위하여도 발파기술의 축적이 필요하다. 국내에서 화약발파를 적용하기 어려운 이유중 하나는 화약류가 다양하지 못하다는 점이다. 원석에의 손상을 감소시키기 위하여는 장약조건을 일반발파와는 달리하여 폭발위력을 조절하는 조절발파 기법의 적용이 필요하며 장약조건을 변화시킬 수 있도록 다양한 종류의 화약류가 요구된다. 과거에는 폭발위력을 약화시키기 위하여 흑색화약을 많이 사용하였으나 이는 여러 가지 문제점을 갖고 있어 원하는 효과를 얻는데 실패하기 쉽다. 본 논문에서는 흑색화약을 보완하기 위해 도폭선을 이용한 조절발파 기법의 현장적용사례를 제시한다.

2. 물을 전색제로 하는 도폭선 발파의 이론적 고찰

도폭선은 폭발을 전달하기 위한 끈 모양의 화공품으로 고폭속의 화약류(PETN 또는 TNT 등)를 심약으로 하여 여기에 금속, 마사, 면사 또는 비닐로 피복한 것이다. 도폭선 사용이 흑색화약이나 저폭속 폭약의 사용에 따르는 단점을 쉽게 해결했지만 과대한 압력을 발생시키는 것이 문제이며 이때문에 파단면 형성의 조절이 어렵다. 화약이 공벽에 직접 접하지 않게 하는 디커플링(decoupling) 방법은 이를 해결할 수 있는 유일한 실제적인 해결방법이다. 실제적으로 디커플링은 공벽에서 최대압력이 급격히 형성되는 것을 없애주고 최대압 이후의 압력수준도 완화시킨다. 이를 위해서는 큰 디커플링 계수(천공직경대 화약의 직경의 비)가 요구된다. 실제 천공에 있어서의 공경은 25 ~ 45 mm 정도이기 때문에 도폭선은 이러한 요구조건을 만족시킨다.

물은 약간 압축성 탄성체이며(약 $5 \times 10^{-4} / \text{MPa}$) 화강암에 비하면 더 압축성이 크다. 폭발 시간부터 시작하면 가스가 팽창하기 시작하고 물은 축소되기 시작하여 Fig. 1 도표의 스프링처럼 거동한다. 여기서 스프링 a는 폭발가스를 모델링한 것으로서 철선에 의해 압축된

주요어 : 채석, 도폭선, 조절발파.

1) 한국자원연구소 자원연구부

상태로 구속되어 있으며 스프링 b는 물을 모델링한 것으로서 초기에는 구속되지 않는 상태이다. 철선 R은 공과 공사이의 암석 강도를 나타내며 V는 분리될 체적을 나타낸다. Fig. 1은 접촉점 x의 변위함수로서 스프링에 의해 가해진 힘을 나타낸다. 시작점에서 힘은 평형을 이루지 않으며 c점에서 평형이 이루어 질 때까지(이전에 R이 파괴되지 않는다고 가정할 때) 스프링 a는 늘어나고 스프링 b는 수축된다. 이어서 어느 순간에 damping이 멈출 때까지 x점은 전후로 진동한다. c점에서의 힘 Fmax는 체적 V에 가해질 수 있는 준정적인 힘의 최대값을 나타낸다. 만약 R의 강도 FR이 Fmax보다 더 낮을 때에는 파괴가 일어나며, 체적 V가 분리되고 밀려난다 (Fig. 1의 D). 그 이상의 스프링 신장으로 부터는 추진효과를 얻을 수 있다.

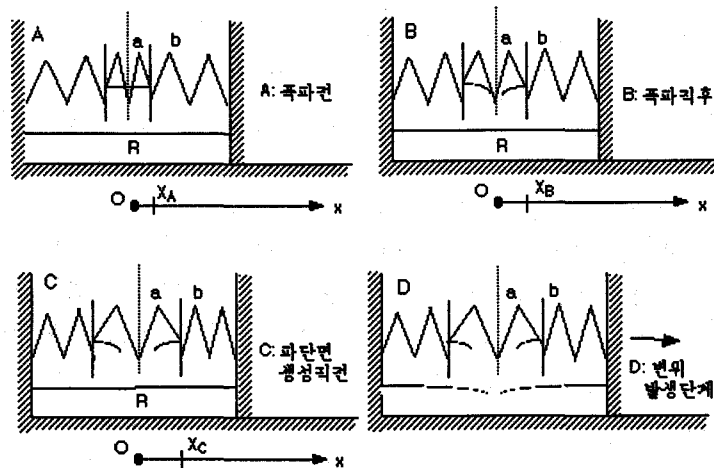


Fig. 1. 발파시스템 모델링

3. 장약량 산정 및 현장적용

(1) 경험식에 의한 장약량 산정

도폭선 발파를 이용하여 채석에 성공적으로 수행되었던 결과들을 통계적으로 분석하여 다음과 같은 실험식이 제안되었다. 이 식은 현장자료로부터 유도된 경험식이며 비장약량 개념에 근거하고 있다. 비장약량은 파쇄암반의 단위체적당 소모한 화약량으로 파쇄효율의 경제적 지표로 사용되고 있다. 채석발파에서는 분리할 암반의 단위체적당 화약소모량으로 나타낼 수 있다.

$$C = a + b S/V + cs$$

여기서 C : 비장약량 (g/m^3), S : 절단 면적 (m^2), V : 절단 체적 (m^3), s : 변위 (m)

(2) 국내 채석장 발파설계 적용결과

전체 계산에서 변위 s는 0.1 m로 하고, 화강암에 대한 상수 a, b, c의 값으로서 $a = 10.52 g/m^3$, $b = 26.47 g/m^2$, $c = 28.74 g/m^4$ 를 사용하였다. SB채석장의 각 조건에 대한 계산결과는 Table 1과 같다. 블록 1.5 x 6 x 6 m 크기에 대한 1면 2차발파의 경우 공간격이 25 cm, 단위체적당 장약량 23.33 g/m^3 또는 22.0 g/m^3 인 반면 계산결과는 단위체적당 장약량은 31.04 g/m^3 로 나타났으며 공간격은 도폭선 1가닥을 사용할 때 21 cm, 공당 2가닥을 사용할 때 43 cm로 계산되었다.

Table 1. 제안식을 이용한 비장약량 및 공간거리 계산 (SB 채석장)

구분 면	W m	D m	H m	절단면적 S, m ²	체적 V, m ³	S/V /m	비장약량 Cl, g/m ³	총화약량 g	도폭선 길이, m	공간격	
										1가닥	2가닥
2	10	6	6	120	360	0.333	22.217	7998	800	0.15	0.30
3	10	6	6	156	360	0.433	24.864	8951	895	0.17	0.35
1	1.5	6	6	36	54	0.667	31.041	1676	168	0.21	0.43

(3) 인장강도를 고려한 설계

(1)절의 식은 국외에서 계측된 자료들을 통계처리하여 도출된 식으로 블록의 기하학적 자료가 입력자료로 사용되고 있으며 역학적 자료는 고려되지 않고 있다. 국내의 설계자료를 처리하는데 있어서 향후 상수 a, b, c에 대한 최적값의 도출과 함께 역학적 자료를 고려하여 실험식의 유도될 필요가 있을 것으로 보인다. 장약패턴에서 수직공과 수평공의 공간격이나 장약량을 변화시키고 있는 이유는 화강암의 경우 역학적 이방성이 관찰되고 있기때문이다. 현장에서는 결이라고도 부르며 이러한 이방성은 인장강도 시험에서 잘 나타나고 있다. 암반이 갖는 인장강도는 파단면의 형성을 위해 필요한 힘과 관련이 되며 따라서 장약량에 따라 공벽에 가해지는 압력의 크기에 대해 적정 공간격을 결정짓는 변수가 될 것이다. 인장강도를 고려한 식을 살펴보면 다음과 같다.

$$C = 18.66 + St * (0.87 * S/V + 2.19 * s)$$

여기서 St는 인장강도로서 MPa의 단위를 갖고 나머지 변수들은 앞에서 설명된 바와 같다. SB 채석장 암반의 인장강도 값을 이용하여 상기식으로 비장약량과 공간격을 계산하면 Table 2와 같다.

Table 2. 인장강도를 고려하여 계산한 비장약량 및 공간격 (SB 채석장)

구분 면	W m	D m	H m	절단면적 S, m ²	체적 V, m ³	S/V /m	인장강도 kg/cm ²	비장약량 Ct, g/m ³	총화약량 g	도폭선 길이 m	공간격 1가닥
2	10	6	6	120	360	0.333	80	22.651	8,154	815	0.15
3	10	6	6	156	360	0.433	80	23.333	8,400	840	0.19
1	1.5	6	6	36	54	0.667	80	24.924	1,346	135	0.27

4. 요약 및 결론

화약이 다양하지 못한 실정에서 화약발파에 의한 채석방법은 상당한 제약을 받지만 도폭선과 decoupling 개념을 이용한 방법은 흑색화약을 대체하고 발파에 의한 채석비중을 높이는데 안정되게 적용될 수 있는 방법으로 판단된다. 외국의 화강암채석에서의 발파자료로부터 통계적인 처리에 의해 유도된 장약공식은 이를 이용하여 도폭선 발파설계시 소모량을 예상하고 특정발파에 대해 적정한 공의 배열을 선택할 수 있는 간단한 수단으로 활용할 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 선우춘, 류창하 외, 1995, 채석 및 가공기술 연구, 한국자원연구소 KR-95(C)-13, 230p.