

# 통신溝 터널發破作業으로 인한 振動·騒音이 地上住宅에 미치는 影響 評價

土木技術士(美國) 許 壇  
構造技術士, 建築士 金 相 伯

On the influence survey to building by the cable Tunnel blasting works.

By Dr. Ginn Huh  
P.E Sang Back Cheon

On the cable Tunnel works. Cautious blasting works were so effective and carried out. The vibration record were under 0.4cm/sec and blasting noise are under 75dB Which it was measured at the ground of Tailor House. As a result cautious blasting works under above allowable value, are not influenced the structure of house and living.

On the architechtrual survey, there were some hair crack on the wall but this was not crack from recently blasting work.

## 발파진동 진단편

### 차 례

1. 통신구터널 발파작업과 계측
  - 1-1. 계측기록치 분석
  - 1-2. 통신구 계측 DATA
2. 진동영향을 주지않는 안전작업 방안
  - 2-1. 정밀발파의 특징
  - 2-2. 진동절감 대책
  - 2-3. 압중분포표
  - 2-4. 압중과 최소저항선 및 공간거리 관계표
  - 2-5. 화약특성
  - 2-6. Hollo-line drilling
  - 2-7. 정밀발파 작업지침
  - 2-8. 발파음에 대한 인간과 구조물의 영향
  - 2-9. 일본기상대 지진표
  - 2-10. 지반지동의 관련식
  - 2-11. a.v.f의 상관관계
  - 2-12. f.a.V A의 Monogram
3. 진동영향권

- 3-1. 발파진동 실험식 적용
- 3-2. 발파진동 상수
4. 결론
- 참고자료

## 종합진단 의견서

본 조사는 천호전화국~길동 4거리간 통신구 터널공사 발파작업으로 인한 진동이 지상 귀빈건물에 대한 피해여부 조사 및 앞으로 통과해야할 연립주택의 사전 안전진단을 위한 조사이다.

발주자의 다음 과업지시에 따라 발파작업으로 진동영향과 건물피해 여부 조사 등으로 양분하여 본 보고서의 전편은 전자를(책임연구원 허진), 후편은 후자를(책임연구원 전상백) 각각 기술코자 한다.

## 과업지시서

### 1. 일반사항

가. 본 과업을 천호전화국 길동 4거리간 통신

구 공사에 따른 주민의 민원을 해결하기 위해 시행한다.

나. 본 과업에 종사하는 기술사 및 종사원은 해당분야 업무에 풍부한 경험과 실적을 가진 자라야 하며, 업무를 수행함에 있어 주민에게 신뢰감이 가도록 성실하게 수행하여야 하며, 필요한 사항은 기밀을 유지하여야 한다.

다. 본 과업은 제3자에게 일괄 또는 부분 하도급을 줄 수 없으며, 과업수행에 따른 의무를 제3자에게 양도할 수 없다.

## 2. 과업사항

가. 길동 415-7호 상가건물

- 1) 균열 발생 부위별 원인분석  
- 건물자체 하자로 인한 피해규모  
- 본 공사로 인한 피해 규모

2) 본 공사로 인한 피해 발생으로 판명시 피해 발생분에 대한 보수 방법 및 보수 공사비 산출

3) 본 공사로 인한 피해 발생으로 판명시 건물 구조체 안정성 검토

나. 길동 412-8호 연립주택 1개동

1) 발파작업 착수전 발생한 건물자체 하자의 규모 및 부위별 원인분석

2) 본 공사로 인한 건물 피해 발생 가능성 검토

3) 본 공사로 인한 주변 건물의 피해 방지 대책. 끝.

### 1. 통신구터널 발파작업과 계측

터널 발파작업으로 인한 진동이 지상 주택상가에 미치는 영향여부를 확인하기 위해서 조사자가 4일간 직접 계측하여 이들 현장에서 계측한 진동치를 한데 모아서 다음과 같이 정리하여 보았다.

#### 1-1. 계측기록치 분석

○ C.P.S, Hz 주파수(Frequency)가 20Hz 이상이 됨으로 발파진동 기록치이다. 자동차 주파수는 10~15Hz 지진은 5Hz 이하이다.

○ Acc, 가속도(Acceleration)가 0.2Gal (cm/Sec<sup>2</sup>)보다 적은 값으로 지상건물에 영향이 없는 것으로 사료된다.

미국 USBM, IR에 의하면 경미한 피해는 1.0Gal이 되어야 한다.

○ Kine, 진동치(cm/sec)의 허용치 선정은 발파작업을 하느냐, 아니면 못하느냐의 열쇠를 쥐고 있다고 본다.

우리나라에서는 80년도 초부터 일반적으로 통용되고 있는 서울지하철공사 진동허용치를 기준하고 있으며 즉, 주택상가 적용 진동허용치는 0.5cm/sec 이나 90년도 초부터 서울 지하철공사 5,6호선 공사에서는 민원예방을 위해서 0.4cm/sec를 적용하고 있는 실정이다. 따라서 본 통신구 공사에서도 0.4cm/sec를 허용치로 설정함이 타당할 것으로 사료된다.

다음 진동기록치표에서 보는바와 같이 허용치를 초과치않고 있으나 일부 0.4cm/sec에 근접하는 것은 심빼기(cut)를 평행공(Para ; Burn Cut)을 V Cut로 대치함과 동시에 MS 전기뇌관도 동일번호를 사용하는데서 기인한다고 사료되기 때문에 가능하면 평행 Cut로 함이 좋을 것으로 사료된다.

서울地下鐵公社 發破振動 許容値

區 分	I	II	III	IV
建 物 分 類	文 化 財	住宅, 아파트 실금이 나타나 있는 程度	商街금(crack)이 없는 狀態	鐵筋콘크리트빌딩 및 工場
建物基礎에서의 許容 振動値(cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

備考 : (1) 위 表는 西獨의 Vornorm DIN 4150, Teil 3를 基準하였음.

(2) 周波數는 약 100Hz까지 通用된다.

서독의 건축물 등급분류

Building classification	I	II	III	IV
description of the building	ruins and other similar buildings which are defective already and monuments too	buildings like houses, blocks of houses, blocks of flats etc.		steel-concrete buildings
		with visible defects with cracks in the masonry etc.	without defects; architectural good looking; with some cracks in the rough-cast etc.	
permissible velocity of the building fundament	$\leq 2\text{mms}^{-1}$	$\leq 5\text{mms}^{-1}$	$\leq 10\text{mms}^{-1}$	$\leq 10-40\text{mms}^{-1}$
frequency-range : "some" Hz until approximately 100 Hz				

Remarks : About the criteria with regard to vibrations of 80 until 100 until 150 Hz there were some disagreements. Some experts opinion was, that the criteria can be increased with a percentage of 20 until 30 for frequencies larger than 80 Hz.

1-2. 통신구 계측 DATA

구분	발파위치	진동 측정 위치	진동측정 거 리 (H×V×L)	천공장	발 파 공 전기뇌관수 (MSD)	장약량(kg)		지발당 장약량 kg	진 동 측정치 cm/sec	소 음 측정치 (dB)	비고
						합수	정밀				
8 / 8	수-12.0	천호국	12×12.6×17.4	0.8(0.7)	55	12.5	2.5	0.375	0.363		
12	수-12.8	*	13×12.6×18.1	*	*	*	*	*	0.310		
20	수-14.0	*	14×12.6×18.8	*	40	8.5	1.5	*	0.140		
21	수-14.8	아구점	15×12×19.0	*	*	10.5	2.0	*	0.285		
26	수-16.0	천호국	16×8.0×17.9	*	65	14.5	3.0	*	0.245		
29	수-17.0	*	17×12.6×21.2	*	40	8.0	2.0	*	0.155		
10 / 2	수-22.5	*	22.5×12.6×26	*	30	7.5	0.0	*	0.139		
5	수-25.0	*	25×12.6×28	*	105	24.0	4.5	*	0.1699		
10	0+4.0	아구점	26×10×27.9	1.2(1.0)	55	10.5	2.5	*	0.1191		
12	0+5.2	*	26×10×27.9	*	*	*	*	*	0.3289		
17	0+8.0	*	26×6×26.7	*	57	11.0	2.0	*	0.3143		
18	0+9.2	*	*	*	48	10.0	2.5	*	0.1238		
20	0+10.4	*	*	*	45	8.0	2.0	*	0.1191		
21	0+11.5	*	*	*	51	9.0	3.0	*	0.1667		
22	0+12.7	*	*	*	42	14.0	*	*	0.1349		
23	0+15.1	*	*	*	44	7.0	2.0	*	0.1270		
25	0+18.7	*	*	*	47	9.0	*	*	0.3604		
26	1+1.2	*	*	*	43	7.0	*	*	0.1826		
27	1+4.5	삼덕B	*	*	45	*	*	*	0.1413		
28	1+5.7	*	*	*	40	8.0	*	*	0.1476		
29	1+8.2	*	*	*	43	7.4	1.8	*	0.1794		
30	1+9.5	*	*	*	40	7.0	2.0	*	0.1556		
11 / 1	1+12.0	*	*	*	45	*	*	*	0.1667		
3	1+13.0	1+13	26×0×26.0	*	46	*	*	*	0.2318		
4	1+16.0	삼덕B	26×6×26.7	*	45	*	*	*	0.1349		
5	1+17.0	*	*	*	35	6.0	1.5	*	0.1826		

구분	발파위치	진동 측정 위치	진동측정 거 리 (H×V×L)	천공장	발 파 공 전기뇌관수 (MSD)	장약량(kg)		지발당 장약량 kg	진 동 측정치 cm/sec	소 음 측정치 (dB)	비고
						합수	정밀				
11 / 6	1+19.0	1+19	26×0×26.0	1.2(1.0)	35	6.0	1.5	0.375	0.2254		
8	2+2.0	암사해물	26×6×26.7	*	45	7.0	2.0	*	0.1524		
9	2+4.0	*	*	*	*	*	*	*	0.1619		
10	2+5.5	*	*	*	*	*	*	*	측정불능		
11	2+7.5	*	*	*	*	*	*	*	0.3158		
12	2+10.5	*	*	*	*	*	*	*	0.1270		
13	2+12.5	*	*	*	40	6.5	1.5	*	0.1980		
14	2+14.5	*	*	*	*	*	*	*	0.3660		
15	2+18.5	*	*	*	*	*	*	*	0.2699		
16	2+19.0	2+19.0	26×0×26.0	*	45	7.0	2.0	*	0.3953		
17	3+00.0	암사해물	26×6×26.7	*	40	6.5	1.5	*	0.2762		
18	3+1.0	*	*	*	*	*	*	*	0.1883	73.4	
27	3+3.5	3+3.50	26×0×26.0	*	44	7.5	2.0	*	0.2540	70.6	
29	3+7.7	3+7.70	*	*	*	*	*	*	0.2842	67.2	
30	3+8.7	3+8.70	*	*	*	*	*	*	측정불능	*	
12 / 1	3+12.5	삼덕B	26×6×26.7	*	45	7.0	*	*	0.3016	74.4	
2	3+18.5	*	*	*	44	7.5	*	*	0.2016	68.0	
3	3+15.5	L,A입구	*	*	*	*	*	*	0.2556	67.6	
4	3+16.5	삼덕B	*	*	*	8.3	1.5	*	측정불능	*	
5	3+19.0	좌동	26×0×26.0	*	*	*	*	*	0.2905	82.8	
6	4+1.0	*	*	*	*	*	*	*	0.1889	64.6	
7	4+1.5	*	*	*	*	*	*	*	0.1762	72.2	
8	4+5.0	*	*	*	*	*	*	*	0.1143	80.8	
9	4+7.0	*	*	*	*	*	*	*	측정불능	75.6	
10	4+10.0	*	*	*	*	*	*	*	측정불능	70.0	

구분	발파위치	진동 측정 위치	진동측정 거 리 (H×V×L)	천공장	발 파 공 전기뇌관수 (MSD)	장약량(kg)		지발당 장약량 kg	진 동 측정치 cm/sec	소 음 측정치 (dB)	비고
						합수	정밀				
12/11	4+11.2	-	-	-	-	8.2	-	-	0.3397	-	
14	4+14.2	좌동	26×0×26.0	1.2(1.0)	44	8.2	1.5	0.375	0.1905	73.6	
16	4+17.0	-	-	-	-	7.5	2.0	-	0.2048		
17	5+1.0	-	-	-	-	-	-	-	측정불능	72.0	
19	5+1.5	-	-	-	-	-	-	-	0.2207	70.0	
20	5+3.5	-	-	-	-	-	-	-	0.3445	74.2	
21	5+5.5	-	-	-	-	8.0	1.5	-	0.1953	82.4	
22	5+7.5	-	-	-	-	7.5	-	-	0.1540	70.0	
23	5+10.5	-	-	-	-	-	-	-	0.1937		
24	5+12.0	-	-	-	-	-	2.0	-	0.1762	73.2	
25	5+15.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3207	69.8	
26	5+17.5	-	-	-	45	8.0	1.5	-	0.1207	74.4	
27	5+18.0	-	-	-	44	7.5	2.0	-	0.2048	61.4	
28	6+1.0	-	-	-	-	-	-	-	0.1461		
29	6+2.5	-	-	-	-	-	-	-	0.2619	71.2	
31	6+4.5	-	0×22×22	1.1(1.0)	40	9.37	-	-	측정불능	75.0	허진
1/2	6+7.5	-	-	-	36	7.5	-	-	측정불능	72.0	-
3	6+9.5	-	-	-	34	8.25	-	-	0.254	71.0	-
4	6+14.5	-	-	-	33	8.0	-	-	측정불능	71.0	-
5	6+14.5	-	23×0×23.5	1.2(1.0)	44	8.3	1.5	-	0.1937		-
6	6+16.5	-	-	-	-	-	-	-	0.2683	64.6	-
7	6+17.5	-	-	-	-	-	-	-	0.1540	72.2	-
8	6+19.5	-	-	-	-	-	-	-	0.1445	70.0	-

INSTANTEL DS477 BLASTMATE

SERIAL # 1517 U 9.8  
 CLIENT SAM HO  
 LOCATION  
 USER Lee  
 TRIG SOURCE geo or mic  
 TRIG LEVEL 1.000 m/s 110.0 dB(A)  
 RECORD TIME 2 s

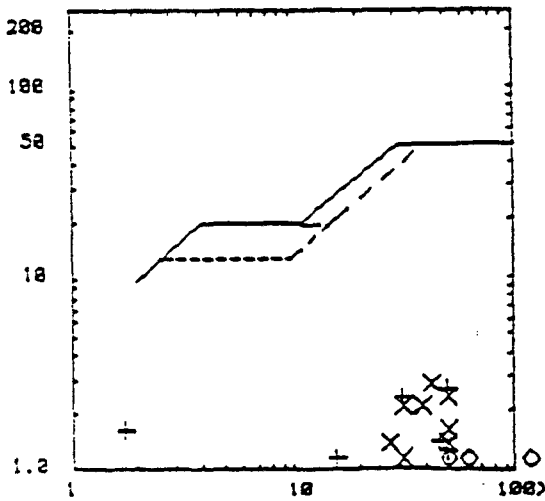
NOTES:  
 SIGNAL TEST  
 2 HZ.

TRIGGERED Vert. at 18:07:15  
 09 Jan. 1993

	TRAN	VERT	LONG	
PPU	2.807	2.794	1.143	mm/s
FREQ	51	49	N/A	Hz
TIME	38	13	32	ms
ACCEL	0.09	0.09	0.08	g
PK DISP:	0.0115	0.0107	0.0030	mm
PUS	3.588 mm/s	at 39 ms		
PK A/R O/P	32.8 dB(A)	at -15 ms		

USBN R18507 AND OSNRE ANALYSIS

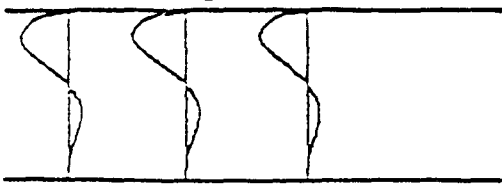
ALL GROUND CHANNELS(mm/s).



FREQUENCY (Hz)

+ Tran = +, Vert = X, Long = O

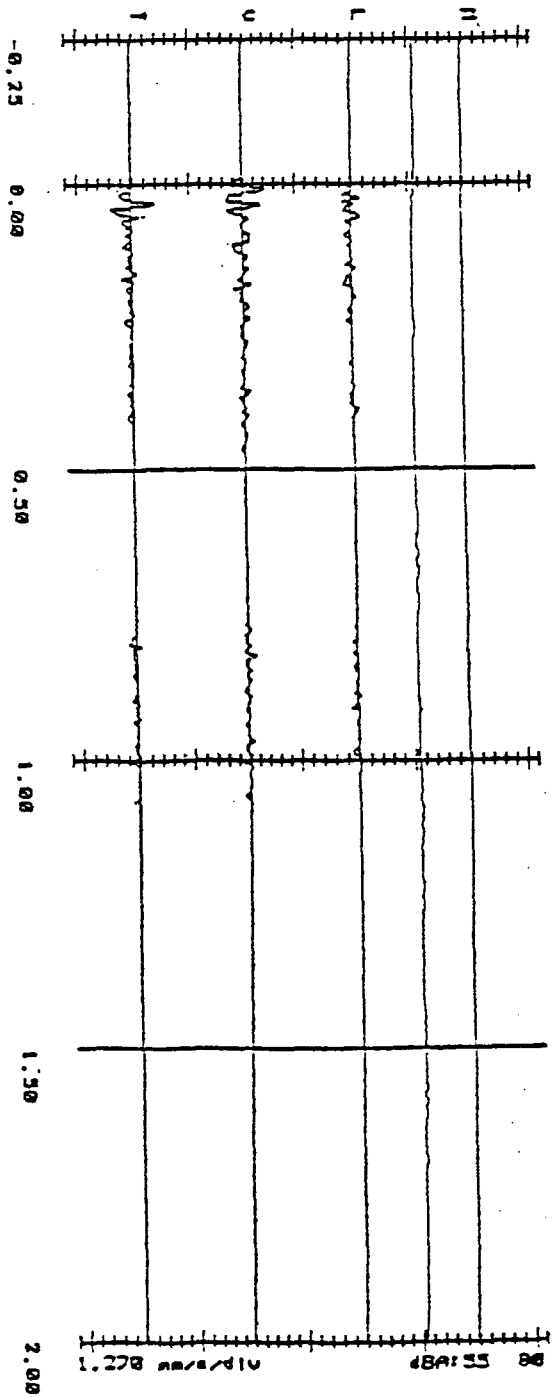
SENSORCHECK (1m) CALIBRATION



FT=78 QT=34 FU=88 OU=38 FL=88 OL=35  
 FH=28 PH=298 BL=62

Geo sensors passed file test ok

Calibrated 22 Nov. 1992  
 by INSTANTEL INC.



## 2. 진동영향을 주지않는 안전작업 방안

통신구를 비롯하여 전력구, 지하철공사 등 도심지 발파작업에 있어서는 정밀발파 공법을 적용해야 한다.

첫째, 천공배치 Pattern은 표준발파에 근거한 최소저항선(Burden)과 공간거리 및 표준장약량이 정확해야 하며 심빼기는 평행공(Burden Cut)으로 하고

둘째, 사용폭약은 진동절감의 효과적인 합수폭약으로 하고 점화는 M/S 전기뇌관으로 시작하고

셋째, 심빼기(Cut) 혹은 주변공(line drilling holes)에 무장공(無裝孔)을 뒀으므로 진동 및 발파음의 절감효과를 가져온다.

### 2-1. 정밀발파의 특징

- 도심지 발파는 지표면에 미치는 국부적 진동으로 폭원으로 부터 멀어짐에 따라 1.5~2.0승 감쇠현상을 나타낸다.

- 지진에 비하여 주파수는 15~150Hz 정도 높고, 발파진동의 지속시간은 1초내이나 연암에 비하여 경암이 짧다.

- 폭약의 폭속이 높을수록 진동속도는 커진다. 또한 장약량의 2/3~3/4승에 비례하여 커지기도 한다.

- 주파수는 장약량이 커질수록 낮아지며 경암일수록 높아진다.

- 변위진폭은 장약량이 커질수록 커지며 경암일수록 작아진다.

- 거리에 의한 진동 감쇠는 경암보다는 연

암이 현저하며, 원거리에는 파급하지 않는다. 또한 여러 암층을 지날수록 감쇠는 커진다.

- 측정거리가 길어지면 고주파는 감쇠되고 저주파수만이 계측되어 적합도는 상대적으로 높아진다.

- K값은 거리가 길어질수록 폭약의 위력이 커질수록 증가하는 경향을 보인다.

- 감쇠지수 n은 대체적으로 1.6을 중심으로 변화하나 어떤 경향을 찾기는 어렵다.

### 2-2. 진동경감 대책

- 암반은 암질에 따라 그 파쇄에 최적의 표준장약(kg/m<sup>3</sup>)이 있으므로 반드시 표준발파를 통해서 얻어내야 되며 이를 기준으로 장약량을 결정해야 한다.

- 저폭속 폭약을 원칙적으로 사용하되 폭속이 크면 발생진동은 커진다.

- 폭굉(爆轟)압력을 완화하기 위해서 공벽(孔壁)과 폭약사이에 공극(空隙)을 두고 Air Cushion을 활용하는 것이다.

- Cut주변의 공공(空孔)은 진동 및 발파음의 저감 효과를 내며 M/S 전기뇌관 사용은 상호간섭에 의해 전체적으로 진동감소를 가져온다.

- 상단면 주변의 Line Drilling주변 공공(空孔)은 Yoshi Chart를 응용한 진동감소에 효과적인 방법이다.

사전의 파단면(破斷面)을 조정하는 선균열공법(Pre-Splitting)은 20~30% 진동감소의 효과가 있다.



2-3. 압종분류표(서울지하철공사)

명칭	TYPE I	TYPE II	TYPE III	TYPE IV	비고
압종류	경압	보통압	연압	풍화암(토)	
강도(탄성파속도)	4.5km/sec이상	4.0~4.5km/sec	3.5~4.0km/sec	3.5km/sec이하	
암질상태	균열 및 절리가 거의 없고 견고하며 풍화변질 및 물리적, 교대작용을 거의 받지 않은 신선한 암질체로서 대피상의 암상	균열 및 절리가 다소 발달되어 있으며 약간의 파쇄대가 존재하며 다소의 소단층이 발달되어 있는 상태에서 약간의 절리도 포함하여 층상을 이루는 암상.	풍화작용에 의한 암상에 교대작용을 받아 층리 및 편리절리가 발달되어 있는 암체로서 소피상을 이루는 파쇄질 암상	물리, 화학적 교대작용에 의하여 파쇄대가 매우 발달된 상태로서 여러방향의 절리 및 다소의 단층을 포함하여 점토질이 많이 발달되어 있는 암상	절리 및 단층은 그 크기와 여러방향성에 따라 암종의 분류를 결정하며 특히 단층의 경우 상반과 하반의 간격으로 결정된다.
보링코아상태	코아회수율은 거의 90%이상으로 주상을 이루며 암괴는 20cm 이상이며 세편이 거의 없는 상태	코아회수율은 70%정도로서 완전한 주상은 되지 않고 다소의 세편이 포함되어 있으며 편의 크기는 5cm이상의 상태	코아회수율은 40~70% 정도로서 균열이 많고 5cm이하의 세편이 다량 포함되어 있는 상태	코아회수율은 40%이하로서 거의가 세편을 이루며 특히 강력암이 포함된 모래상 또는 점토의 상태	
지하수의 영향	용수량에 의한 영향을 적게 받고 최대 20ℓ/sec이상일 경우 Grouting 실시	용수량의 영향을 약간 받으며 최대 15ℓ/sec이상일 경우 Grouting 실시	용수량에 의하여 Crack 자체가 영향을 받으며 최대 10ℓ/sec이상일 경우 Grouting 실시	용수량에 의하여 암질 자체가 상당한 영향으로 풍화되며 최대 10ℓ/sec이상일 경우 Grouting 실시	용수량에 의하여 암종을 구분함은 곤란하나 용수량이 많을 경우 보통 암종을 1단계 낮추어 시공할 수 있음
물리적특성	E >100,000Mp/m <sup>3</sup> V <0.2 C >10Mp/m <sup>2</sup> φ >35 r >2.4Mp/m <sup>2</sup> λ <0.25 N치 >90	10,000~500,000 0.23~0.29 5~10 30~35 2.2~2.4 0.25~0.30 90	8,000~15,000 0.29~0.33 2~5 20~30 2.0~2.2 0.30~0.40 50~90	< 2,000 > 0.33 < 2 < 20 < 2.0 > 0.40 5~50	이상의 물성치로 인한 구분은 일반적이며 상황에 따라 암종의 변화가 가능함
암종명	화강암, 신록암, 규암	변리안, 편마암, 대리석, 슬레이트	조립현무암, 돌로마이트	석회암, 사암, 세일, 석탄	암종에 따른 일반적인 분류임.

2-4. 암종과 최소 저항선 및 공간거리 관계표  
 發破設計에 있어서 穿孔配置圖(Drilling pattern)作成은 반드시 該當 岩種에 대한 標準發破에서 얻어낸 最小抵抗線을 基準으로 하여 作成

되어야 한다. 精密發破에서 많이 使用되고 있는 小型鑿岩機(Bit Gage  $\phi$  36mm), 使用爆藥은 Kovex  $\phi$  28mm, 點火는 M/S 電氣雷管을 使用하여 다음과 같이 適用한다.

Bit 徑(Jack leg) 36mm

		I	II	III	IV	V	비 고
$\phi$ 36mm Bit Gage	岩種	硬 岩 (Stable rock)	普 通 岩 (moderately jointed and hard stratified or schistose rock)	軟 岩 (fractured friable rock)	風 化 岩 (instable plastic & squeezing rock)	麻 砂 土 (Highly Plastic squeezing & swelling ground)	穿孔長最大터널: 1.5m 露天:2.4m
	最小抵抗線(cm)	60~65	65~70	70~75	75~80	80~85	
孔間	터널	65	70	75	80	85	
距離	2自由面 (개착식)	70	75	80	85	90	

Standardization in tunnelling

		I	II	III	IV	V
Rock Kind		Stable rock	moderately jointed and had stratified or schistose rock	fraetured and friable rock	untable plastic & squeezing rock	highly plastic squeezing & swelling ground
	Burden(cm) Bit Gage=38mm	60	65	70	80	-
Drilling	full face	top heading & bench	top heading & bench	line-drilling (pilot drife & bench)	for pilling (-)	
Support	occasionally rock bolt	S.C., W.M. systematic R.B. for Cap	S.C., W.M. R.B. for cap & wall	S.C., W.M. R.B & Steel rib	S.C., W.M.F.P., Steel lagging & S.C. invert	

\*S.C.=Shotcrete R.B.=Rock Bolt  
 W.M.=Wire Mesh F.P.=For Pilling

2-5. 화약특성

국내 생산되는 각 화약종류별 특성은 아래표 2와 같다.

표2. 화 약 특 성

특성	정 밀 폭 약		합수폭약	초유폭약	다이나마이트
	FINEX - I	FINEX - II			
약 상	반Gel상	입 상	Gel상	입 상	Gel상
내 수 성	양 호	양 호	우 수	-	양 호
가 비 중	1.2~ 1.3gr /cc	1.0~ 1.2gr /cc	1.1~ 1.2gr /cc	0.85~ 0.90gr /cc	1.3~ 1.4gr /cc
S-T	46~48%	54~58%	-	-	64~66%
순 폭 도	8~10배	2~3배	2배	-	4~5배
낙 추 강 도	15cm	30cm	100cm	100cm	15cm
가 스 비 용	420 l /kg	740 l /kg	780 l /kg	920 l /kg	860 l /kg
후 가 스	우 수	양 호	우 수	-	양 호
폭 속	4000m/sec	3500m/sec	3900m/sec	2600~3000 m/sec	5000~5500 m/sec

2-6. Hollo-Line Drilling Hollo-center Cut Holes의 근거

터널 頂上部로 부터 이표면(G.L)까지의 垂直 높이는 가까운 곳은 23m에 이르는 近距離로서 發破作業으로 인한 振動절감을 위해서는 防振溝가 가장 效果的이다. 따라서 1次的으로 심패기(cut)에 Hollo-Center Cut Holes를 2次的으로 아취주변에 Hollo-Line Drilling을 穿孔하여 다음과 같은 Yoshi 防振溝 效果로서 約 50% 진동절감에 萬全을 기하였다.

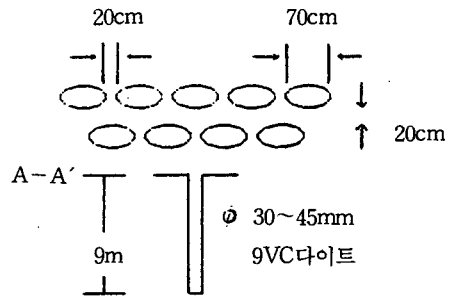
防振溝效果(Yoshi : 차트인용)

그림표에서 防振溝가 없는 상태 卽, 岩盤自體 境遇를 1로 보고, 이를 通過하는 振幅을 1/2로 절감코자 할시  $h/\lambda$  卽,  $h$ 는 穿孔의 距離 $\lambda$ 의 波長은 0.3이 되어야 함으로 花崗岩 表面과 速度는  $V=2000\text{cm/sec}$ , 發破振動數(周波數)를

平均 70(50~90Hz 但, 합수폭약)으로 정하며,

$$\frac{h}{\lambda} = 0.3 = \frac{v}{f} = \frac{2,000}{70} = 29$$

따라서  $h=0.3 \times 29 = 8.7 = 9\text{m}$  防振溝 穿孔 깊이



Yoshi chart

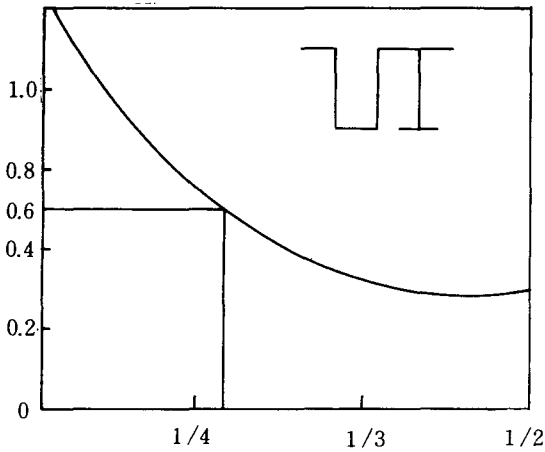


그림 防振溝의 效果

2-7. 정밀발파 작업지침

- 1) 發破作業은 A와 B, C로 區分한다.
- 2) 穿孔은 小型鑿岩機(ビット徑 30mm)를 使用, Bench工法에 따라 穿孔하고 지렛대 및 줄자를 利用하여 最小抵抗線(BURDEN)과 空間

2-8. 발파음에 대한 인간과 구조물의 영향

(一般音)A	dB	(一般音)B	(發破音)
.....	180	.....	構造物破損
.....	160	中程度의 jet機 音	대체의 창이 파손 어떤종류의 창이 파손
.....	140	큰 Propeller비행기음	被害가 없는 限界
.....	120	空襲 사이렌	住民의 水平不滿의 시작, 창이 덜커덩 덜커덩 흔들린다.
.....	100	[ 동조립 製造工場 大都市 交通騒音 地下鐵 騒音	
.....	80		
.....	60	繁忙事務所	
.....	40	標準의 말소리 個人의 事務所	
.....	20	조용한 住宅(병실)	
.....	0	속삭임	
.....		可聽下限	

(備考) 一般音 A와 B는 各各의 文獻에 의함.

距離(SPACE) 및 穿孔長을 確認하여 正確을 期할 것.

3) 裝藥前 FLOW PIPE로 穿孔을 속의 殘물을 除去하여 完爆에 萬全을 期할것.

4) 裝藥時 逆기폭方式으로 裝填하고 盡衰로 잘 다지되 空發로 因한 大幅音發生 豫防을 留意해야 한다.

5) 電氣雷管의 結線方式은 WIDE-SPRED로 하며 飛石防止를 期하고 장마時 번개, 천둥時는 發破作業을 禁한다.

6) 發破振動計器는 計測記錄이 KINE, 周波數, 變位 및 加速度等이 表示되어야 하며, 發破專用計器 INSTANTEL-277 BLASTMATE를 使用하거나 이와 同等한 機器를 使用한다.

7) 試驗發破場所는 最短距離內에 있는 TUNNEL 地上에서 各 2회로 한다.

8) 發破振動 許容基準値는 서울地下鐵公社 規準에 依한 住宅街 適用 0.5cm/sec 보다 弱한 0.4cm/sec를 擇한다. 人間이 느끼기 始作하는 振動値는 0.2cm/sec이다.

2-9. 일본기상대 지진표

日本氣象廳震度階表(速度値도 對應시킨)

震度階	名稱	被害損傷의 程度	加速度(gal)	速度(kine)
0	無感	人體가 느끼지 않음. 地震計에 記錄될 程度	0.8以下	0.13以下
1	微震	靜止하고 있는 사람이나 特히 注意깊은 사람만이 느낌	0.8~2.5	0.13~0.4
2	輕震	많은 사람이 느끼고, 門과 미닫이가 약간 움직이는 것을 알게됨	2.5~8.0	0.4~1.26
3	弱震	집이 흔들리고, 門과 미닫이가 鳴動하고, 전등이 흔들린다.	8.0~25	1.26~4.0
4	中震	家屋의 動搖가 激甚하고, 농임이 나쁜 꽃병 등이 넘어지고, 걷고 있던 사람도 느끼고, 많은 사람이 屋外로 뛰쳐 나온다.	25~80	4.0~12.6
5	強震	壁이 갈라지고, 墓石 등이 넘어지며, 연통, 돌담이 破損되거나 한다.	80~250	12.6~39.8
6	烈震	家屋의 倒壞 30%以下, 山이 崩壞되고, 땅이 갈라지며, 많은 사람들은 서서 있을 수가 없다.	250~400	39.8~63.7
7	激震	家屋의 倒壞 30% 以上, 山이 崩壞하고, 땅이 갈라지고, 斷層등이 생긴다.	400以上	63.7以上

2-10. 지반진동의 관련식

地盤振動을 單純振動(Simple Harmonic Motion)으로 假定하면 變位(Displacement), 速度(Particle Velocity), 加速度(Acceleration)의 3種類로 表示되고 關係式은 아래와 같다.

$$D = \frac{v}{2\pi \cdot f} \quad v = 2\pi \cdot f \cdot D$$

$$v = \frac{a}{2\pi \cdot f} \quad a = 2\pi \cdot f \cdot v$$

$$f = \frac{1}{T} \quad w = 2\pi \cdot f$$

$$D = fv \cdot dt \quad v = \frac{du}{dt}$$

$$v = fa \cdot dt \quad a = \frac{dv}{dt}$$

여기에서 D : 變位(最大振幅) cm  
 v : 最大速度, cm/sec  
 a : 加速度 g(1gal : 1cm/sec<sup>2</sup>)  
 f : 振動周波數 cycle/sec

2-11. 加速度(a), 振動速度(v), 振動周波數(f)의 相關關係를 例를 들면 다음과 같다.

條件1) 加速度(a)=0.07g(0.07cm/sec<sup>2</sup>)

發破振動速度(v)=0.3cm/sec

일때 振動周波數는 다음과 같다.

$$a=2\pi \cdot f \cdot v$$

$$f=\frac{a}{2\pi \cdot v} = \frac{0.07}{2 \times 3.14 \times 0.3}$$

$$=0.037\text{sec/cycle}=27\text{ cycle/sec}$$

條件2) 發破振動速度(v)=0.3cm/sec

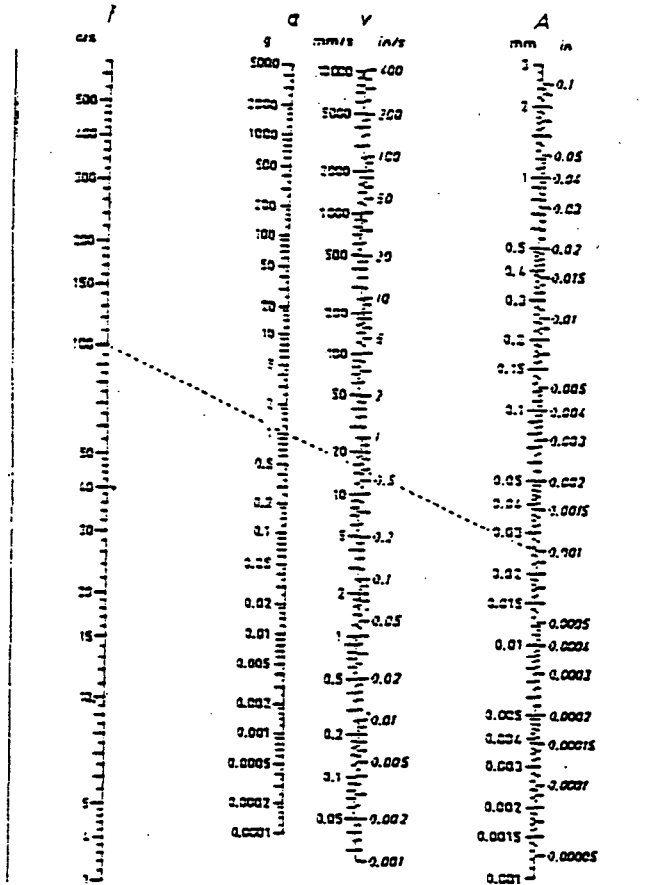
振動周波數 40cycle/sec일때 加速度는 다음과 같다.

$$a=2\pi \cdot f \cdot v=2 \times 3.14 \times 0.3 \times \frac{1}{40}$$

$$=0.05g$$

振動周波數(f), 加速度(a), 振動速度(v), 振幅(D)의 關係 그림은 아래와 같다.

2-13. 周波數(f), 加速度(a), 振動速度(V) 및 振幅(A)의 關係 MONOGRAM



例, f=100 C/S, A=0.025mm(0.001 in)이면 振動速度는 約 V=15mm/S(0.6in/S)이고 加速度 a=1g임.

### 3. 진동영향권

통신구 진동계측표에 나타난바와 같이 폭원과 지상 상가주택간의 거리가 25m와 23m로 되어 있고 압질이 큰 변화가 없는 통신구 터널굴진으로 지발장약량이 거의 일정함으로 상기 진동계측표에 의한 Scale distance 작성이 곤란시 되어 본 통신구 고유의 발파진동 실험식 대신 우리나라에서 80년대부터 일반적으로 통용되고 있는 서울지하철공사 발파진동 실험식을 적용코자 한다.

서울지하철공사 발파진동 실험식

$$V=K W^{0.5} D^{-1.5}(\text{Gneiss})$$

$$0.288=52 \times 0.375^{0.5} \times 23^{-1.5}$$

$$0.260=47 \times 0.375^{0.5} \times 23^{-1.5}$$

$$0.254=52 \times 0.375^{0.5} \times 25^{-1.5}$$

$$0.230=47 \times 0.375^{0.5} \times 25^{-1.5}$$

$$0.416=52 \times 0.375^{0.5} \times 18^{-1.5}$$

$$0.376=47 \times 0.375^{0.5} \times 18^{-1.5}$$

$$V=\text{진동치 cm/sec}$$

#### 3-1. 발파진동 실험식 적용

#### 대한화약기술학회 정밀발파진동 실험식

종별	서울지하철공사 실험식				
	$V=41\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.41}$	$V=124\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.66}$	$V=100\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.55}$	0.57~1.75 V=KW.D (Granite)	0.5~1.5 V=KW.D (Gneiss)
조건					
폭원-구조물 간의 거리	-100m	+100m	+100~300m	-30m~-40m	
Bit Gage	φ 60~70mm	φ 60~70mm	φ 60~70mm	φ 36~38mm	
사용화약류	KOVEX, N/S 전기뇌관	KOVEX, N/S 전기뇌관	KOVEX, N/S 전기뇌관	KOVEX, M/S 전기뇌관	
천공방식	Bench Cut	Bench Cut	Bench Cut *K표 별표참조	Bench Cut, Tunnel	
비고 : Bench Cut 실험식은 편마암(연암~보통암)에서 실험한 것임. 단, V=진동치(cm/sec), K=상수, W=지발당 장약량(kg), D=폭원과의 거리(m)					

K=상수 연암

Kovex 52=보통암

47=연암

W=지발당 장약량 kg

D=폭원과의 거리 m

상기식에 적용한바 폭원으로부터 23m 떨어져 있는 귀빈양복점 구조물에 미치는 진동치는 max, 0.288 cm/sec이고, 25m거리에 있는 연립주택 구조물은 max, 0.254cm/sec가 예상된다. 이에 비하여 실측치도 허용진동치 0.4cm/sec를 밑돌고 있다. 따라서 통신구 굴진 발파작업으로 인한 진동영향권은

귀빈양복점	수평 4.0m	직선거리 23m
	수직 22.5m	
연립주택	수평 7.5m	직선거리 25m
	수직 22.5m	

계산치, 실측치 공히 양구조물에 미치는 진동치는 허용치 0.4cm/sec를 밑돌고 있으며 진동영향권은 폭원으로부터 최대 18m반경으로 판정되어 지상 양구조물에는 진동영향이 미치지 않는 것으로 사료된다.

3-2. 발파진동상수 'K'값  
진동식 :  $V=KW^{0.5} D^{1.5}$

지질조건 : 서울편마암  
천공경 : 38m/m

구분 화약	발파방법 압축 강도(kg/cm <sup>2</sup> )	개찰식		터널식	
		바닥발파	측벽발파	심발발파	확대발파
다이 나 마 이트	1500~1200	91	61	71	41
	1200~ 900	85	55	65	35
	900~600	79	49	59	29
	600 이하	72	42	52	22
함 수 폭 약	1500~1200	73	49	57	33
	1200~ 900	68	44	52	28
	900~600	63	39	47	23
	600 이하	58	34	42	18
초 안 폭 약	1500~1200	58	39	46	26
	1200~ 900	54	35	42	22
	900~600	50	31	38	18
	600 이하	46	27	34	14

#### 4. 결론

도심지에서 터널 발파작업으로 인한 진동발파음이 지상 주택상가 구조물에 미친 영향권의 안전진단은 매번 되풀이 되는 조사이지만 그때마다 어려운 작업이 아닐 수 없다. 따라서 본 조사의 문제접근은 현장에서 측정한 기록을 가지고 지발당장약량, 폭원과의 거리 및 진동치간의 함수관계 실험식을 유도, 이를 근거로 하여 진동영향권의 범위를 설정하는 것이 원칙이다.

그러나 우리나라에서 통용되고 있는 서울지하철공사 실험식에 의한 계산치와 그간의 통신구 측정치가 거의 일치함으로서 양치(兩值) 공히 설정된 진동허용치 0.4cm/sec를 밑돌고 있음으로 통신구 굴진 발파작업으로 인한 진동영향이 지상 귀빈양복점 및 예상되는 연립주택 구조물에 미치지 않는 것으로 판정된다.

따라서 양구조물(兩構造物) 공히 진동영향권

을 얻어나고 있는 것으로 사료된다. 따라서 천공 배치 Pattern에 따라 발파작업에는 지장이 없는 것으로 사료되며 수직구 굴진 발파작업으로 인한 인근 귀빈양복점 구조물에 미치는 영향도 0.4cm/sec를 밑돌고 있어 문제가 되지 않는 것으로 사료된다.

발파음은 건설공사 적용 소음치 75dB을 넘지 않는 것으로 사료되며 통행차량 소음이 경우에 따라 큰것으로 기록되었습니다.

보다 더 완벽한 진동절감을 위해서는 평행 Cut 천공 Pattern을 추천하오니 참고하시기 바랍니다.

#### 참고자료

1. 현장답사 일지
2. 천공 Pattern
3. 현장 막장관찰



DRILLED DEPTH ADVANCE NUMBER OF HOLES TOTAL DRILLED DEPTH FACE AREA EXCAVATED SOLID ROCK OF FULL FACE	1.1m 1.0m 46Holes 52.2m 9.7299m <sup>2</sup> 9.7299m <sup>3</sup>	DETONATOR CHARGE SPECIFIC DETONATOR SPECIFIC DRILLED DEPTH SPECIFIC CHARGE	42PCS 9.45kg 4.32PCS / m <sup>3</sup> 5.37m / m <sup>3</sup> 0.972kg / m <sup>3</sup>
---	--	--	---

Round	Face	Classification	Cap No.	Number of Hole	Amount of Charge								Remarks
					Slurry(K-100)		F-1		F-2		Total		
					φ 25 mm × 433 mm × 250 g/PC	φ 17 mm × 510 mm × 125 g/PC	φ	mm	φ	mm	φ	mm	
					Per hole	Sub-total	Per hole	Sub-total	Per hole	Sub-total	Per hole	Sub-total	
hole	PCS	PCS	PCS	PCS	PCS	PCS	PCS	PCS	PCS	PCS	PCS	g	
1	Cut Holes	MS1~4	4	1 1/4	5								1,250
	Cut Spreader H.	5~8	4	1 1/4	5								1,250
	Stopping H.	9~19	14	3/4	10.5								2,625
	F-1 Line	20	1	1/5	0.2	1	1						175
	Foot H.	DS6~14	13	1/5	2.6	1	13						2,275
	Empty H.	15~20	6	1 1/4	7.5								1,875
			(4)	-	-								-
	Total		42(4)	-	30.8pcs	14pcs							9,450g
			46	-	7,700g	1,750g							9,45kg

## 건축구조물 진단편

### 차 례

#### 종합진단 의견서

1. 진단목적과 진단항목
  - 1-1. 진단목적
  - 1-2. 진단항목
2. 현황조사
  - 2-1. 진단건물의 경력 및 구조조사
  - 2-2. 통신구공사 조사
  - 2-3. 주민 여론 조사
3. 진단건물의 하자 상태 조사
  - 3-1. 상가건물(길동 415-7 소재)
  - 3-2. 연립주택(길동 412-8 소재)
4. 구조안전성 조사 분석
  - 4-1 지질조사분석
  - 4-2 통신구의 구조영향권 분석
5. 결 론
 

참고자료

#### 종합진단의견서

1992년 4월 6일 착공한 천호전화국~길동4거리간 지하통신구 공사는 전화국옆에 수직관구( $\Phi=6.7M$ )를 굴착 완료하고 지하 22.5M에 수평터널( $\Phi=3.54M$ )를 굴진, 현재 수평거리 140M를 완료하고 있는 상태에 있다.

그간 주민으로부터 공사로 인한 발파, 진동으로 연도(沿道) 건물에 하자를 미칠것을 우려하는 진정이 들어와 연도(沿道) 건물 2개동(길동 415-7소재 상가 건물 및 길동 412-8소재 연립주택)에 대하여 지하터널공사로 인한 건물의 가해(加害) 가능성을 조사 분석하였다. 이 공사로 인한 주변 건물의 하자 발생 요인은

가. 지하에 공동(空洞-VOID)을 설치함으로써 지중 응력이 변화하여 건물기초 지반의 침하를 유발하였는지의 여부

나. 혹 공사중 지하수를 빼냄으로서 유로(流路)를 형성 건물 기초 지반의 침하를 발생케 하였는지의 여부

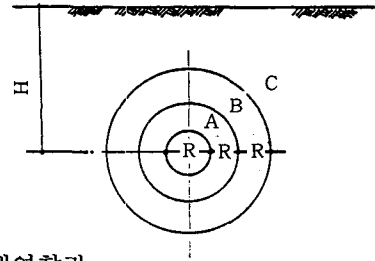
다. 터널 굴착시의 발파 작업으로 인하여 그 진동충격과가 건물 기초에 미쳐 기초를 요동케

하였는지의 여부

등 세가지인바 이를 공학(工學)적으로 조사분석한 결과는 다음과 같다.

가. 지하 깊이 22.5M를 수평으로 관통하는 터널(직경 3.54M)은 연도(沿道) 건물 기초와 18.0M, 21.0M가 격리되어 있어 지중에 공동(空洞)을 뚫음으로서 생기는 응력의 불균형(應力的不均衡) 상태는 진단건물 기초에 아무 영향을 미치지 않는다.

일반적으로 암(岩)질지반에서는 지중 공동의 직경을 R이라 할 때 그림과 같이 공동외벽에서 부터 2R이상 떨어진 경우는 타구조물의 영향을 받지 않는 자유지대가 된다.



A : 절대영향권

B : 중간영향권

C : 자유지대

A(절대영향권) : 터널의 구조적 안정을 위해 터널 주변의 일정범위를 원지반 상태로 절대 보전할 필요가 있는 시설제한 영역

B(중간영향권) : A권 밖의 R 거리 만큼은 터널에 다소의 영향을 줄수 있으나 외부 구조물의 특별한 사전 보강 또는 정밀 시공으로 영향을 최소화 할 수 있는 영역

C(자유지대) : 이 구역은 외부구조물의 설치로 지반의 형상 변형이 되어도 터널에 영향을 미치지 않는 범위

나. 전화국옆에 설치되는 수직구(垂直溝)는 직경이 6.7M인데 상가건물(진단 대상건물)과 15.0M떨어져 있다. 조사 분석한 결과 수직구를 굴착하였을때 생기는 주변흙의 이완가능 범위내에는 상가 건물의 기초가 놓여 있지 않으므로

건물 자체에 위해(危害)를 끼칠 소지는 없었다. (본문 p.33 참조)

다. 이 지대의 지하수는 지하 10m에 존재하는 바 수직구 및 터널공사시 관로주벽(官路周壁)에 차수벽을 설치하였고 또 실제 공사시 지하수의 용출이 없었으므로 지하수 이탈(逸脫)로 인한 주변 건물 기초의 침하 유발은 고려할 수 없다.

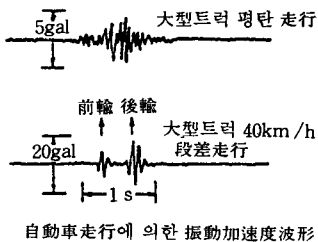
라. 공사시 시행하는 발파는 주변 건물에 영향을 끼치지 않도록 소량다발(少量多發)의 원칙하에 시행하는 것이 관례인바 기시행한 발파 시공 일지를 검토하고 또한 93년 1월에 시험발파를 시행하여 연도 건물에서의 진동치를 측정된 결과 진동치가 2.3MM/SEC-2.0MM/SEC를 기록하였다.

건물에 손상을 주지 않는 최대 진동량은 5MM/SEC로 학술자료상 보고되어 있어 이 한계에는 훨씬 미달(약1/2)됨으로서 진동충격에 의한 건물의 손상은 없다고 판단된다.

다만 앞으로의 공사시는 검토내용과 다르지 않도록 공사 집행자는 진동측정을 병행하여 이상진동량(異常振動量)이 생기지 않는가의 여부를 확인하여 공사를 진행하여야 한다.

끝으로 도로상을 통행하는 중량차(트럭, 건설기계차량)의 로면 진동도 무시할수 없으므로 공사중은 중량차의 통행을 억제시키는 것이 좋을 것이다.

통계상 중량 트럭의 진동치는 아래와 같은데 이 진동량은 공사 발파 진동보다 크다는 것을 명심할 필요가 있다.



自動車走行에 의한 振動加速度波形

## 1. 진단목적과 진단항목

### 1-1. 진단목적

1993년 1월 현재 강동구 길동 415-9 소재 천호전화국에서 길동 4거리간 도로밀(22.5M)

을 통과하는 통신구 공사를 NATM 공법으로 시공중인바 이 공사로 인하여 연도 건물인 상가 건물(길동 415-7)과 연립주택건물(길동 412-8) 등에 피해등 제반 영향을 끼쳤거나 끼칠 소지가 있는지를 판단하고 본 공사로 인한 피해일 경우 그 피해정도와 보수방법, 보수공사비 등을 산출하고 향후의 건물 구조체의 안전성을 분석, 판정한다.

### 1-2. 진단항목

- 1) 현황조사
  1. 건물배치, 평면, 단면조사
  2. 건물경년, 균열상태조사
- 2) 지질조사분석 기초구조 및 기초밀 지질조사
- 3) 통신구 터널과의 상관도 작성
- 4) 진동 영향 분석
- 5) 통행 차량 진동 조사
- 6) 공사 진행시의 영향권 분석
- 7) 대책강구
  1. 보수방법
  2. 보수비 산정
  3. 안정성 판정
  4. 통신구공사의 진행방법
- 8) 결 론(보고서 작성)

## 2. 현황조사

### 2-1. 진단건물의 경력 및 구조조사

#### A. 상가건물 (길동 415-7 소재)

##### 가. 건물 용도

근린생활시설용 상가

##### 나. 구조및층수

철근콘크리트구조, 3층은 시멘벽돌조 지하1층, 지상3층 평스래브 지붕

##### 다. 면 적

대 지 - 411.2M<sup>2</sup>

건 물 - 801.96M<sup>2</sup>

지하층 218.81M<sup>2</sup>(유홍음식점)

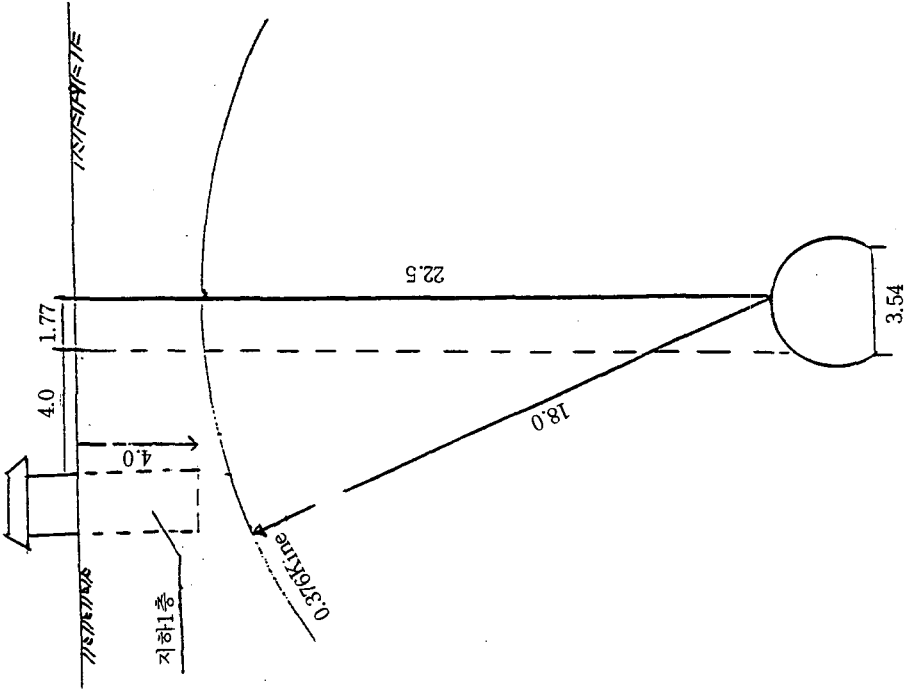
1 층 218.81M<sup>2</sup>(점포)

2 층 218.81M<sup>2</sup>(대중음식점, 이용원)

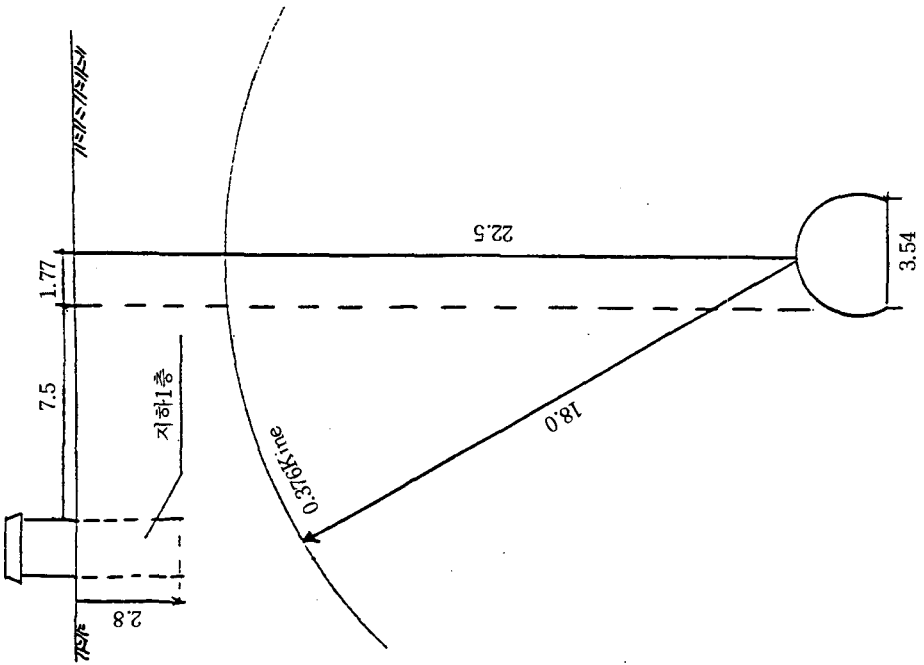
振動影響圈圖

貴賓洋服店

Non Scale  
Unit : m



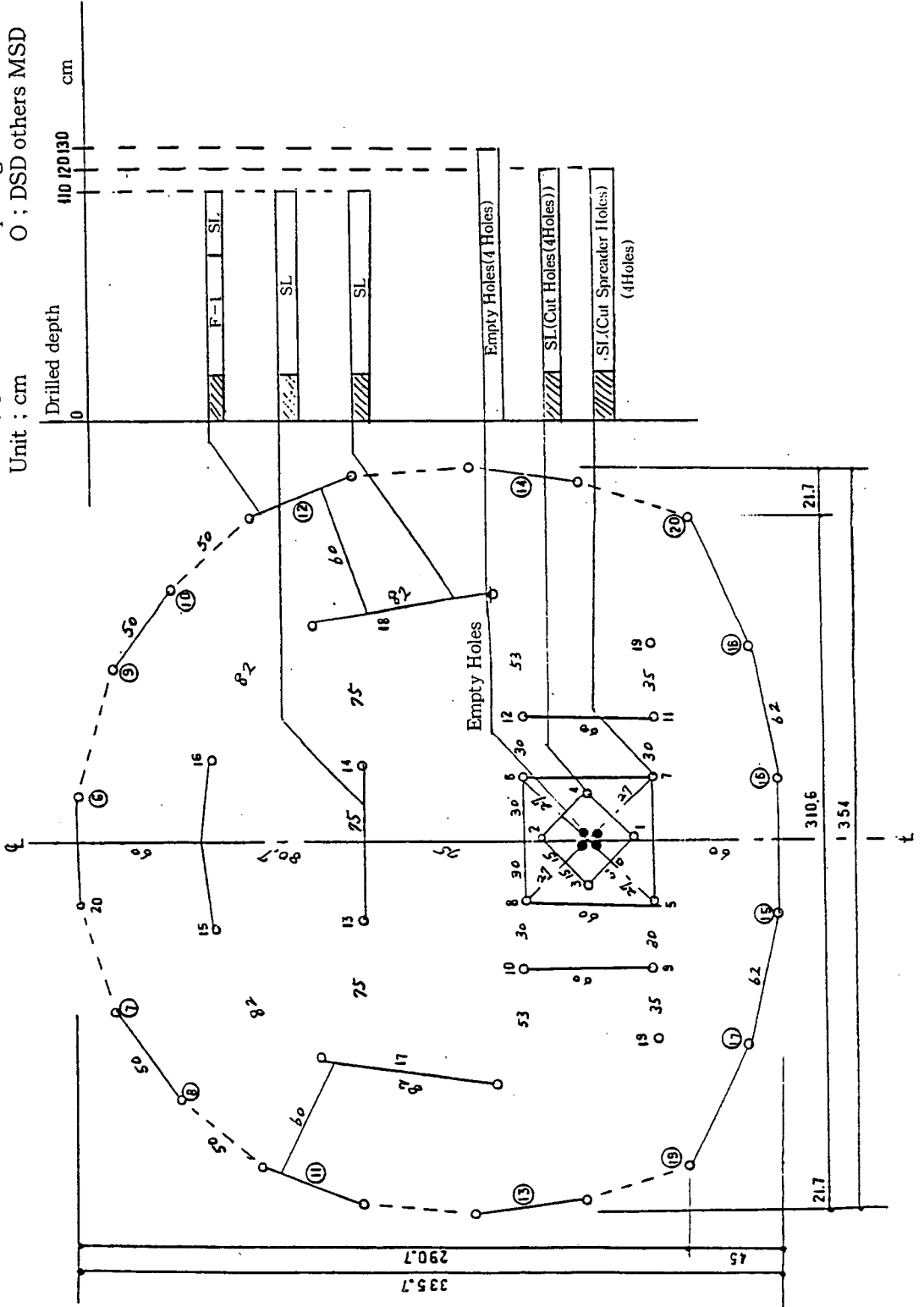
聯立住宅

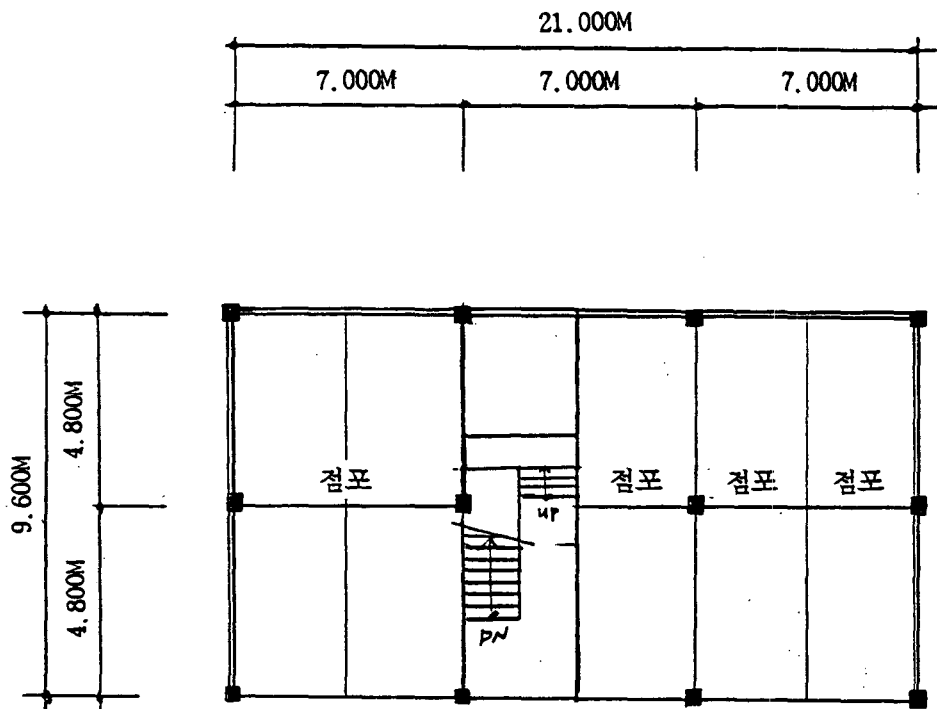


2. 길동 통신구 Drilling & Ignition Pattern  
(연암)

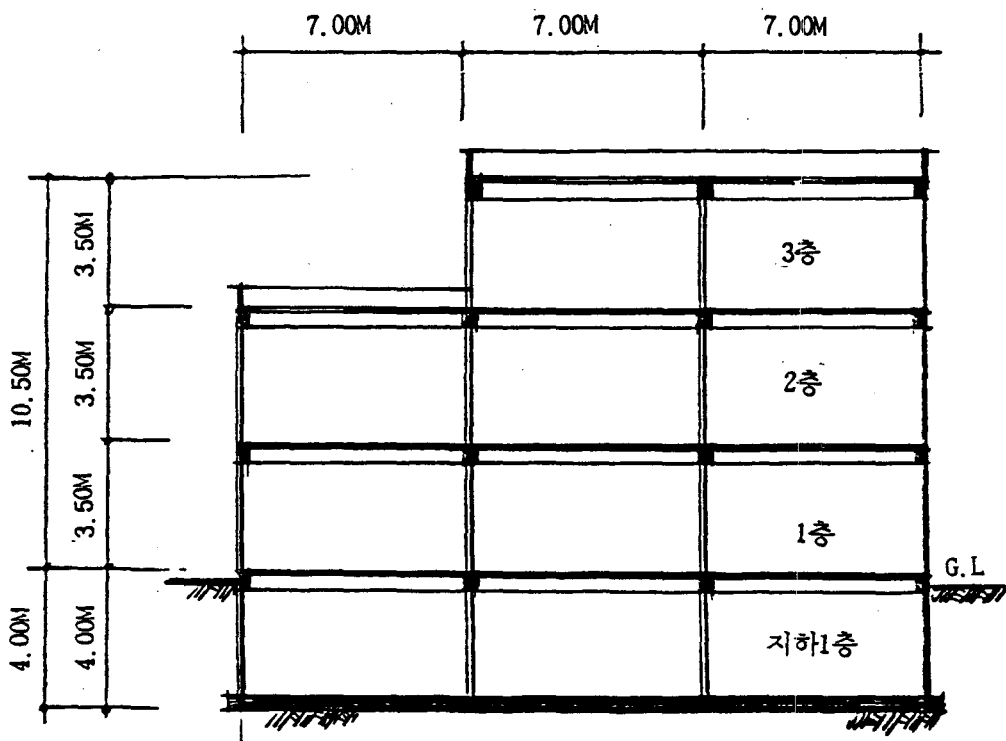
PAGE : 1

by Dr. Ginn Huh  
 S = 1:20  
 Unit : cm  
 Burden : 70cm  
 Spacing : 80cm  
 O ; DSD others MSD

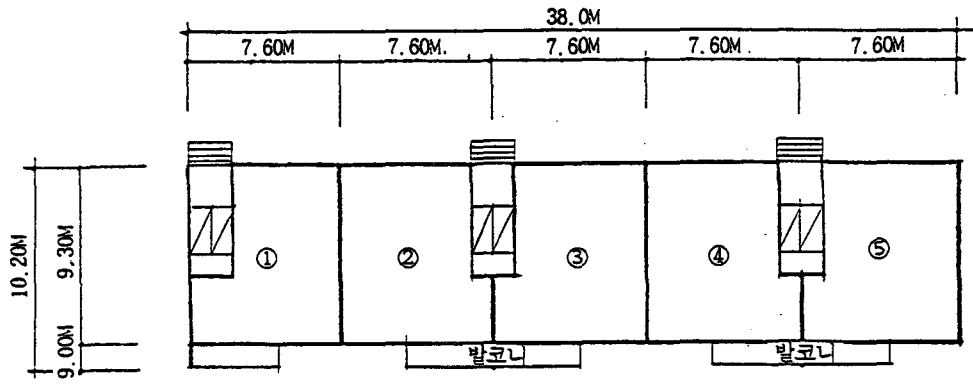




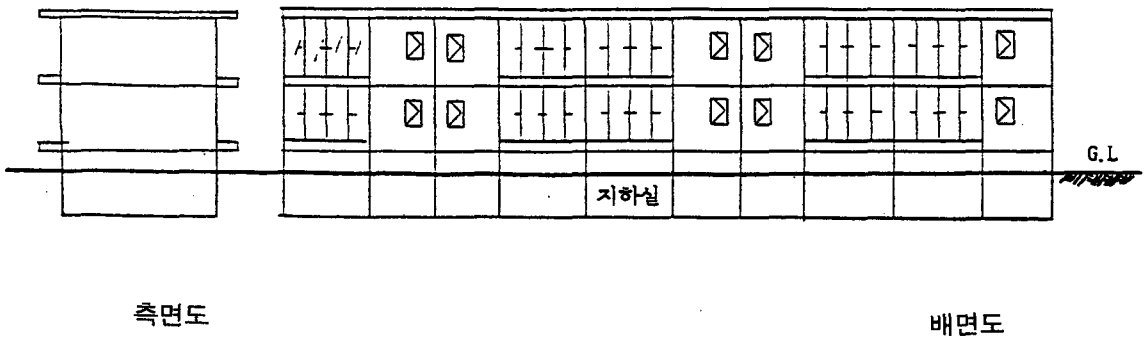
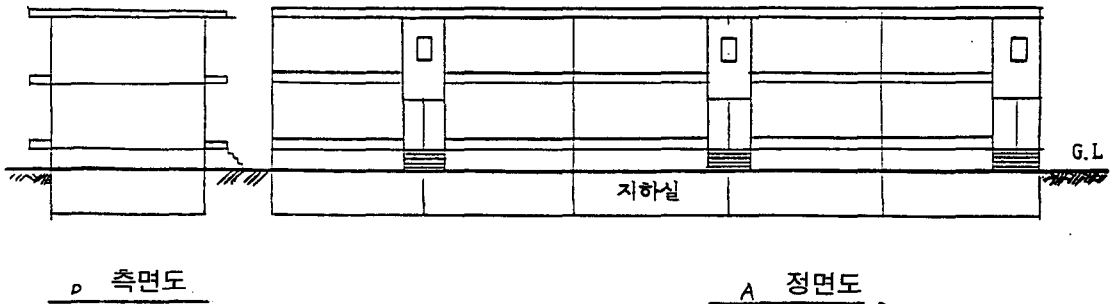
건물골조평면도



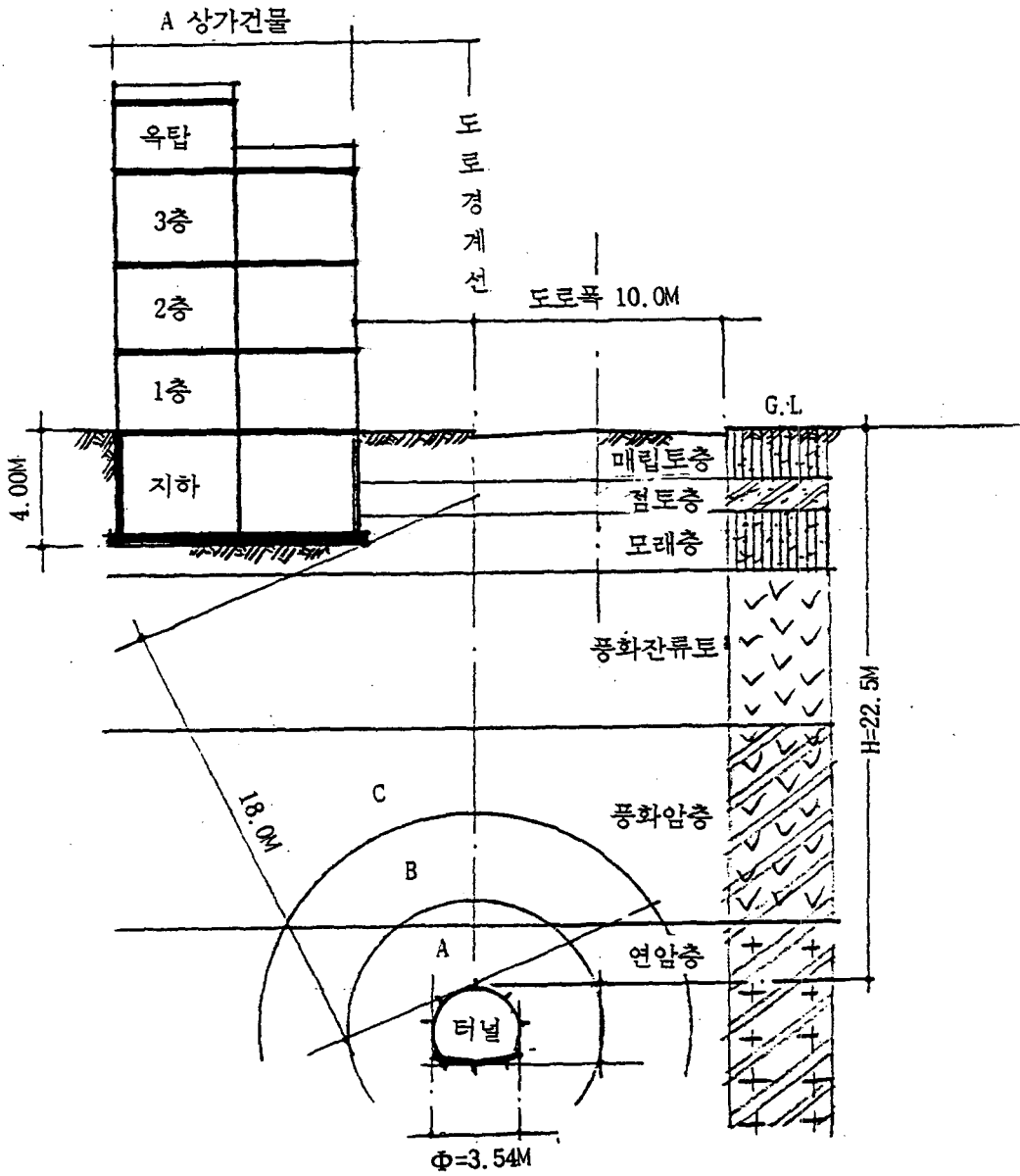
건물단면골조도



연립주택 평면도

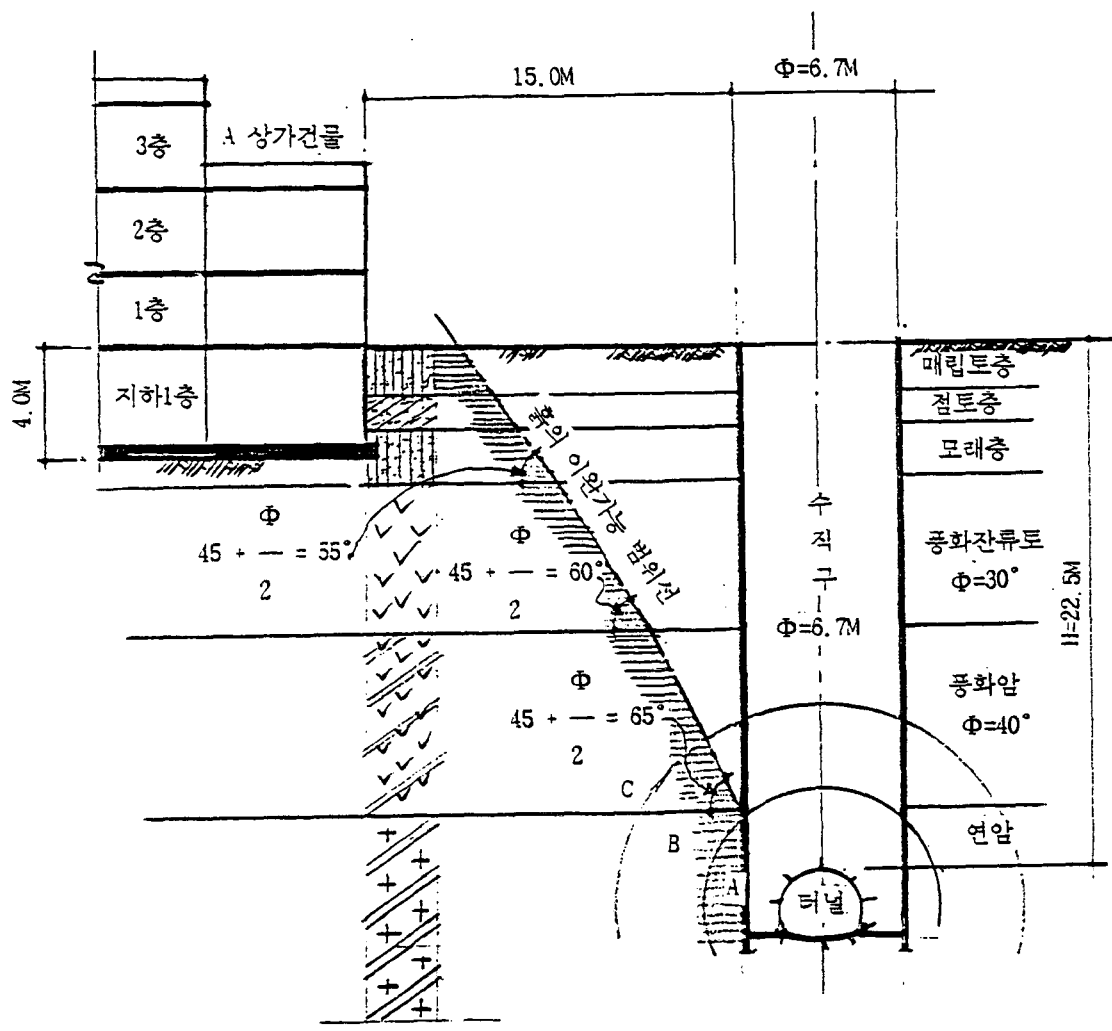


A. 상가 건물

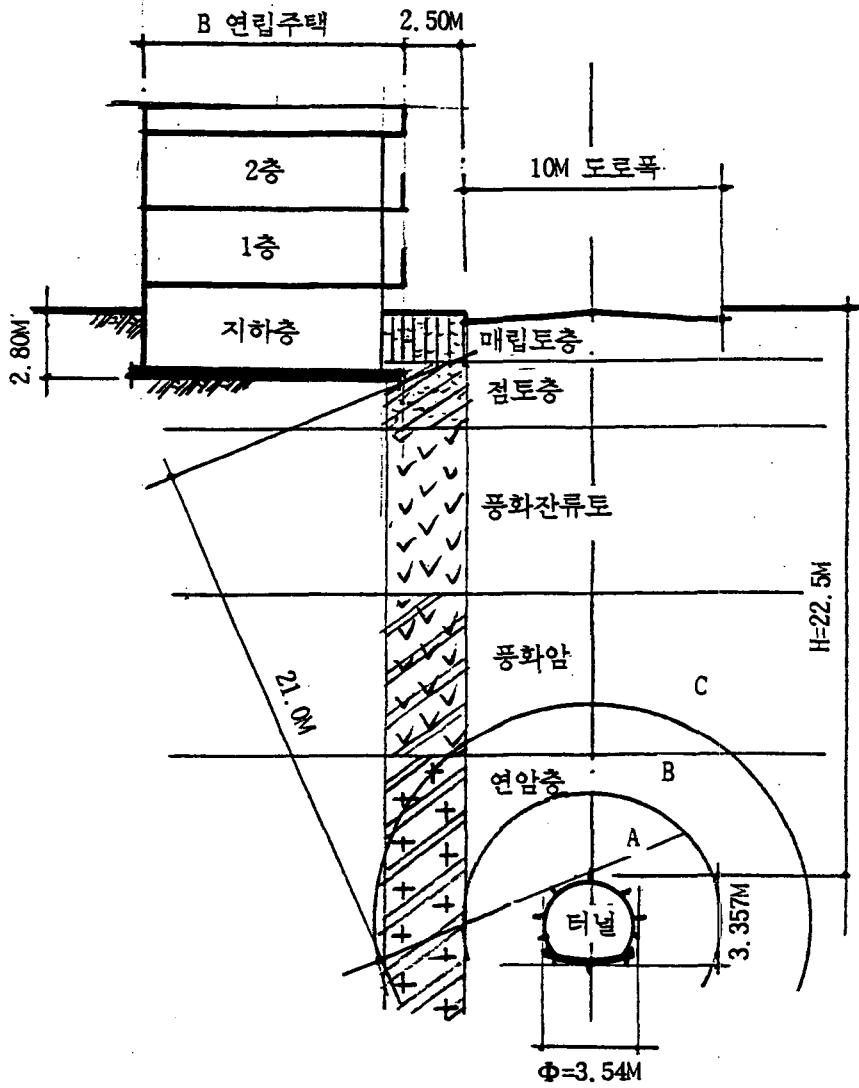




# 수직구와 상가건물 상관도



B. 연립주택



3층 145.53M<sup>2</sup>(주택)

라. 준공년월

1981년 10월 30일-지하 1층, 2층  
(경년 11년 3개월)

1983년 6월 8일-3층 증축  
(경년 9년 7개월)

마. 기초 밑 토질

79-80년 사이 구획정리사업 당시 지  
목이 대지로 변경되면서 점토 및 일반토사로  
2.0M 정도 매립하였고 그 밑은 점토 및 풍화암  
잔류토, 풍화암, 연암, 경암의 순서로 형성되어  
있음. 상수면은 지하 10M에 존재함.

B. 연립주택(길동 412-8 소재)

가. 건물 용도

주거용

나. 구조및층수

시멘트벽돌조, 평슬래브 구조

일부 지하1층, 지상2층

다. 면 적

연면적 - 816.40M<sup>2</sup>

지하층 131.84M<sup>2</sup>

1층 342.28M<sup>2</sup>

2층 342.28M<sup>2</sup>

세대당 지하층 13.52M<sup>2</sup>

1층 67.64M<sup>2</sup> ×10세대

2층 81.16M<sup>2</sup>

라. 준공년월일 : 1979. 12. 22(경년 13년  
1개월)

마. 기초밑토질 : 1981. 6. 12(건물등기)

79-80년 구획정리사업 당시 지목이  
대지로 변경되면서 점토 및 일반토사로 매립한  
매립토층이 지하 1.8M 깊이로 깔려 있고 그 밑  
은 점토층, 풍화잔류토, 풍화암, 연암층임.

지하상수면은 -9.5M에 있음.

2-2. 통신구 공사 조사

가. 공사규모

수직구 : 2개소  $\Phi=6.7M$  D=29.7M

수평구 : L=231M  $\Phi=3.54M$

A=9.97M<sup>2</sup>

환기구 : 2개소

구 조 : NATM공법 형(수평구)및  
형(수직구)

나. 공사기간

1992. 4. 6-1993. 7.10

다. 배치

라. 통신구 공사 작업 과정

1) 착 공 : 1992. 4. 6

2) 수직구굴착 : 92. 4. 6-92.10. 9

3) 터 널 굴 착 : 92.10. 9-93. 2.15  
L=213m 굴착완료  
예정

4) 93. 1. 7 현재공정 : 46% 터널  
L=140m완료

5) 콘크리트 라이팅(t=30cm)(터  
널) : 93. 2.15-93.  
7.10(예정)

2-3. 주민여론조사

93년 1월 10일 현재 주민으로 부터 2건(1  
건은 개인, 1건은 상인 연명)의 진정이 들어와  
있는데 그 요지는

가. 공사로 인한 발파 진동 소음 발생으  
로 기존 건물에 하자를 미칠것을 우려하고 있  
음.

나. 수직구 상부에 있는 가설막이 상가  
건물의 점두(店頭)를 가려 영업상 지장이 많음.

다. 수직구를 도로에 설치함으로써 10M  
도로의 로폭이 좁아져 일방통행(4M만 유용)만  
됨으로 고객 소통이 불편하여 영업이 저조하고  
있음.

이상 2건 외의 진정 사항은 없었으나 계  
속될 발파 진동과 통행불편, 공사장 주위 환경  
불량으로 공사가 끝나는 시기까지는 진정사태가  
더 늘어날 것으로 예상됨.

3. 진단 건물의 하자 상태 조사

연립주택(길동 412-8소재) 하자 상황의 점검  
연립주택은 1-3동 합계 28세대가 이 단지내  
에 위치하고 있다.

이 건물은 79년 12월 준공된 건물들로 경과  
년수가 13년 1개월이며 외벽과 창호, 지붕등에  
무수한 균열, 탈락 등 하자가 발견된다.

이들 균열하자는 사진에서 보는 바와 같이 본 통신구 공사 이전에 촬영한 비디오(VIDEO) 필름에서도 나타나 있으며 균열개소를 덧발랐던 시멘트 혼적도 남아 있고 주위 경계에 설치된 블럭 담장은 경도(傾倒)되어 무너질것을 대비하여 가설버팀기둥을 군데군데 설치하여 놓았다.

#### 4. 구조안전성 조사 분석

##### 4-1 지질조사도 분석

###### 가. 진단건물 기초밑의 지질 상태

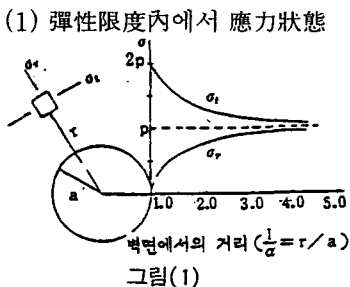
시추주상도와 지질단면도에서 보는 바와 같이 상가건물(BH-2) 및 연립주택(BH-1)의 지질은 실트, 모래, 자갈이 혼재한 흑갈색 매립토가 1.80M-2.0M 깊이로 매립되어 있다. 이 매립토가 1979-1980년 사이 이 지역의 구획 정리 사업 당시 전답이었던 이 지대의 지목이 대지로 변경될 때 매립한 것으로 보이며 A 상가건물 및 B 연립주택의 지하층 기초는 매립 토 밑에 깔려 있는 황갈색 층적층 내지 회색 모래층상에 놓여 있는 것으로 추정된다.

###### 나. 터널 시공 구간의 암석 평가

No.6+3.0 위치(연립주택지)의 터널 시공 깊이에서의 암석은 석영 및 운모류로 석영 입자가 주류를 이루어 비교적 견고하고 풍화와 변질 정도가 낮은 상태의 암반을 유지하고 있다. 또한 단층에서 볼 수 있는 미끄러짐(SLIDING) 현상은 관찰할 수 없었다.

터널 천단부에서 물이 떨어지는 정도의 지하수 유출이 있었고 막장면에서는 약간의 물기가 존재하는 정도로 지하수 유출은 거의 없다. (분석)

1. 터널을 굴착후 지반내 응력상태는 응력이 탄성한도내에 있을 때는 그림(1)과 같이 터널반경(a)과 터널중심에서 임의 지점간의 거리(r)와의 함수에 따라서 변한다.



즉 터널 중심 방향(반경방향)의 응력( $\delta r$ )과 반경 방향의 직각 방향 응력( $\delta t$ )등은 터널 벽면에서의 거리가 멀어질수록 적어진다.

진단건물들은 터널 벽면에서 최단 건물기초 까지의 거리가 18.0M임으로

$$\frac{r}{a} = \frac{18.0}{3.5} = 5.08\text{배가 되어}$$

그림 (1)에서 본다면 응력의 영향은 거의 없다. 2. 연압, 경암내에 터널을 굴착할때 발파의 영향을 받아 주변의 암반은 파쇄되고 느슨해져 물리적 성질이 변하게 된다.

실제 터널 발파에 의한 굴착면 주변 암반의 탄성과 속도의 변화의 속도를 계측하면 터널 측벽에 3.0M 이내의 암반이 발파의 영향을 받아 물성치(物性值)가 변하게 된다.

발파 진동속도를 1cm/sec 이하로 규제한 제어발파(制御發破)를 적용한다면 파쇄영역이 대략 0.8-2.0M로 예상되며 안전율 200%로 보아 최대 4.0M를 넘으면 터널과 외부구조물간에 아무 영향이 없는 것으로 본다.

서울 지하철 3,4호선의 NATM 시행 구간의 FEM 해석 결과에 따른 지보형태에서 안전율을 200% 감안하여 터널의 안전 보호권을 설정한 한도는 아래표와 같다.

터널 形狀	地質狀態	支保形式		安全 保護圈 (安全率 2倍)
		Shot- crete 두께	Rock Bolt 길이	
單線	風化土	20cm	3m	6m
	風化岩	15 "	2 "	6 "
	軟岩	10 "	2 "	4 "
	硬岩	10 "	-	4 "
複線	風化土	25cm	3m	6m
	風化岩	20 "	3 "	6 "
	軟岩	15 "	3 "	6 "
	硬岩	10 "	-	6 "

3. 이상과 같이 본 진단구조물의 거리는 터널 외벽에서 19.0M이상 격리됨으로 지상구조물과 터널 구조간의 상호 응력상의 간섭은 전연 없는 것으로 판단할 수 있다.

따라서 터널굴착으로 인한 외주 구조물의 지반이 침하할 수 있는 근거는 없다.

#### 4) A상가 건물과 수직구와의 관계

A상가 건물과 수직구는 평면 직선거리로 0M가 떨어져 있다.

이들간의 상관도(p.32)에서 보는 바와 같이 수직구 주위 지반의 이완 가능 범위내에는 A상가 건물의 기초가 들어와 있지 않으므로 상호 구조물(상가와 수직구)간의 응력상의 간섭은 전연없으므로 수직구 공사로 인한 주변 건물의 하자 유발 가능성은 없다.

#### 5) 지하수의 영향

이 지대는 지표밑 -9.5~10.0M에 지하상수면이 존재한다.

지하터널은 외주벽에 연하여 t=15cm의 Shotcrete를 주입하였고 Rock Bolt D=25m/m L=2.0m를 1.0m 간격으로 타설하여 현재 상부의 지하수가 누수되고 있지 않으므로 지하수 하강으로 인한 지반 침하는 없으며 수직구의 경

우 공벽 주위에  $\Phi=1.20m$ 짜리 차수 기둥을 974m/m 간격으로 상수면 이하에 설치 하였으므로 지하수의 누수현상은 없다.

#### 6. 결 론

천호전화국~길동 4거리간 통신구 공사로 인한 도로연변건물 중 A상가 건물과 B 연립주택의 건물구조적 영향을 조사 검토한 결과

가. 터널 굴착공사로 인한 주위 토질의 이완 영향으로 상기 두 건물 기초가 침하할 수 있는 요소는 전연 없다.

나. 공사중 지하수위의 강하로 인한 연도 건물의 피해는 없다.

이는 수직구 및 터널에 차수벽을 설치하였고 실제 공사중 지하수의 누수현상이 없다.

다. 현재 A,B 두 건물에 나타나 있는 미세 균열은 건물의 경년 및 시공상의 질로 보아 일어날 수 있으며 균열개소의 절구(切口) 신선도(新鮮度)조사에서 근래의 것이 아님이 육안으로 식별된다.

### 本學會發刊書籍

ANFO 爆劑新發破學, 東亞出版社

新火藥發破學, 機電研究社

新火藥發破學解說, 寶晋齊

서울地下鐵工事 3,4號線發破工法. (非賣品)

岩石力學, 機電研究社

岩石力學解說 同上

智山許墳博士回甲記念集