

양면발파에 의한 채석에서의 장약패턴 및 절삭기술 연구

홍 기표, 류 창하, 선우 춘, 최 병희, 한 공창¹⁾

1. 서론

국내에서 일반적인 채석작업은 제트버너를 이용하여 양 측면과 후면 등 3면에 수직 자유면을 형성시키고 하부면을 발파하는 일면발파에 의한 채석법이 가장 많이 적용되고 있다. 최근에는 민원과 관련된 소음과 분진, 발파진동 등의 환경문제 및 기능인력의 부족현상 때문에 화염절삭기에 의한 채석기술을 대체하고자 하는 노력들이 이루어지고 있다. 이러한 대체기술로서 도입되고 있는 수평바닥면과 수직면을 동시에 암반에서 분리하는 양면 동시 발파법이 있다. 본 논문은 도폭선, 정밀폭약, 초안폭약을 이용한 양면발파의 장약패턴을 비교하고, 제트버너 및 와이어쏘에 의한 양측자유면 절삭시스템을 비교, 검토한 것이다.

2. 양측 자유면 절삭시스템

2.1 다이아몬드 와이어쏘(diamond wire saw)를 이용한 절삭시스템

와이어로프는 직경이 5mm이며, diamond bead는 와이어로프에 m당 33~40개가 부착되어 있으며 직경은 11mm이다. 절삭능률은 보통 2.5~4.5m²/hr 정도이다. 와이어쏘로 절단할 경우에는 자유면 간격이 좁아 발파시에 충격으로 모암에 손상을 입히게 되므로 2~3°의 각도로 앞면에서 벌어지게 양측면을 절삭하여 암석이 잘 빠지도록 한다(Fig.1 참조).

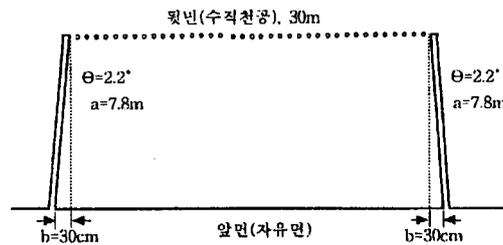


Fig. 1 A granite quarrying design using diamond wire saw(DH quarry).

2.2 제트버너(jet burner)를 이용한 절삭시스템

제트버너에 의한 화강암의 절삭은 800~1100°C에서 분상상태로 파쇄되는 성질을 이용한 것이다. 화강암에서 제트버너에 의한 절삭폭은 약 10cm이며, 제트버너가 한번 통과시마다 약 6mm 정도의 암석두께가 분리되어 떨어져 나간다. 경유를 원료로 사용하며 7bar의 압축공기를 사용할 때 시간당 절삭능률은 1~1.4m²/hr이다.

3. 양면발파에 의한 채석 시스템

3.1 도폭선을 이용한 장약패턴

주요어 : 양면발파, 다이아몬드 와이어쏘, 제트버너, 도폭선, 절삭능률

1) 한국자원연구소, 자원연구부

천공간격은 세립질 화강암에서는 18~21cm, 중립질에서는 27~30cm, 조립질에서는 36~45cm 간격으로 천공하며, 천공경은 32~38mm ϕ 이다.

도폭선은 공당 1~3가닥씩 장약하며, 공저에서는 장약길이에 따라 0.3~1m정도 더 장약한다. 화강암에서 도폭선을 사용하여 발파할 때에는 20~40g/m³ 범위의 비장약량과 적당한 디커플링 장약을 실시함으로써 비파쇄 발파가 이루어질 수 있다(Fig.2 참조).

1) 1a형(도폭선 장약분포 : 1가닥/공)의 천공 및 장약패턴

예) 암석규격 : 세로 5.2m, 가로 3.7m, 높이 4.4m, 부피 84.66m³

천공수 : 수직공 18공, 수평공 20공, 천공간격 : 수직공 18cm, 수평공 16.5cm

수직공 도폭선분포 : 0, a, a+0.6, a, a+0.6, ... , a, a+0.6, a, 0 (a=4.4m)

수평공 도폭선분포 : 0, b, b+0.9, b, b+0.9, ... , b, b+0.9, b, 0 (b=5.2m)

2) 1b형(도폭선 장약분포 : 2가닥/공)의 천공 및 장약패턴

예) 암석규격 : 길이 11.65m (뒤면 11.1m, 앞면 12.2m), 폭 8m, 높이 7m, 부피 652.4m³

천공수 : 수직공 및 수평공 38공, 천공간격 : 수직공 및 수평공 27cm

수직공 도폭선분포 : 0, 2(a+0.3), 2(a+0.3), ... , 2(a+0.3), 2(a+0.3), 0 (a=7m)

수평공 도폭선분포 : 0, 2(b+0.3), 2(b+0.3), ... , 2(b+0.3), 2(b+0.3), 0 (b=8m)

3) 1c형(도폭선 장약분포 : 3가닥/공)의 천공 및 장약패턴

예) 암석규격 : 가로 16.7m, 세로 10m, 높이 7m, 부피 1,169m³

천공수 : 수직공 및 수평공 48공, 천공간격 : 수직공 및 수평공 36cm

수직공 도폭선분포 : 0, a+1, 2(a+1), 3(a+1), ... , 3(a+1), 2(a+1), a+1, 0 (a=7m)

수평공 도폭선분포 : 0, b+1, 2(b+1), 3(b+1), ... , 3(b+1), 2(b+1), b+1, 0 (b=10m)

loosening of a rock block (pattern-1<c>)

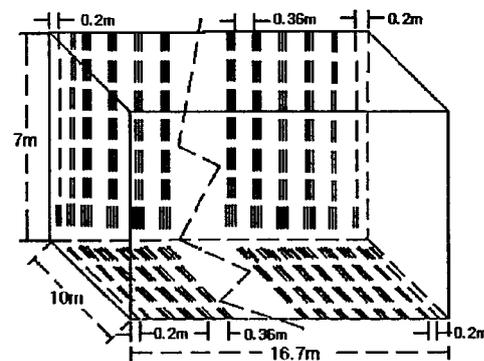


Fig. 2 Splitting blast design using the detonating cord (DA quarry)

3.2 도폭선 및 정밀폭약, 초안폭약을 이용한 장약패턴

1) 2형(도폭선+정밀폭약)의 천공 및 장약패턴

도폭선 1가닥에 정밀폭약을 일정간격으로 테이프로 묶어서 장약하며 폭파압력이 고르게 전달되도록 한다. 내수성이 있어서 도폭선과 같이 물로 전색한다.

2) 3형(초안폭약)의 천공 및 장약패턴

초안폭약만을 사용하며 전색은 점토나 모래를 사용한다.

3.3 양면발파에서 비장약량에 따른 암괴의 이동변위

Table 1은 여러 채석현장에서 실시된 양면발파의 폭약종류 및 장약패턴별로 발파면의 벌어진 간격, 비장약량의 실제 적용치와 경험식을 비교한 것이다. 비장약량 $C(g/m^3)$ 는 다음의 경험식(Marcini 외, 1993)에 의하여 계산하였다.

$$C = a + b \frac{S}{V} + cs$$

여기서, S : 절단면적(m^2), V : 절단체적(m^3), s : 변위(m)

화강암에 대한 상수 : $a=10.52(g/m^3)$, $b=26.47(g/m^2)$, $c=28.74(g/m^4)$

Table 1. Variation of the displacement of rock block with specific charge

no.	L (m)	W (m)	H (m)	V (m^3)	drilling space (cm)	displacement (m)	specific charge (g/m^3)		explosive (charge pattern)	quarry (cutting system)
							practice	Marcini's		
1	3.7	3.8	4.4	61.86	15~17	0.10	31.08	26.38	det. cord (p-1a)	TW (wire saw)
2	3.7	5.2	4.4	84.66	16.5~18	0.10	25.7	24.50		
3	17	7	4	476	45	0.01	28.64	21.21	det. cord & finex (p-2)	SR (jet burner)
4	14	7	4	392	45	0.05	33.67	22.36		
5	16.7	10	7	1,169	36	0.19	23.49	22.70	det. cord (p-1c)	DA (jet burner)
6	19.5	8.6	7	1,173.9	36	0.10	24	19.82		
7	39	8.5	6.8	2,254.2	36	0.385	22.87	28.59	" (p-1b)	
8	11.65	7	8	652.4	27~30	0.225	19.1	24.08		
9	20.75	7	6	1,032.5	40~45	0.52	25	34.00	ammonium (p-3)	DH (wire saw)
	5.75	7	4							
10	31	7.1	5.8	1,277	40~45	0.60	25.5	36.1		

4. 재래식발파와 양면발파법의 채석능률 비교

Table 2는 제트버너 절삭시스템에서 재래식 일면발파와 양면발파의 작업시간 및 인원을 비교한 것으로 양면발파에서는 작업시간 및 인원이 37.4% 및 36.4% 감소를 보였다.

Table 2. Comparison of working time and labor for one and two surface-blasting systems

operation			1 splitting surface (A)		2 splitting surfaces (B)		decrease (A-B)	
			working time (hours)	labor (man-days)	working time (hours)	labor (man-days)	working time (hours)	labor (man-days)
Jet burner	back	265.2 m^2	190	48				
	2 sides	115.6 m^2	83	20	83	20		
	(subtotal)		(273)	(68)	(83)	(20)		
drilling	vertical hole	106 holes			59	16		
	horizontal hole	106 holes	69	18	69	18		
	(subtotal)		(69)	(18)	(128)	(34)		
charge & blasting			8	2	8	2		
total			350	88	219	56	▽131	▽32
			(%)				▽37.4%	▽36.4%

주1) 암석 규격: 길이 39m, 폭 8.5m, 높이 6.8m,

주2) 일일 작업시간: 8시간/인, 제트버너, 천공, 장약작업 : 2인/조,

천공능률(측정치) : 평균 0.3m/min, 제트버너 절삭능률(측정치) : 평균 1.4m²/hr

5. 제트버너 및 다이아몬드 와이어쏘 절삭시스템의 채석능률 비교

Table 3은 와이어쏘 및 제트버너 절삭시스템에서 양면발파의 채석시간과 인원을 비교 검토한 것이다. 와이어쏘 및 제트버너의 절삭능률은 현장에서 측정한 측정치를 기준으로 한 것으로 와이어쏘 절삭시스템에서 양면발파로 채석할 때 작업시간 및 인원이 제트버너보다 21.9% 및 21.2% 감소하였다.

Table 3. Comparison of working time and labor for wire saw and jet burner quarrying systems

operation			wire saw system (A)		jet burner system (B)		decrease (B-A)	
			working time (hours)	labor (man- days)	working time (hours)	labor (man- days)	working time (hours)	labor (man- days)
cutting of 2 sides	left side	28 m ²	9	2	20	5		
	right side	42 m ²	13	4	30	8		
	(subtotal)		(22)	(6)	(50)	(13)		
drilling	vertical hole	64 holes	32	8	32	8		
	horizontal hole	68 holes	38	10	38	10		
	(subtotal)		(70)	(18)	(70)	(18)		
charge & blasting			8	2	8	2		
total			100	26	128	33	▽28	▽7
			(%)				▽21.9%	▽21.2%

주1) 암석규격 : 길이 26.5m, (좌측면) 폭 7m, 높이 4m, (우측면) 폭 7m, 높이 6m

주2) 와이어쏘, 제트버너, 천공, 장약작업 : 1조 2명, 일일 작업시간 : 8시간

천공능률 : 0.3m/min, 와이어쏘 절삭능률 : 3.22m²/hr, 제트버너 절삭능률 : 1.4m²/hr

6. 결론

제트버너 절삭시스템에서 일면발파로 채석하는 것은 채석능률이 저조하고 유류비가 많이 들어 원가면에서 경제성이 떨어진다. 암석분진의 비산으로 환경공해 및 인체에 미치는 영향이 크고 소음공해도 많이 발생되고 있다. 다이아몬드 와이어쏘 절삭기술과 양면발파 기술을 병용하는 채석시스템은 작업공정이 단축되고 작업인원이 감소되므로 생산성 향상을 기대할 수 있고, 또한 소음, 진동 및 분진의 감소로 작업환경이 개선될 수 있다. 유가상승에 따른 생산비 증가에 대처하고 작업환경의 개선 등을 위해서는 계속적으로 양면발파기술에 대한 연구 및 기술개선이 이루어져야 할 것이다.

* 참고문헌

1. 선우 춘 외, 1988. 12. 채석기술 현황에 관한 연구, 한국자원연구소 보고서, p34~36.
2. 선우 춘 외, 1993. 3. 채석기술 연구, 한국자원연구소 보고서, p55~67.
3. 한 공장 외, 1996~1998 채석 및 채석가공 기술연구, 한국자원연구소 보고서.
4. 한 공장 외, 2000. 2. 채석 기술개발 연구, 한국자원연구소 보고서, p91~129.
5. Manchini, R., Fornaro, M., Cardu, M., 1993, Proc. on Rock fragmentation by blasting, Rossmanith(ed), Balkema, pp431-436.