

~~~~~

# 구산동 아파트 재개발 사업의 발파공법 선정 및 주변 가옥에 미치는 발파 진동·소음 영향에 관한 연구

On the Selected Blasting Method and Measurement of Vibration and Sound  
Level by Blasting in KU-SAN area.

강 대 우\*  
Kang, Dae-Woo

~~~~~

ABSTRACT

Methods of Rock fragmentation are used rock of housing repair development at KU-SAN DONG area in seoul Youn-Pyong Ku.

So, Theoretical analyses of the effect of vibration and frequency on structural damage around old housed also discussed.

The results can be summarized as follows :

1. A area(Rock area not more than 15m Ku-San Mention)

Some empirical equations were obtained $V=K\left\{\frac{D}{W}1/3\right\}^{-n}$ where the values for n and K are estimated to be -1.64 and 94 respectively. this values were obtained only theoretical analyses

If we have 125g charge this area is impossible blasting operation, so this area must be worked by SRS(Super Rock Splitter) method.

2. B area(Rock area from 15m to 25m in a boundary line from Ku-San Mention)

This area charge is about 125g in a delay time by some empirical equation s. So, this area can be blasting operations by small charge.

3. C area(Rock area from 25m to 35m in a boundary line from Ku-San Mention)

This area charge is about 500g in a delay time by some empirical equation s. So, this area can be blasting operations by middle charge.

4. D area(Rock area more then 35m in a boundary line from Ku-San Mention)

This area charge is about 1000g in a delay time by some empirical equation s. So, this area can be blasting operations by middle charge.

* 동아대학교 자원공학과 교수

1. 서론

국내 대도시의 도심지에 암반 제거 작업을 시행함에 있어서 불가피하게 발파로 인하여 진동 및 소음등이 생겨나게 되고 이러한 진동과 소음은 도심지에서는 민원을 일으키는 직접적인 공해요소이다.

이에 본 연구에서는 도심지의 발파공사중에서 진동 및 소음을 최소화할 수 있는 여러 가지 방법을 적용한 발파 패턴과 적용하지 아니한 발파 패턴을 서울 구산동 재개발 쌍용APT 건설공사중 일반적인 대발파로 암반제거 작업을 진행할 경우 대발파로 인한 가옥 및 건축물에 상당한 물리적 변화가 예상되므로 물리적 영향 및 정신적 민원을 최소화시키기 위해 암반 절취시 진동을 감소하는 최적의 발파 패턴을 얻어 본 현장에 적용시키고 발파의 진동 및 주파수 특성을 연구 분석하는 데 본 논문의 목적이다.

1-1. 지질 개요

본 연구의 대상지역인 서울특별시 은평구 구산동 산 61번지 일대에는 북동부에 북한산에서 북악산에 이르는 산맥이 현저하게 돌출하고 중앙부에 한강이 북서 방향으로 흘러가는 것이 특징적이다. 도폭동부 지역은 장년기 지형을 나타내고 서부 지형은 고립된 잔구(Monadnock)를 형성하는 등 노년기의 특징적인 지형을 보인다.

수계들은 북서 방향으로 흐르는 한강이 현저하며 이 주위로 소규모의 2차 내지 3차 수계들이 방사상으로, 개별적으로는 수기상 유입된다. 그 대표적인 것으로 홍익동 일대의 하천, 안양천, 창능천, 대창천

등을 들 수 있다. 이러한 산계와 수계의 발전 방향은 지질 성분 또는 지질 구조적 특징을 충분히 반영하고 있다.

이 지역 중북부 은평구 구파발동과 본 구산동 현장, 고양군 신도읍 삼송리등을 중심으로 암주(Stock)상으로 반상 화강암이 분화하고 있다. 이 암석은 호상 흑운모 편마암을 관입하고 있으나 이 지역에 분포하는 흑운모 화강암과는 직접 접촉하는 곳이 없어 상호관계를 정확히 규명할 수 없다. 그러나 남양주군에서 서울까지 이 화강암의 북서 분포는 흑운모 화강암의 남북방향 분포에 의하여 절단되는 것으로 보아 흑운모 화강

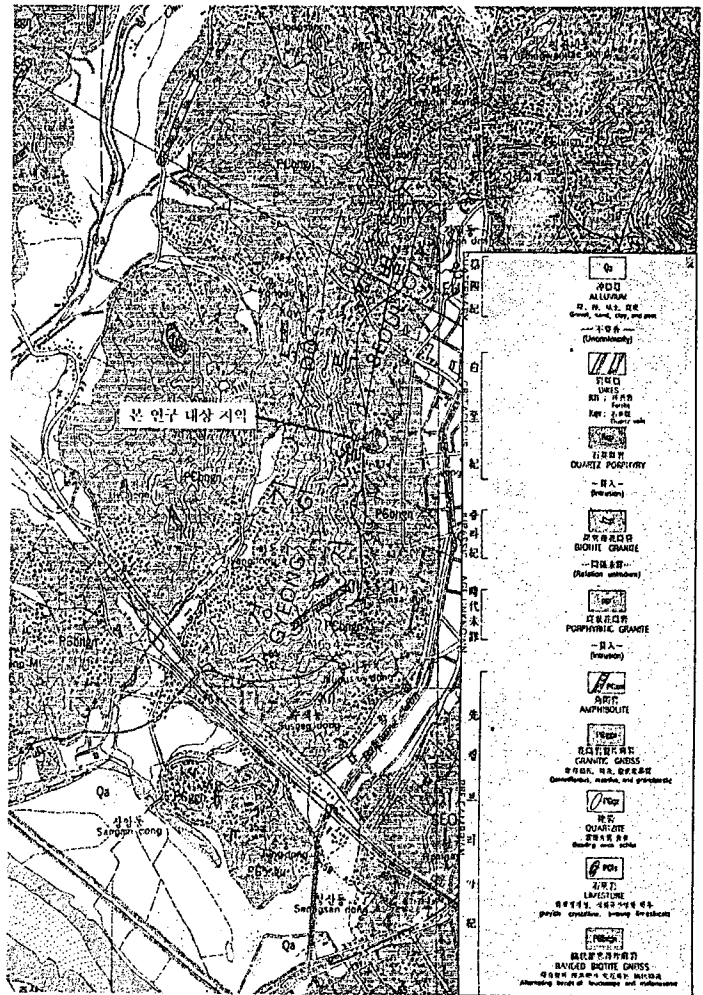


Figure 1. 본 현장의 지질도

암보다 더 오래된 심성 관입암체인 것으로 사료된다.

1-2. 주변 현황

본 연구의 대상지역은 서울특별시 은평구 구산동 산 61번지 일대 조합원 45가옥과 비조합원 171가옥에 대한 재개발 사업에 대한 암반

절취 공사중 주변 기존 가옥(구산 연립, 시립 서대문 병원)이 있다. 또한, 본 지역에서의 발파는 최단사거리 약 10m 앞쪽에는 구산 연립 1동, 6동, 7동 및 16동 건물이 있고 서쪽으로는 약 50m 지점에 서울 시립 서대문 병원이 있다.

1-3. 주변 현황도

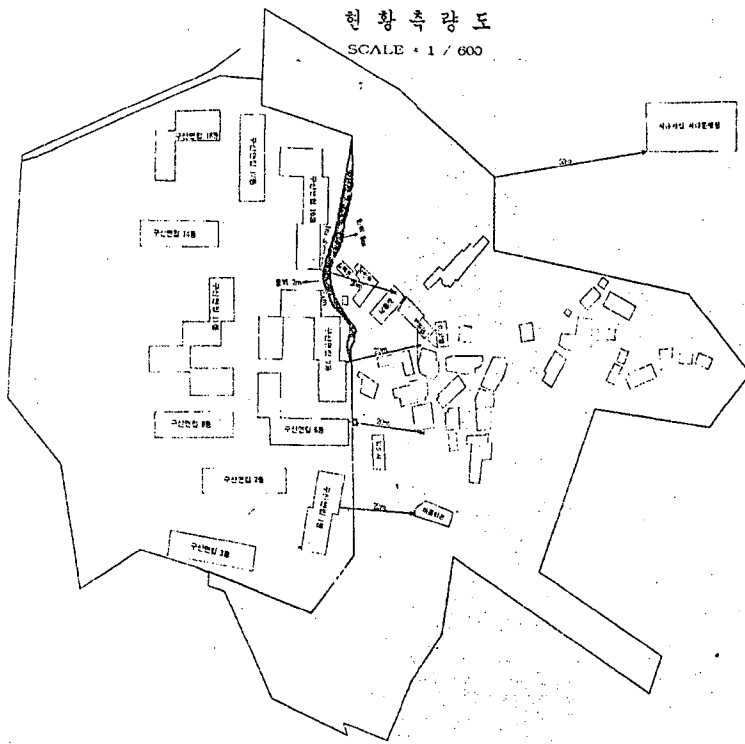


Figure 2. 현장 주변 현황도

2. 국내외 발파 진동 및 소음 허용 기준치

2-1. 美 광무국의 제안(USBM 1980년)

TABLE 1. USBM의 제안

구조물의 형태	주파수 및 진동	
	$f < 40\text{Hz}$	$f > 40\text{Hz}$
근대식 건물	0.75in/sec	2in/s
오래된 건물(내부 회벽)	0.5in/sec	2in/s

2-2. OSM의 제안

TABLE 2. OSM의 제안

발파지점에서의 거리	최대허용치 PPV in/s	환산거리 SD
0-300	0-300	50
301-5000	301-5000	55
≥ 5001	≥ 5001	65

2-3. 독 일

독일은 1986년 종전에 적용하던 DIN 규격의 문제점을 보완하여 주파수 특성을 고려하는 아래와 같은 수정안을 마련하였다.

TABLE 3. 독일의 진동 기준

구조물의 형태	진동 속도(cm/sec)		
	< 10Hz	10-15Hz	50-100Hz
유적이거나 고적, 문화재 결함이 있는 건물, 저택	0.3	0.3-0.8	0.8-2.0
주 택	0.2	0.5-4.0	1.5-2.0
회벽이 없는 공업용 콘크리트 구조물	2.0	2.0-4.0	4.0-5.0

2-4. 스웨덴

스웨덴에서 발파 전문가 Langefors(1958)등은 빌딩 철거 작업과정에서 많은 시험발파를 실시하여 기초 지반의 상태에 따라 다음과 같이 정의하고 있다.

2-6. 일본 토목 현장에 적용하는 진동 진도계

TABLE 6. 일본의 진동 속도 범위

진 도	진동의 정도	진동속도 범위
I	발파 진동은 거의 감지할 수 없다.	0.03cm/sec 이하
II	발파 진동은 약간 감지할 수 있다.	0.03~0.1cm/sec
III	발파 진동은 현저하게 느낌.	0.1~0.5cm/sec
IV	발파진동은 현저하게 느낌이 많다.	0.5~1.0cm/sec
V	구조물등에 주의	1.0~2.0cm/sec
VI	일반가옥, Mortar 구조물 피해 가능성 있음.	2.0~5.0cm.sec
VII	댐, 기초 concreter 가옥등의 피해 가능성이 크다.	5.0cm/sec 이상

TABLE 4. 스웨덴의 허용 기준치(Swedish Standard SS 460 48 66)

지 반 층	진동 속도 (cm/sec)
점토, 자갈층	1.8
화석, 슬레이트, 연약한 석회석	3.5
강한 석회석, 사암, 편마암, 화강암, 현무암	7.0

2-5. 중 국

중국 폭파 안전 규정에 의하면 일반 건축물에 대한 폭파 지진 안전성은 안전진동속도를 만족시켜야 하며 주요형태의 구조물 지면 지점의 안전 진동 속도 규정은 다음과 같다.

TABLE 5. 중국 폭파 안전 기준(GB 6722-86)

구 조 물	진동 속도 (cm/sec)
토굴집, 흙벽돌집, 자갈주택	1.0
일반벽돌집, 내진설계가 되지 않은 대형 구조물	2-3
철근 콘크리트	5
수공 터널	10
교통 터널	15
광산 갱도	10-30

2-7. 소 련

TABLE 7. 소련의 발파 진동 허용 기준

구조물의 종류	진동 속도(cm/sec)	
	발파작업기간이 길 때(반복 작업)	발파작업기간이 짧을 때(단속 작업)
병원 건물	0.8	3
유치원과 큰 주거용 빌딩	1.5	3
산업공장 빌딩, 공공빌딩, 작은 주거용 빌딩	3	3
사무실, 공장건물(수도터널, 고강도콘크리트관, 철도, 고가도로)	6	12
철골 고강도 콘크리트 구조물 또는 10년이상된 광산갱도	12	24
3년이내의 광산 운반 수평 갱도	24	48

2-8. 호 주

TABLE 8. 호주의 발파 진동 허용 기준

구조물의 형태	진동 속도 (cm/sec)
문화재, 기념관, 특별한 가치있는 물건	0.2
주거용 건물	1.0
상업용 건물, 산업용 건물	2.5

2-9. 프 랑 스

TABLE 9. 프랑스의 발파 진동 허용 기준

구조물의 형태	진동 속도(cm/sec)		
	4.8Hz	8-30Hz	30-100Hz
주거용 건물	0.8	1.2	1.5
예민한 건물	0.6	0.9	1.2
매우 예민한 건물	0.4	0.6	0.9

2-10. 스 위 스

TABLE 10. 스위스의 발파 허용 기준

구조물의 형태	진동수	진동속도
	Hz	cm/sec
문화재, 진동에 예민한 구조물	10-60	0.8
	60-90	0.8-1.2
석조재 벽체와 함께 목재 천정을 가진 건물	10-60	1.2
	60-90	1.2-1.5
기초벽이 있는 콘크리트 슬래브, 지층내	10-60	1.8
수로구조물, 석조재 라이닝한 터널 구조물	60-90	1.8-2.5
강구조, 철근 콘크리트 구조물	10-60	3.0
콘크리트 라이닝한 터널, 지하공동	60-90	3.0-4.0

2-11. 영 국

TABLE 11. 영국의 발파 허용 기준(터널 발파시)

지 역	진동 속도(cm/sec)
인구 조밀 지역	1.0
인구가 드문 지역	2.5

2-12. 국내 적용 기준

국내에서 발파진동에 대한 구체적인 규제 조항은 건교부와 노동부에 규정하고 있으나 주무부서인 환경부에는 일반적인 진동 규정을 적용하고 있다.

TABLE 12. 건교부 발파 진동 허용 기준
(터널 표준시방서 4200-58705-9608)

건물 부분	문화재 진동예민 건물	주택, 아파트	상 가	철골 콘크리트 건물 및 공장
건물 기초에서의 허용기준치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

TABLE 13. 노동부 발파 작업 진동 허용 기준
(노동부 고시 94-26호)

건물 부분	문화재	주택, 아파트	상 가 (금이 없는 상태)	철골 콘크리트 건물 및 공장
건물 기초에서의 허용기준치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

2-13. 생활 소음 규제기준 범위

(소음 진동 규제법 시행규칙 제 57조)

TABLE 14. 생활 소음 규제 기준
(허용 기준) (단위 : dB(A))

대상 지역	조석	주간	심야
주거 지역, 녹지 지역 취락 지역, 휴양 지역	60 이하	70 이하	50 이하

조석 시간→05:00~08:00, 18:00~22:00

주간 시간→08:00~18:00

심야 시간→22:00~05:00

※ 참고 : 작업시간 2시간 미만일 경우 보정 +5dB, 4시간 미만일 경우에는 보정 +10dB를 더해 준다.

3. 본 지역의 발파 PATTERN 및 진동 영향권 분석

본 지역에서 거리별, 장약량별 진동 추정식에 의한 진동 크기는 다음과 같이 계산 할 수 있다.

여기서, 인용한 발파 계수는 인근 흥은동 현장에서 취득한 자료를 이용하였다.

(암발파 설계기법에 관한 연구

한국토지개발공사(1993), p.291)

◇ 진동 계산식

$V = K(SD)^n$ 에서 인용 발파 SD Graph에 의거

$K = 94 \quad n = -1.64$

3-1. A구역 발파 PATTERN (발파 불가능 지역)

본 지역의 발파는 A구역(경계부에서 15M까지 거리 발파 예정 평면도 참조) 일반적으로 최소 발파 크기 천공장 1.2M, 천공간격은 0.7M~1.0M 지발당 장약량은 0.125KG으로 한다면 "발파 진동 허용 기준치 0.5mm/sec(=KINE)을 초과하므로 이 지역에서는 발파 불가능"할 것이다.

※ A지역 진동 계산식

- 최소 지발당 장약량 : 0.125kg

- 발파 작업시 발파원에서 거리 : 10M

《10M 지점》

$$V = 94 \left\{ \left(\frac{10M}{0.125kg} \right) \frac{1}{3} \right\}^{-1.64}$$

$$= 0.69 \text{ cm/sec (= KINE)}$$

따라서 본 지역에서는 노동부 발파작업 허용 기준치 0.5cm/sec(=KINE)을 초과하기에 "발파 작업이 불가능"하다.

3-2. B구역 발파 PATTERN

본 지역의 발파는 B구역(경계부에서 15M에

서 25M까지 거리 발파예정 평면도 참조)에서 실시되어야 하며 이것은 소규모 진동 제어발파에 해당한다.

※ B지역 진동 계산식

- 최소 지발당 장약량 : 0.125kg
- 발파 작업시 발파원에서 거리 : 15M, 25M, 30M, 40M

〈15M 지점〉

$$V = 94 \left\{ \left(\frac{15M}{0.125kg} \right) \frac{1}{3} \right\}^{\wedge} (-1.64)$$

$$= 0.355cm/sec (= KINE)$$

〈25M 지점〉

$$V = 94 \left\{ \left(\frac{25M}{0.125kg} \right) \frac{1}{3} \right\}^{\wedge} (-1.64)$$

$$= 0.15cm/sec (= KINE)$$

〈30M 지점〉

$$V = 94 \left\{ \left(\frac{30M}{0.125kg} \right) \frac{1}{3} \right\}^{\wedge} (-1.64)$$

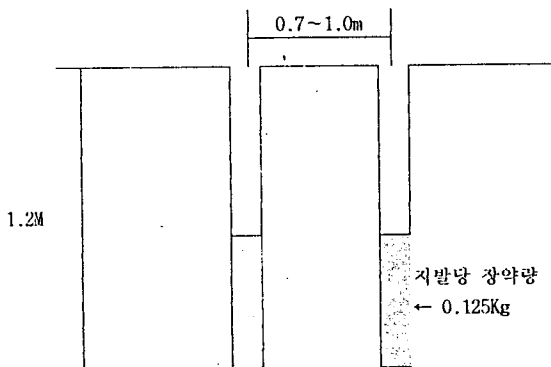
$$= 0.11cm/sec (= KINE)$$

〈40M 지점〉

$$V = 94 \left\{ \left(\frac{40M}{0.125kg} \right) \frac{1}{3} \right\}^{\wedge} (-1.64)$$

$$= 0.07cm/sec (= KINE)$$

이 지역은 아래와 같은 방법으로 발파 작업을 하여야 한다.

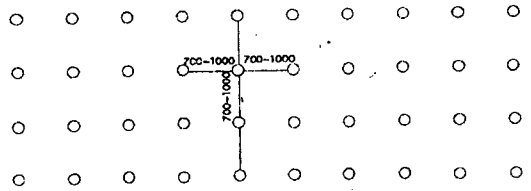


B지역의 천공 PATTERN, 결선 PATTERN, 장약 PATTERN

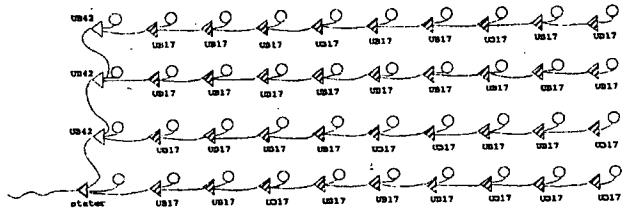
천공패턴

Drill Depth : 1.2m

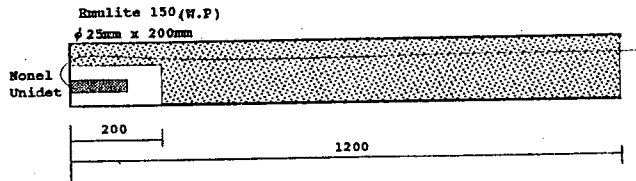
Drill Dia. : ϕ 45mm



결선패턴



장약패턴



3-3. C구역 발파 PATTERN

본 지역의 발파는 C구역(경계부에서 25M~35M의 거리 발파예정 평면도 참조)에서 실시되어야 하며 이것은 중규모 진동 제어발파에 해당한다.

※ C지역 진동 계산식

- 최소 지발당 장약량 : 0.5kg
- 발파 작업시 발파원에서 거리 : 25M, 35M

〈25M 지점〉

$$V = 94 \left\{ \left(\frac{25M}{0.5kg} \right) \frac{1}{3} \right\}^{\wedge} (-1.64)$$

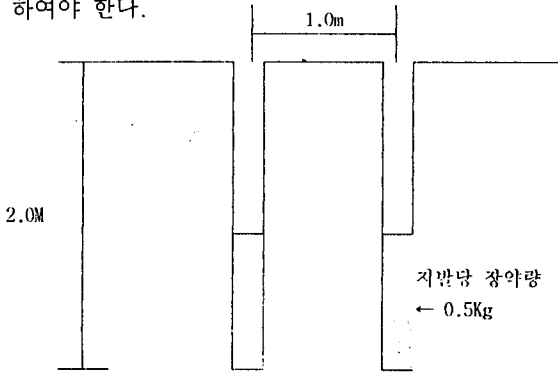
$$= 0.33cm/sec (= KINE)$$

《35M 지점》

$$V = 94 \left\{ \left(\frac{35M}{0.5kg} \right) \frac{1}{3} \right\}^{\wedge} (-1.64)$$

$$= 0.19cm/sec (= KINE)$$

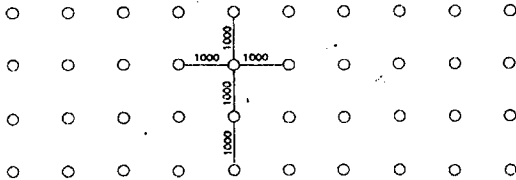
이 지역은 아래와 같은 방법으로 발파 작업을 하여야 한다.



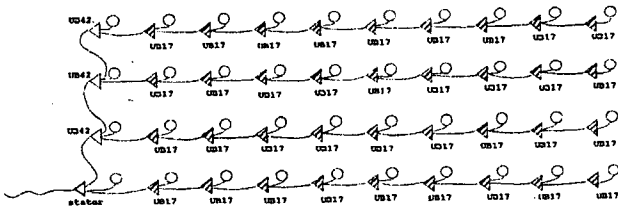
C 지역의 천공 PATTERN, 결선 PATTERN, 장약 PATTERN

천공패턴

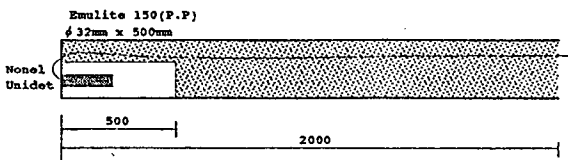
Drill Depth : 2m
Drill Dia. : ϕ 45mm



결선패턴



장약패턴



3-4. D구역 발파 PATTERN

본 지역의 발파는 D구역(경계부에서 35M이후의 거리 발파예정 평면도 참조)에서 실시되어야 하며 이것은 중규모 진동 제어발파에 해당한다.

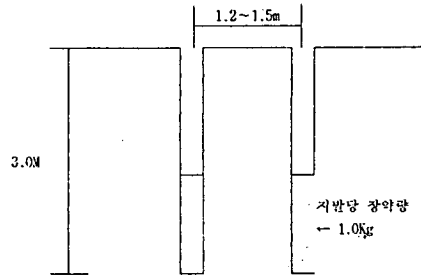
※ D지역 진동 계산식

- 최소 지발당 장약량 : 1.0kg
- 발파 작업시 발파원에서 거리 : 35M이후 《35M 지점》

$$V = 94 \left\{ \left(\frac{35M}{1.0kg} \right) \frac{1}{3} \right\}^{\wedge} (-1.64)$$

$$= 0.28cm/sec (= KINE)$$

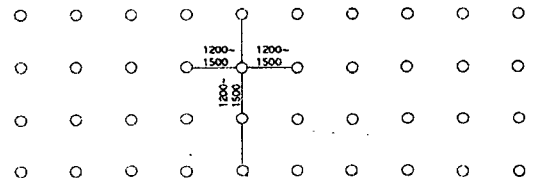
이 지역은 아래와 같은 방법으로 발파 작업을 하여야 한다.



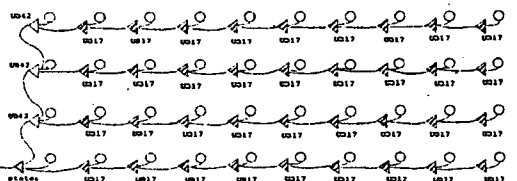
D 지역의 천공 PATTERN, 결선 PATTERN, 장약 PATTERN

천공패턴

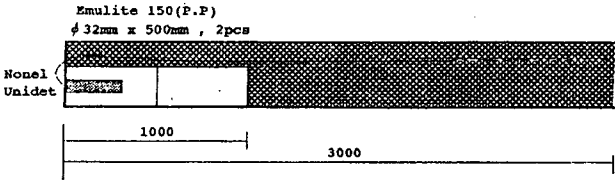
Drill Depth : 3m
Drill Dia. : ϕ 45mm



결선패턴



장약패턴



4. 결 론

본 연구에서는 “구산 제1구역 주택개량 재개발 사업”에 주변 현황을 조사하고 인근 건축물(구산 연립 및 시립 서대문 병원등)을 고려한 진동의 영향권을 이론적으로 분석하여 가장 경제적이고 안전한 암반 파쇄 공법을 선정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. A구역(구산연립 경계부에서 15M 이내의 암반 구역)

본 지역에서 측정 DATA를 이론적으로 회귀 분석한 결과 다음과 같은 진동 추정식을 만들었다. 진동 추정식은 $V=94\left\{\frac{D}{W}1/3\right\}^{-1.64}$ K=94, n=-1.64로 각각 값을 구하였다.

본 A구역에서 발파원에서 15m 거리에서 지발당 장약량을 125g으로 하였을 경우 진동 크기가 0.69cm/sec(=KINE)으로 나타났으며, 이는 일반적인 진동 허용 기준치를 훨씬 초과하는 상기 지역에서는 발파 작업이 불가능하다. 따라서 이 구역은 무진동 공법으로 SRS(Super Rock Splitter)공법에 의존한 암반 파쇄 공법을 선택하여야 할 것이다.

2. B구역(구산연립 경계부에서 15M에서 25M까지의 암반 구역)

본 B구역에서 발파원에서 15m에서 25m거리까지는 지발당 장약량을 125g이하로 작업하여야 하며 『3-3절 참조』 이와 같이 소규모 진동제어 발파를 시행하여야 주변 가옥 및 건축물에는 물리

적 영향이 전혀 없을 것이다.

3. C구역(구산연립 경계부에서 25M에서 35M까지의 암반 구역)

본 D구역에서 발파원에서 25m에서 35m거리까지는 지발당 장약량을 500g이하로 작업하여야 하며 『3-3절 참조』 이와 같이 중규모 진동제어 발파를 시행하여야 주변 가옥 및 건축물에는 물리적 영향이 전혀 없을 것이다.

4. D구역(구산연립 경계부에서 35M이후의 암반 구역)

본 C구역에서 발파원에서 35m이후 거리까지는 지발당 장약량을 1000g이하로 작업하여야 하며 『3-4절 참조』 이 경우 주변 가옥 및 건축물에는 물리적 영향이 전혀 없을 것이다.

사사

본 연구는 남광토건(주)와 동아대학교 건설기술연구소 학술연구 용역에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Konya, C.J, Barrett, D., and Smith, Jr., Ed., "Presplitting Granite Using PyroDEX, Apropellant", Proceeding of the Twelfth Conference on Explosives and Blasting Technique.