

안산암, 화강암, 화강편마암에서의 NPS 발파법의 진동감쇠효과에 관한 연구

심동수, 강대우¹⁾

A Study on the Reduction Effect of Vibration of NPS Blasting Method on Andesite, Granite and Granitic Gneiss

Dong-Soo Sim and Dae-Woo Kang

초 록. 도심지 굴착과 같은 환경적 제약과 사회적 문제가 존재하는 현장에 대하여, 암반제거작업에 있어서 가장 경제적이고 효율적인 발파공법을 적용하기 위해서, 본 연구는 기존의 발파방진기술인 Line Drilling과 Presplitting의 장점을 살리면서, 단점을 보완한 새로운 발파방진 기술인 NPS(New Presplitting)발파법의 효과에 대하여 연구하였다. NPS 발파법의 분석은 안산암과 화강암, 화강편마암의 3종류의 암반을 대상으로 NPS 발파법의 열수를 1열, 2열, 3열, 4열을 적용하여 발파로 인한 진동을 NPS 발파법의 적용전과 후의 발파진동값을 기준으로 NPS 발파법의 전, 후 진동감쇠 효과를 비교하고, 동일 조건을 가정한 경제성을 살펴보았다. 그 결과 NPS 발파법의 3가지 암석에 대한 현상적용 결과 암중에 따른 NPS 발파공법의 진동감쇠효과의 변화보다, NPS 발파법의 적용 pattern에 대한 진동감쇠효과의 변화가 크게 나타났으며 NPS 발파공열이 2열일 때 감쇠범위는 40%~80%로 가장 효율적으로 나타났으며 3열과 4열의 경우에도 진동감쇠효과는 있으나 그 효율이 크게 향상되지 않을 뿐 아니라 2열에 비하여 경제적으로 불리함을 알 수 있었다. 또한 NPS 발파법은 보안물과의 거리가 가까울수록 더 경제성이 큰 것으로 분석되었다.

핵심어 : NPS 발파방법, PS 발파방법, Line Drilling, 진동감쇠, 선균열발파

1. 서 론

현재까지의 공법 중 가장 경제적이고 효율적인 공법은 화약을 이용한 발파공법으로 인식되어지고 있다. 현대의 도심지 인구조밀지역에서, 고층화 조밀화되는 집약적 토지이용의 개발에 있어서 소음, 진동문제는 사회적으로 큰 문제와 함께 발파를 이용한 공사자체를 어렵게 하고 있다. 도심지 지하공간의 개발은 늘어나고 있으나 이런 환경문제에 대한 요구를 기존의 방진기술로는 그 요구를 충족하기 힘들게 되었다. 이런 환경문제를 개선하고 가장 효율적인 암반제거공법으로서의 새로운 발파공법인 New Presplitting(이하 NPS 발파공법이라 한다.)은 기존의 PS공법의 단점을 해소하고 장점은 그대로 살려, 절단면을 따라 인위적인 균열면을 먼저 형성하는 발파를 함으로써, 파쇄대내의 암석을 보호될 암벽으로부터 격리시켜 파단면에 의한 발

파진동을 흡수, 차단되게 함으로써 발파진동을 제어할 목적으로 고안되었다. 또한 NPS 발파공법의 현장적용으로 인한 소음과 진동은 소량의 화약을 다단기폭하고 무장약공을 인접시켜 인장파괴의 효과를 극대화시킴으로써 제어할 수 있게 하였다.

본 연구에서는 NPS 발파공법의 현장적용은 안산암과 화강암, 화강편마암인 3종류의 암반을 대상으로 NPS 발파공법의 열수를 1열, 2열, 3열, 4열을 적용하였으며, 발파의 효율성 및 안정성 향상을 위한 진동제어로 도심지에서 NPS 발파공법을 적용하여 진동을 계측하고, 설계에 따라 NPS 발파공법 실시 전과 후의 진동감쇠 정도를 비교하여 연구하며 경제성을 고찰하는데 연구 목적이 있다.

2 지질 및 암석물성

2.1 지질개요

본 연구의 대상이 되는 암석은 3가지 종류로 안

1) 동아대학교
접수일 : 2004년 5월 15일

산암, 화강암, 화강편마암을 그 대상으로 하였다.

Table 1은 대상암반의 일축압축강도를 나타낸 것이다.

Table 1. Uniaxial Compressive Strength of Rocks Tested

	Uniaxial Compressive Strength (kg/cm ²)
Andesite	1475
Granite	890
Granitic Gneiss	815

2.2 안산암

제 1대상 암석은 백악기 경상속의 상부 유천층군에 속하는 안산암으로 분출압상을 보여주며, 안산암질화산각력암의 상부에 정합적으로 피복하고 있다. 암반상태는 표토층하부에 부분적으로 보통의 풍화된 양상을 보이고, 깊은 심도에서는 비교적 신선암이 나타난다.

2.3 화강암

제 2대상 암석은 선캄브리아기의 편마암을 관입한 쥐라기말의 대보화강암에 속하는 서울 화강암으로 입상은 중립 내지 세립질을 가지며, 괴상으로 등립조직을 가지고 있는 흑운모화강암이다.

2.4 화강암질 편마암

제 3대상 암석은 선캄브리아기의 경기편마암 복합체에 속하는 암석으로 편마구조가 남동으로 관찰되는 화강암질 편마암이다.

3. 본 연구에 적용한 NPS 발파공법

3.1 NPS 발파공법의 진동감쇠 원리

NPS 적용시 발파구역과 대상물의 암반사이를 사전에 절단시킴으로서 발파진동이 감쇠 또는 차단되는데 진동감쇠 원리는 Table 2 및 Fig 1과 같

다.

기체와 액체는 전단 탄성이 없으므로 횡파와 표면파인 탄성파는 액체와 기체의 매질에서 전달이 불가능한 것을 이용하여 NPS 발파공법은 균열에 정선을 선균열시켜 균열 공간을 확보함으로써 파단면에 의해 발파진동을 차단 및 감쇠하고자 하는 방법이다.

Table 2. Reduction Effects of NPS Blasting

Type of Wave	Movement	Vibration Energy	Characteristics
P-Wave	Up and Down	7~20%	passing through Solid, Liquid and Gas
S-Wave	Right and Left	80~93%	passing through Solid only
R, L-Wave	horizontal		

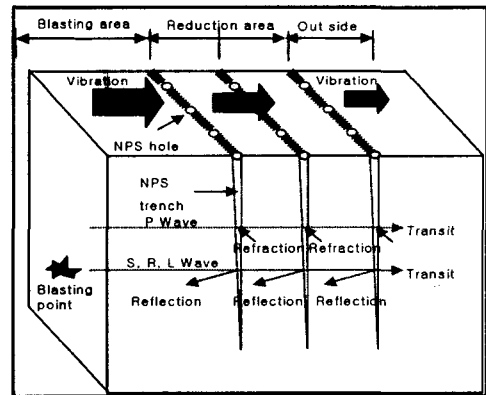


Fig 1. Theory of Reduction Effect of NPS Blasting

NPS 발파공법은 주파수의 특성을 고려한 발파 방법이다. 지진진동의 경우 저주파수인 10Hz 미만 이어서 미소 트렌치(Trench)에 의한 감쇠가 미약하나, 발파진동의 경우 비교적 고주파수인 50~100 Hz정도임으로 미소 트렌치(Trench)에 의한 감쇠효과는 대단히 우수하다.

이는 상대적으로 고주파수의 진동이 저주파수의 진동보다 더 많이 감쇠함을 이용한 것으로 토양의

진동감쇠도 고주파에서 더 크게 나타남과 같이 발파로 인한 지반지동의 경우도 고주파에서의 감쇠가 뚜렷하게 나타나고 저주파의 경우는 고주파에 비하여 상대적으로 적은 감쇠를 보인다.

즉, NPS 발파공법은 NPS 발파에 의한 균열에 의해 보안물건과 근접한 도심지 발파진동의 다양한 주파수 성분 중 고주파성분은 크게 감소하고 저주파성분은 작게 감소하면서 전파되는 특성을 이용한다.

3.2 NPS 발파공법의 현장적용 Pattern

NPS 발파공법의 시공조건은 Table 3과 같고 발파패턴도는 Fig 2와 같다.

Table 3. NPS 발파공법 시공조건

Items	Condition
Condition of rock	Granite diorite
Drill hole diameter	φ75mm(Relief & Pilot hole)
Space of hole center:Pilot & Relief	250 mm
Pilot hole depth	9,000 mm
Relief hole depth	Drill length +200 mm
Charge per delays	125 gr
Number of deck	18 deck
Stemming length of deck	400~550 mm
Explosives	NeWMITE Plus(32 mm)
Detonators	HiDETO MS Series #1~18
Delays	20~360 MS
Blasting mat	Rubber plate & Sand bag

4. 결과분석

4.1 NPS 발파공법의 진동감쇠율 분석

감쇠율은(Vibration Damping Rate) 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Vibration Damping Rate} = \frac{f_1(S \cdot D_{ni}) - \text{velocity}(ni)}{f_1(S \cdot D_{ni})} \times 100$$

f_1 = 일반발파의 진동추정식

$S \cdot D_{ni}$ = NPS n열의 i 번째 발파의 S·D 값

$\text{velocity}(ni)$ = NPS n 열의 i 번째 발파진동값이

다.

NPS n 열의 상대적 감쇠율(Relative Vibration Damping Rate)은 n-1 열을 기준으로 n 열의 감쇠율을 표현한 것이다.

4.2 안산암의 진동추정식과 진동감쇠효과의 비교

안산암의 발파진동추정식과 진동감쇠율을 비교하면 다음과 같다.

안산암의 NPS 열에 따른 진동추정식

일반 발파 : $R^2 = 0.932$

$$V_{95\%} = 85.4 \left(\frac{D}{W} \right)^{-1.75}$$

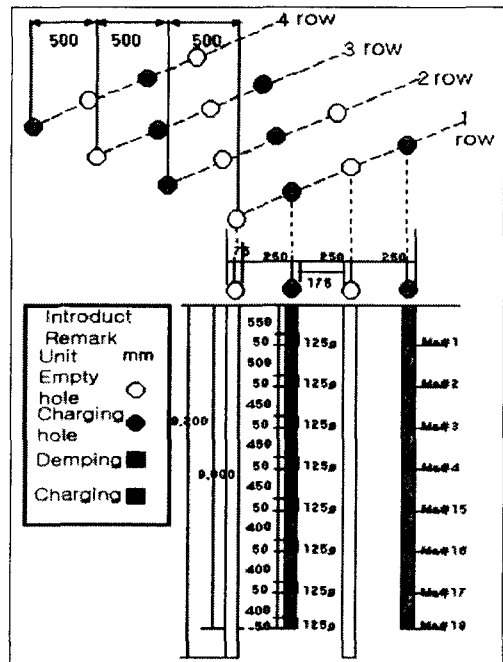


Fig 2. NPS Blasting patterns

1열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.928$

$$V_{95\%} = 56.405 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.744}$$

2열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.895$

$$V_{95\%} = 38.616 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.85}$$

3열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.901$

$$V_{95\%} = 21.853 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.768}$$

4열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.883$

$$V_{95\%} = 21.019 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.777}$$

1열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 35%

2열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 70%

3열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 78%

4열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 80%

위의 결과를 그래프로 나타내면 Fig 3과 같다.

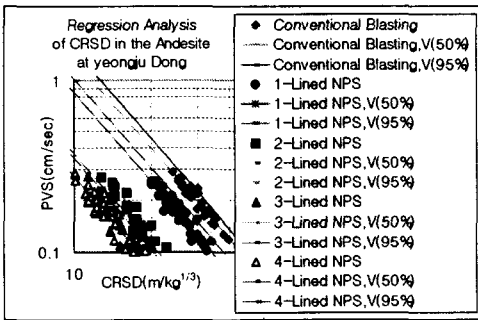


Fig 3. Comparison of Vibration Velocities in the Andesite at Yeongju Dong

NPS 발파공법에 따른 진동감쇠율을 비교하면 Table 4와 Fig 4와 같다.

Table 4. Comparison of Vibration Damping Rates by NPS Blasting Methods in the Andesite at Yeongju Dong

NPS Blasting Method	Vibration Damping Rate	Relative Vibration Damping Rate
1-Lined	35(%)	35(%)
2-Lined	70(%)	54(%)
3-Lined	78(%)	27(%)
4-Lined	80(%)	9(%)

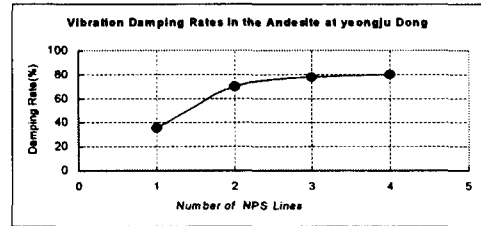


Fig 4. Vibration Damping Rates in the Andesite at Yeongju Dong

위의 표에서 알 수 있듯이 상대적으로 가장 많은 감쇠를 보이는 것은 제 2열이다.

NPS 발파공법의 열간의 상대적 감쇠효과를 비교하면 Fig 5와 같다.

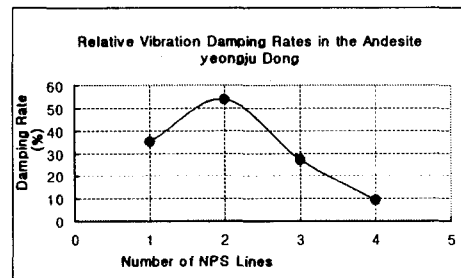


Fig 5. Relative Vibration Damping Rates in the Andesite at Yeongju Dong

4.3 화강암의 진동추정식과 진동감쇠효과의 비교

화강암의 발파진동을 비교하면 다음과 같다.

일반 발파 : $R^2 = 0.912$

$$V_{95\%} = 83.001 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.737}$$

1열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.908$

$$V_{95\%} = 69.395 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.752}$$

2열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.9$

$$V_{95\%} = 41.536 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.823}$$

3열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.876$

$$V_{95\%} = 29.558 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.761}$$

4열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.801$

$$V_{95\%} = 26.385 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.757}$$

1열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 21%

2열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 61%

3열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 69%

4열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 73%

위의 결과를 그래프로 나타내면 Fig 6과 같다.

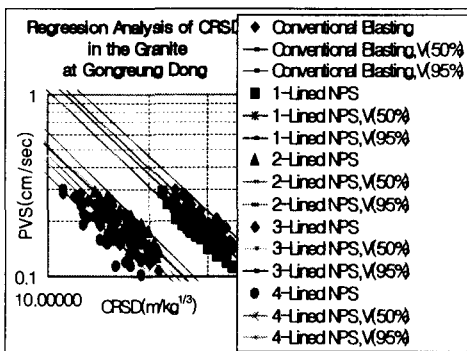


Fig 6. Comparison of Vibration Velocities in the Granite at Gongreung Dong

NPS 발파공법에 따른 감쇠율을 비교하면 Table 5와 Fig 7과 같다.

Table 5. Comparison of Vibration Damping Rates by NPS Blasting Methods in the Granite at Gongreung Dong

NPS Blasting Method	Vibration Damping Rate	Relative Vibration Damping Rate
1-Lined	21(%)	21(%)
2-Lined	61(%)	51(%)
3-Lined	69(%)	21(%)
4-Lined	73(%)	13(%)

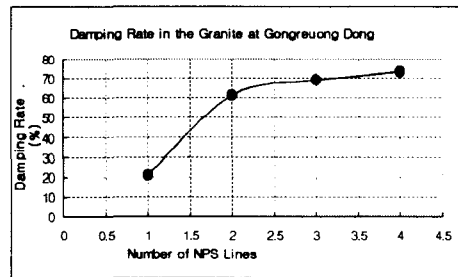


Fig 7. Vibration Damping Rates in the Granite at Gongreung Dong

위의 표에서 알 수 있듯이 상대적으로 가장 많은 감쇠를 보이는 것은 제 2열이다.

NPS 발파공법의 열간의 상대적 감쇠효과를 비교하면 Fig 8과 같다.

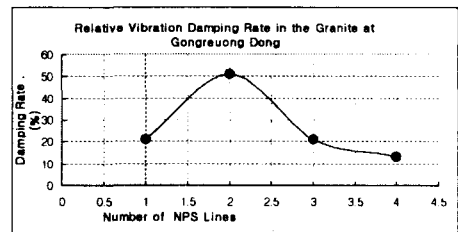


Fig 8. Relative Vibration Damping Rates in the Granitic at Gongreung Dong

4.4 화강편마암의 진동감쇠효과

화강편마암의 발파진동을 비교하면 다음과 같다.

일반 발파 : $R^2 = 0.926$

$$V_{95\%} = 74.457 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.696}$$

1열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.895$

$$V_{95\%} = 59.987 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.737}$$

2열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.903$

$$V_{95\%} = 36.511 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.805}$$

3열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.898$

$$V_{95\%} = 28.615 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.755}$$

4열 NPS 발파공법적용 : $R^2 = 0.877$

$$V_{95\%} = 24.068 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.714}$$

1열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 24%

2열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 64%

3열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 67%

4열 NPS 발파공법적용: 감쇠율-평균 69%

위의 결과를 그래프로 나타내면 Fig 9와 같다.

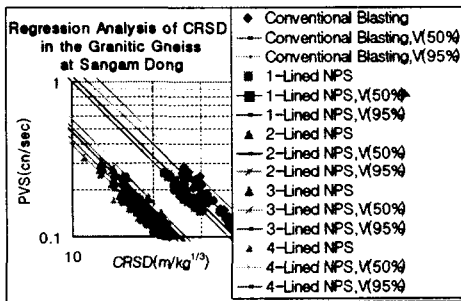


Fig 9. Comparison of Vibration Velocities in the Granitic Gneiss at Sangam Dong

NPS 발파공법에 따른 감쇠율을 비교하면 Table 6과 Fig 10과 같다.

Table 6. Comparison of Vibration Damping Rates by NPS Blasting Methods in the Granitic Gneiss at Sangam Dong

NPS Blasting Method	Vibration Damping Rate	Relative Vibration Damping Rate
1-Lined	24(%)	24(%)
2-Lined	64(%)	53(%)
3-Lined	67(%)	8(%)
4-Lined	69(%)	6(%)

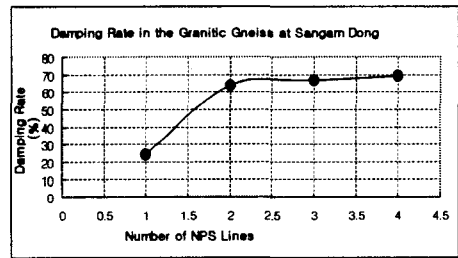


Fig 10. Vibration Damping Rates in the Granitic Gneiss at Sangam Dong

위의 표에서 알 수 있듯이 상대적으로 가장 많은 감쇠를 보이는 것은 제 2열이다.

NPS 발파공법의 열간의 상대적 감쇠효과를 비교하면 Fig 11과 같다.

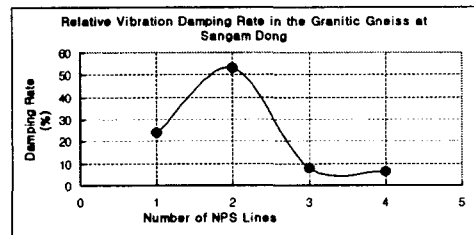


Fig 11. Relative Vibration Damping Rates in the Granitic Gneiss at Sangam Dong

4.5 경제성 검토

현장과 보안물의 거리가 15m~ 35m, 25m~ 45m 를 가상하여 5m 간격으로 구획을 나누고, 2002년 10월 건설교통부 암발파설계적용 기준안을 기초로 하여 NPS 전과 후의 경제성을 비교한 결과 다음과 같이 나타났다.

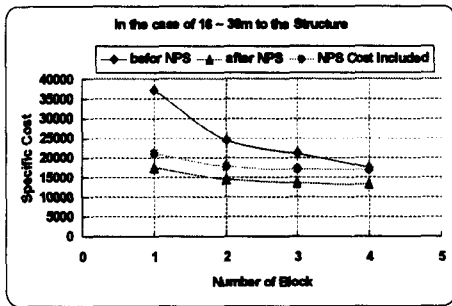


Fig 12. Specific Cost of NPS Blasting at the Blasting Block (in the case of 16m ~36m to the Structure)

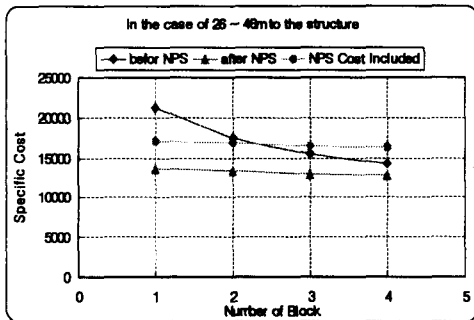


Fig 13. Specific Cost of NPS Blasting at the Blasting Block (in the case of 26m ~46m to the Structure)

5. 결론

안산암, 화강암, 화강편마암을 대상으로 한 NPS 발파공법의 적용전과 다열의 NPS 발파공법의 적

용후의 진동감쇠효과 및 경제성을 검토한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 도심지 근접발파에 있어서 암석의 종류 및 물성에 따른 NPS 적용상의 감쇠변화 보다는 NPS 발파공법의 적용 Pattern에 대한 감쇠효과의 변화가 더욱 크게 나타났다.
- (2) NPS 발파공법으로 암반을 절단시켰을 경우, NPS 발파공법의 적용전과 후의 진동크기를 비교한 결과 1열의 진동감쇠율의 범위는 10% ~ 45%, 2열의 진동감쇠율의 범위는 40% ~ 80%, 3열의 진동감쇠율의 범위는 60% ~ 85% 및 4열의 감쇠율의 범위는 65% ~ 85%로 각각 나타났다.
- (3) 1열에서 4열까지의 NPS 발파공법의 열별 상대적 진동감쇠율을 비교한 결과 1열의 상대적 진동감쇠율의 평균은 약 27%, 2열의 상대적 진동감쇠율의 평균은 약 53%, 3열의 상대적 진동감쇠율의 평균은 약 19% 및 4열의 상대적 진동감쇠율의 평균은 약 9%로 각각 나타났다. NPS 발파방법의 열에 따른 1열당 평균 감쇠율과 NPS 발파공 열간의 상대적 감쇠율을 비교한 결과 가장 효과적인 NPS 발파공법의 열수는 2열을 절단시켰을 경우인 것으로 분석되었다.
- (4) 평균 감쇠비가 가장 높은 2열을 기준으로 하고, 암발파공법 설계적용기준에서 NPS 발파공법을 적용할 경우 천공장, 천공간격 및 지발당 장약량이 증가하므로, NPS 발파공법의 적용으로 인한 천공수가 크게 증가하더라도 NPS 발파공법을 적용하지 않을 때와 비교하면 가정조건인 도심지의 건물밀집지역에서는 경제적인 효과가 있을 것으로 보인다. 이 경우 일반적인 발파작업을 경제성 분석한 결과 보안물과 가까운 거리일수록 NPS 발파공법을 적용하는 것이 경제적 효과가 좋게 나타난다.

참 고 문 헌

1. 박주연, 이천식, 윤성현, 안명석, 류창하. " 미진 동 발파공법 적용사례에 관한 연구" 한국화약 기술협회 vol 20,2002, p 39
2. 신일재, 이정인, 백종현, "최소저항선이 발파진동의 크기에 미치는 영향에 관한 연구" 한국화약기술협회 vol 19, 2001, p 53
3. 고려, 서강대학교 물리학과 교수 역, "일반 물리학", 범한서적, 1998, P478, P479
4. 이규성, 반무록, 황상용, 이성홍, 최규철, 황정률, 최태일 공저, "소음, 진동 공학" 형설, 1999,p 81
5. 우리호영연구회, "화약류 관리 기술사 문제 및 동해설" 서우, 1999,p
6. 이신, "수중발파로 인한 구조물의 진동특성 연구" 2000, p 20
7. Bollinger, G. A. "Blast Vibration Analysis Southern Illinois" Press, Carbondale, IL, 1980, p132
8. Richard, F. E. Hall, J. R. Woods, R. C. "Vibration of Soil and Foundation " Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1970
9. Hendron, A. j. "Soil and Rock Dynamics Notes" Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana, IL
10. Timoshenko, S. P and Goodier, J. N. "Theory of Elasticity" 3rd ed, McGraw-hill Book Company, p567
11. Daemen, J. K. Barkley, R. H. Ghosh, A. Morlock, C. R. and Shoop, S. A. (1983) "Ground and Air Vibrations Caused by Surface Blasting" Report prepared for U.S Bureau of Mines, Washington, DC.
12. Wood, J. H. "Earthquake Response of a Steel Frame Building" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol 4, 1976, p 349 - 377
13. E. I. Dupont de Nemours & Co. Inc.(Wilmington, DE), "Blaster's Handbook", 16th Ed, 1978, p 494.
14. Siskind, D. E. Stachura, V.J. and Raddiffe, K.S. " Noise and Vibration in Residential Structures from Quarry Production Blasting" Report of Investigation 8168, U.S. Bureau Mines, Washington, DC