

에어볼 발파공법에 의한 진동 및 폭음 계측연구

이신¹⁾, 김상욱¹⁾, 강대우¹⁾

A Case Study of Air Ball Blasting Method

Shin Lee, Sang-Wook Kim and Dea-Woo Kang

Abstract : Already, VARI-STEM, GAS-BAG, POWER DECK etc. are used by various blasting methods to take the advantage of air decking technology in abroad. This study analyzed the application and the effect of Air ball blasting method in domestic blasting area. It is shown that blasting vibration was showed decrease about 30 ~ 40% and quantities of explosives was shown decrease about 20 ~ 25%. Also, in the case of using air ball blasting method, it is found for airblast to be lower than common blasting method.

Key words : airblast, fragmentation, air ball, air decking

초록 : 발파로 인한 환경적 문제는 주로 진동과 폭음에 대한 영향이나, 발파로 인한 파쇄도 및 경제성에 관해서도 효율적인 발파공법들이 많이 개발되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 선진국에서 많이 사용되는 방법이 air decking을 이용하는 발파방법이다. 이미 선진국의 발파현장에서는 air decking 기술을 이용한 다양한 발파방법으로 VARI-STEM, GAS-BAG, POWER DECK 등이 이용되어지고 있다. 본 연구에서는 이들 중에서 Air ball 제품을 이용한 발파공법에 대하여 연구하고 국내 현장적용과 효과에 대하여 분석하였다. 그 결과 발파진동의 경우에는 약 30 ~ 40% 정도의 감소효과가 나타났고, 화약량의 경우 20~ 25%정도의 감소를 보였다. 또한 폭음의 경우에도 Air ball을 이용한 발파가 효과적이었으나 분석결과의 결정계수가 낮아 이는 더 많은 실험을 통하여 다시 분석해야 할 것으로 생각된다.

핵심어 : air ball, air decking, 발파진동

1. 서 론

근래 발파에서 점점 더 발파환경이 엄격해지면 서 환경적 공해와 더불어 가장 중요한 요소 중의 하나가 파쇄도 및 경제성이다.

이런 발파조건을 만족시키기 위해서 최근 10년 전부터 선진국에서 많이 사용되는 방법은 air decking을 이용한 발파방법이다.

Air decking 발파방법은 기존의 발파방법이 천 공하부에 폭약이 집중되고 전색이 너무 길어져 자유면방향으로 폭력을 효율적으로 사용하지 못하는 것을 개선하여 주상장약부의 길이는 길게 하고, 폭약량을 감소시켜 폭음과 진동을 동시에 저감시키기 위한 발파방법이다.¹⁾

이미 선진국의 발파현장에서는 air decking을 만들기 위한 다양한 발파방법으로 VARI-STEM,

GAS-BAG, POWER DECK 등이 많이 이용되고 있다.

본 연구에서는 Air ball 제품을 이용한 발파공법에 관하여 연구하고 국내 현장적용과 효과에 대하여 분석하였다.

Fig. 1, 2, 3은 선진국에서 사용되어지는 air decking을 이용한 다양한 발파방법들이다.

2. 지질 및 지반조건

연구대상지역의 암석은 안산암질화산각력암으로 암상은 회색, 암회색 및 암녹색을 띠는 라필리용회암을 주를 이루고 있다.

연구대상암석은 치밀하고 견고하여 눈으로는 각력과 기질의 경계를 뚜렷이 구분하기 어렵다. 주향과 경사는 N20° E 40NW로 층리를 이루고 수직질리도 발달하였다.

1) 동아대학교 자원공학과
접수일 : 2005년 6월 9일

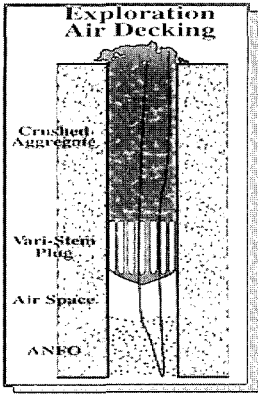


Fig. 1. VARI-STEM blasting method



Fig. 2. GAS-BAG blasting method.



Fig. 3. POWER DECK blasting method.



Fig. 4. Geologic map.

3. Air decking 이론적 배경

종래의 발파 방법은 천공하부에 폭약이 집중될 뿐만 아니라, 전색의 길이가 너무 길어 폭력의 분산이 저항선이 짧은 자유면 쪽 즉, 벤치면 쪽으로 집중되어 상부 전색방향으로 대파가 생기는 경우가 많아 이를 다시 2차 파쇄함으로 해서 경제적인 손실과 환경적 문제를 가져왔다.²⁾ 또한 발파 작업에 있어서 하부의 장약 집중과 비효율적인 장약분포로 인하여 발파진동과 폭음을 증가시켜 필요이상의 환경적 피해와 분쟁의 가능성을 가져왔다.

따라서 Air decking 발파방법은 폭약이 폭발하는 순간에 자유면 쪽으로 폭력의 투사면적을 넓히도록 하고, 전색의 길이를 짧게 하여 폭발하는

순간에 폭약이 발파공 내에서 분산 효과가 발생하도록 하는 발파 방법으로 폭력의 고른 분포와 과도한 장약량을 줄임으로써, 경제적인 절감효과와 파쇄도를 향상시키며 환경적 피해를 줄임으로 분쟁의 소지를 약화시키는 목적으로 구미선진국에서는 많은 연구가 이루어지고 있다.

Air-deck(에어층)의 원리는 Fig. 6과 같이 장약실과 전색장 사이에 Air-deck(Air ball)를 장착시켜 에어층을 형성시킴으로서 장약실내에서 폭약이 폭발할 때, 폭약의 주상장약이 길어지게 됨으로써 폭약의 전압력이 기존 일반발파시보다 넓게 분포되어 암석의 고른 파쇄와 디커플링효과에 의한 진동과 폭음을 저감시켜주는 원리이다.

또한 Air-deck층을 형성하여 전색장이 짧아지면 충격파의 반사가 커지게 됨으로 상부 전색장 부분의 압반이 보다 많은 파괴가 일어나며, 전색장의 길이가 길어질 경우 충격파의 반사효과가 적어질 수 있다.³⁾

폭약의 폭핑에 의한 생성물은 Air-deck층에서 매우 빠른 속도로 천공경을 따라서 확산되고 고압으로 매지에 충격을 주고 반사하면서 암반에 추가적인 파쇄를 준다.

Fig. 5, 6은 Air decking 발파방법의 원리를 그림으로 나타낸 것이다.

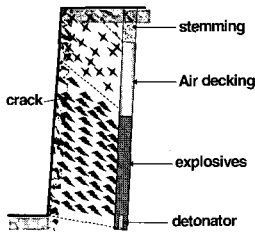


Fig. 5. Air decking blasting pattern.

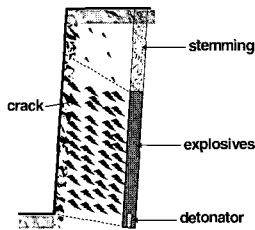


Fig. 6. General blasting pattern.

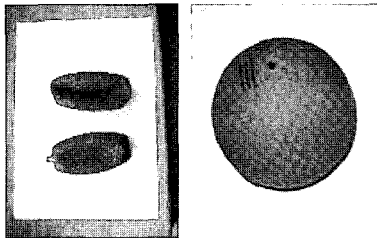


Fig. 7. Air Ball.

본 실험에 사용된 Air Ball은 Fig. 7과 같다.

4. 측정장비 및 작업방법

4.1 측정장비

본 연구에 사용된 측정기기는 캐나다 Instantel사에서 제작된 Blastmate 시리즈이며, 발파지점으

로부터 100m 지점에서부터 10m 간격으로 7지점에서 7대의 측정기를 각각 설치하여 계측하였다.

Fig. 8, 9는 측정에 사용된 Geophone 및 Microphone과 이를 설치한 것이다.

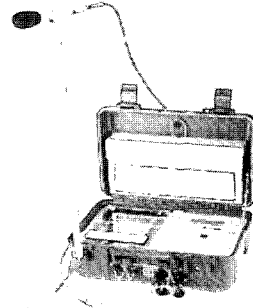


Fig. 8. Instrument for measurement.

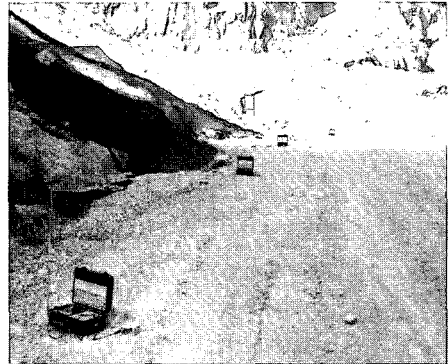


Fig. 9. Installation of Instrument.

4.2 작업시간

에어볼 발파에서 추가 장약시간은 Air ball의 삽입시간과 에어볼 팽창시간으로 나타낼 수 있다. Air ball의 삽입깊이는 2m로 삽입시간은 2초 정도 곧바로 삽입이 되기 때문에 본 실험현장에서는

Table 2. Blasting design

| | 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~ 32 kg | 9m | 2.7m | 0m |
| Air ball Blasting | 75mm | 11.7m | 1.8m | 1.5m | 23~ 25 kg | 7.2m | 2m | 2.5m |

Air ball 팽창 시간이 문제가 되었다.

장약작업 시 Air ball의 천공장작 시간 약 20~30초 정도 소요되지만 이는 에어볼 장전의 숙련도가 낮고 임시 에어펌프를 사용하였기 때문이며, 에어볼 팽창전용 기기(에어건)를 사용한다면 약 5~10초정도면 가능하며, 이런 시간을 일반발파의 전색장의 단축과 장약량의 감소와 비교할 때 실제 작업에는 큰 영향이 없다.

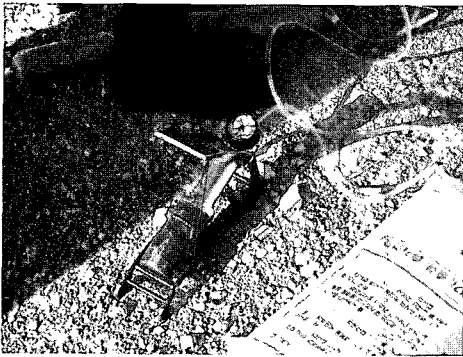


Fig. 10. Air pump.

또한 Air ball은 천공 내를 빈틈없이 강한 압력으로 압축하기 때문에 대구경 일반발파에서처럼 전색 후 발파 전, 화약과 천공사이의 간격으로 인해 천공 내 매지의 자연 침하에 의한 뒷채움이 필요치 않다.

5. 시험 발파패턴

본 현장에서 사용된 폭약은 ANFO를 사용하였고, 일반발파의 패턴으로는 천공경 75mm, 지발당 장약량 28kg~32 kg이며 전색장은 2.7M, 천공장은 11.7M, 저항선 1.5M 및 천공간격 1.8M이고, Air ball 발파방법의 경우 장약량 23kg ~25kg, 전색장은 2M, Air Decking 길이는 2.5M, 천공장 11.7M, 저항선 1.5M, 천공간격 1.8M 로 천공간격과 천공장, 저항선은 동일하게 하고 장약량과 전색장의 길이만을 달리하였다.

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

발파 패턴은 Fig. 11, 12와 같다.

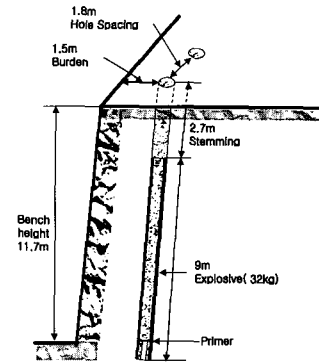


Fig. 11. General blasting pattern.

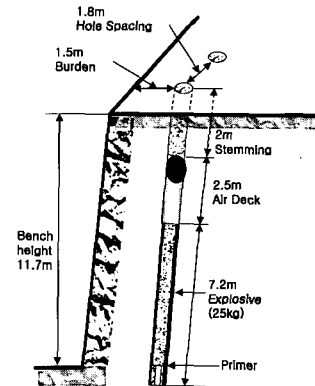


Fig. 12. Air ball blasting pattern.

6. 결과분석

6.1 분석방법

거리와 폭약량을 근거로 자승근 Scaled Distance와 삼승근 Scaled Distance를 이용하여 발파진동을 분석하였다.

폭약의 양에 따라서만 폭음의 크기가 결정되지 않으며 발파의 결과, 파쇄도의 상태, 암반의 상태 등 여러 요인이 있으나 본 분석에서는 정량화 가능한 거리와 폭약량을 사용하여 분석하였다.

폭음의 분석은 폭음에 영향을 미치는 요소들 중 발파에 사용된 화약량과 거리를 이용하여 삼승근 Scaled Distance를 사용해서 분석하였다.⁴⁾

6.2 진동 폭음의 분석

일반발파와 Air ball 발파의 진동과 폭음을 자승근과 삼승근 환산 진동추정식을 분석하면 아래와 같다.

일반발파 자승근 환산 진동추정식
 $K=2891, n=-1.96, \text{결정계수} = 0.745$
 $V = 2891 * (SD)^{-1.96}$

일반발파경우 폭음의 삼승근 환산 추정식
 $K = 89.3, n = -0.0258, \text{결정계수} = 0.00454$
 $V = 89.3 * (SD)^{-0.0258}$

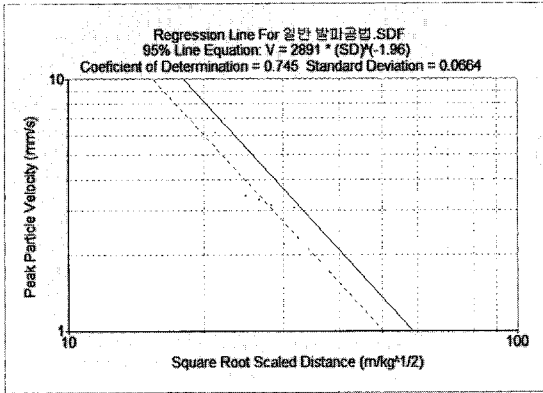


Fig. 13. Relationship between peak velocity and square root scaled distance by general blasting.

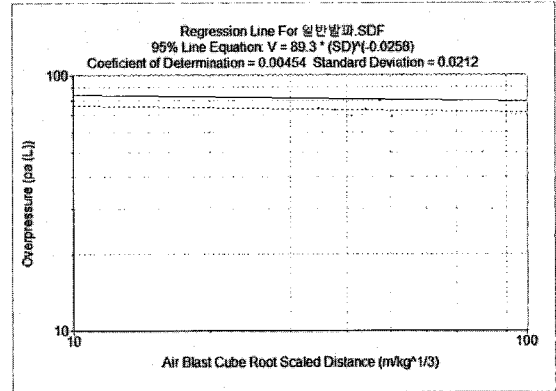


Fig. 15. Relationship between overpressure and cube root scaled distance by general blasting.

일반발파 삼승근 환산 진동추정식
 $K=8959, n=-1.96, \text{결정계수} = 0.745$
 $V = 8959 * (SD)^{-1.96}$

에어볼 발파의 자승근 환산 진동추정식
 $K=1038, n=-1.71, \text{결정계수} = 0.579$
 $V = 1038 * (SD)^{-1.71}$

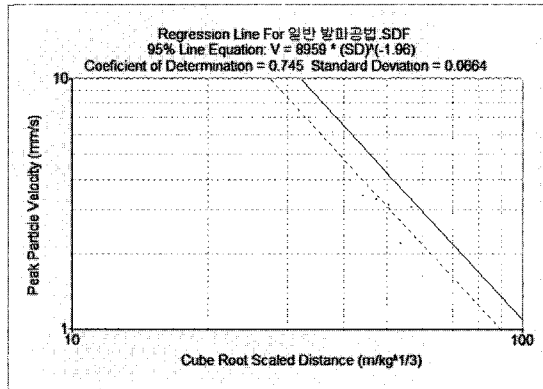


Fig. 14. Relationship between peak velocity and cube root scaled distance by general blasting.

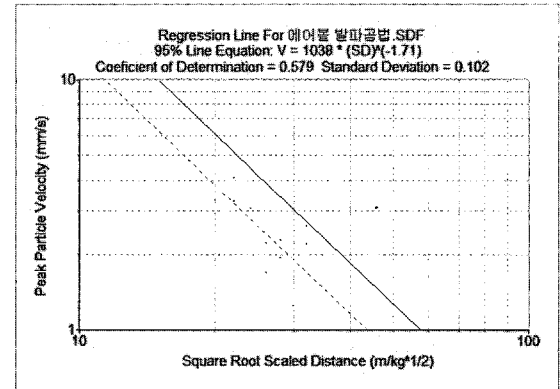


Fig. 16. Relationship between peak velocity and square root scaled distance by air ball blasting.

에어볼 발파의 삼승근 환산 진동추정식
 $K=2605, n=-1.71, \text{결정계수}=0.579$
 $V = 2605 * (SD)^{-1.71}$

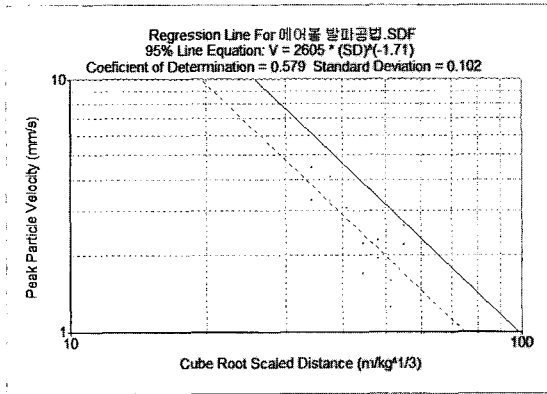


Fig. 17. Relationship between peak velocity and cube root scaled distance by air ball blasting.

에어볼 발파경우 폭음의 삼승근 환산 추정식
 $K= 153, n=-0.161, \text{결정계수}= 0.130$
 $V = 153 * (SD)^{-0.161}$

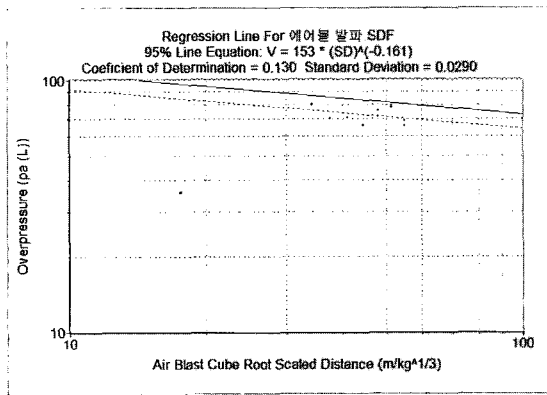


Fig. 18. Relationship between overpressure and cube root scaled distance by air ball blasting.

아래 Fig. 19는 에어볼 발파 첫 번째와 두 번째 그리고 일반발파의 발파 후 모습이다.

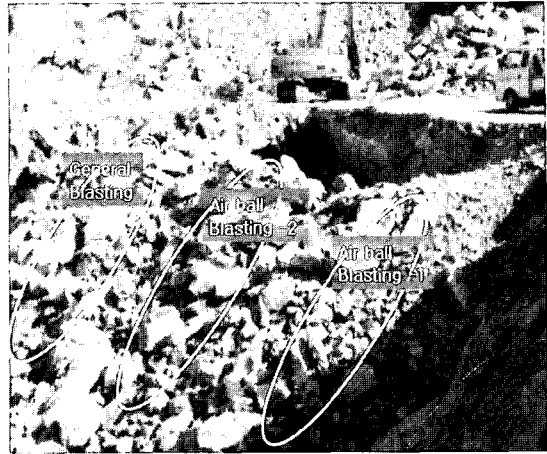


Fig. 19. Fragmentation.

7. 결론

환경적 공해를 줄이고 경제적인 발파방법으로 구미선진국에서는 Air decking 발파방법에 많은 관심을 기울이고 있다.

이들 중에서 실제 현장에 사용되어지는 Air ball 을 국내 현장에 적용한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 폭음의 경우 일반발파의 폭음의 삼승근 환산 추정식은 $V(\text{dB}) = 89.3 * (SD)^{-0.0258}$, 에어볼 발파의 경우 $V(\text{dB}) = 153 * (SD)^{-0.161}$ 으로 에어볼 발파의 폭음 감소가 크게 나타났다.
2. 일반발파의 자승근 환산 진동추정식은 $V = 2891 * (SD)^{-1.96}$ 로 $K=2891, n=-1.96, \text{결정계수}= 0.745$ 로 나타났고, 일반발파 삼승근 환산 진동추정식은 $V = 8959 * (SD)^{-1.96}$ 로 $K=8959, n=-1.96, \text{결정계수}= 0.745$ 로 나타났으며, Air ball 발파의 경우 자승근 환산 진동추정식은 $V = 1038 * (SD)^{-1.71}$ 로 $K=1038, n=-1.71, \text{결정계수}= 0.579$ 로 나타났고, 에어볼 발파의 삼승근 환산 진동추정식은 $V = 2605 * (SD)^{-1.71}$ 로 $K=2605, n=-1.71, \text{결정계수}=0.579$ 로 나타났다.
3. 상기의 실험결과에 따라 일반발파와 Air ball 발파의 진동을 비교한 결과 약 30% ~ 40% 이상의 진동감쇄가 있는 것으로 나타났다.

※ 사 사

본 연구는 2004학년도 동아대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행되었다.

참고문헌

1) Cbiappetta, R. F., 2004, New blasting Technique to Eliminate Subgrade Drilling, Improve Fragmentation, Reduce Explosive Cinsumption and Lower Ground Vibrations, Explosives Engineering(ISEE), Vol. 21, No. 1, pp. 10-17.

2) 원연호, 2005, 에어데크(Air Deck)원리를 이용한 발파공법의 효과 고찰, 제3회 한화발파기술 심포지움, pp. 251-252.

3) Katsabanis, P.D., 2005, Application of Air Decking to Blasting, The thirty- first annual conference on explosives and blasting technique, Orlando, Florida, USA, pp. 1-3.

4) Dowding, C. H., Construction Vibrations, Prentice Hall Upper Saddle River, pp. 41-58.



이 신
 1995년 동아대학교 자원공학과 공학사
 2000년 동아대학교 공학석사
 2004년 동아대학교 공학박사 수료
 unit2@korea.com



강 대 우
 동아대학교 지구환경공학부 교수
 dwkang@daunet.danga.ac.kr



김 상 욱
 2004년 동아대학교 자원공학과 공학사
 2005년 동아대학교 자원공학과 석사과정
 toto0666@hanmail.ne
