

~~~~~

# 154kV 대신 S/S인출 전력구 시험발파 패턴 및 진동, 소음 계측에 의한 기존 CRACK에 미치는 영향 연구

On the Study of Blasting Vibration, Sound by Measuring Gage Influence to Exist Crack in 154kV Daeshin Electric Cable Tunnel

강 대 우\*, 박 태 원\*\*  
Kang, Dae-Woo, Park, Tea-Won

~~~~~

ABSTRACT

This area is covered in Andesite of high compression strength and located in PUSAN SEO-KU. There are many old houses around shaft site.

So, we must have a cautious blasting operation.

A total of 40 blasts were test at DAE-SHIN Shaft site to study the magnitude and frequency characterization of blast-induced vibration.

The effect of vibrating frequency on structural damage and site-specific scaling to define the empirical equations were also discussed. The results can be summarized as follows :

1. 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 -1.407 to -2.202 and 643.3489 to 7283.2104 respectively.

2. Dominant frequencies at short distance are in the range of about 75.0 to 91.8 Hz, with some exceptions of about 50Hz, Frequencies observed at long distance are in the range of 10 to 20Hz.

It is apparent the shift of dominant frequency down to lower levels at long distance

* 동아대학교 자원공학과 교수
** 동아대학교 건설기술연구소 특별연수원

1. 서론

본 지역(부산광역시 서구 부민동 54-2) 일대는 극경암 안산암(압축강도 2,300~3,300kg/cm²)으로 발파에 의한 압박의 굴착이 불가피하다. 발파는 지반의 조건, 사용폭약의 종류, 발파방법 등에 따라 작업의 안정성 및 효율성이 결정되므로 사전에 충분한 조사와 연구, 검토를 거쳐 안전한 발파 작업계획이 수립되어야 한다.

특히 본 지역은 근접하여 부흥각(3층) 건물 외 29가옥이 최소 발파 영향권에 민가 등 시설물이 위치하고 있어 발파로 인한 지반진동(ground vibration)과 소음(air blast)이 구조물과 인체에 대한 영향을 반드시 고려하여야 할 것으로 생각된다.

본 연구 지역은 수직구 터파기로서 일반 발파와 NPS(New Presplitting)공법과 비교하여 진동 및 폭음의 상관 관계를 연구하기 위하여 주변에 방음벽 등 안전시설을 설치한 후 발파진동과 소음의 크기를 계측하여 인접 건축물에 Crack gage를 설치하여 발파로 인한 시설물의 안정성 여부를 연구하는데 그 목적이 있다.

1-1. 지질 개요

본 연구의 대상지역인 부산광역시 서구 부민동 54-2 일대에 분포하는 지질은 백악기 경상계의 상부 유천층과 불국사 관입암류로 대별된다. 본 지역에서 유천층군은 하부로부터 다대포층, 암산암질, 유문석영 안산암류, 암회색 응회질 퇴적암, 유문석영 안산암질 화산각력암, 유문석영 안산암, 유문암질암으로 구분된다. 본 지역은 전체적으로 안산암질 화산각력암으로

이루어져 있다. 본 암은 회색, 암회색 및 암갈색을 띠는 각력을 함유한 각력 응회암으로 PYROCLASTIC 각력암, 응회암질이 협재된다.

각력의 크기는 대체로 5cm 미만이고, 각력의 종류는 반상 안산암, 안산암이 주이고 화강암, 규장반암, 퇴적암, 응회암등도 관찰된다. 또한 본 암층엔 심한 폭발 작용의 주기적인 휴식기간에 간헐적으로 유출한 안산암 LAVA가 여러번 협재되며, 지질중에 길쭉한 다공상 구조가 관찰되기도 한다. 일반적으로 화학적 풍화에 약한 심성암류의 분포지보다 유천층의 화산암류가 분포하는 지역의 지형이 험준한 편인데, 본 역 또한 유천층의 분포지로서 북측은 구덕산을 위하여 다소 험준한 산악지형이나, 연구 조사 구간은 주택지화 되었다.

1-2. 주변 현황

본 연구의 대상지역은 부산광역시 서구 부민동 54-2번지일대 주변 가옥 및 건축물을 발파

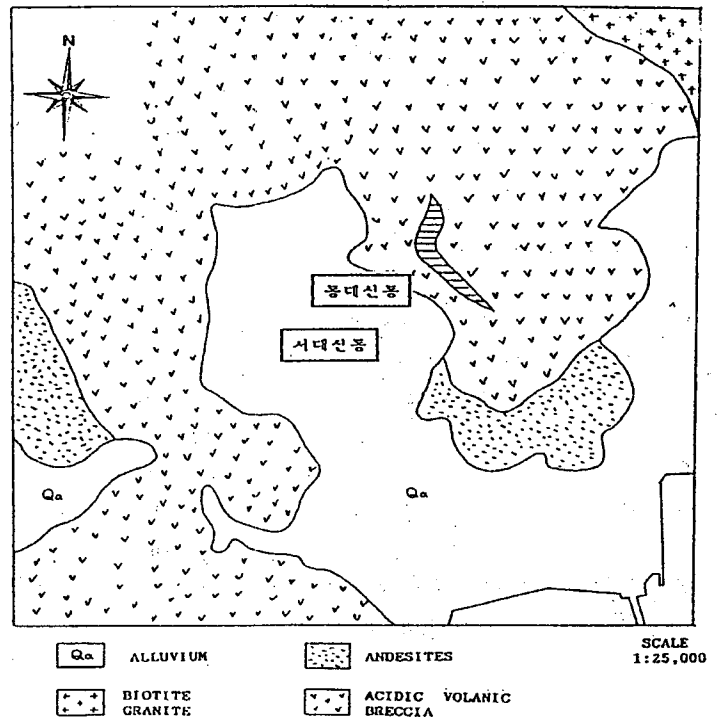


Figure 1. 본 현장의 지질 분포도

1-3. 주변 현황도

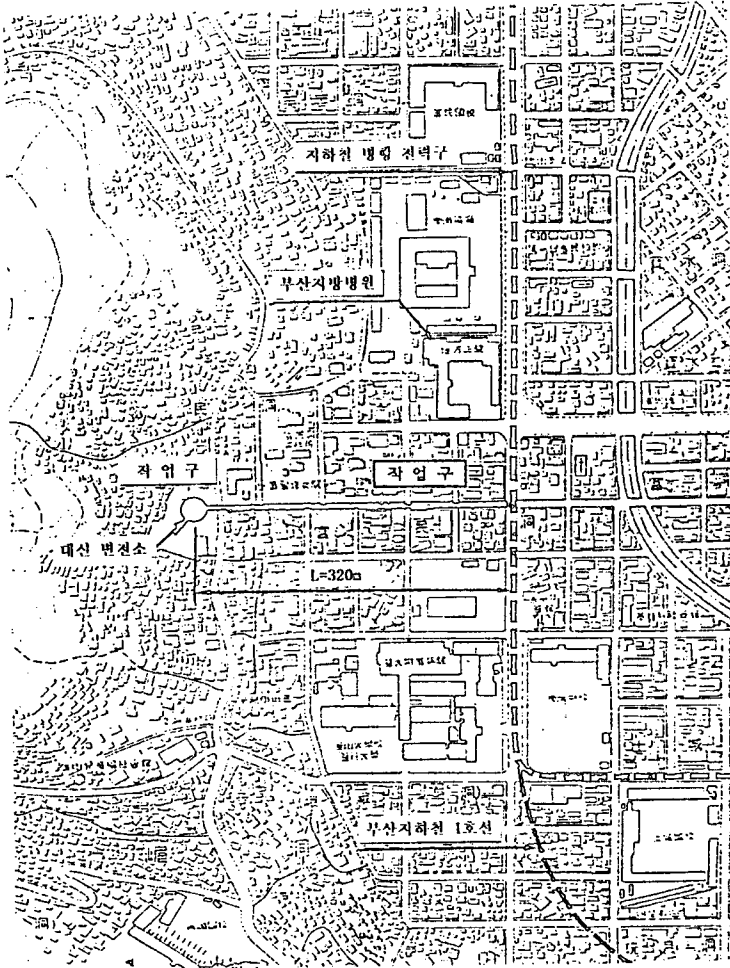


Figure 2. 현장 주변 현황도

작업하기 전에 28가옥을 조사하여 각 1층 1~2 개소에 Crack Gage를 설치하여 총 127개소에 설치하였다. 또한 기존 건물에 균열 상태를 사진으로 찍어서 그 자료를 조사 대상 가옥주 및 건축주에게 사진대장을 작성하여 배부하였다. 그리고 수직구 주변에 가장 근접하여 김효남씨 소유의 부흥각 3층 건물이 있고 Crack Gage를 5개소 설치하였으며 발파하기 전 건물은 보수를 한 상태였다. 부산 시내 중심가에서 외곽에 걸쳐 위치하며, 지반고는 높지 않으나, 산사면의 경사가 가파른 편이다.

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 < 40Hz	f > 40Hz
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. 독일

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 결합이 있는 건물, 자택	0.3	0.3-0.8	0.8-2.0
주택	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

2-6. 일본 토목 현장에 적용하는 진동 진도계

TABLE 6. 일본의 진동 속도 범위

진도	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 concreteer 가옥등의 피해 가능성이 크다.	5.0cm/sec 이상

2-4. 스웨덴

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

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

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

2-5. 중국

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

TABLE 5. 중국 폭파 안전 기준(GB 6722-86)

구조물	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. 소련

TABLE 7. 소련의 발파 진동 허용 기준

구조물의 종류	진동 속도(cm/sec)	
	발파작업기간이 길 때(반복 작업)	발파작업기간이 짧을 때(단순 작업)
병원 건물	0.8	3
유치원과 큰 주거용 빌딩	1.5	3
산업공장 빌딩, 공공빌딩, 작은 거주용 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. 호주

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. 프랑스

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. 스위스

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. 영국

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

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

건물 부분	문화재 진동에민 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

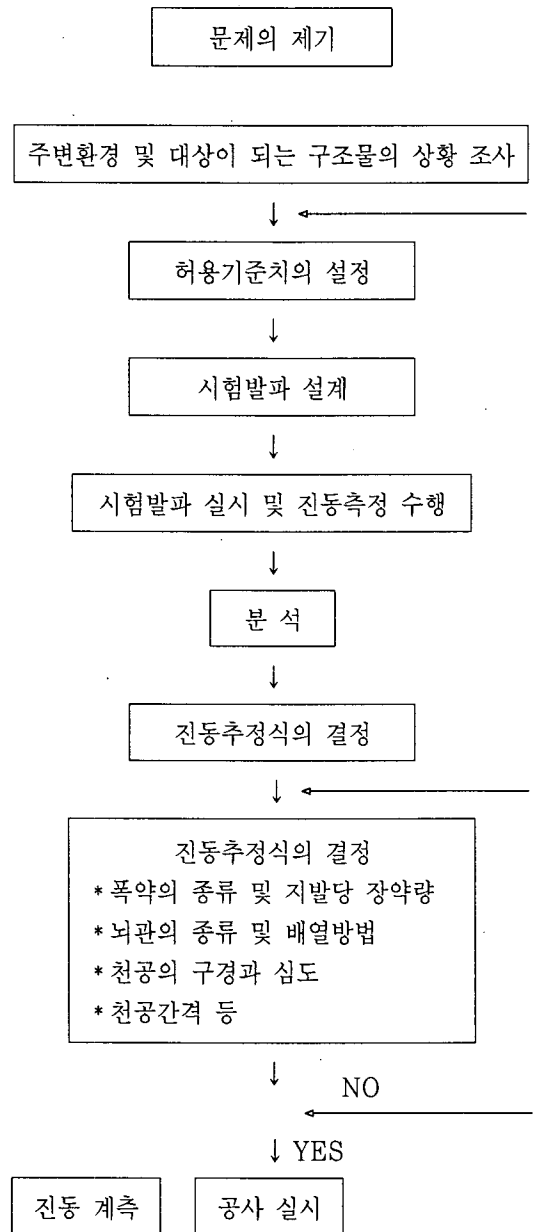
주간 시간→08:00~18:00

심야 시간→22:00~05:00

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

3. 본 지역의 시험발파 실시 및 측정결과

본 연구를 효율적으로 수행하기 위해서는 대
체적으로 다음과 같은 절차를 밟는다.



3-1. 시험발파 제한

발파 진동 예측을 위한 추정식을 산정하는데는 두가지 방법을 생각할 수 있다.

첫째, 거리와 장약량을 달리하고 그외의 조건들을 동일하게 정한 후 발파 진동을 반복 측정하면 실험식을 구할 수 있으므로 이와같은 방법으로 산정된 기존의 경험식을 우선 설계에 적용하고 시공중에 확인, 측정을 시행하여 그 결과에 따라 진동 전파식을 조절하는 방법이다.

둘째, 굴착공사 착수전에 시험발파를 행하고 첫번째와 같이 발파진동을 계측하고 그 결과를 토대로 대상지역의 발파 진동 전파식을 산정한다. 다음에 이 식을 이용하여 표준발파 패턴을 설계하고 그대로 시공하면서 매 발파시에 진동을 계측하여 시험발파 결과 추정한 예상치와 비

교 분석, 검토하면서 작업의 안전성과 효율성을 확보한다.

3-2. NPS공법 발파 전후의 진동 및 폭음 크기 분석

NPS(New-Pre-splitting) 공법은 소음, 진동 공해를 줄이고 절취절개 효과를 향상시키므로 도심지에서의 사용이 불가능한 재래식 발파공법의 한계를 극복하였음을 물론 주택가 또는 안전 건물이나 구조물 그 밖의 정밀기기에 인접해서는 발파 작업이 가능하도록 연구한 기술이다. 따라서, 본 연구에서 이 공법을 사용하여 작업한 결과 다음 표와 같다.

TABLE 15. 시험 발파 제한표

일시 (97년)	구분	천공장 (m)	공간격 (m)	총공수		총 화약 사용량	발파 횟수	발파 방법	암질	비 고
				장약량	지발당 장약량					
6월 11일	1.1	0.3~0.5	36	0.250kg	9.0kg	2	분할 발파	경암	1단 및 2단 장약	
12일	1.1	0.3~0.5	56	0.250kg	14.0kg	4	분할 발파	경암	1단 및 2단 장약	
18일	1.1	0.3~0.5	100	0.250kg	25.0kg	5	분할 발파	경암	1단 및 2단 장약	
21일	1.1	0.3~0.5	92	0.375kg	34.60kg	1	다단 발파	경암	1단 및 2단 장약	
25일	1.1	0.3~0.5		0.375kg	3.4kg	1	다단 발파	경암	발파 취소	
27일	1.1	0.3~0.5	82	0.375kg	30.675kg	1	다단 발파	경암	1단 및 2단 장약	
28일	1.1	0.3~0.5	116	0.375kg	43.60kg	1	다단 발파	경암	1단 및 2단 장약	
7월 1일	1.1	0.3~0.5	98	0.375kg	36.75kg	1	다단 발파	경암	1단 및 2단 장약	
2일	1.1	0.3~0.5	124	0.375kg	46.30kg	1	다단 발파	경암	1단 및 2단 장약	
7일	1.1	0.3~0.5	244	0.375kg	91.50kg	3	다단 발파	경암	1단 및 2단 장약	
19일	1.1	0.3~0.5	30	0.297kg	22.50kg	10	NPS 공법	경암	8~11단 장약	
20일	1.1	0.3~0.5	17	0.300kg	24.60kg	14	NPS 공법	경암	8~11단 장약	
25일	1.1	0.3~0.5	132	0.300kg	24.60kg	1	다단 발파	경암	1단 및 2단 장약	
30일	1.1	0.3~0.5	140	0.300kg	24.60kg	1	다단 발파	경암	1단 장약	
31일	1.1	0.3~0.5	140	0.300kg	24.60kg	1	다단 발파	경암	1단 장약	

TABLE 16. NPS 공법전과 후의 진동, 폭음 결과표

구분 일시 (97년)	발파 횟수	측정 위치	진동최고치 cm/sec (=KINE)	소음 (dB/A)	지발당 장약량	발파 방법 구분	
6월 11일	2	부흥각 1층 바닥	0.222	76.6	0.250kg	분할 발파	NPS 공법전 작업
12일	4	부흥각 1층 바닥	0.448	81.9	0.250kg		
18일	5	부흥각 1층 바닥	0.697	91.3	0.250kg		
21일	1	부흥각 1층 바닥	0.243	N/A	0.375kg	다단 발파	
25일	-	-	발파 취소	-	-		
27일	1	부흥각 1층 바닥	0.294	64.6	0.375kg		
28일	1	부흥각 1층 바닥	0.330	83.6	0.375kg		
7월 1일	1	부흥각 1층 바닥	0.279	66.4	0.375kg		
2일	1	부흥각 1층 바닥	0.260	95.1	0.375kg		
7일	3	부흥각 1층 바닥	0.327	80.0	0.375kg	다단 발파	
19일	10	부흥각 1층 바닥	0.253	76.0	0.297kg		
20일	14	부흥각 1층 바닥	0.230	74.0	0.300kg		
25일	1	부흥각 1층 바닥	0.243	84.6	0.300kg		
30일	1	부흥각 1층 바닥	0.194	73.8	0.300kg		
31일	1	부흥각 1층 바닥	0.232	87.0	0.300kg	NPS 공법전 작업	

상기의 표와 같이 NPS공법전과 NPS공법후의 실제 계측 DATA를 분석한 결과 진동인 경우 약 28.6%의 감쇠효과를 얻었으며, 폭음은 약 11.2%의 감쇠율을 보였다. 이는 결과적으로 NPS 공법으로 신시공하여 1차로 자유면을 만들어 놓은 상태에서 다단발파(7회 분할발파와 같은 효과를 얻을 수 있음)로 하여 시공하여야 주변 인근 가옥 및 건축물에는 물리적인 영향이 없을 것이다.

4. 본 연구 대상 지역의 진동 추정식 산출

여기서, 인용한 발파 계수는 실제 DATA를

이론적, 경험적으로 회귀분석한 결과 진동 추정식을 산출할 수 있었다.

◆ 진동 계산식

$$V=643.3489 * (SD)^{-1.407} (95\%) \dots (\text{식 } 1)$$

$$V=7283.2104 * (SD)^{-2.202} (95\%) \dots (\text{식 } 2)$$

(식 1.2)은 95%의 신뢰도를 가지는 식으로 K값은 자승근에서 643.3489이고, 삼승근에서는 7283.2104로 나타났으며, n값은 각각 -1.407, -2.202로 나타났다. 그리고 상관성은 자승근과 삼승근 모두 93%를 나타냈다.

K 95%식이란 예를 들면 100번에 걸쳐서 발파를 하면 통계적으로 95번은 이 라인 아래쪽에 위치하고 다만 1번정도는 넘을 수도 있다는 의미이다.

COEFFICIENT OF DETERMINATION = 0.040 STANDARD DEVIATION = 0.106

581958

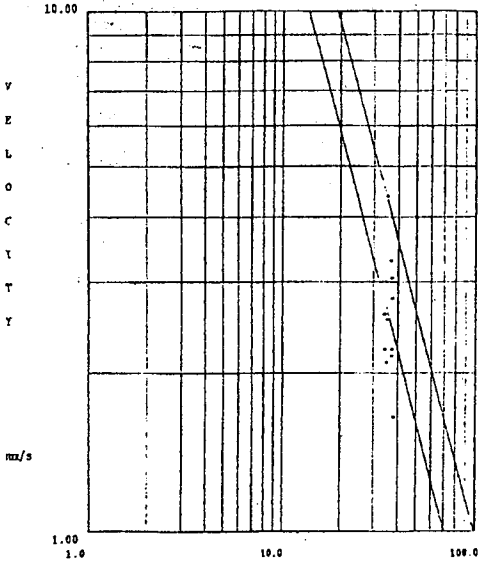


Figure 3. SQUA ROOT SCALED DISTANCE

0958 LINE EQUATION: $V = 7283.2104 * (SD)^{-2.202}$
 COEFFICIENT OF DETERMINATION = 0.050 STANDARD DEVIATION = 0.106

581958

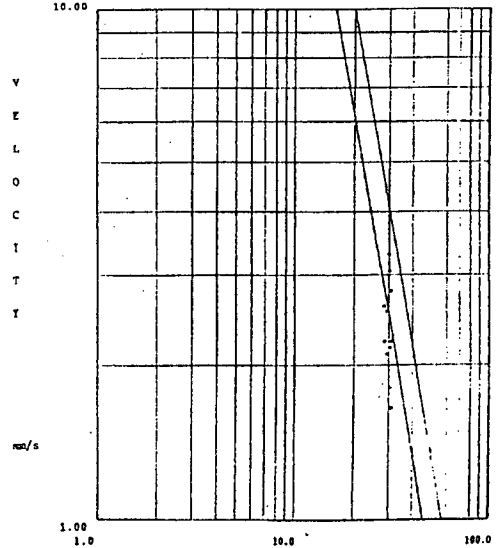


Figure 4. CUBE ROOT SCALED DISTANCE

따라서 본 대상 연구지역에서 시험발파 설계 시 진동의 허용기준치를 1번 초과하는 경우가 있는데 이것은 지질변화등에 의한 암석의 불규칙 강도나 기능공들의 천공도 오차나 뇌관 배열의 오판 등에 기인한 것으로 본다.

5. 결 론

본 연구는 “154kV 대신 S/S 인출 전력구 건설공사에 수직구 발파 PATTERN 및 주변 건물에 발파로 인한 영향 연구 검토”을 인근 건축물, 가옥을 고려한 진동의 영향권을 이론적으로 분석하여 가장 경제적이고 안전한 암반 파쇄 공법을 선정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 진동크기에 의한 공법 선정

본 지역에서 총 11회 일반 소규모 분할 발파를 한 결과 측정 최고치는 0.697cm/sec(KINE)으로 나타났고, 총 8회 측정된 소규모 장약에 의한 다단식 발파시 진동 최고치는 0.327cm/

sec(KINE), 총 2회 NPS공법후의 다단 발파시는 진동 최고치가 0.243cm/sec(KINE)으로 각각 나타났다. 상기 NPS공법 전과 후에 분할 발파와 다단식 발파를 비교하여 진동 크기가 약 17%정도 감소시키는 효과를 얻었음을 알 수 있다. 따라서 상기 연구 대상 지역에서는 우선적으로 NPS공법을 선시공하고 다단식 발파로 작업하여야 할 것으로 사료된다.

2. 진동 추정식 산출

여기서, 인용한 발파 계수는 실제 DATA를 이론적, 경험적으로 회귀분석한 결과 진동 추정식을 산출할 수 있었다.

$$V = 643.3489 * (SD)^{-1.407} (95\%) \dots (\text{식 } 1)$$

$$V = 7283.2104 * (SD)^{-2.202} (95\%) \dots (\text{식 } 2)$$

(식 1.2)은 95%의 신뢰도를 가지는 식으로 K값은 자승근에서 643.3489이고, 삼승근에서는 7283.2104로 나타났으며, n값은 각각 -1.407, -2.202로 나타났다.

3. 본 연구 지역의 암반 파쇄 공법

발파 진동 허용 기준치의 관리는 0.3cm/sec (KINE)이내로 하여야 하며, 소음의 기준치는 85dB이내로 하고, 발파 진동 주파수(Hz)는 35Hz를 기준으로 하면서, 매발파시마다 지속적인 진동, 폭음을 계측하여야만 한다.

상기와 같이 영향 검토 연구에 따라 154kV 대신 S/S 인출 전력 수직구 발파를 시행한다면,

인접 가옥 및 건축물에 대한 물리적 피해는 없을 것이며, 안전한 시공이 될 것이다.

참고 문헌

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.

연약지반에서의 새로운 터널링 기법

최근 들어, NATM 터널링 공법이 천부 연약지반 굴착에도 많이 사용되고 있으나, 작업의 안전성과 지상의 시설물들에 대한 영향 문제 때문에 그 시공에 많은 어려움이 따르게 된다. 이러한 어려움들을 극복하기 위해서 umbrella arch, chemical injection, fore-poling 등과 같은 보조공법들이 많이 적용되고 있지만 작업의 신뢰성, 시공성, 경제성 측면에서 그다지 만족스러운 결과를 주지 못하고 있다. 전술한 세가지 공법은 터널막장의 안전성을 높이기 위하여 터널진행방향으로 미굴착부분에 일정 깊이와 간격으로 천공한 후 보강을 위한 강관 혹은 차수를 위한 약액제를 주입하는 공법을 말한다. umbrella arch는 보강과 차수를, chemical injection은 차수를 fore-poling은 보강을 목적으로 하는 공법이다.

본고에서는 도심지 연약지반 터널공사에서 이러한 어려움들을 극복하기 위한 새로운 기술을 소개하고자 한다. 일명 Pre-Arch-Shell-Support(PASS)공법으로 불리는 공법은 터널굴착을 안전하고, 경제적이고, 빠르게 수행할 수 있도록 막장 선단부에 일정한 폭을 갖는 얇은 모르타르 라이닝을 타설하는 방법이다.(그림 1)

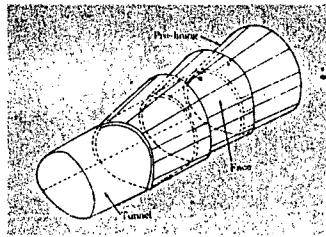


그림1. Prelining의 개념도 그림

본 공법은 파이프를 이용하는 기존의 fore-poling 및 umbrella arch 등과 같은 보조공법과는 다르게 터널장막 상부에 모르타르를 이용해서 arched shell 구조체를 형성하여 지반을 지지하기 때문에 지반거동 억제 효과가 크다. 또한 Prelining의 한시공구역(segment)은 두께 17cm, 폭 81cm, 깊이 4m의 천공으로 구성되며, 천공의 정확성을 기하기 위해서 컴퓨터로 제

어되는 5개의 auger drill로 천공을 하고, 천공이 끝나면 몰타르를 천공 hole에 주입하게 된다.(그림 2, 3) 이러한 과정을 터널 주위를 따라 각 시공구역별로 연속적으로 형성한다. 이를 위해서는 고도의 정확성과 추진 속도로 라이너를 형성할 수 있는 prelining기계가 필요하며, 천공 및 주입을 정확하게 하기 위해서 자동조절시스템이 필요하다. 또한 주입되는 lining의 재료는 pumping이 용이하고, 초기 압축강도 슛크리트와 동일해야 한다. 본 공법이 연약지반 터널분야에 좀 더 광범위하게 사용하기 위해서는 첫째, 토사 자갈층이나 풍화암에 적용할 수 있는 천공시스템을 개발할 필요성이 있으며, 둘째, 대단면, 대심도 터널상부를 천공할 수 있는 prelining기계를 개발할 필요성이 있다.

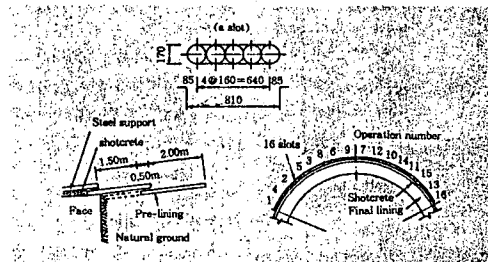


그림2. Prelining 작업공정

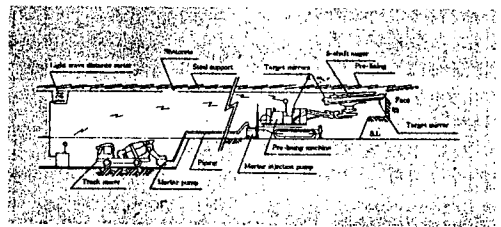


그림3. Prelining 작업조감도