

NPS 발파공법의 진동감쇠효과에 관한 연구

A Study on the Reduction Effect of Vibration of NPS Blasting Method

심 동수, 이 신, 강 대우

Dong-Soo Sim, Shin Lee, Dae-Woo Kang

동아대학교

초 록

선 균열을 위한 기존의 PS(presplitting)발파공법은 암반사면의 안정에 주로 활용되어져 왔으나, 진동 및 폭음이 크며 절단효과의 미약 등 적용상의 한계로 인하여 여러 가지 문제가 제기되어져 왔다. 이러한 한계를 보완하여, 최근에 개발된 NPS(new presplitting)발파공법은 시공상의 진동 및 폭음공해가 사실상 없을 뿐만 아니라 절단효과도 탁월하고, 진동감쇠기능도 우수하여 방진공법으로서 활용가치가 크게 부각되고 있다. 따라서, 방진공법으로서의 NPS 발파공법의 진동감쇠효과를 연구하고자 했다.

그 결과 본 지역에서는 NPS 발파공법 실시전의 지반진동 크기는 1.45cm/sec ~ 0.14cm/sec 이었으나 4열의 NPS 발파실시 후 지반진동 크기는 0.72cm/sec ~ 0.11cm/sec로 나타나 평균 57%의 진동감쇠율을 보였다.

핵심어 : NPS 발파공법, PS, 방진공법, 진동감쇠효과

1. 서 론

1.1 연구 목적

산업발달과 더불어 도심의 확대와 재개발 등으로 점점 더 토지의 집약적 이용도가 증가함으로 인해 건물은 더 고층화되고 지하철, 전력구 등 지하공간의 활용은 늘어나고 있다. 이런 도심지 인구조밀지역에서 집약적 토지이용의 개발에 있어서 가장 많이 발생하는 문제 중의 하나가 소음, 진동 등의 환경문제이다. 환경문제에 대한 의식의 변화 등으로 인한 사람과 정밀기기에 대한 소음, 진동문제는 기존의 방진기술로는 그 욕구를 충족하기 힘들 뿐 아니라 개발공사자체를 어렵게 할 경우가 늘고 있다.

방진기술의 하나인 선 균열을 위한 기존의 PS 발파공법은 도폭선에 폭약을 매달아 장약함으로 장약작업은 간편하나 공의 장약을 재발함으로 인해 진동 및 폭음이 크며, 상대적으로 암반내의 불연속면, 파쇄대의 영향으로 인한 절단효과의 미흡 등, 적용상의 한계로 인해 여러 가지 환경문제가 제기되어져 왔다. 이런 환경문제를 개선하기 위한 새로운 발파공법인 New presplitting (이하 NPS 발파공법이라 한다.)은 기존의 PS공법의 장점은 그대로 살려, 절단면을 따라 인위적인 균열면을 먼저 형성하는 발파를 함으로서, 파쇄대내의 암석을 보호될 암벽으로부터 격리시켜 보호암벽을 보호하고, 생성된 균열대에 의해 발파진동을 흡수,

반사되게 함으로서 발파진동을 제어한다.

따라서 본 연구에서는 부산 A 지역 항만공사와 관련하여 해당지역의 토취장 발파작업으로 수반되는 지반진동의 공해 요인이 주변 케이슨 제작 시 양생 중 콘크리트에 손상을 가져올 수 있기 때문에 발파의 효율성 및 안정성 향상을 위한 진동제어대책 방안으로 도심지에서 사용되어지는 제어발파를 위한 NPS 발파 공법을 현장에 적용하였으며, 본 연구는 설계서에 따라 NPS 발파공법실시 전, 후 진동감쇠 효과를 비교하여 연구하는데 목적을 두었다.

1.2 사업개요 및 주변상황

- 공사명 : 부산 신항만개발 민간투자시설 사업 1-1단계 부두시설 축조공사
- 대상지역 : 경남 진해시 안골동 산 131번지 일원
- 수행기간 : 2001년 6월 18일~10월 31일
- 수행기관(공동연구) : ㈜명장 엔지니어링 High ENC 기술사 사무소

본 지역의 행정구역은 경남 진해시 안골동 산 131번지 일원에 속하고 그림 1과 같이 석산 개발구역 중심부에서 SW 방향으로 케이슨 콘크리트 구조물이 양생 중에 있다.

1.3 지질 및 암석물성

본 지역은 신생대 제 3 기에 속하는 안산암(Andesite)과 치밀하고 견고한 유문암(Rhyolite)이 기반암(bed-rock)을 이루고 있으며, 해안가를 따라 표토층 하부에는 화강섬록암(Granodiorite)이 폭넓게 분포하고 있다.

알카리장석(정장석, 미사장석), 각섬석, 흑운모, 석영 등이 조암광물로 구성되어 있으며, 암반상태(Condition of rock mass)는

표토층 하부에서 부분적으로 보통 정도의 풍화(Moderately weathered)된 양상을 보이고 절리(Joints)가 발달되어 있으나 깊은 심도에서 비교적 신선암이 나타나 보인다.

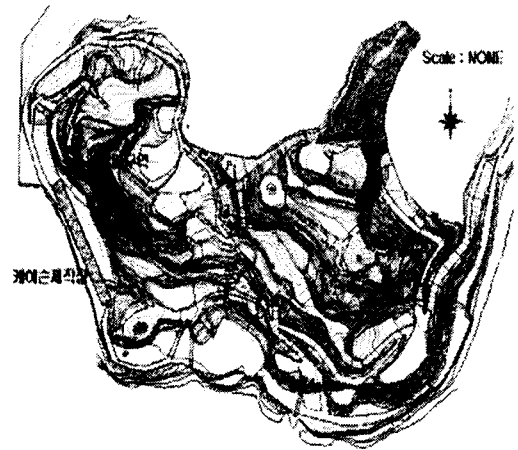


그림 1. 주변상황도

2. NPS 발파공법

NPS 발파공법은 기존의 PS 공법의 단점인 소음과 진동 및 비석문제해결에 대하여, 기존의 PS 공법에서 지적된 비교적 많은 양의 폭약의 기폭을, 한 공의 기폭방법을 다단의 길이로 분리하여 적은 양의 장약과 전색을 번갈아 하면서, 장약공 사이사이에 자유면의 효과를 유도하며 방진공의 효과를 얻는 무장약공을 천공하고, 다단의 적은 폭약을 시차를 두어 발파함으로서 각 단을 개별파괴구조를 갖게 하여, 소음과 진동을 줄이며 비석의 위험을 감소시키는 형태로 이루어진다. NPS 발파공법은 선 균열의 효과와 Line Drilling의 효과를 얻으면서도 기존의 PS발파공법의 단점을 보완한 공법이다.

NPS 발파공법의 특징은 다음과 같다.

첫째, NPS 발파공법의 천공은 보호법면의 발파예정선을 따라 장약공과 무장약공을

무장약공 직경의 2~2.5배 간격으로 천공한다. 천공자체로도 Line Drilling 의 효과를 얻으며 이중의 진동감쇠 효과를 얻을 수 있다. 또한 선 균열을 형성하게 함으로서 본 발파에 의한 진동을 감쇠시킬 수 있다.

둘째, 무장약공과 장약공을 번갈아 천공하고 무장약공의 공구를 마개로 막는다. 무장약공은 장약공의 발파 시 충격파와 고압의 가스에 의한 인장파괴를 효과적으로 유도함으로서 소량의 폭약으로도 손쉽게 암반을 절단하게 해준다. 또한, 무장약공은 장약공의 다단으로 장약된 폭약의 기폭으로 인한 진동, 소음을 흡수할 뿐만 아니라, 무장약공의 마개는 장약공의 기폭으로 인한 발파 후가스의 갑작스러운 분출을 막아 소음을 줄이는 역할을 하게 한다.

셋째, NPS 발파공법은 기존의 PS 발파공법보다 적은 지발당 장약량을 사용하여 한공을 다단으로 나누어 장약과 전색을 번갈아 형성한다. NPS 발파공법은 기존의 PS 공법보다 상대적으로 적은 량의 폭약을 다단으로 기폭함으로 인해서, 각단은 서로 독립된 개별적 파괴구조를 형성하게 되어, 각단의 폭발시 폭발에너지를 측방향의 무장약공으로 모두 균일하게 전달하여 절리면의 여굴 또는 과굴을 방지하고 균일한 절리면을 확보하게 해 준다. 또한, 고압가스의 분출을 측방향의 무장약공으로 유도함으로 인해 비석의 위험을 방지하는 효과가 있다.

이처럼 NPS 발파공법은 소량의 폭약에 의한 에너지를 효율적으로 인장파괴에 사용함으로서 소음진동으로 소모되는 잔여 에너지를 줄여 발파로 인한 소음, 진동을 줄이며, 무장약공을 통해 이 소음, 진동마저도 줄이는 이중적 감쇠효과를 얻을 수 있는 공법이다.

3. 일반발파와 NPS 발파공법의 Pattern

3.1 일반발파

표 1의 발파조건으로 발파를 실시하였다.

- ▣ 실시일자 : 2002. 06.18~10.05
- ▣ 발파방법 : 벤치발파
- ▣ 발파유형 : 전기식 + 비전기식 발파
- ▣ 발파위치 : 호안 제 1·2 공구 토취장 구역, 방파제 토취장구역

3.2 NPS 발파공법의 현장적용 Pattern

NPS 발파공법의 발파패턴도는 그림 2와 같고 시공조건은 표 2와 같다.

표 1. 발파조건

Items	Condition	
	Electric	non-Electric
Rock	Granodiorite	
Drill hole diameter	Φ75 mm	Φ105 mm
Hole depth(m)	8.5~12.0	12.0
Bench height(m)	-	11.0
sub-drilling(m)	-	1.0
Burden(m)	-	4.0~4.5
Hole space(m)	2.0~3.5	4.0~4.5
Charge per hole (kg/hole)	12.0~20.8	49.0~72.0
max. Charge per delays (kg/delays)	20.0~62.4	72.0
Specific charge (kg/m ³)	-	0.28~0.32
Explosives	NewMITE Φ50 mm New Emulite Φ50 mm & Emulan	New Emulite Φ50 mm & Emulan
Detonators	HIDETO 순발 & MS #1~#19 Konel 순발 & MS #2~#17	Unidet detonator : U 500 Snap-line : SL0, SL42, SL 67
Tamping	Sand	

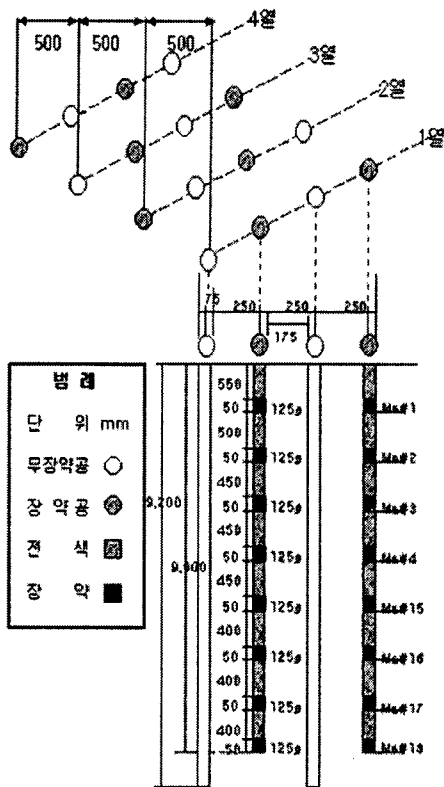


그림 2. NPS 발파공법 패턴도

표 2. NPS 발파공법 시공조건

Items	Condition
Rock	Granodiorite
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 g
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

사용되는 계측기기는 변위·진동속도·진동가속도·주파수·폭풍압(음압수준·소음수준)을 모두 측정할 수 있는 Instanet사 제품을 사용하였다. 본 기기는 Blast Monitor, 연결 Cable, Sensor, Blast ware output 등 본체와 부속물로 구성되어 있고 Software와 접속시켜 Full wave forms, FFT(Fast fourier transform) 등 정밀분석을 할 수 있다.

본 연구는 여러 학자들에 의해 발파진동의 이론적인 특성에 관련된 변수의 차원해석으로 제시된 여러 가지 경험식들 중 가장 많이 적용되는 이론식을 사용하였다.

$$v = K \left(\frac{D}{w^b} \right)^{-n} \quad (1)$$

v : 지반진동 속도(mm/sec · cm/sec · kine)

D : 폭원으로부터 측정 대상물과의 거리(m)

w : 장약량(kg/delays)

K, n : 지반 조건에 의해 결정되는 입지상수

b : 장약지수(1/2 or 1/3)

4.1 NPS 발파공법 적용 전

2002년 6월 18일부터 7월 23일까지 NPS 발파공법 전 토취장 발파작업에 따른 계측된 49개의 추출된 값을 택하여 선형관계의 회귀분석(Regression analysis)을 실시하여 직선관계식을 유도하였는데, 이 때 결정계수(r^2)는 평방근 환산거리가 0.94, 입방근 환산거리가 0.92의 높은 신뢰도를 보였다.

(1) 해당지역 발파진동식 결정

실 백터함은 단일성분 중 최대 입자속도(Peak particle velocity)가 나타나는 우월성분의 시간대에서 다른 두 성분의 입자속도가 합성되어 나타나므로 보수적인

값이 된다. 따라서 이 때 안전율이 커지므로 본 현장에서는 이를 적용하여 해당지역 발파진동식으로 결정하였고 최대 입자 속도는 cm/sec 척도로 환산하여 해석하였다. 최대 입자속도와 환산거리(D/W^b)의 관계는 선형 회귀분석(Linear regression analysis)으로 통계 처리하여 기울기(n)와 절편(logK)으로부터 K, n 값을 구하였고 장약지수(b)는 평방근 환산거리(Square root scaled distance)와 입방근 환산거리(Cube root scaled distance)의 회귀선(Regression line)중 결정계수(r²= 0.94)가 좋은 평방근 환산거리를 택하여 해당지역 발파진동식 (3)으로 결정하였다.

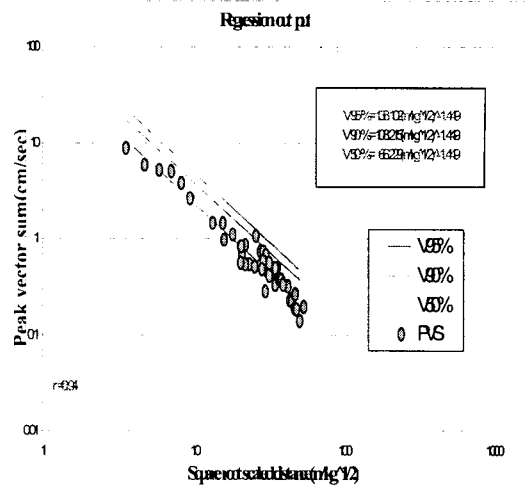


그림 3. 환산거리와 실 벡터합의 관계 (SRSD : NPS 발파공법 적용 전)

$$v_{50\%} = 66.229 \left(\frac{D}{W} \right)^{-1.449}, r = 0.94 \quad (2)$$

$$v_{90\%} = 108.215 \left(\frac{D}{W} \right)^{-1.449}, r = 0.94 \quad (3)$$

$$v_{95\%} = 138.102 \left(\frac{D}{W} \right)^{-1.449}, r = 0.94 \quad (4)$$

$$v_{50\%} = 213.447 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.510}, r = 0.92 \quad (5)$$

$$v_{90\%} = 361.135 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.510}, r = 0.92 \quad (6)$$

$$v_{95\%} = 460.874 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.510}, r = 0.92 \quad (7)$$

이 때, V_{50%}, V_{90%}, V_{95%}의 입지상수 K값은 신뢰도 50%, 신뢰도 90%, 신뢰도 95%를 의미한다. 이는 표준정규분포를 적용하여 통계처리 하였다. 환산거리(Scaled distance)와 실 벡터합(Peak vector sum)의 관계를 그래프로 도시하면 그림 3과 같다.

(2) 해당지역 지발당 허용장약량

지반진동속도가 0.381 cm/sec일 때 해당지역 발파진동식(3)에 의한 신뢰도 90% 환산거리(90% SRSD)는 58.40041이다.

이 때 지발당 장약량과 거리는 반비례 관계가 성립하므로 동일한 진동속도 조건에서 환산거리가 커질수록 안전율이 증가된다. 환산거리가 구해지면 거리별 허용할 수 있는 지발당 장약량은 식 (8)을 적용하여 쉽게 산출할 수 있고 지반진동속도에 따른 거리별 지발당 장약량은 표 3과 같다.

$$SRSD = \frac{D}{\sqrt{w}} ; w = \left(\frac{D}{SRSD} \right)^2 \quad (8)$$

$$CRSD = \frac{D}{w^{1/3}} ; w = \left(\frac{D}{CRSD} \right)^3 \quad (9)$$

폭원으로부터 거리(Distance)와 지발당 최대장약량(max. Charge per weight)의 관계를 Nomogram으로 도시하면 그림 4와 같고 지반진동속도가 0.381cm/sec일 때 337m에서 환산거리 계산방법에 관계없이 지발당 장약량은 46.6kg/delays로 동일하며, 337m 이하 거리에서는 입방근 환산거리(CRSD), 그 이상 거리에서는 평방근 환산거리(SRSD)가 안전율이 커짐을 의미한다. 이와 같이 발파진동 허용기준치에 해당되는 지발당

장약량은 보수적인 값을 적용할 때 안전율이 커진다.

표 3. 해당지역 지발당 허용장약량
(NPS 발파공법 적용 전)

거리 (m)	지발당장약량 (kg/delays)	거리 (m)	지발당장약량 (kg/delays)
	0.381 cm/sec		0.381 cm/sec
50	1.026	230	21.718
60	1.478	240	23.648
70	2.012	250	25.660
80	2.628	260	27.753
90	3.325	270	29.929
100	4.106	280	32.187
110	4.968	290	34.528
120	5.912	300	36.950
130	6.938	310	39.454
140	8.047	320	42.041
150	9.237	330	44.709
160	10.510	340	47.460
170	11.865	350	50.293
180	13.302	360	53.208
190	14.821	370	56.205

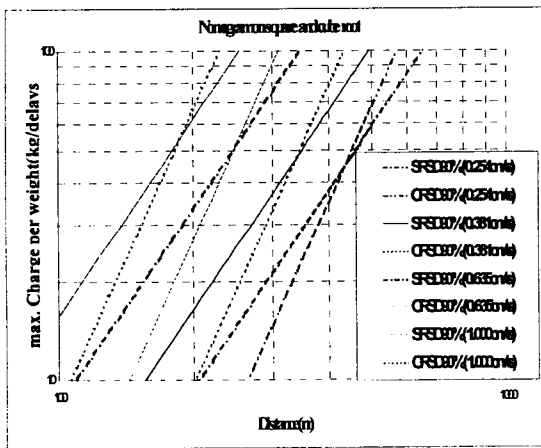


그림 4. 거리와 지발당 장약량의 관계
(NPS 발파공법 적용 전)

4.2. NPS 발파공법 적용 후

2002년 7월 22일부터 10월 5일까지 NPS 발파공법 적용 후 석산 개발구역 발파작업에 따른 계측된 31개의 추출된 값을 택하여 선형관계의 회귀분석(Regression analysis)을 실시하여 직선관계식을 유도하였는데, 이 때 결정계수(r^2)는 평방근 환산거리가 0.83, 입방근 환산거리가 0.73의 신뢰도를 보였다.

(1) 해당지역 발파진동식 결정

최대 입자속도와 환산거리(D/W^b)의 관계는 선형회귀분석으로 통계 처리하여 기울기(n)와 절편(logK)으로부터 K, n 값을 구하였고 장약지수(b)는 평방근 환산거리(Square root scaled distance)와 입방근 환산거리(Cube root scaled distance)의 회귀선(Regression line)중 결정계수($r^2= 0.83$)가 좋은 평방근 환산거리를 택하여 해당지역 발파진동식 (11)로 결정하였다.

$$v_{50\%} = 148.537 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.791}, r = 0.83 \quad (10)$$

$$v_{90\%} = 234.215 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.791}, r = 0.83 \quad (11)$$

$$v_{95\%} = 298.901 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.791}, r = 0.83 \quad (12)$$

$$v_{50\%} = 369.101 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.745}, r = 0.73 \quad (13)$$

$$v_{90\%} = 611.965 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.745}, r = 0.73 \quad (14)$$

$$v_{95\%} = 780.980 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.745}, r = 0.73 \quad (15)$$

회귀분석을 위한 측정자료 31개는 표준정규분포를 적용하여 통계처리 하였다. 환산거리(Scaled distance)와 실 벡터합(Peak vector sum)의 관계를 그래프로 도시하면 그림 5와 같다.

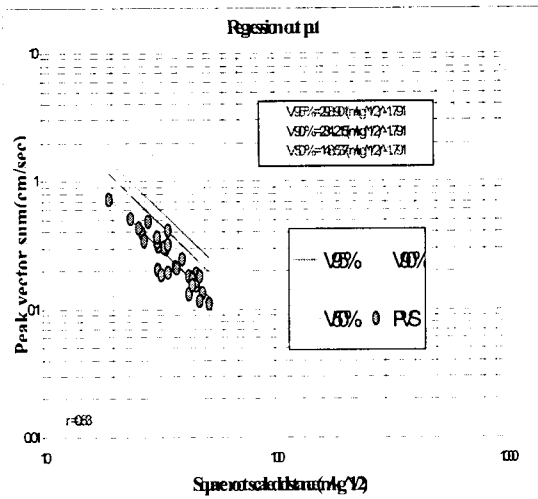


그림 5. 환산거리와 실 벡터합의 관계
(SRSD : NPS 발파공법 적용 후)

(2) 해당지역 지발당 허용장약량

지반진동속도가 0.381 cm/sec일 때 해당지역 발파진동식(11)에 의한 신뢰도 90% 환산거리(90% SRSD)는 36.05115이며, 이 때 지발당 장약량과 거리는 반비례 관계가 성립하므로 동일한 진동속도 조건에서 환산거리가 커질수록 안전율이 증가된다. 환산거리가 구해지면 거리별 허용할 수 있는 지발당 장약량은 식 (8)을 적용하여 쉽게 산출할 수 있고 지반진동속도에 따른 거리별 지발당 장약량은 표 4와 같다.

폭원으로부터 거리(Distance)와 지발당 최대장약량(max. Charge per weight)의 관계를 Nomogram으로 도시하면 그림 6과 같고 지반진동속도가 0.381cm/sec일 때 250m에서 환산거리 계산방법에 관계없이 지발당 장약량은 48 kg/delays로 동일하며, 250m이하 거리에서는 입방근 환산거리(CRSD), 그 이상 거리에서는 평방근 환산거리(SRSD)가 안전율이 커짐을 의미한다. 이와 같이 발파진동 허용 기준치에 해당되는 지발당 장약량은 보수적인 값을 적용할 때

안전율이 커진다.

표 4. 해당지역 지발당 허용장약량
(NPS 발파공법 적용 후)

거리 (m)	지발당장약량 (kg/delays)	거리 (m)	지발당장약량 (kg/delays)
	0.381 cm/sec		0.381 cm/sec
50	1.924	230	40.702
60	2.770	240	44.318
70	3.770	250	48.089
80	4.924	260	52.013
90	6.232	270	56.090
100	7.694	280	60.322
110	9.310	290	64.708
120	11.080	300	69.248
130	13.003	310	73.941
140	15.081	320	78.788
150	17.312	330	83.789
160	19.697	340	88.945
170	22.236	350	94.254
180	24.929	360	99.716
190	27.776	370	105.333

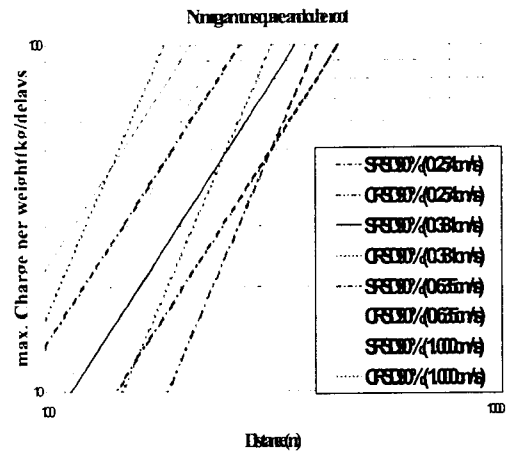


그림 6. 거리와 지발당 장약량의 관계
(NPS 발파공법 적용 후)

5. NPS 발파공법 효과검증

5.1. 발파진동상수 비교

K, n값의 변화를 보기 위하여 NPS 발파공법 적용 전, 후 발파진동식을 구하였을 때, NPS 발파공법 적용 전 $V_{90\%}$ 평방근 환산거리의 K, n값은 108.215와 -1.449, NPS 발파공법 적용 후 $V_{90\%}$ 평방근 환산거리의 K, n은 234.215와 -1.791의 값을 보였는데 후자가 감쇠지수 즉, 기울기가 매우 크게 나타났다.

표 5. 발파진동상수 비교

구분	지반진동속도 (cm/sec)	입지상수 (K)	장약지수 (b)	감쇠지수 (-n)
NPS 공법 적용 전	$V_{50\%}$	66.229	1/2	1.449
	$V_{90\%}$	108.215		
	$V_{95\%}$	138.102		
NPS 공법 적용 후	$V_{50\%}$	148.537	1/2	1.791
	$V_{90\%}$	234.215		
	$V_{95\%}$	298.901		

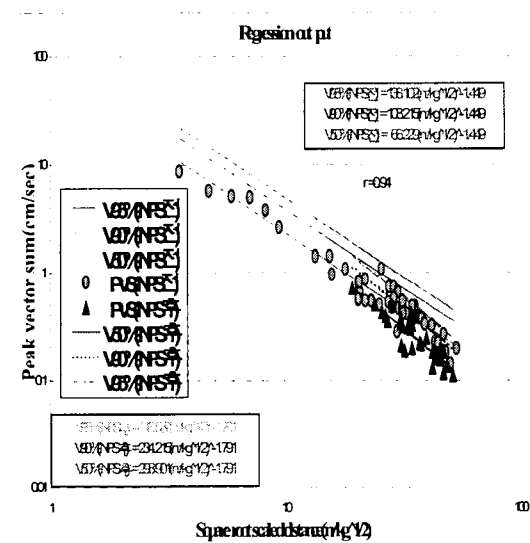


그림 7. 발파진동상수 비교

5.2. 지발당장약량 비교

식 $v_{90\%} = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-n}$ 에서 K, -n값을 이용하여 거리 변화에 따라 NPS 발파공법 적용 전, 후 지발당 장약량을 단순 비교하면 NPS 발파공법 적용 후 지발당 장약량은 NPS 발파공법 적용전과 비교하였을 때 표 6과 같이 87.4%의 증가율을 보였다.

표 6. 지발당장약량 비교

거리 (m)	지발당 장약량 (kg/delays)	
	NPS 공법 적용 전	NPS 공법 적용 후
50	1.026	1.924
60	1.478	2.770
70	2.012	3.770
80	2.628	4.924
90	3.325	6.232
100	4.106	7.694
110	4.968	9.310
120	5.912	11.080
130	6.938	13.003
140	8.047	15.081
150	9.237	17.312
160	10.510	19.697
170	11.865	22.236
180	13.302	24.929
190	14.821	27.776

5.3. 지반진동속도 비교

식(3) 및 식(11)을 기준으로 할 때 거리별 지발당 장약량 변화에 따라 NPS 발파공법 적용 전, 후 진동수준을 비교해 보면 표 7과 같이 35~73%의 진동감쇠율을 보였는데 입방근으로 거리가 증가할수록, 지발당 장약량이 작아질수록 진동감쇠율(%)이 크게 나타났다.

표 7. 지반진동속도 비교

거리(m)	NPS공법 적용 후 (cm/sec)	NPS공법 적용 전 (cm/sec)	감쇠율 (%)
210	0.2950	0.651546	54.72306
290	0.1540	0.423609	63.64572
290	0.1670	0.423609	60.57686
290	0.1920	0.423609	54.67519
150	0.7240	1.477072	50.98413
280	0.1760	0.445705	60.51204
310	0.1350	0.384589	64.89759
330	0.1110	0.35128	68.40126
240	0.4110	0.635947	35.37193
220	0.1950	0.632134	69.15213
310	0.2460	0.515911	52.31737
290	0.2170	0.568255	61.81293
210	0.4890	0.840448	41.81676
270	0.1830	0.469823	61.04912
300	0.1160	0.403303	71.23749
210	0.3050	0.676214	54.89594
240	0.2110	0.557255	62.13581
270	0.1300	0.469823	72.32998
170	0.5060	1.07962	53.13164
200	0.3130	0.725751	56.87224
170	0.3970	0.918458	56.77539
180	0.4300	0.964844	55.43319
190	0.3460	0.89214	61.21683
145	0.1870	0.699941	73.28346
300	0.1760	0.446279	60.56282
300	0.1560	0.446279	65.04432
150	0.1830	0.403303	54.62466

5.4. 발파진동 영향범위

양생 콘크리트에 대한 허용기준을 0.381로 가정하면 표 8과 같이 NPS 발파공법 적용 전, 후 지발당 장약량 변화에 따라 폭원에서 대상물간 거리가 NPS 발파공법 적용 전

157~442m 이상, NPS 발파공법 적용 후 115~323m 이상 이격되어 있을 때 발파진동 허용기준 0.381 cm/sec이내 안전수준에서 발파할 수 있고 그 이내 거리는 영향 범위에 해당된다.

표 8. 발파진동 영향범위

구 분	영향범위 (m)	안전거리 (m)	지발당장약량 (kg/delays)
NPS 공법 적용 전	< 157	157	10
	< 221	221	20
	< 271	271	30
	< 313	313	40
	< 349	349	50
	< 383	383	60
	< 413	413	70
	< 442	442	80
NPS 공법 적용 후	< 115	115	10
	< 162	162	20
	< 198	198	30
	< 229	229	40
	< 255	255	50
	< 280	280	60
	< 302	302	70
	< 323	323	80

6. 결 론

본 연구의 결과 부산 A 지역 항만공사 토취장에서의 NPS 발파공법 실시 전, 후 진동감쇠효과는 다음과 같다.

- 1) 본 지역에서는 NPS 발파공법 실시 전의 지반진동 크기는 1.45cm/sec ~ 0.14cm/sec 이었으나 4열의 NPS 발파공법 실시 후 지반진동 크기는 0.72cm/sec ~ 0.11cm/sec로

나타나 35% ~ 73%의 범위로 평균 57%의 진동감쇠율을 보였다.

2) 진동계측결과에 의거 K, n값의 변화를 보기 위하여 NPS 발파공법 적용 전, 후 발파진동식을 구하였는데 해당지역 발파진동식은 NPS 발파공법 적용 전

$$v_{90\%} = 108.215 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.449},$$

NPS 발파공법 적용 후

$$v_{90\%} = 234.215 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.791} \text{으로 나타났다.}$$

3) K, n값은 108.215와 -1.449이고 NPS 발파공법 적용 후 $V_{90\%}$ 평방근 환산거리의 K, n은 234.215와 -1.791의 값을 보였는데 후자가 감쇠지수 즉, 기울기가 매우 크게 나타났다.

4) 식 $v_{90\%} = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-n}$ 에서 K, -n값을 신뢰도 90%를 기준으로 거리 변화에 따라 NPS 적용 전, 후 지발당 장약 약량을 단순 비교하면 NPS 발파공법 적용 후 지발당 장약량은 NPS 발파공법 적용전과 비교하였을 때 87.4%의 증가율을 보였다.

참 고 문 헌

1. 강대우, 2001, 알기 쉬운 발파공학, 구미서관
2. 양형식 역, 1995, 발파 진동학, 구미서관
3. 전준수 외 10, 1997, 진동 및 내진설계, 구미서관
4. 지반절단에 의한 폭발식 방진공법, (특허 제 0293483)
5. Dowding C.H, 1985, Blasting Vibration Monitoring and Control
6. Olofsson S.O., 1990, Applied Explosive Technology for Construction and Mining