

Air Deck 발파공법의 현장적용에 관한 연구

강대우^{1)*}, 이신²⁾, 김상욱³⁾

A Case Study of Air Deck Blasting Method

Kang Dea Woo, Lee Shin and Kim Sang Wook

Abstract Already, vari-stem, gas-bag, power deck, air ball etc. are used by various blasting methods to take the advantage of air decking technology in abroad. Air tube product has been used continuously in domestic and air ball product was made recently. In the case study, we analyzed about the application and the effect of air deck blasting method in domestic blasting area. As results of this case study, it was shown that blasting vibration was decreased about 21 ~ 41% and quantities of explosives was decreased about 17 ~ 30%. Also, in the case of using air deck blasting method, fragmentation was shown to be smaller than common blasting method.

KeyWords air ball, air deck blasting, blasting vibration, airblast

초 록 근래 쾌적한 생활환경에 대한 요구가 높아지고 규제가 엄격해지며, 폭음과 진동으로 인한 분쟁이 증가되면서 발파의 효율과 경제성이 떨어지고 심한 경우 종종 발파공사자체가 불가능한 일도 발생하고 있다. 이런 문제를 해결하면서 파쇄도를 증가시키기 위해 외국에서는 공기층을 이용하는 발파방법이 이용되어지고 있으며, 외국발파현장에서 공기층을 형성하기 위한 목적으로 vari-stem, gas-bag, power deck, air ball 등의 제품이 이용되고 있다. 본 연구에서는 일반발파방법과 공기층을 만들기 위해 새로 개발된 에어볼 제품과 국내에 사용되어지고 있는 에어튜브 제품을 이용한 에어덱 발파방법의 발파효과를 비교하여 분석하였다. 그 결과 에어덱 발파방법은 진동이 약 21 ~ 41% 정도의 감소효과가 나타났고, 화약량의 경우 17~ 30%정도의 감소를 보였다. 또한 파쇄도의 경우 에어덱 발파방법이 일반발파에 비하여 파쇄물의 평균크기(X_{50})와 최대크기의 분석에서 작고, 균질한 파쇄입도를 나타내었다.

핵심어 에어볼, 에어덱 발파방법, 발파진동, 폭음

1. 서 론

암반굴착을 하는데 있어서 발파공법은 파쇄도와 경제성 측면에서, 과거에서 현재까지 가장 많이 사용된 공법이다.

그러나 근래 쾌적한 생활환경에 대한 요구가 높아지고 규제가 엄격해지며, 폭음과 진동으로 인한 분쟁이 증가되면서 발파의 효율과 경제성이 떨어지고 종종 발파공사자체가 불가능한 경우도 발생하고 있다.¹⁾

이런 문제를 해결하기 위하여 최근 선진국에서는 공기층을 이용하는 발파방법을 많이 이용하고 있다.

공기층을 이용한 발파방법은 기존의 발파방법이 천공하부에 폭약이 집중되고 전색이 너무 길어져 자유면 방향으로 폭력을 효율적으로 사용하지 못하는 것을 보완하고, 폭약량을 감소시켜 폭음과 진동을 동시에 저감시키기 위한 발파방법이다.

이미 외국에는 발파현장에서 공기층을 형성하기 위한방법으로 vari-stem, gas-bag, power deck 등을 활용하고 있다.²⁾

본 연구에서는 일반발파방법과 공기층을 만들기 위해 새로 개발된 air ball 제품과 국내에 사용되어지고 있는 air tube 제품을 이용한 air deck 발파방법과의 발파효과를 비교하여 분석하였다.

Fig. 1, 2, 3은 외국에서 사용되어지고 있는 air deck 발파방법을 이용한 다양한 발파방법들이다.

Fig. 4는 현재 국내에서 사용되어지고 있는 air tube 를 이용한 발파방법이다.

¹⁾ 동아 대학교 지구환경공학부 교수

²⁾ 동아 대학교 자원공학과 박사수료

³⁾ 동아 대학교 자원공학과 석사

* 교신저자 : dwkang@dau.ac.kr

접수일 : 2006년 1월 31일

심사 완료일 : 2006년 3월 8일

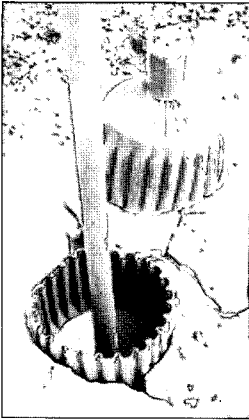


Fig. 1. Vari-Stem blasting method



Fig. 2. Gas-Bag blasting method

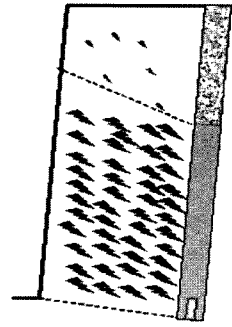


Fig. 5. General blasting pattern

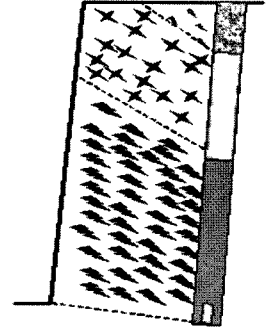


Fig. 6. Air deck blasting pattern

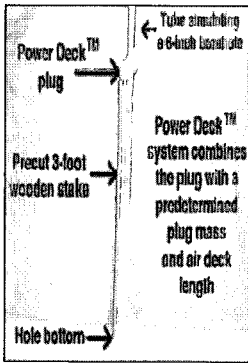


Fig. 3. Power deck blasting method



Fig. 4. Air tube blasting method

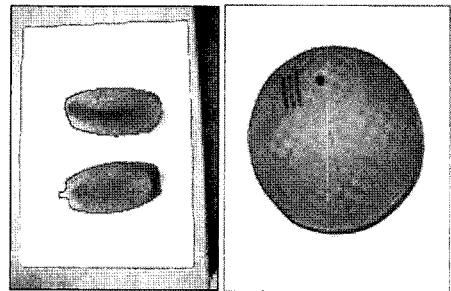


Fig. 7. Air ball



Fig. 8. Air tube

2. Air deck 발파의 이론적 배경

종래의 일반적인 발파 방법은 천공하부에 폭약이 집중되고 전색의 길이가 너무 길어 폭약이 폭발할 때, 폭력의 분산되지 않고 특히 저항선이 짧은 자유면 쪽(벤치면)으로 집중되어 상부 전색부분에 대파가 생기는 경우가 많아 이를 다시 2차 파쇄하여야 하므로 경제적인 손실뿐만 아니라 환경적 문제를 증가시켜왔다.³⁾

또한 하부의 장약 집중과 비효율적인 장약분포로 인하여 발파진동과 폭음을 증가시키는 원인으로 작용되어 필요이상의 환경적 피해와 분쟁의 가능성을 가져왔다.

Air deck 발파방법의 원리는 Fig. 6과 같이 장약실과 전색 사이에 공기층을 형성시킴으로서 폭약이 폭발하는 순간에 자유면 쪽으로 폭력의 투사면적을 넓혀지도록 하고 전색의 길이를 짧게 하여, 폭력의 분산 효과가 발생하도록 하는 발파 방법이다.

이를 통하여, 폭력의 고른 분포와 과도한 장약량을 줄임으로써 경제적인 절감효과와 파쇄도를 향상시키며, 디커플링효과에 의한 진동과 폭음을 저감시켜 환경적 피해를 줄이고 파쇄도를 크게 향상시킬 수 있다.

발파공 하부에 위치한 화약류가 폭발하면서 발생하는 충격파 및 폭발 후 가스가 팽창되어 발파공 외부로 방사 형태로 전파될 뿐만 아니라 공기층 상, 하부를 반복하면서 서로 충돌하여 충격파가 보강되며, 이 현상은 파쇄효율을 증가시키는데 많은 영향을 미친다.⁴⁾

폭약의 폭굉에 의한 충격파는 공기층에서 매우 빠른 속도로 발파공을 따라서 확산되고 고압으로 전색에 충격을 주고 반사하면서 암반에 추가적인 파쇄를 준다.

Fig. 5와 6은 일반발파와 air deck 발파방법의 장약 및 파괴형태를 비교한 그림이다.

본 실험에 사용된 air ball과 air tube는 Fig. 7과 8과 같다.

Table 1. General and air deck blasting pattern I (in limestone mine)

	Hole diameter	Hole length	Hole space	Burden	Total charge	Height of charge	Stemming	Air deck length
General blasting	102mm	15m	3.5m	3.2m	60kg	12m	3m	0m
Air deck Blasting	102mm	15m	3.5m	3.2m	40~50kg	10m	2m	3m

3. Air ball 및 air tube 장착작업

본 실험에 적용된 발파는 일반발파, 대규모 석회석광산에서 장대 air tube(길이 2m 이상)를 이용한 발파, 도심지 소규모 발파지역에서 짧은 air tube(길이 50cm 이하)를 이용한 발파 및 석산에서 air ball을 이용한 발파 방법이다.

3.1 Air tube

Air tube 발파의 경우 tube의 팽창은 빨대 또는 공기펌프를 이용하여 valve gear를 통하여 이루어지며, 별도의 tube 마개 없이 빨대 또는 공기펌프노즐만 제거하면 닫히게 되어 있다.

장착은 자중에 의해 낙하하여 삽입한다.

단, 천공입구까지 물이 찬 경우에는 고무마개를 병행하여 장전봉으로 장전해야 한다.

Air tube 팽창시간은 일반발파의 전색장의 단축과 장약장의 단축을 고려할 때, 어느 정도 숙달되면 실제 작업시간에 큰 영향이 없는 것으로 분석되었다.

3.2 Air ball

본 실험현장에서 air ball의 삽입깊이는 2m, 삽입시간은 약 2초 정도로, 곧바로 삽입이 되었고, air ball을 팽창시키는데 필요한 시간은 일반발파의 전색장의 단축과 장약량의 감소와 비교할 때, 어느 정도 숙달되면 실제 작업에는 큰 영향이 없을 것으로 분석되었다.

Fig. 9는 air ball을 팽창시키는 방법이다.

Air ball이 천공벽면을 강한 압력으로 압박하기 때문에 천공 내에서는 빈틈이 생기지 않는다.

따라서 전색을 한 후부터 발파 전까지의 시간동안에 카트리지폭약을 사용하는 일반발파에서처럼 화약과 천공경사이의 틈을 통한 전색의 자연 침하가 일어나지 않다.

4. 적용 발파패턴

Air deck 발파와 일반발파의 발파패턴은 천공경, 천



Fig. 9. Air pumping

공장, 공간격, 저항선은 동일하게 하였고, 전색장과 air deck의 높이, 화약량만을 달리하여 적용하였다.

4.1 Air tube를 적용한 발파패턴

대규모 발파에서 air deck 발파 패턴은 길이 1m, 직경 50mm인 air tube를 연속해서 2개 이상 사용하여 공기층을 2m 이상 형성하였다.

천공직경은 102mm, 전색은 2m, 폭약은 안포 40~50kg, 전색은 2m로 하였다.

발파 패턴은 Table 1과 같다.

도심지 소규모 발파에서는 길이 0.5m, 직경 \varnothing 50mm인 짧은 air tube를 사용하여 공기층을 0.5m 이상 형성하였다.

천공경 75mm, 폭약은 에멀전폭약 1kg, 전색장은 1.7~1.9m로 하였다.

뇌관은 전기뇌관을 사용하여 지발당 뇌관수를 1개, 뇌관시차는 40ms를 사용하였다.

발파 패턴은 Table 2와 같다.

Air tube를 이용한 발파 패턴도는 Fig. 10과 11과 같다.

Table 2. General and air deck blasting pattern II (in saha gu jangrim dong)

	Hole diameter	Hole length	Hole space	Burden	Total charge	Height of charge	Stemming	Air deck length
General Blasting	75mm	2.7~2.9m	1.2m	1m	1.3kg	0.64m	2.06~2.26m	0m
Air deck Blasting	75mm	2.7~2.9m	1.2m	1m	1kg	0.48m	1.72~1.92m	0.5m

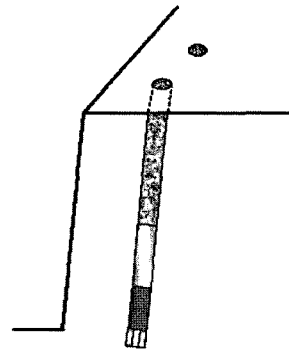
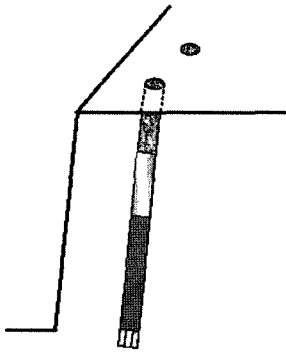


Fig. 10. Air deck blasting design I (in limestone mine) **Fig. 11.** Air deck blasting design II (in saha gu jangrim dong)

Table 3. General and Air deck blasting pattern III

	Hole diameter	Hole length	Hole space	Burden	Total charge	Height of charge	Stemming	Air deck length
General blasting	75mm	11.7m	1.8m	1.5m	28~ 32kg	9m	2.7m	0m
Air deck blasting	75mm	11.7m	1.8m	1.5m	23~ 25kg	7.2m	2m	2.5m

4.2 Air ball을 이용한 발파

Air ball 발파의 경우 공기층이 2.5m, 전색장이 2m가 되도록 적절한 위치에 air ball을 삽입하여 평창 시켰다. 천공경은 75mm, 장약량은 안포 23~25kg, 전색장은 2m로 하였다.

사용뇌관은 전기뇌관을 사용하였으며, 지발당 뇌관수는 1, 뇌관시차는 40ms를 사용하였다.

발파패턴은 Table 3과 같다.

Air ball 발파방법의 발파 패턴도는 Fig. 12와 13과 같다.

5. 측정결과 및 분석

5.1 진동 및 폭음의 분석방법

Air ball 발파방법은 석산현장에서 blastmate II, III 총 7대를 사용하여 실험하였고, air tube 발파방법은 석회석광산과 도심지 일반발파에서 blastmate II, III 각각

2대와 4대를 이용하여 계측하였으며, 분석한 자료를 사용하여 비교하였다.

거리와 폭약량을 근거로 자승근 환산거리와 삼승근 환산거리를 이용하여 발파진동을 분석하였다.

폭약의 양에 따라서만 폭음의 크기가 결정되는 것은 아니며 기온과 바람, 주변의 구조물 등의 기후와 지형적 상태, 천공간격과 천공오차 등의 천공의 상태, 층리와 절리 등의 불연속면과 지하수 등의 암반의 상태, 파쇄도의 크기 등 여러 요인이 있으나 본 분석에서는 거리와 폭약량을 사용하여 분석하였다.

발파진동의 감쇄는 측정 data 수를 감안하여 감쇄지수 n값을 일정하게 하여 K값을 비교하는 방법을 사용하지 않고, 진동속도 추정식을 사용하여 임의 거리 100m를 기준으로 비교하였다.

진동추정식의 단위는 mm/sec를 사용하였다.

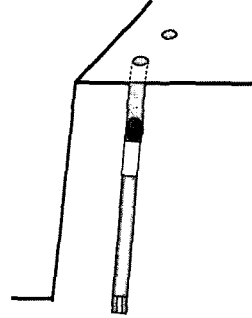
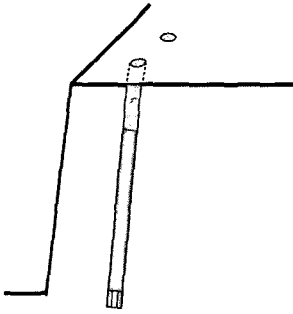
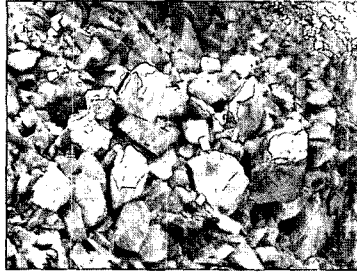
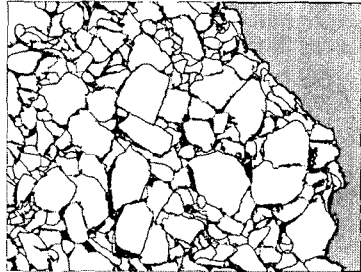


Fig. 12. Air deck blasting design I (in limestone mine) Fig. 13. Air deck blasting design II (in saha gu jangrim dong)

Table 4. General blasting fragmentation (in saha gu jangrim dong)

program	fragmentation	digital image processing
Split desktop		

5.2 Air tube를 이용한 air deck 발파방법의 효과

석회석광산에서 일반발파와 air tube 발파공법을 비교한 결과 폭약량을 감소시키더라도 투사면적을 넓혀 주므로 일반발파 보다 좋은 파쇄를 나타내었다.⁵⁾

자승근 환산거리를 이용한 진동 속도 추정식으로 일반발파는 $V=412 \times (\frac{D}{\sqrt[3]{W}})^{-1.51}$, air deck 발파공법은

$V=375 \times (\frac{D}{\sqrt[3]{W}})^{-1.68}$ 로 거리를 100m, 장약량 60kg으로

했을 때 일반발파의 예상 진동치는 0.866cm/sec, air deck 발파공법의 예상 진동치는 0.510cm/sec로 약 41%의 진동 감소율을 보인다.

주주파수의 경우 17~ 40Hz로 나타났다.

폭약량은 17~ 30%의 감소를 보였다.

부산 사하구 장림동 도십지 발파에서, 진동속도 추정식으로 일반발파는 $V=749 \times (\frac{D}{\sqrt[3]{W}})^{-1.85}$, air deck 발

파공법은 $V=356 \times (\frac{D}{\sqrt[3]{W}})^{-2.25}$ 로 거리를 100m, 장약량 1.3kg으로 했을 때 일반발파의 예상 진동치는 0.019cm/sec, air deck 발파공법에서는 0.015cm/sec로 약 21%의 진동 감소율을 보였다.

주주파수의 경우 60Hz 이상으로 나타났다.

폭약량은 약 23% 감소시켰다.

파쇄입도분석은 Split desktop program을 이용하여 일반발파 3부분, air Tube 발파 3부분을 분석하였다.

파쇄입도비교 분석결과 파쇄물의 평균입도(X_{50})를 보면 일반발파의 경우 각각 36.81cm, 15.01cm, 16.81 cm로 나타났으며, air tube발파의 경우 파쇄물의 평균입도는 14.17cm, 9.14cm, 9.97cm로 시험 위치에 따른 편향성이 작고, 파쇄입도가 매우 작고 균질하며 비교적 고른 파쇄입도 분포 양상을 나타내었다. 파쇄물의 최대크기 분석에서도 일반발파의 경우 각각 73.47cm, 37.63cm, 35.94cm이고, air deck 발파공법의 경우 30.76cm, 20.15cm, 23.28cm로 air deck 발파공법이 작은 파쇄입도를 나타내었다. air deck 발파공법이 일반발파에 비하여 발파제원(공경, 천공장, 저항선 및 공간격 등)이 동일하고 공(지발)당장약량(일반발파 1.3kg/공, air Tube 발파 1.0kg/공)이 23% 적은 조건에서도 파쇄물의 평균 크기(X_{50})를 비교 분석한 결과, 입도가 비교적 작고 균질하여 좋은 파쇄효과가 있는 것으로 나타났다.

Table 4와 5는 Split desktop program을 이용한 일반발파의 파쇄입도 분석을 나타내며, Table 6과 7은 air

Table 5. Result of general blasting fragmentation analysis (in saha gu jangrim dong)

size distribution		cumulative size distribution			
Result of fragmentation analysis	Rosram model	Uniformity	2.27	F ₁₀	7.20cm
		X ₅₀	16.81cm	F ₃₀	12.62cm
		R-squared	0.9982	F ₅₀	17.17cm
	Schuhmann model	Slope	1.62	F ₇₀	21.78cm
		X ₅₀	18.19cm	F ₉₀	27.96cm
		R-squared	0.9816	Top Size	35.94cm

Table 6. Air deck blasting fragmentation (in saha gu jangrim dong)

program	fragmentation	digital image processing
Split desktop		

Table 7. Result of air deck blasting fragmentation analysis (in saha gu jangrim dong)

size distribution		cumulative size distribution			
Result of fragmentation analysis	Rosram model	Uniformity	1.99	F ₁₀	3.60cm
		X ₅₀	9.14cm	F ₃₀	6.30cm
		R-squared	0.9958	F ₅₀	9.23cm
	Schuhmann model	Slope	1.42	F ₇₀	12.41cm
		X ₅₀	9.91cm	F ₉₀	16.34cm
		R-squared	0.9709	Top Size	20.15cm

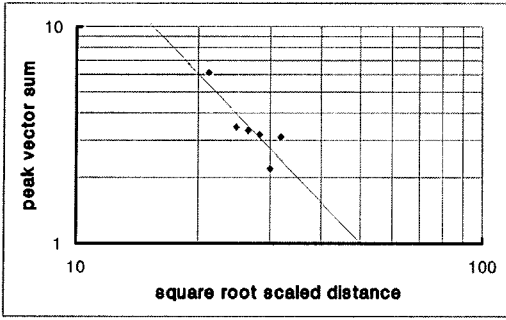


Fig. 13. Relationship between peak velocity and square root scaled distance by general blasting

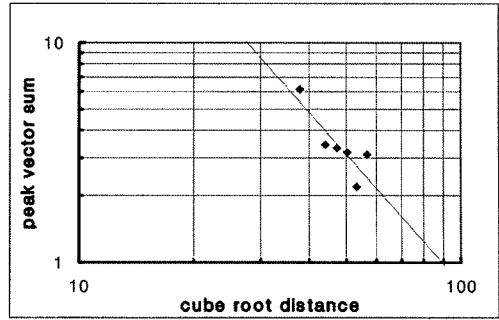


Fig. 14. Relationship between peak velocity and cube root scaled distance by general blasting

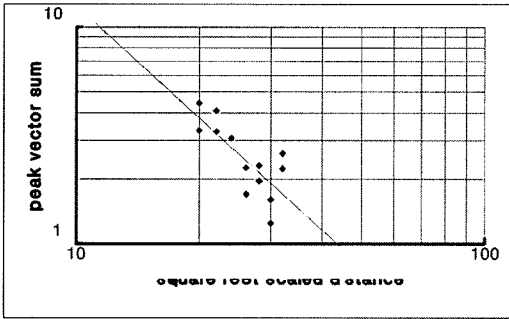


Fig. 15. Relationship between peak vector sum and square root scaled distance by air deck blasting

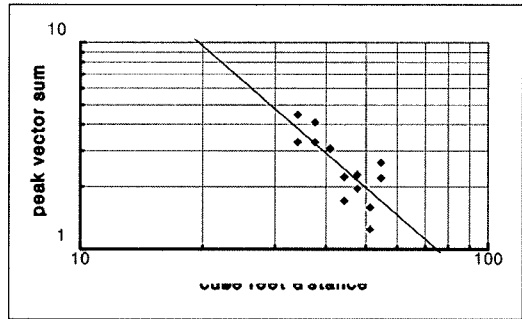


Fig. 16. Relationship between peak vector sum and cube root scaled distance by air deck blasting

Tube 발파의 파쇄입도 분석을 나타낸 것이다.

5.3 Air ball를 이용한 air deck 발파방법의 효과

일반발파와 air ball 발파의 진동을 자승근과 삼승근 환산거리에 대한 진동추정식을 분석하면 아래와 같다.

Fig. 13과 14는 일반발파의 진동을 분석한 것이다. 일반발파 자승근 환산거리에 대한 진동추정식은 $K=2130, n=-1.96, \text{결정계수}=0.745$ 이다.

$$V=2130 \times \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1.96}$$

일반발파 삼승근 환산거리에 대한 진동추정식은 $K=6600, n=-1.96, \text{결정계수}=0.745$ 이다.

$$V=6600 \times \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}}\right)^{-1.71}$$

Fig. 15와 16은 air deck 발파방법의 진동을 분석한 것이다.

Air deck 발파방법의 자승근 환산거리에 대한 진동추정식은 $K=648, n=-1.71, \text{결정계수}=0.579$ 이다.

$$V=648 \times \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1.71}$$

Air deck 발파방법의 삼승근 환산거리에 대한 진동추정식은 $K=1626, n=-1.71, \text{결정계수}=0.579$ 이다.

$$V=1626 \times \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}}\right)^{-1.71}$$

Air ball을 이용한 air deck 발파방법에서, 일반발파의 자승근 환산거리에 대한 진동추정식은 $V=2130 \times \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1.96}$, air deck 발파방법의 경우 자승근 환산거리에 대한 진동추정식은 $V=648 \times \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1.71}$ 로 거리를

100m, 장약량 32kg으로 했을 때 일반발파방법의 예상 진동치는 0.765cm/sec, air deck 발파방법에서는

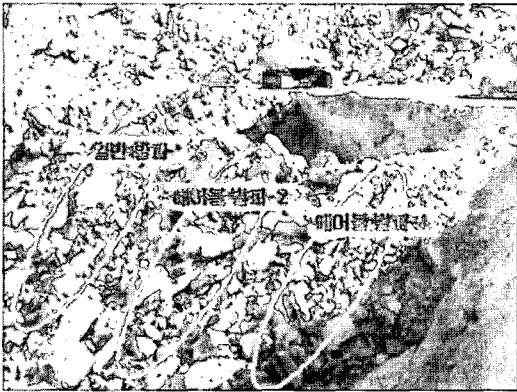


Fig. 17. Fragmentation of air deck blasting

0.477cm/sec로 약 38%의 진동 감소율을 보였다.
주주파수의 경우 60~ 90Hz로 나타났다.

Fig. 17은 발파 후 파쇄석사진이다.
폭약의 경우 약 20%를 감소시켰다.

파쇄도분석은 Split desktop program을 사용하여 일반발파 1곳, air deck 발파 2곳을 분석하였다.

파쇄입도비교 분석결과 RosRam model 및 Schumann model의 파쇄물의 평균크기(X_{50})를 보면 일반발파의 경우 각각 42.04cm, 45.40cm로 나타났으며, air deck 발파방법의 경우는 평균 파쇄입도가 37.71cm, 39.62cm, 40.64cm, 42.72cm로 파쇄입도가 비교적 작고 균질하며 고른 파쇄입도 분포 양상을 나타내었다. 파쇄물의 최대크기 분석에서도 일반발파의 경우 84.76cm이고, air deck 발파방법의 경우 83.71cm, 74.91cm로 air deck 발파방법이 작은 파쇄입도를 나타내었다. air deck 발파가 일반발파에 비하여 발파재원이 동일하고 공당장약량(일반발파 28~32kg/공, air ball 발파 23~25kg/공)이 적은 조건에서도 파쇄물의 평균크기(X_{50})의

비교 분석결과, 입도가 비교적 작고 균질하여 좋은 파쇄효과가 있는 것으로 나타났다.

Table 8과 9는 Split desktop program을 이용한 일반발파방법의 파쇄입도 분석을 나타내며, Table 10과 11은 air deck 발파방법의 파쇄입도 분석을 나타낸 것이다.

6. 결 론

환경적 공해를 줄이고 경제적인 발파방법으로 선진국에서는 air deck 발파방법에 많은 관심을 기울이고 있다.

암석의 물리적 성질을 고려하지 않고 경험적으로 적용되고 있는 일반발파 패턴으로 실제 현장에 사용되어 지는 air ball과 air tube를 국내 현장에 적용한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 발파진동에 있어서 일반발파방법과 비교하여 air tube를 이용한 대규모 air deck 발파방법의 경우 약 41%, 도심지 소규모 air deck 발파방법의 경우 약 21%, air ball을 이용한 air deck 발파방법의 경우 38%의 진동감소를 보였다. 발파진동의 경우 일반발파에 비하여 air deck 발파방법이 약 21%~ 41%정도로 진동감소를 보이는 것으로 분석되었다.
2. 화약 사용량의 경우 air tube를 이용한 대규모 air deck 발파방법에서 약 17~ 30%의 감소를, 도심지 소규모 air deck 발파방법에서는 약 23% 정도 감소하였고, air ball을 이용한 air deck 발파방법에서는 약 20% 정도 감소하였다. 따라서 air deck 발파방법의 화약량 감소는 약 17%~30% 정도임을 알 수 있었다.
3. 파쇄도의 경우, air tube를 이용한 도심지 소규모

Table 8. General blasting fragmentation

program	fragmentation	digital image processing
Split desktop		

Table 9. Result of general blasting fragmentation analysis

size distribution		cumulative size distribution			
Result of fragmentation analysis	RosRam model	Uniformity	2.17	F ₁₀	17.17
		X ₅₀	42.04	F ₃₀	31.65
		R-squared	0.9969	F ₅₀	43.11
	Schuhmann model	Slope	1.59	F ₇₀	55.04
		X ₅₀	45.40	F ₉₀	70.27
		R-squared	0.9890	Top Size	84.76

Table 10. Air deck blasting fragmentation

program	fragmentation	digital image processing
Split desktop		

Table 11 Result of air deck blasting fragmentation analysis

size distribution		cumulative size distribution			
Result of fragmentation analysis	RosRam model	Uniformity	2.56	F ₁₀	19.06
		X ₅₀	39.62	F ₃₀	30.52
		R-squared	0.9999	F ₅₀	39.50
	Schuhmann model	Slope	1.84	F ₇₀	48.89
		X ₅₀	42.72	F ₉₀	63.79
		R-squared	0.9750	Top Size	83.71

Air deck 발파방법에서 파쇄물의 평균크기(X_{50})를 비교 분석한 결과, 일반발파방법의 경우 각각 36.81cm, 15.01cm, 16.81cm로 나타났으며, air deck 발파방법의 경우 각각 14.17cm, 9.14cm, 9.97cm로 나타났다.

그 결과 air deck 발파방법이 일반발파에 비하여 발파제원이 동일하고 지발당장약량이 약 23%적인 조건에서도 시험 위치에 따른 편향성이 작고, 파쇄입도가 매우 작고 균질하여 좋은 파쇄효과가 있는 것으로 나타났다.

Air ball을 이용한 air deck 발파방법의 경우, 파쇄물의 평균크기(X_{50})를 비교 분석한 결과는 일반발파법의 경우 각각 42.04cm, 45.40cm로 나타났으며, air deck 발파방법의 경우 각각 37.71cm, 39.62cm, 40.64cm, 42.72cm로 나타났다.

그 결과 air deck 발파방법이 일반발파에 비하여 발파제원이 동일하고 지발당장약량이 약 20%적인 조건에서도 파쇄입도가 비교적 작고 균질한 분포 양상을 나타내어 좋은 파쇄효과가 있는 것으로 나타났다.

따라서 air deck 발파방법들이 일반발파에 비하여 파쇄물의 최대크기와 평균크기(X_{50})가 작고 균질한 분포를 나타냈다.

사 사

본 연구는 2004학년도 동아대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행되었다.

참고문헌

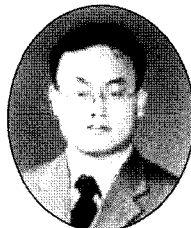
1. 서울시립대학교, 2003, 발파소음진동측정방법 및 규제기준 개선 방안에 관한 연구, 환경부, 1p.
2. 김상욱, 2005, 도심지 노천발파에서 에어데킹 발파공법의 효과에 관한 연구, 석사학위논문, 58p.
3. 원연호, 2005, 에어데크(Air Deck)원리를 이용한 발파공법의 효과 고찰, 제3회 한화발파기술 심포지움, 251-252.
4. Liqing Liu & P.D. Katsabanis, "Numerical modelling of the effects of air decking/decoupling in production and controlled blasting, 5-15.
5. 김용균, 2003, 노천광산과 Tunnel에서 일반발파와 Air tube 발파의 비교 연구, 석사학위논문, 35-52.

강 대 우



1980년 한양대학교 공과대 자원공학과 공학사
1982년 한양대학교 대학원 자원공학과 공학석사
1987년 한양대학교 대학원 자원공학과 공학박사
Tel: 016-840-8809
E-mail: dwkang@dau.ac.kr
현재 동아대학교 지구환경공학부 교수

이 신



1995년 동아대학교 공과대 자원공학과 공학사
2000년 동아대학교 대학원 자원공학과 공학석사
2004년 동아대학교 대학원 자원공학과 공학박사
Tel: 016-568-0684
E-mail: unit2@korea.com
현재 동아대학교 대학원 자원공학과 공학박사 수료

김 상 욱



2004년 동아대학교 공과대 자원공학과 공학사
2006년 동아대학교 대학원 자원공학과 공학석사
Tel: 031-9100-107
E-mail: ventil@kict.re.kr
현재 동아대학교 대학원 자원공학과 공학석사 과정