

## 서울地下鐵工事 8-6工區터널 發破作業으로 인한 振動, 騒音が 地上住宅家 構造物에 미치는 研究調查

許 墳\*, 全相佰\*\*

On the Influence Study to Building by  
Seoul Sub-way(8-6 site) Tunnel works

by Dr. Ginn Huh, Sang Back Cheon

On the Seoul Sub-way Tunnel works(8-6 site).

Cautious blasting works were so effectively carried out the vibration record were under 0.3cm/sec and blasting noise was under 75dB which was measured at the ground of house.

As a result cautious blasting works under above allowable value was not influenced the structure of house and living.

On the architectural survey, There were some hair crack on the wall and floors but this was not a crack from blasting work.

### 〈發破振動 騒音分野〉

### 2. 주민들과의 만남

#### 1. 머리말

본 서울 지하철 공사 제8-6공구는 행정구역으로는 성남시에 속하나 서울시의 일각으로서 터널 막장의 직상(overburden) 최단거리 60m의 지표상에는 주택가가 산재되어 있는 여건이다. 따라서 터널 발파작업으로 인한 진동 및 발파음이 지상주택가에 미치는 영향을 조사하여 그 한계를 평가하는데 있다. 다시 말하자면, 발파진동은 진동허용치 0.4cm/sec 이상을 초과함으로써 지상구조물에 어느 정도의 영향을 미쳤는가, 그리고 발파음이 주거민 일상생활에 어느 정도로 영향이 미치는가 등 제반 영향평가를 비롯하여 앞으로의 터널 굴진 발파작업의 가능성타진과 가능하다면 시험발파를 통한 어떠한 Pattern으로 해야 진동 및 발파음에 대한 안전작업으로 주거민의 동의를 받아내는가의 실증을 기술코자 한다.

당초 계획은 구의원, 주민대표, 성남시(건설과), 경찰서, 동, 통관계자, 감독관, 시공자 및 조사자간의 합동회의를 가진 다음 주민 입회하에서 실시된 시험발파 기록치를 가지고 앞으로의 터널 굴진작업의 재개 여부를 결정기로 한 것이다. 따라서 조사자는 주민들로부터 발파진동으로부터 피해가 있었다는 종래의 Pattern(원설계) 즉 전단면 천공 pattern과 당학회에서 작성한 반단면 pattern의 시험발파결과(0.2cm/sec 정도)가 좋아 주민들이 발파를 했는지 안했는지 분간할 수 없을 정도로 미미하게 느껴져 만족한 나머지 전단면 시험 발파는 주민들이 야기 “먼저 전단면 발파로 우리는 많은 피해를 입었는데 즉 금이 간데다 다시 발파를 하게 되면 금이 더 커질텐데 누가 책임을 지겠는가?”로 전단면의 시험발파는 주민의 반대로 부득이 하지 못하게 되었다. 따라서 이는 과거의 기록치와 계산치를 참고로 하여 추정치를 산출하였다.

\* 韓國技術士會 監事

美國建設(土木)技術士

(주)희구엔지니어링 회장

\*\* 건축사 및 건축구조기술사

상기 합동회의에서 합의된 사항은 다음과 같이 요약한다.

- 다 음 -

1) 앞으로의 터널 굴진 발파작업은 학회에서 제시된 반단면 Pattern에 따라 작업한다.

2) 주민대표는 언제든지 사용된 화약류의 량과 종류 및 반단면 Pattern의 천공장 및 천공수를 확인할 수 있다.

3) 지하철 터널 공사 발파작업으로 인한 진동 피해보상에 대해서는 학회등의 공인기관의 진단서에 따르되 현재 금이 가있는 주택구조물에 대해서는 감독자와 시공자가 공동으로 도의적인 책임을 지고 조건없이 보수를 한다.

4) 앞으로 월 1회 이상 주민대표와 시공자가 중심이 되는 협의회를 가지고 모든 문제를 원만히 해결하는데 상호협조한다.

### 3. 시험발파

시험발파는 현장에 갖고 있는 주어진 여건을 최대한으로 활용하고 정밀발파 원칙에 따라 시도하였다. 터널 막장은 상행선과 하행선 4개소로서 상행선의 남북쪽을 1호 2호 하행선 쪽을 3호 4호로 분류한다. 암반은 서울 일원의 기안암을 이루고 있는 선캄부리아기에 속하는 흑운모 편마암(Gneiss)으로 소규모 균열(Crack)과 절리(Joint)가 있을 정도의 초경암(1,800kg/cm<sup>2</sup> 이상)으로 그중 북쪽(1호, 3호)이 더 강하고 남쪽(2호, 4호)이 약간 덜한 편이다.

첫째 : 천공은 정급착암기 Jagleg 비트  $\phi$  38mm으로 심빼기(Cut)는 평행공(Para-Cut)으로 천공하고 진동절감을 위해서 심빼기 부근에 무장 진공을 추가하고,

둘째 : 사용폭약은 Kovex  $\phi$  25mm에다 MI/S 전기 뇌관을 사용

셋째 : 전단면을 상단 하단으로 양분하여 먼저 상단부를 굴진하고

넷째 : 터널 중간에다 발파음 차단막을 2-3개 설치 발파음 절감을 기하였다.

당 학회에서 작성 추천한 반단면 Pattern을 가지고 시험발파한 바 사용폭약량 및 천공수는 당초 설계한 Pattern에 비해서는 약간 많은 편이나 발파 후 1.3m 천공에, 1.2m 굴진을 성공한 데 비해 후자는 1.3m 천공에 굴진장 반에 머무른 정도이면 이는 재검토 해야할 문제이며 영향 평가란에서 상세히 기술하겠지만 잔공으로 인한 진동의 증대는 그냥 넘길 수 없는 중대 문제라 하지 않을 수 없다. 주민 대표입회하에 Pattern에 따라 천공, 장약 확인한 다음 계측한 바 진동 허용치 0.4cm/sec를 밑돌았으며, 유리컵에다 물을 채워 발파시 물의 움직임 확인한 바 물의 움직임이 없음으로 입회한 주민들도 만족하였음. 발파음 역시 차량 소음에 불가하여 일상 생활에도 큰 지장이 없었음.

#### 3.1 진동치, 폭원과의 거리 및 지발당 장약량 간의 함수관계

(서울 지하철공사 실험식)

$$V=KW^{0.5} D^{-1.5}$$

$$0.35= 57 \times 14.07^{0.5} \times 72^{-1.5} \text{ (수평40m, 수직60m)}$$

$$0.46= 57 \times 14.07^{0.5} \times 60^{-1.5} \text{ (수직60m)}$$

$V$	=진동치 (cm/sec)
$K$	=경암 57
$W$	=지발당 장약량 (kg)
$D$	=폭원과의 거리 (m)

발파작업으로 인한 진동치는 상기식에서 보는 바와 같이 지발당 장약량, 천공방식등 여러가지 주어진 여건에 따라 결정되지만 그중 가장 주요한 요소는 폭원과 주택간의 거리이다.

시공자측의 계측기록치(시공자보관. 발파일지)에 의하면 대부분의 진동치가 감독관측에서 설정한 진동허용치 0.4cm/sec를 밑돌고 있으나 극히 일부 기록치가 터널막장으로 부터 직상 거리 72m 지상주택가에서 계측한 기록치가 0.35cm/sec이다. 따라서 이들 터널막장 직상인 지상의 주택가의 환산치는 0.46cm/sec로 진동

허용치를 0.06cm/sec상회한다. 이는 첨부한 0.4mm를 밀도는 진동으로 급이 간대를 부분적  
『보수여부 판단표』에 맞추어 보면 실금 최대폭 으로 때우는데 족한 것으로 사료된다.

### 시 험 발 파 결 과

항목 일시	최저저항선 공간거리 천공장 cm	전기뇌관 MS DS	폭약량 KG		폭원과의 거리 m	계 측 치			비 고
			공당	약량		cm/sec	HZ	소음 DB	
4월 29일 (1호)	60 65 1.3(1.2)	빈공 57 실공 108 165	0.500	39.5	수직 60 수평 8 직선 60 시멘트위에	0.20	43	75	1. 폭약 : 함수폭약 φ 25mm 250g 2. 상부반면 3. 완복으로 1.3(1. 2)m 4. 1호, 3호터널 : 초경암 5. 2호, 4호 터널 : 경암
5월 1일 (3호)	上 同	上同	上同	上同	수직 60 수평 8 직선 60 시멘트위에	0.20	68	75	
5월 4일 (3호)	上 同	上同	上同	上同	수직 60 수평 8 직선 60 흙위에	0.22	68	75	

### 3.2 대한화약기술학회 도심지 정밀 발파 진동 허용 진동치 <해설>

건축물의 종류	허용진동치 (cm/sec)		비 고
	f≥20Hz	f>20	
①문화재	0.2	0.15	건물의 기초, 구조설치 시 기등을 고려 하여 기준설 정
②낡은 건물이나, 병원, 진동에 민감한 건물	0.3	0.2	
균열 또는 결함을 갖 는 건물	0.4	0.25	
균열 또는 결함을 갖 는 빌딩	0.5	0.35	
③일반적인 건물 (위 ②항을 제외)	0.5-0.7	0.35-0.5	
④콘크리트 구조의 공장	0.7-3.0	0.5-2.0	

1) 서독의 VORNORM DIN 4150 Teil3을 기  
준하였음.

2) 건물의 고유 진동수를 고유하여 20Hz 이  
상과 미만으로 구분하여 복수 기준을 제시한다.

3) 도심지 정밀 발파라하면 폭원과 구조물간  
의 직선거리가 40m 정도를 뜻하는 것이며 거리  
외에 파동을 전파하는 지반상태등에 따라 결정  
되지만 대체로 20-100Hz을 말한다.

폭원으로부터 100m이상 떨어지게 되면  
20Hz 이하로 떨어지게 되면 이때 차량통과시의  
10-15Hz지진의 2-3Hz과의 관계를 유의해야 한다.

단 세방향(V.R.T)의 진동 성분에 대한 주  
파수 모두가 20Hz미만인 경우만 f≤20Hz로 인정.

4) 가장 일반적인 주택 또는 아파트의 경우  
3-0.5cm/sce로 미국의 기준치 2inch(5.0  
cm/sec)에 비하여 10배이상의 안전율이 고려  
된 것임.

3.3 발파진동상수 'K'값

진동식  $V=KW^{0.5} D^{-1.5}$

지질조건 : 서울편마암

천공경 : 38m/m

구분 화약	발파방법 압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	개척식		턴넬식	
		바닥 발파	측벽 발파	심발 발파	확대 발파
다이나마이트	1500-1200	91	81	71	41
	1200-900	85	55	65	65
	900-600	79	49	59	29
	600 이하	72	42	52	22
함수 폭약	1500-1200	73	49	57	33
	1200-900	68	44	52	28
	900-600	63	39	47	23
	600 이하	58	34	42	18
초안 폭약	1500-1200	58	39	46	26
	1200-900	54	35	42	22
	900-600	50	31	38	18
	600 이하	46	27	34	14

3-4 허용최대실금(Hair Crack)폭의 규격치

國名	關聯部處	許容最大실금폭(mm)
日本	運輸省	港灣構造物 0.2
	日本工業規格	遠心力鐵筋콘크리트 분 設計曲 moment 作用時 0.25 設計荷重, 設計曲 moment 開放時 0.05
France	Brocard	0.4
U.S.A	A.C 建築基準	室內 0.38
		室外 0.25
USSR	鐵筋콘크리트 規準	0.2
Europe	歐洲콘크리트 委員會	浸食構造物 部材 0.1
		無防護工 普通構造物 0.2
		有防護工 普通構造物 0.3

3.5 Bit徑 Jumbo  $\phi$  45m/m, Crawler drill  $\phi$  70m/m

岩種		級					備 考
		I 硬 岩	II 普通岩	III 軟 岩	IV 風化岩	V 麻砂土	
Burden 最少 抵抗線(Cm)	터널	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85	Jumbo ≡ 穿孔長 250-300 Crawler drill 穿孔長 300-900 但, 本 DATA는 非實驗值
	露天	100	150	200	250	300	
HOLE SPACING 間 거리(cm)	터널	65-70	70-75	75-80	80-85	85-90	
	露天	150	200	250	300	350	

岩種分類 및 爆種間의 最少抵抗線 函數關係表

(單位 : cm Bit Gage  $\phi$  36mm)

區分	岩種	I	II	III	IV	V
		硬 岩	普通岩	軟 岩	風化岩	麻砂土
다이나마이트(G.D)		60	65	70	75	80
含水爆藥(Slury)		58	63	68	73	78
硝安爆藥		55	60	65	70	75

### 3-6. 發破音에 對한 人間과 構造物의 影響

(一般音) A	dB (一般音) B (發破音)
.....	180 ..... 構造物破損
.....	.....
..... ..... ..... .....	160 中程度の jet機 音 ..... 大部分의 窓이 破損
..... ..... ..... ..... .....	..... 어떤 種類의 窓이 破損
.....	140 큰 Propeller 飛行機音 ..... 被害가 없는 限界
..... ..... ..... .....	120 空襲싸이렌 ..... 住民의 不平不滿의 始作窓이 덜컹덜컹덜컹 흔들린다.
.....	100 동조립 製造工場 ..... 大都市 交通騒音 ..... 地下鐵 騒音
.....	80 ..... 繁忙 事務所
.....	60 標準的 말소리 ..... 個人의 事務所
.....	40 ..... 조용한 住宅 (病室)
.....	20 ..... 속삭임
.....	0 ..... 可聽下限

(備考) 一般音 A와 B는 各各의 文獻에 의함

### 3-7 일본기상대 지진표

日本氣象廳震度階表(速度值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 사람이 나  특히 注意깊은 사람 만이 느낌	0.8~2.5	0.13~0.4
2	輕震	많은 사람이 느끼고, 門 과  미닫이가 약간 움직 이는 것을 알게됨	2.5~8.0	0.4~1.26
3	弱震	집이 흔들리고, 門과  미 닫이가  鳴動하고,  전등 이 흔들린다.	8.0~25	1.26~4.0
4	中震	家屋의 動搖가 激甚하 고,  농임이 나쁜 꽃병 등이 넘어지고,  견고 있 던 사람도 느끼고, 많은 사람이 屋外로  뛰쳐 나 온다.	25~80	4.0~12.6
5	強震	壁이  갈라지고,  墓石 등 이  넘어지며  연통,  돌담 이 破損되거나 한다.	80~250	12.6~39.8
6	烈震	家屋의 倒塌 30%以下, 山이 崩壞되고  땅이 갈 라지며 많은 사람들은 서서 있을수가 없다.	250~400	39.8~63.7
7	微震	家屋의 倒塌 30% 以 上, 山이 崩壞하고  땅이 갈라지고 斷層 등이 생 긴다.	400 以上	63.7以上

3-8. 암종분류표(서울지하철공사)

명 칭	TYPE I	TYPE II	TYPE III	TYPE IV	비 고
암종류	경 암	보 통 암	연 암	풍화암(토)	
강 도 (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 충상을 이루는 암상	풍화작용에 의한 암상에 교대작용을 받아 층리 및 편리절리가 발달되어 있는 암체로서 소피상을 이루는 파쇄질 암상	물리, 화학적 교대작용에 의하여 파쇄대가 매우 발달된 상태에서 여러 방향의 절리 및 다소의 단층을 포함하여 점토질이 많이 발달되어 있는 암상	절리 및 단층은 그 크기와 여러 방향성에 따라 암종의 분류를 결정하며 특히 단층의 경우 상반과 하반의 간격으로 결정된다.
보령코아 상태	코아회수율은 거의 90% 이상으로 주상을 이루며 암괴는 20cm 이상이며 세편이 거의없는 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/sec 이상일 경우 Grouting 실시	용수량의 영향을 약간 받으며 최대 15ℓ/sec 이상일 경우 Grouting 실시	용수량에 의하여 Crack자체가 영향을 받으며 최대 10ℓ/sec 이상일 경우 Grouting 실시	용수량에 의하여 암질 자체가 상당한 영향으로 풍화되며 최대 10ℓ/sec 이상일 경우 Grouting 실시	용수량에 의하여 암종을 구분한은 곤란하나 용수량이 많을 경우 보통 암종을 1단계 낮추어 시공할 수 있음.
물리특징	E >100,000Mp/m <sup>2</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	변리암, 편마암, 대리석, 슬레이트	조립현무암, 돌로마이트	석회암, 사암, 세일, 석탄	암종에 따른 일반적 인 분류임.

3-9. 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
岩種 $\phi$ 36mm Bit Gage	硬 岩 (Stable rock)		普通岩 (modetately jointed and hard stratified or schistose rock)	軟 岩 (fractured fri- able rock)	風化岩 (instable plas- tic & squeez- ing rock)	麻砂土 (Highly plastic squeezing & swelling ground)	穿孔長最大, 터 널 : 1.5m 露天 : 2.4m
	最小抵抗線 (cm)	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85	
孔間 距離 (cm)	터널	65	70	75	80	85	
	2 自由 面(개 착식)	70	75	80	85	90	

3-10 Standardization in tunnelling

		I	II	III	IV	V
Rock Kind	Stable rock		moderately jointed and hard stratified or schistose rock	fractured and friable rock	unstable 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 drift & bench)	forepiling ( )	
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  
W.M. = Wire Mesh

R.B. = Rock Bolt  
F.P. = ForePiling

## 화약특성

국내 생산되는 각 화약종류별 특성은 아래표 2와 같다.

표 2 화 약 특 성

특성	정 밀 폭 약		함수폭약	초유폭약	다이나마이트
	FINEX- I	FINEX- II			
약상	반Gel상	입상	Gel상	입상	Gel상
내수성	양호	양호	우수	-	양호
가비중	1.2-1.3 gr /cc	1.0-1.2 gr /cc	1.1-1.2 gr /cc	0.85-0.90 gr /cc	1.3-1.4 gr /cc
S-T	46~48%	54~58%	-	-	64~66%
순폭도	8~10배	2~3배	2배	-	4~5배
낙추강도	15cm	30cm	100cm	100cm	15cm
가스비용	420l /kg	740l /kg	780l /kg	920l /kg	860l /kg
후 가스	우수	양호	우수	-	양호
폭 속	4000 m/sec	3500 m/sec	3900 m/sec	2600~3000 m/sec	5000~5500 m/sec

### 3-11 Hollo-Line Drilling Hollo-center cut Holes의 근거

터널 頂上部로부터 이표면(G.L)까지의 垂直 높이는 가까운 곳은 23m에 이르는 近距離로서 發破作業으로 인한 振動질감을 위해서는 防振溝가 가장 效果的이다.

따라서 1次的으로 심빼기(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% 진동질감에 萬全을 기하였다.

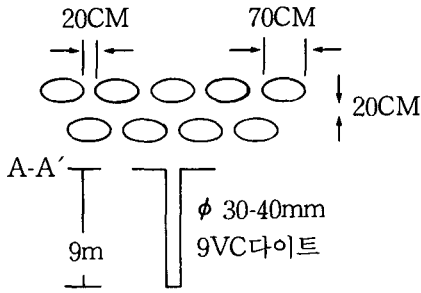
防振溝效果(Yoshi : 차트인용)

그림표에서 防振溝가 없는 상태 卽, 岩盤自體 일 境遇를 I로 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 표면과 速度는  $V=2000\text{cm/sec}$ , 發破振動數(周波數)를 平均 70(50-90Hz 但, 함수폭약)으로 정하며,

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

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





Yoshi Chart

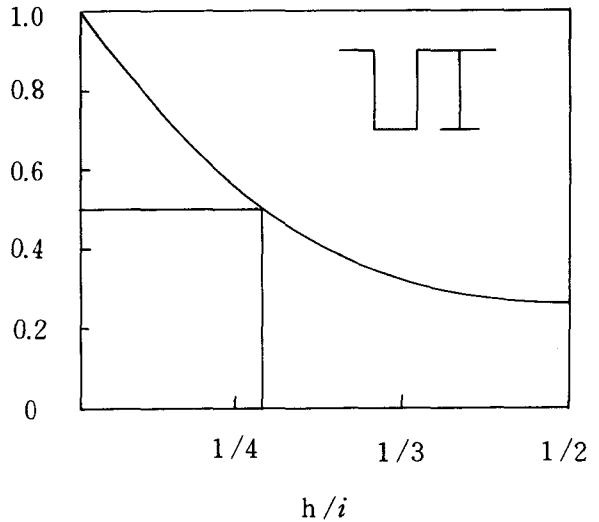


그림 防振溝의 效果

3-12 발파진동 실험식 적용

대한화약기술학회 정밀발파진동 실험식

종 별	서울지하철공사 실험식				
	$V=41\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.41}$	$V=124\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.66}$	$V=100\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.55}$	$V=KW^{0.57}D^{-1.75}$ (Granite)	$V=KW^{0.5}D^{-1.5}$ (Gneiss)
조건					
폭원-구조물간의 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 M/S 전기뇌관	KOVEX M/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=폭원과과의 거리(m)

3-13 地盤振動의 關係式

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.

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

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

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

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

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

여기에서

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

2. 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=2π·f·v

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

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

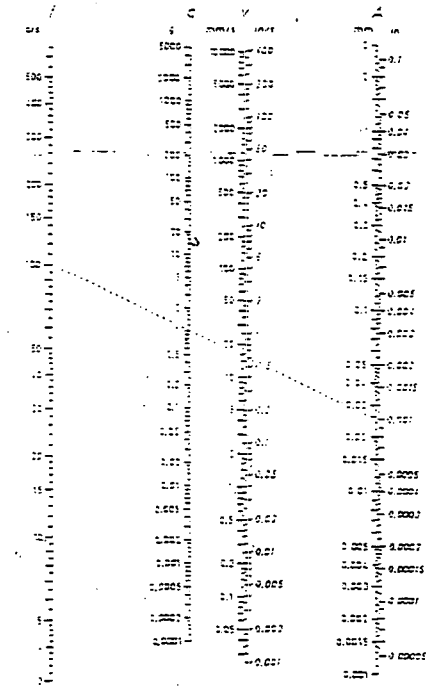
條件2) 發破振動速度(v)=0.3cm/sec  
振動周波數 40cycle/sec일때 加速度는 다음과 같다.

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

$$= 0.05g$$

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

나. 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.

3-14 발파음, 거리 및 음압간의 함수관계 (25M)

①  $P = 3 \times W^{0.5} \times R^{-1.5}$  ..... (1)  
W=0.375 R=25m이면  
P=0.0145kg/cm<sup>2</sup>

② 음압을 L<sub>p</sub>라 하면 (안위 del로)  
 $L_p = 20 \times \log \frac{P}{P_0}$  ..... (2)  
P<sub>0</sub>=20×10<sup>-6</sup> N/m<sup>2</sup>(P<sub>a</sub>)

그런데 1N/m<sup>2</sup>=10<sup>-5</sup> kg/cm<sup>2</sup> ..... (3)  
∴ P=20×10<sup>-11</sup>kg/m<sup>2</sup>

(2)를 대입하여 (2)식을 변형시키면  
 $L_p = 20 \times [\log P - (\log 20 \cdot 10^{-11})]$   
 $= 20 \times (\log P + 9.7)$   
 $= 20 \log P + 194$  ..... (4)

(1)에서의 P=0.0145를 대입하면

$$L_p = 20 \log(0.0145) + 194$$

$$= 20 \times (-1.64) + 194 = 157 \text{ dB}$$

∴ 157 × 70% = 110 dB ..... Open Pit

157 × 60% = 94 dB ..... Tunnel

Open pit 에서의 發破音(音壓)은 立體的으로

分散하되, 距離의 1/3乘(D<sup>1/3</sup>)에 反比例하나, Tunnel에서는 摩擦이 없다고 假定하면 距離에 反比例한다고 볼 수 있으나 實際로는 摩擦을 받는 만큼 空氣抵抗을 받게 된다.

따라서 上記式에서 30m : 93dB, 50m : 89dB 이 計算된다.

OPEN PIT SOUND PRESSURE (dB)

Distance(m) Charge /delay(kg)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
125	115	111	108	106	105	103	102	101	100	99
25	117	113	110	108	107	105	104	103	102	101
375	118	114	112	110	108	107	105	104	103	102
5	119	115	113	111	109	107	106	105	104	103
625	120	116	113	111	110	108	107	106	105	104
75	120	116	114	112	110	109	107	106	105	105
875	121	117	114	112	111	109	108	107	106	105
1	121	117	115	113	111	110	108	107	106	105
1.125	121	118	115	113	111	110	109	108	107	106
1.25	122	118	115	113	112	110	109	108	107	106

BUT, TUNNEL : ABOVE VALUE'S  $\frac{6}{7}$

3-15 Bit 徑(Jack leg) 36mm

		I	II	III	IV	V	비 고
岩種 φ 36mm Bit Gage	硬 岩 (Stable rock)	普通岩 (modetately jointed and hard stratified or schistose rock)	軟 岩 (fractured fri- able rock)	風 化 岩 (instable plas- tic & squeez- ing 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 距離 (cm)	터널	65	70	75	80	85	
	2 自由 面(개 착식)	70	75	80	85	90	

3-16 莫場觀察記錄

93年 4月 28日

曜日

日氣 맑음

Tunnel 名		북쪽 1호, 3호 Tunnel		位置	起點에서 1호 120m 坑口에서 3호 135m				
Over Burden (土被)		60m	綜合判斷	地山區分 또는 Pattern 區分					
特殊條件狀態		膨壓·偏壓·流動性·土被小( )m·重要構造物近接 골짜기 直下(60)							
地山의狀態	岩種(色調粒性等)	편마암(초경암) Insutetest Seismic w, 5,800 St 2,000							
	地層의狀態	1. 單一層 2. 互層(t $\geq$ 20cm) 3. 細互層(t<20cm) (各平均層두께( )) 4. 狹在層(가. Film 狀 나. Lenz 狀) 5. 其他							
龜裂狀態	龜裂	1. 龜裂	가. 없음	나. 적음	다. 많음				
		2. Seam	가. 없음	나. 있음					
		3. 破碎帶	가. 없음	나. 있음(破碎帶幅	cm)				
		4. 新層	가. 없음	나. 있음					
		5. 其他							
掘鑿支點의 地山의 狀態와 舉動 안전함									
區分		1	2	3	4				
A	막장의狀態	花崗岩	안정	약간 불안정	부분적으로 Loose하고 少量이 流出	自立하지 않고 流出			
		片麻岩	안정	약간 불안정	岩塊의 枝落	自立 못하고 崩壞			
B	天端·側壁의狀態	自立	部分的으로 殻落	自立이 困難					
C	地山의狀態	硬(一軸壓縮強度 kgf/cm <sup>2</sup> )	초경암 (1800<)	普通 (300~800)	軟 (80~300)	變質·粘土·土砂 (<80)			
		節理·龜裂의狀態	門 隙 cm	막장水平方向	100<	50-100	20-50	5-20	0-5
			막장鉛直方向	100<	50-100	20-50	5-20	0-5	
			天盤터널軸方向	100<	50-100	20-50	5-20	0-5	
		傾 斜	垂 直	傾 斜	水 平				
開口性	密着되어 있다	약간 變質	一部分은 매우 變質 또는 開口되어 있는 部分있음	매우 變質 또는 開口되어 있음					
D	湧水狀況	湧 水	없음 또는 湧水가 通水程度	部分湧水	全面湧水				
		물에 의한 劣化	없음	部分的으로 弛緩軟弱화	崩壞 流出				

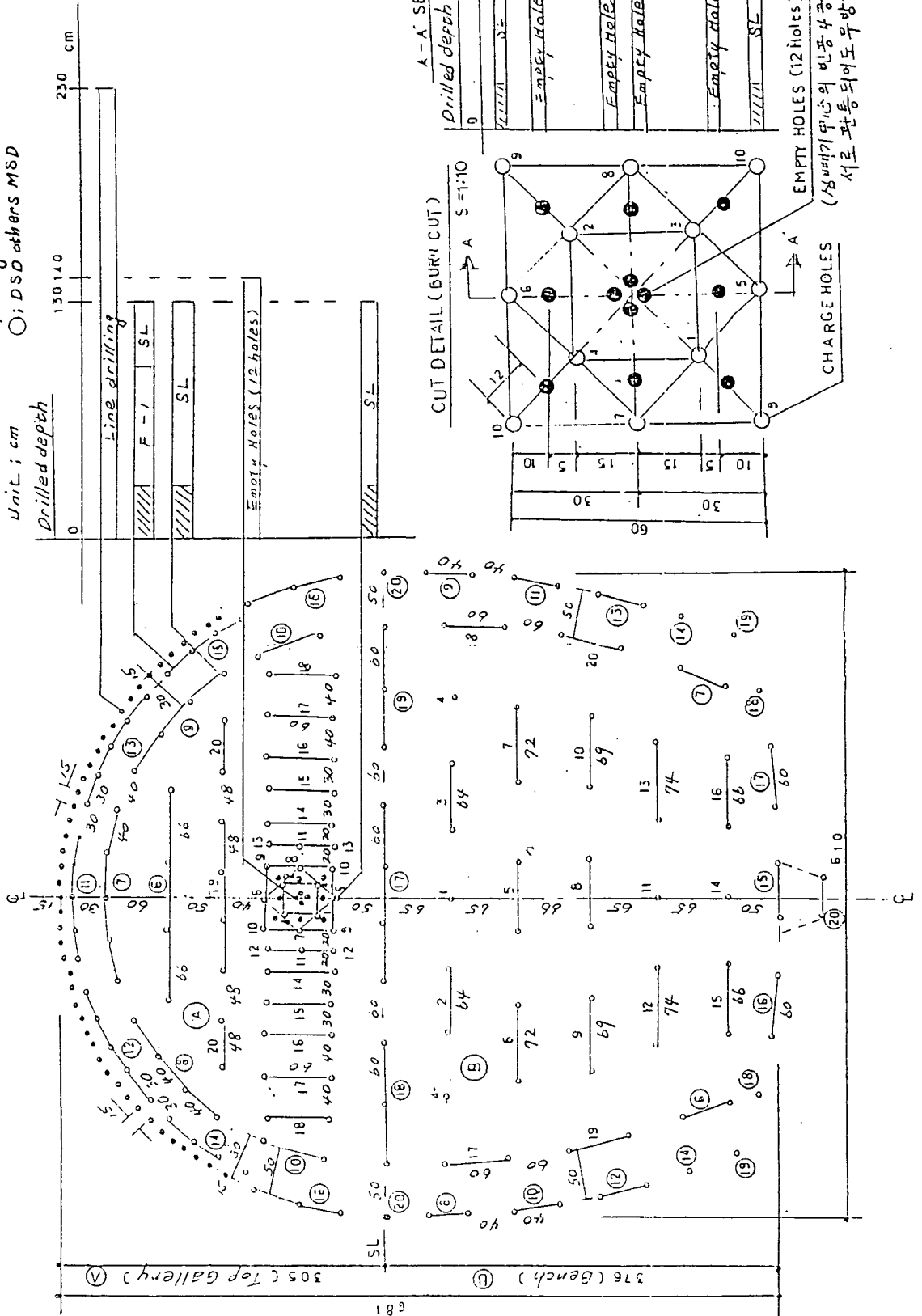
坑口湧水量: \_\_\_\_\_ ℓ/min 평상시 4"로 계속 배수작업

막장推定湧水量: \_\_\_\_\_ ℓ/min

3-17 8-6工區 Tunnel Drilling & Ignition  
Pattern 경암(편마암)

PAGE ; 1

by Dr. Ginn Huh  
S = 1 : 40  
Unit ; cm  
○ ; DSD others MSD



DRILLED DEPTH	1.3m	DETONATOR	175pcs
ADVANCE	1.2m	CHARGE	63.875kg
NUMBER OF HOLES	232 Holes	SPECIFIC DETONATOR	4.00pcs /m <sup>3</sup>
TOTAL DRILLED DEPTH	347.8m	SPECIFIC DRILLED DEPTH	7.95m /m <sup>3</sup>
FACE AREA	36.478m <sup>2</sup>	SPECIFIC CHARGE	1.460kg /m <sup>3</sup>
EXCAVATED SOLID ROCK OF FULL FACE	43.774m <sup>3</sup>		

Face	Round	Classifi- cation	Cap No.	Number of Hole	Amount of Charge						Remarks			
					Slurry (K-100)		F-1		F-2			Total		
					φ 0 x 433 x 250	25mm mm g /pc	φ 17 x 510 x 125	mm mm g /pc	φ x x	mm mm g /pc				
					per hole	sub- total	per hole	sub- total	per hole	sub- total				
hole	pcs	pcs	pcs	pcs	pcs	pcs	g							
Top Gallery		Cut Holes	MS 1~4	4	2	8					2,000			
		Cut Spreader H.	5~10	8	2	16						4,000		
		Stoping H.	11~20	34	1.5	51							12,750	
			DS 6~10	21	1.5	31.5							7,875	
		F-1 Lines	11~15	23	1/2	11.5	1	23					5,750	
			16	6	1/4	1.5	1	6					1,125	
		Foot H.	17~20	12	2	24							6,000	
		Empty H.	-	(12)	-	-	-	-					-	
		Line drilling	-	(45)	-	-	-	-					-	
Sub Total	-	(57)			pcs		pcs				39,500g			
				108		143.5		29						
				165		35,875g		3,625g				39.5kg		
Bench	B	Stoping H.	MS1~20	37	1.5	55.5						13,875		
			DS 6~7	4	1.5	6							1,500	
		F-1 Lines	8~14	14	1/2	7	1	14					3,500	
		Foot H.	15~19	10	2	20							5,000	
			20	2	1	2							500	
		Sub Total	-	67		90.5pcs		14pcs					24,375g	
				67		22,625g		1,250pcs				24,375kg		
Full Face	-	Total	-	(57)		234pcs		43pcs				63,875g		
				175										
				232		58,500g		5,375g					63,875kg	

### 3-18 DATA

UNIT LAST USED 04-MAY-93

UNIT LAST USED 04-MAY-93 17:40  
6.0V

AL OFF

\*\*\* NOMIS NCSC 5300 SERIES \*\*\*  
INSTRUMENT # NCSC5310M-0416  
\*\* A/D CALIBRATED OK \*\*  
04-MAY-93 17:40:35

OIN4150  
\*\*\*\*\*

Self-trigger / Cont. Monitor (S/M)?  
CUSTOMER: NAM KAINC  
LOCATION: 13K970.57 NO 2  
14K 133 NO3  
DISTANCE TO BLAST(m): (1-9999.N)N  
CHARGE PER DELAY (kg): (1-999.N)40  
OPERATOR: J.T.H  
COMPANY: NAM KAINC  
SEIS TRIG (mm/s): (.5-100.N.M) 1  
SOUND TRIG (dB): (100-140.N)100  
RECORD TIME (sec): (5.10.15)15  
SOUND WEIGHTING (A/F) ? A  
PLOT REPORT (Y/N)? Y  
GRAPH (Y/N) N  
COPIES PER EVENT ? 1

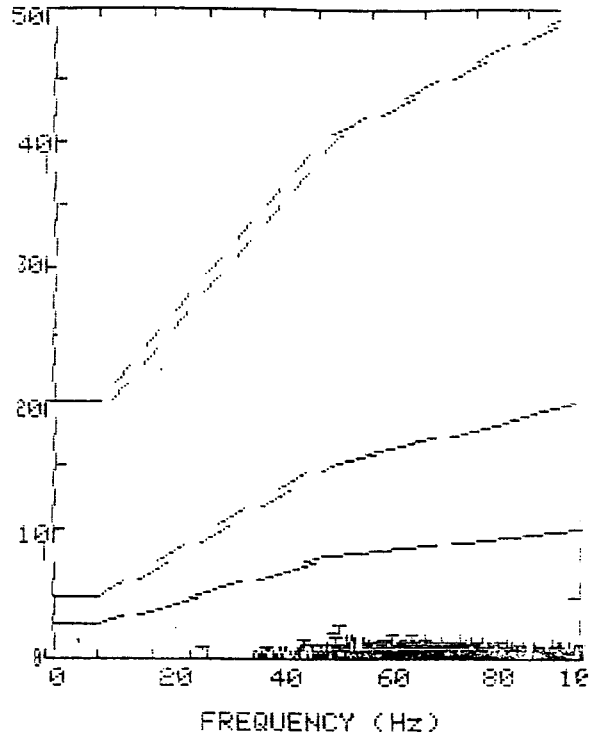
SCANNING  
PROCESSING EVENT DATA. PLEASE WAIT.

\*\*\* NOMIS NCSC 5300 SERIES \*\*\*  
04-MAY-93 18:01:35  
INSTRUMENT # NCSC5310M-0416  
EVENT # 066  
COPY # 1  
NOTES:  
\*  
\*

CUSTOMER: NAM KAINC  
LOCATION: 14K 133 NO3  
DISTANCE TO BLAST(m): N  
CHARGE PER DELAY (kg): 40  
OPERATOR: J.T.H  
COMPANY: NAM KAINC  
SEIS TRIG (mm/s): 1  
SOUND TRIG (dB): 100  
RECORD TIME (sec): 15

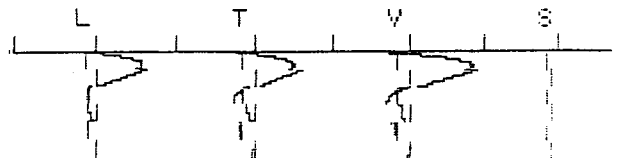
RESULTS  
\*\*\*\*\*

	L	T	V
PPV(mm/s)	1.4	2.2	1.8
PD(mm)	0.0052	0.0063	0.0150
PPA(%)	0.055	0.062	0.110
Fp(Hz)	68.2	53.8	136.4
RPPV(mm/s)	2.3		
PEAK SOUND < 100 dBA	0.0015 kPa		
Fp Pk Snd(Hz)	103.0		



\*\* A/D CALIBRATED OK \*\*

CALIBRATION GRAPH  
\*\*\*\*\*  
TIME = .0151 sec/ms  
SOUND = 0.195 kPa/div  
L,T,V = 25 mm/s/div



FOR ANALYSIS & INFORMATION CONTACT:  
SOULS ENGINEERS INCORPORATED

#### 4. 맺는말

이상 기술한 바와 같이 오랫동안 쌓은 경륜에 따라,

- 첫째 관련기관 입회하여 주민들의 직접적인 대화를 통해 피차간의 의견을 좁혀 이해시킨 다음 시험발파를 통해서 실증을 보임으로서 공감대를 형성 동의를 얻은 것으로 본다.

- 둘째 금번 반단면 시험발파를 통해서 계측된 진동 기록치는 0.3cm/sec이하로서 진동허용치 0.4cm/sec를 초과하지 않아 터널 발파작업으로 인한 진동 영향이 지상 주택 구조물에 미치지 않는 것으로 판정되나 주거민들의 진정 대상되는 종래의 전단면 발파작업으로 인한 진동 영향이 지상 주택구조물에 미친 진동 영향에 대해서는 이미 말씀드린대로 주민들의 반대로 전단면 발파작업에 대한 재연 시험발파는 하지 못하며 그간의 계측 기록치를 가지고 해설하면 다음과 같다. 전단면 발파의 기록치중 최고치는 0.35cm/sec로서 이는 직선거리 72m지점에서 계측한 기록으로 이를 터널의 직상부인 60m지점으로 환산하면 0.46cm/sec가 된다.

① 이는 터널막장에서의 최단거리에 있는 대양 빌딩을 뜻하는 것이다.

국제적으로 통용되어 있는 유침 허용최대실금 폭의 규격치표에 대비하여 본다면 이 범주내에 들어가는 것으로 보아 발파진동의 측면에서 판정한다면 지난 발파작업으로 인한 진동 영향이 이미 나 있는 실금(hair crack)을 다소 증폭한 것으로는 사료되으나 새로이 실금을 발생시킨 정도는 아닌 것으로 사료되나이다.

② 이에 비하면 직업훈련원 사원 APT는 수평거리 80m 수직거리 60m 직선거리 100m로서 환산치는 (3-1 참조  $0.21=57 \times 14.07^{0.5} \times 100^{-1.5}$ ) 0.21cm/sec가 계산되나 이는 인간이 느끼기 시작하는 시점 0.2cm/sec에 비등한 미소치로서 사원 APT구조물에 진동 영향이 없는 것으로 사료되나이다.

- 셋째, 금번 시험발파를 통해서 당초 설정한 진동 허용치 0.4cm/sec 발파음 75dB를 넘지

않음으로서 일단은 동의를 얻은 셈이며 앞으로 이와같은 당학회 천공 Pattern에 의한 안전작업을 지속한다면 주택구조물의 진동영향은 물론 발파음으로 인한 일상생활에도 별지장이 없을 것으로 사료되나이다.

#### 4-1 조사자의 영향평가

본 지역의 지질구조는 선캠부리아기에 속하는 흑운모 편마암(Gneiss)로 구성되어 있으며 단층(Fault-길이 6-7m이상)과 엽리(Foliation 4-5m정도)은 전혀 볼 수 없고 부분적으로 균열(crack-10cm정도)과 소규모 절리(Joint-1-2m)가 발달하고 있을 정도로 초경암(1800kg/cm<sup>2</sup> 이상)으로 분류된다. 이러한 초경암에 재래식 V-cut 천공방식으로 금일에 이르기까지 전단면 발파로 회당 천공장 1.3m에 잔공이 0.4~0.6m 발생하여 실굴 진장은 평균 0.8m에 불과했다는 현장 감리자 (현대 엔지니어링)의 설명이다. 그간의 실시했던 수차의 실험 발파를 통해서 얻은 자료를 가지고 그 원인을 분석한 바 다음과 같이 정의하여 본다.

첫째 ; 이와 같은 초경암에는 사용폭약도 경암용을 사용해야함에도 불구하고 우리나라에는 함수폭약 (3,900m/sec) 단일종으로 공급되기 때문에 부득이 최소화항선(Burden)과 공간거리(Spacing)을 정상거리 보다 20~30%줄여서 천공하여 이를 보안함과 동시에 중간에 빈공(Empty Hole)를 넣도록 해야한다.

둘째 ; 현재 사용되고 있는 착암기는 소형 TY-24 Jagleg으로 채탄굴진용으로 초경암에다 초경암용 비트(Bit)인 스위트 비트를 사용하여 종래의 V-Cut 천공방식을 고집하고 있으나 이와 같은 불합리성은 결과적으로 천공시간의 낭비, 공사비의 증대를 비롯하여 잔공을 0.4~0.6m 남김으로서 발생하는 막장 상부의 파쇄상태 조성은 차후자보 보강은 물론 터널 유지 안전에 큰 문제를 자초하는 결과를 가져오고 있는 실정이다. 조사자가 시험기간 동안 천공의 적합여부를 확인하기 위해서 막장을 탐사시 천공비트(Rod-7/8")가 2~3개 천공위치에 빠지 못해



꽃혀서 그대로 버려져 있는 것을 보고 이는 비단 이현장만의 문제가 아니고 전반적인 문제이지만 정말 앞으로 이는 터널 공사에 꼭 짚고 넘어가야할 중대한 문제고 우리나라도 발자가 수차 정부에다 건의 한대로 단분 잠보(38mm-Single Jumbo-Drill)도입으로 천공, 장약, 록볼트 삽입(Rock Bolt) 및 쇼트크리트(Shot Crete)작업의 안전작업등의 자동화가 이루어져야 될 것으로 사료된다.

셋째 ; 그간의 진동기록치일지는 평균 PPV 0.3cm/sec에 불과한데 주민들은 왜 진동으로 집이 금이 갔다고 진정을 하는가? 그간 6일 동안 시험발파시 입회한 주민들은 한결같이 진즉 시험발파시와 같이 발파만 한다면은 우리동네 지하철이 들어 온다는데 왜 진정을 하고 항의를 하겠는가? 이에 대한 대답은 이렇다. 상술한바와 같이 전단면 발파로 잔공이 많이 발생하다 그리고 보다 큰 원인은 최소저항선거리와 공간거리가 적정치 못하여 잔공이 발생함과 동시에 진동치도 올라 갔으며 편마암의 초경암으로 탄성파속도가 빨라짐으로 진동치가 높아지게 된 복합적인 결과라 사료되나이다.

넷째 ; 진동기록치일지는 진동허용치를 초과한 것이 없다. 진동치, 지발당장약량 및 폭원간의 거리 함수관계는 유침 실험식과 같이 진동치와 거리는 반비례한다. 따라서 계측지점은 언제나 폭원과의 최거리에 있는 주택가를 택해야 하며 “센사” 위치는 동일 암반내지 지반위에다 놓고 계측함이 원칙이며 부득이한 경우에는 “세멘트콩크리트”상에다 놓아야 한다. 시공자 계측자의 증언에 의하면 적당한 장소가 없어서 최거리에서 측정을 하지 못한 때도 있었다는 말이다. 조사자의 측정 위치는 직선거리 60m인데 비하여 시공자계측자의 직선거리 위치는 100m 정도였다는 증언이다.

다섯째 ; 당초 감독관의 지시도 있음을 감안 양자 대비차 당학회 Pattern전단면 시험을 시도하였으나 주민들의 완강한 거부로 인하여 즉신식이든 구식이든 전단면 발파시험을 통해 우리들(주민)로 하여금 시인해달라는 이야기에

불과하며 그것 뿐만이 아니라 지금 금이 있는데 전단면 발파로 간 금을 더 크게 하는데는 누가 책임을 지는거냐는 등 반대로 실시하지 못했음.

여섯째 ; 불안전폭파(不安全爆破)시는 잔공(殘孔)이 생기고 진동은 커진다. 폭약이 공저(孔底)의 밀폐속에서 자체소유의 산소에 의해서 폭파시 영역에는 폭갱권, 파쇄권, 탄성권으로 분류되나 그 에너지는(Energy)파쇄, 탄성과 및 발파음으로 나타난다. 즉 적정폭약량, 최저저항선과 공간거리의 적정등 즉 적정등 완비시는 완폭(完爆)현상으로 되며 발파후 잔공(殘孔)없이 천공장과 굴진장이 거의 같으나 최저저항선과 공간거리가 적정하지 못하고 초경암에 맞지않는 저속폭약(低速爆藥)을 사용시는 폭파 에너지는 압파쇄보다는 탄성과 및 발파음으로 전환되며 막장의 잔공은 굴진장의 반절에 달하고 진동치는 크게 상승하는 결과를 가져온다고 볼 수 있다. 따라서 터널의 심빼기(Cut)는 평행형(Para-cut)을 채택하여 최저저항선(Burden)과 공간거리(Spacing)를 정확히 천공함으로써 발파후 잔공(殘孔 Footleg)을 최소화한다.

#### 4-2 대책방안

첫째 ; 시험결과에도 나와 있는 바와 같이 주택가 통과시는 전단면을 반단면으로 함을 원칙으로하고 천공방식은 당학회 추천 Pattern과 같이 평행심빼기(Para-Cut) 천공기다, 빈공을 추가하고 최저 저항거리와 공간거리를 반드시 엄수토록 할 것.

둘째 ; 앞으로 발파시는 주민대표 입회하에 하는 것을 권장하며 측정위치의 최거리 주택앞 마당을 택할 것.

셋째 ; 터널내에 2~3단계 통풍차단(담료)을 설치 발파음의 허용치를 넘지 않게할 것.

#### 4-3 정밀발파의 특징

- 도심지 발파는 지표면에 미치는 국부적 진동으로 폭원으로 부터 멀어짐에 따라 1.5~2.0

승 감쇄현상을 나타낸다.

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

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

- 주파수는 장약량이 커질수록 낮아지며 경암일 수록 높아진다.

- 변위진폭은 장약량이 커질수록 커지며 경암일 수록 작아진다.

- 거리에 의한 진동 감쇠는 경암보다는 연암이 현저하며, 원거리에는 파급하지 않는다. 또한 여러 암층을 지날수록 감쇄는 커진다.

- 측정거리가 길어지면 고주파는 감쇄되고 저주파만이 계속되어 적합도는 상대적으로 높아진다.

- K값은 거리가 길어질 수록 폭약의 위력이 커질수록 증가하는 경향을 보인다.

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

#### 1) 진동경감 대책

- 암반은 암질에 따라 그 파쇄에 최적의 표준장약(kg/m<sup>2</sup>)이 있으므로 반드시 표준발파를 통해서 얻어내야 하며 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.

- Cut 주변의 공공(空孔)은 진동 및 발파음의

저감 효과를 내며 M/S전기뇌관 사용은 상호 간섭에 의해 전체적으로 진동감소를 가져온다.

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

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

#### 4-4 정밀발파 작업지침

1) 發破作業은 A와 B로 區分한다.

2) 穿空은 小型盤岩機(ビット徑 38mm)를 使用 para-cut 公法에 따라 穿孔하고 지렛대 및 줄자를 利用하여 最少抵抗線(Burden)과 空間距離(Space) 및 穿孔長을 確認하여 正確을 期할 것.

3) 裝藥前 Flow Pipe로 穿孔홀 속의 殘물을 除去하여 完爆에 萬全을 期할 것.

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

5) 電氣雷管의 結線方式은 Wide-Spread로 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.

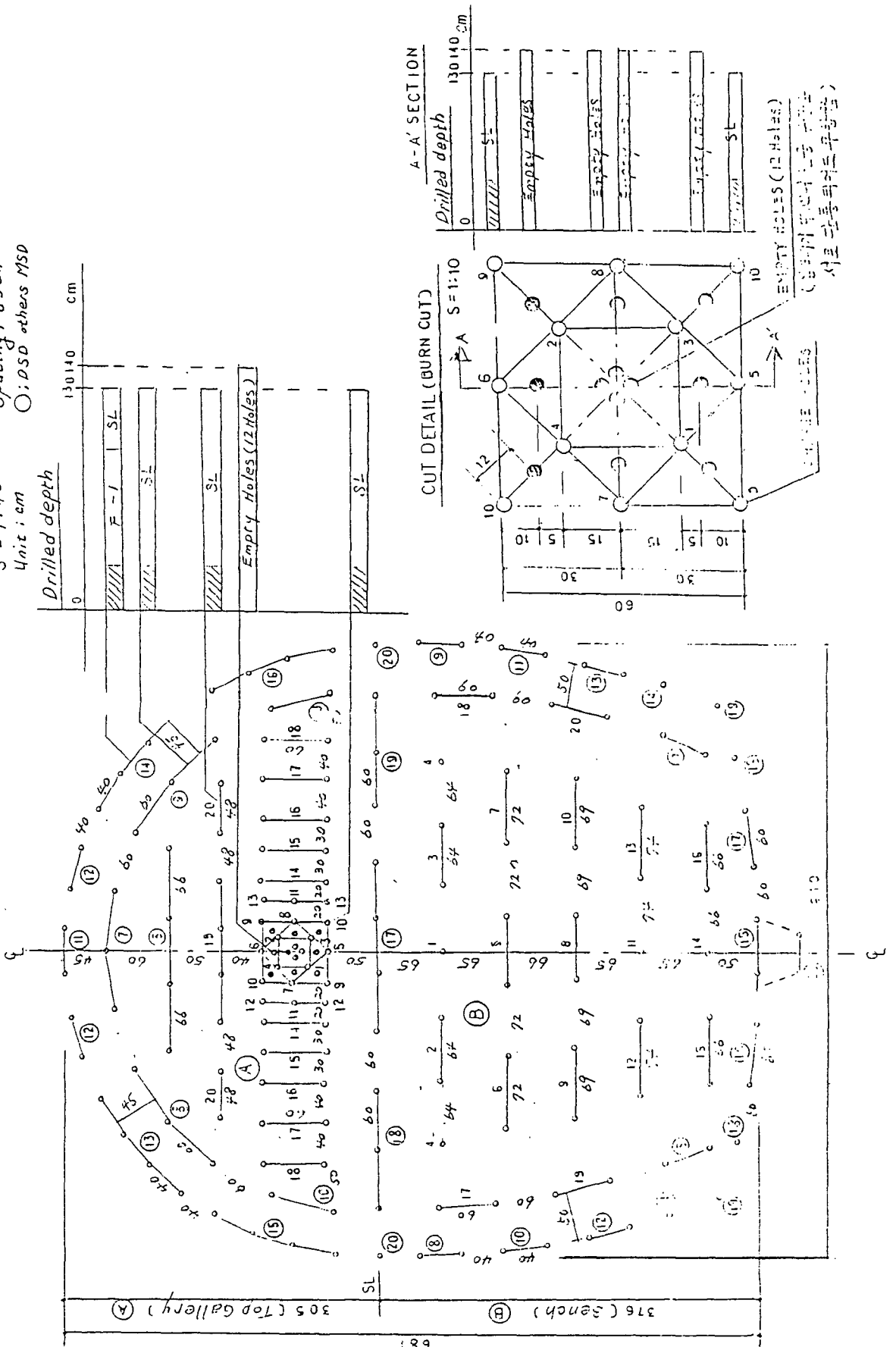
8) 發破振動 許容基準値는 서울地下鐵公社 規準에 依한 住宅街 適用 0.5cm/sec보다 弱한 0.4cm/sec를 擇한다. 人間이 느끼기 始作하는 振動値는 0.2cm/sec이다.

# 8-6 소徑 Tunnel DRILLING & IGNITION PATTERN (Straight)

구경암 (피파암)

by Dr. Ginn Hub  
 S = 1 : 40  
 Unit : cm  
 O : DSD others MSD

PAGE : 1



8-6 工區 Tunnel(Straight)

CHARGE CALCULATION

국경암(편마암)

DRILLED DEPTH	1.3m	DETONATOR	164pcs
ADVANCE	1.2m	CHARGE	61.0kg
NUMBER OF HOLES	176 Holes	SPECIFIC DETONATOR	3.75pcs /m <sup>3</sup>
TOTAL DRILLED DEPTH	230m	SPECIFIC DRILLED DEPTH	5.26m /m <sup>3</sup>
FACE AREA	36.478m <sup>2</sup>	SPECIFIC CHARGE	1.394kg /m <sup>3</sup>
EXCAVATED SOLID ROCK OF FULL FACE	43.774m <sup>3</sup>		

Face	Round	Classifi- cation	Cap No.	Number of Hole	Amount of Charge						Remarks	
					Slurry K-100		F-1		F-2			Total
					φ 25 x 433 x 250	mm mm g / pc	φ 17 x 510 x 425	mm mm g / pc	φ x x	mm mm g / pc		
					per hole	sub- total	per hole	sub- total	per hole	sub- total		
hole	pcs	pcs	pcs	pcs	pcs	pcs	g					
Top Gallery		Cut Holes	MS 1~4	4	2	8					2,000	
		Cut Spreader H.	5~10	8	2	16					4,000	
		Stopping H.	11~20	34	1.5	51					12,750	
			DS 6~10	17	1.5	25.5					6,375	
		F-1 Lines	11~16	22	1/2	11	1	22			5,500	
		Foot H.	17~20	12	2	24					6,000	
		Empty H.	-	(12)		-	-	-			-	
		Sub Total	-	(12) 97 109		pcs 135.5 33,875g		pcs 22 2,750g			36,625g 36.625kg	
Bench	B	Stopping H.	MS1~20	37	1.5	55.5					13,875	
			DS 6~7	4	1.5	6					1,500	
		F-1 Lines	8~14	14	1/2	7	1	14			3,500	
		Foot H.	15~19	10	2	20					5,000	
			20	2	1	2					500	
		Sub Total	-	67 67		90.5pcs 22,625g		14pcs 1,750pcs			24,375kg 24,375kg	
Full Face	-	Total	-	(12) 164 176		226pcs 56,500g		36pcs 4,500g			61,000g 61kg	

〈建設構造物分野〉

종합진단 의견서

1993년 5월 현재 서울지하철 8호선 6공구의 지하철 터널 공사는 NATM 공법으로 산성역 기점 수평거리 238m를 완료하고 있는 상태에 있다.

그간 주민으로부터 공사로 인한 발파 진동으로 지상 건물에 하자를 미칠것을 우려하는 진정이 들어와 수정구 산성동 363-369 소재 근린생활시설 용도인 지하1층, 지상4층, RC건물과 산성동 848소재 성남 직업훈련원 직원아파트 건물에 대하여 터널공사로 인한 건물의 가해(加害) 가능성을 조사하였다.

지하터널로 인하여 건물에 하자를 발생케 할 수 있는 요인은 다음 3가지로 압축할 수 있다.

가. 지하에 공동(空洞-void)을 설치함으로써 지반의 침하를 유발하였는지의 여부

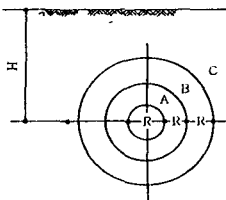
나. 혹 공사중 지하수를 빼냄으로서 유로(流路)를 형성, 건물 기초지반의 침하를 발생케 하였는지의 여부

다. 터널 굴착시의 발파 작업으로 인하여 그 진동 충격과가 기존 기초의 구체 및 마감부위에 미치어 균열을 발생케 하였는지의 여부 등인데

이상 세가지중 한가지 이상이 겹쳐 건물에 가해(加害)되었는지를 공학(工學)적으로 조사 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 지하 깊이 60m를 관통하는 터널은 지상 건물 기초와는 60m이상 격리되어 지중에 공동(空洞)이 있다손 치더라도 아-치 현상으로 지상 건물에 아무 영향은 미치지 못한다.

일반적으로 암질 지반에서는 지중 공동의 직경을 R이라 할때 그림과 같이 공동 외벽에서 부터 2R이상 떨어진 경우는 타 구조물에 영향을 미치지 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 R거리 만큼은 터널에 다소의 영향을 줄 수 있으나 외부 구조물의 특별한 사전 보강 또는 정밀 시공으로 영향을 최소화할 수 있는 영역

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

(2) 이지대의 지하수는 지하 6~7m에 존재하는바 수직구 및 터널공사시 터널주벽(周壁)에 차수벽을 설치하였고 또 실제 공사시 지하수의 용출이 없었으므로 지하수 일탈(逸脫)로 인한 주변 건물 기초의 침하 유발은 고려할 수 없다.

(3) 공사시 시행하는 발파 진동은 주변 건물에 영향을 끼치지 않도록 소량다발(少量多發)의 원칙하에 시행하는 것이 관례인바 금번 시행한 단면 시험발파를 통해서 계측된 진동 기록치는 0.3cm/sec 이하로서 진동허용치 0.4cm/sec를 초과하지 않아 터널 발파 작업으로 인한 진동 영향이 지상 건물에 영향을 미치지 않는 것으로 판정되나 이미 시행한 전단면 발파의 기록치중 최고치는 0.35cm/sec로서 이는 이 건물 최단 사선거리 72m 지점에서 계측한 기록으로 진동허용치 0.4cm/sec에 근사하게 된다.

따라서 지난 발파작업으로 인한 진동 영향은 터널 직상부의 지상건물에는 이미 나 있는 실금(hair crack)을 증폭한 것으로 사료되나 새로이 실금을 발생시킬 정도는 아닌것으로 판단한다.

금번 진단하는 두 건물은 지하 발파 지점으로부터 각각 74m(근린생활시설건물) 및 86m(직업훈련원 사원아파트)가 떨어져 있어 이미 시행한 전단면(全斷面) 발파시의 최고진동치 0.35cm/sec를 적용하더라도 건물에 진동가해(加害)를 하였다는 증거는 사실상 없다.

앞으로의 공사는 시험발파 허용치인 0.3cm/sec를 넘지 않고 이상 진동량(異狀振動量)이 생기지 않는지의 여부를 확인하여 공사를 진행하여야 한다.

2층 - 84평 } 계 432평  
3층 - 84평 }  
4층 - 78평 }

## 1. 진단목적과 진단항목

### 1-1 진단의 목적

성남시 수정구 산성동 363-369 소재 대양빌딩 RC조, 지하1층, 지상4층, 연면적 432평 건물과 산성동 848소재 직업훈련원 사원아파트 RC조 지상1층, 지상5층 건물은 이 지대를 통과하는 지하 60m의 지하철 터널공사로 인하여 건물등에 균열이 발생할 우려가 있다는 주민의 진정에 따라 이 공사로 인하여 이미 건물들에 하자를 유발하였거나 앞으로 균열등 하자를 발생케할 소지가 있는지를 판단하고 본 지하철공사로 인한 피해일 경우 그 피해 정도와 보수 방법등을 제시한다.

- 4) 착공, 준공년월일 : 착공 1991. 10. 1.  
준공 1992. 4. 16.
- 5) 기초밀 토질 : 매립토, 풍화암, 연암, 경암의 순서로 형성되어 있음. 상수면은 지하 6m 임(시추 주상동 B-148 참조)

### 2-2 성남 직업훈련원 사원아파트(산성동 848 소재)

- 1) 건물용도 : 주거용
- 2) 구조 및 층수 : 철근콘크리트 벽식구조, 지하1층, 지상5층
- 3) 면 적 : 지하1층 - 174.5평  
지상1층 - 174.5평 } 계 1,047평  
2층 - 174.5평  
3층 - 174.5평  
4층 - 174.5평  
5층 - 174.5평

- 4) 주거형 : 17평형 50가구
- 5) 착공, 준공년월일 : 1978년도, 경년 15년
- 6) 기초밀 토질 : 매립토, 풍화암, 연암, 경암의 순서로 형성되어 있음. 매립토층이 3~4m 깊이로 콘크리트 파일 기초로 한 것으로 전해지고 있음.

### • 터널공사 작업과정

- (가) 공사규모 : 수직구 - 2개소  
 $\Phi=9.5m$  D=52~57m  
터널 - L=422m  
 $\Phi=6.22m$  A=36.0m<sup>2</sup>  
환기구 - 4개소

- (나) 구조 : NATM 공법
- (다) 터널 라이닝 : t=30cm  
93.10~94. 6.30
- (라) 수직구 슷크리트 : t=15cm  
91.12~92. 8
- (마) 현재진도 : 93년 5월 현재  
터널 L=238m 완료

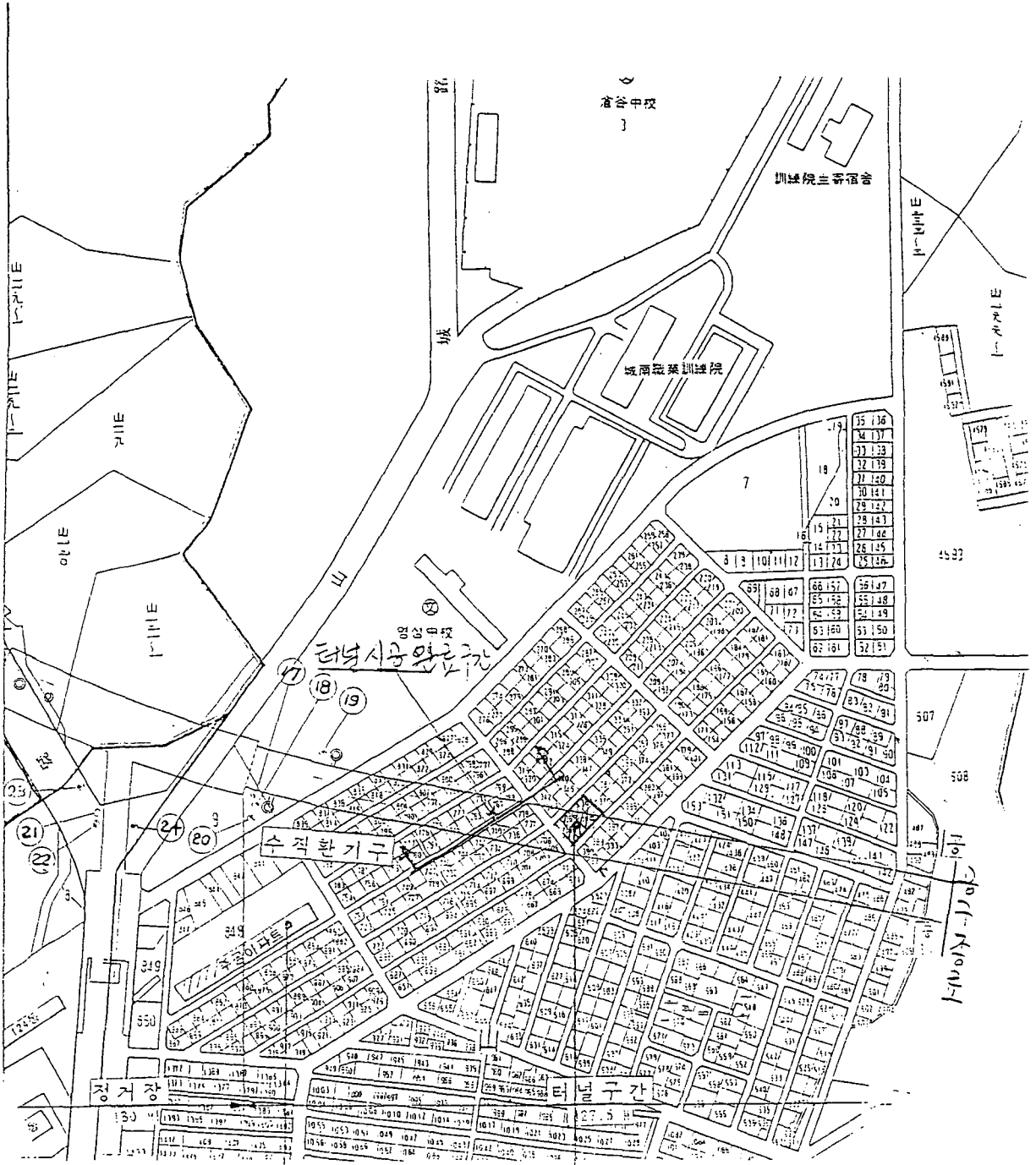
### 1-2 진단항목

- 1) 현황조사 : 건물 경년, 균열 상태 조사
- 2) 지질 상태 분석 : 기초밀 지질 상태
- 3) 지하터널과 건물과의 상관관계 조사
- 4) 공사로 인한 영향권 조사
- 5) 대책강구
  - 가) 보수방법
  - 나) 안전성 판정
- 6) 결 론

## 2. 현황조사

### 2-1 근린생활시설건물(대양빌딩 - 산성동 363-369 소재)

- 1) 건물용도 : 근린생활시설 및 간이 재봉공장(지하)
- 2) 구조 및 층수 : 철근콘크리트, 지하1층, 지상4층, 평슬래브지붕
- 3) 면 적 : 지하1층 - 102평 }  
지상1층 - 84평 }

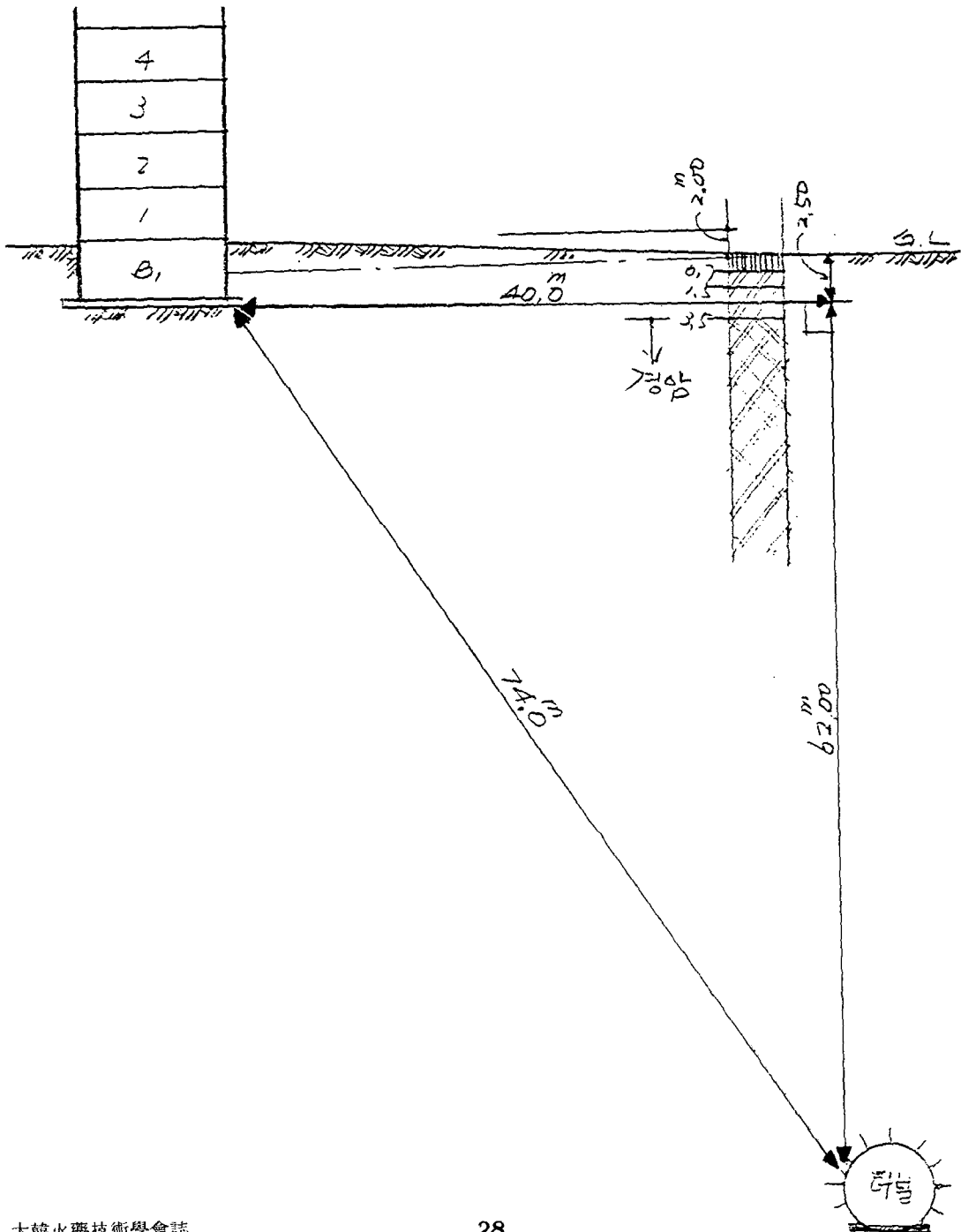


직업훈련원APT

대학시공연구소

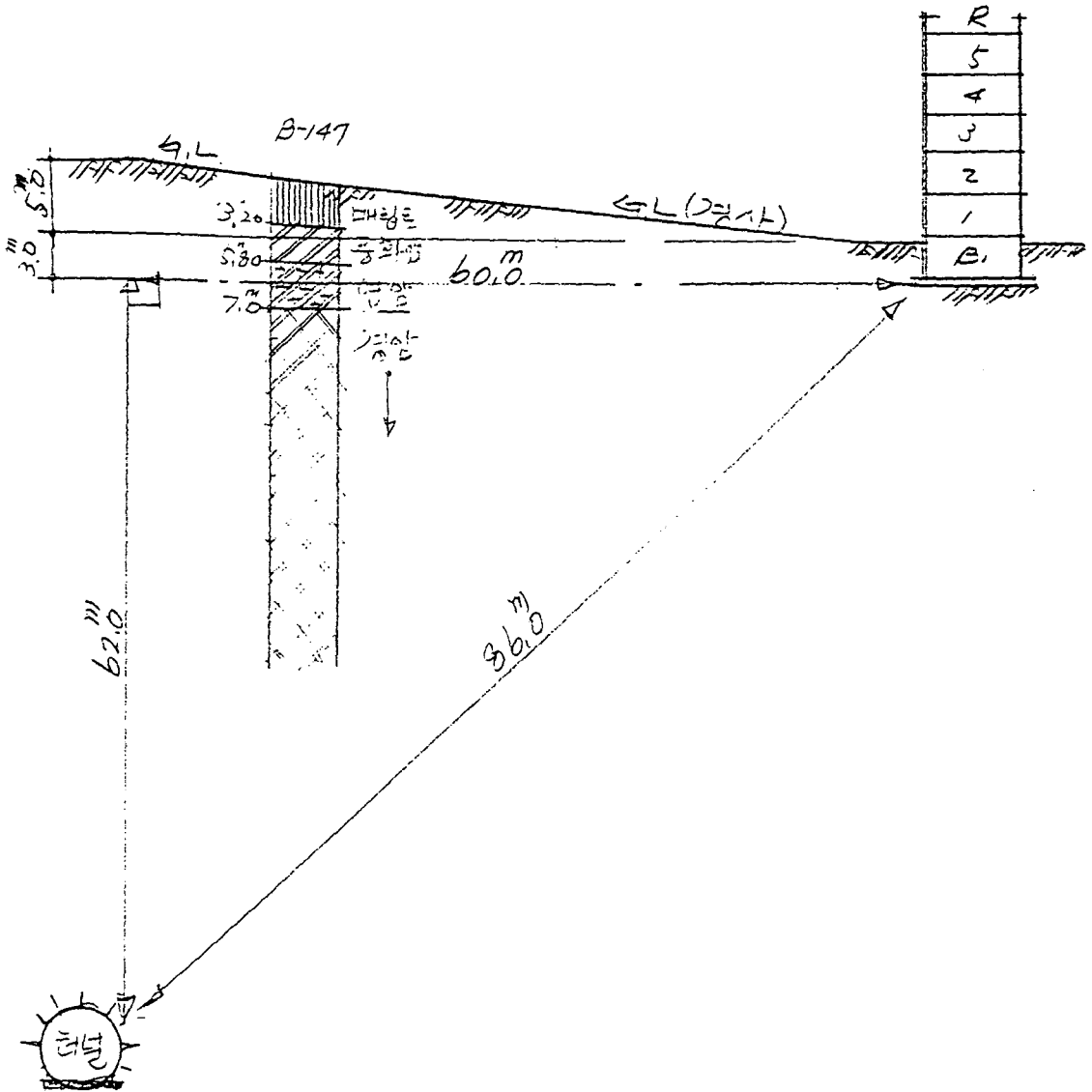
터널, 피해건물 위치도

4-2 지하터널과 진단건물의 상관도  
 1) 근린생활시설 건물(대양빌딩)





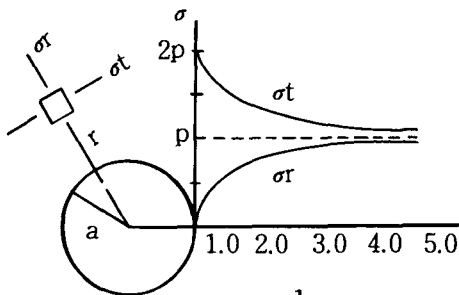
2) 직업훈련소 사원아파트



(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.

(1) 彈性限度內에서 應力狀態



벽면에서의 거리( $\frac{1}{r} = r/a$ ) 그림 (1)

즉 터널중심 방향(반경방향)의 응력( $\sigma_r$ )과 반경 방향의 직각 방향 응력( $\sigma_t$ )등은 터널 벽면에서의 거리가 멀어질수록 적어진다.

진단건물들은 터널 벽면에서의 최단 건물 기초까지의 거리가 74m 임으로

$$\frac{r}{a} = \frac{74.0}{3.5} = 21\text{배가 되어}$$

그림 (1)에서 본다면 응력의 영향은 거의 없다.

2) 연암, 경암내에 터널을 굴착할 때 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 진동속도 0.5cm/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 아무영향이 없는 것으로 본다.

서울 지하철 3,4호선의 NATM 시행구간의 FEM 해석결과에 따른 지보형태에서 안전율을 200% 감안하여 터널의 안전 보호권을 설정

한 한도는 아래표와 같다.

터널 形狀	土質狀態	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	20 cm	3 m	6 m
	風化岩	15 "	3 "	6 "
	軟 岩	10 "	2 "	4 "
	硬 岩	10 "	-	4 "
複線	風化土	25 cm	3 m	6 m
	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 터널 굴착으로 인한 외주 구조물의 지반이 침할수 있는 근거는 없다.

4) 지하수의 영향

이 지대는 지표밑 6.0m~7.0m에 지하상수면이 존재한다.(시추주상도에는 1.5~1.8m) 수직구는 외주벽에 연하여 t=15cm의 Shotcrete를 주입하였고 Rock Bolt D=25m/m L=2.0m를 1.0m 간격으로 타설하여 현재 상부의 지하수가 누수되고 있지 않고 있으며 터널은 초경암(1800kg/cm<sup>2</sup>)내를 통과함으로 지하수의 용출이 없으며 t=30cm의 콘크리트 라이닝이 시공됨으로 지하수의 하강에 의한 건물의 침하현상은 없는 것으로 판단함.

5. 보수 보강 대책

5-1 구조체 균열상태

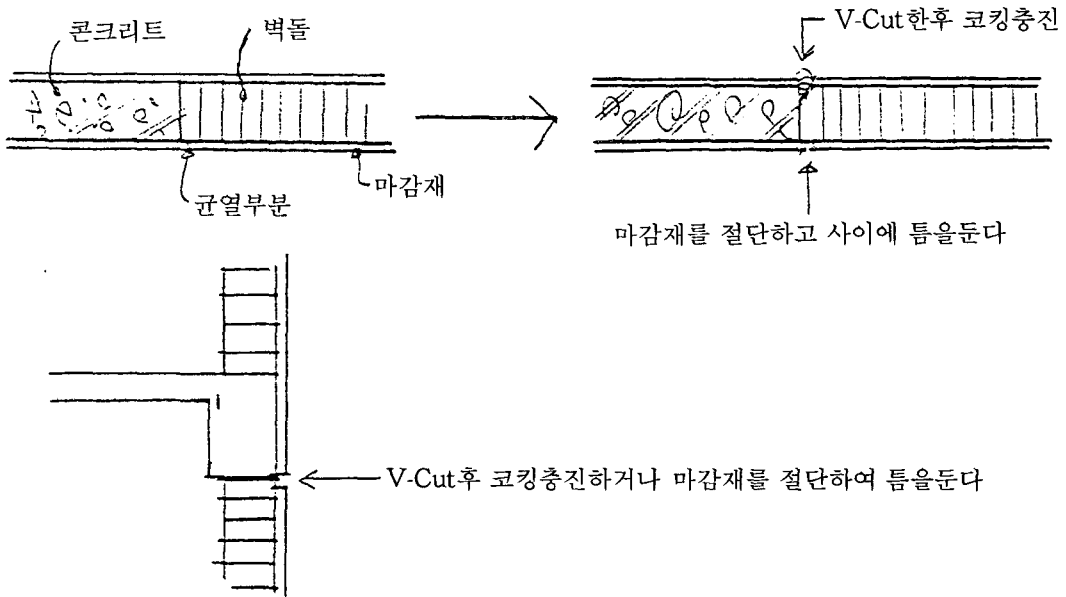
두 건물의 하자 상태를 관찰할때(사진참조) 주로 벽체의 이질재료 접속부(콘크리트와 벽돌 벽 사이)의 불규칙 균열로 균열폭이 미세하고 창문모서리의 사선균열과 콘크리트 보 밀선에 쌓인 시멘트 벽돌벽 사이의 수평균열 등이다.

산성동 363-369 소재 근린생활시설 건물은 92년 4월에 준공된 건물임으로 이 건물 4층의 목재 천정에 마감된 목재의 틈 벌어짐은 목재의 흡수율이 많은 탓으로 판단된다. 발파 진동은 밀도

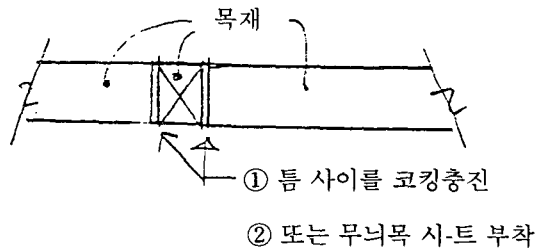
가 강한 암석 콘크리트 재료에는 전달이 예민하다. 달대에 매달린 목재 구조부에 진동이 미쳐 틈벌어짐이 균일하게 생긴다는 것은 상식적으로 생각할 수 없다.

5-2 보수방법

1) 콘크리트와 벽돌벽 사이



2) 목재



6. 결 론

지하철 터널 직상의 건물은 지하철 단면의 전 단면(全斷面) 발파시 이미가 있는 균열에 다소의 영향을 미쳤을 것으로 판단되나 이로 인한 새로운 균열을 유발하지는 않는 것으로 본다.

결론적으로는 발파 진동으로 인한 결정적인 이상(異狀) 균열 현상이 없으므로 건물이 가지고 있는 원래적인 균열과 지하철 진동으로 인한 다소의 균열 진행은 부인할 수 없는 것이므로 터널 직상부 부근의 건물 하자에 대하여는 공사 시행자의 성의 있는 보수가 요구된다.