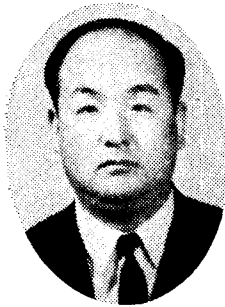


〈論 文〉

地下鐵建設에 따른 文化財 保護와 東大門驛舍施工 報告書(1)



(Study on the measurement of blasting vibration response in construction a subway station at East gate of cultural treasure by Choi, Sang-Yol P.E, Ree, Soo Bok Dr. Ginn, Huh Chai, Soo-Yun P.E.)

서울地下鐵公社 設計室長 崔 相 烈*
工事部長 李 秀 馥*
研開工博 許 填*
大林産業(株) 412工區所長 蔡 洙 連

Abstract

The East gate station area is 205M long and 24m deep which is located 13 meter in front of cultural treasure east gate.

The area to be excavated by blasting is composed of granite rocks from 10M depth to 25M. Surface earth extends to up 10M depth.

This job site has in involves havy traffic congestion such as over 10,000 cars passing in rush hour where closing No 1 line of subway running 3 minutes head way.

This east gate station construction is to be executed for the prevent of the setting down of underground level and blasting vibration effects to cultural treasure east gate. Therefore, the cultural treasure committee approved this execution subject to the following condition.

1. Subway geological foundation and measured natural frequency
2. Execution of water tight wall
3. Selection and test of damping material for wall and under rail
4. Measurement of monitoring system during the execution
5. Measurement of histogram system

The above two projects was carried out by Dr. Kwang team in KAIST and prof, Han in Hanyang University under accademic study contract. In the blasting work, for the pourpose of reduced vibration and low explosion velocity such as CCR, Kovex slurry. The 2nd, used electrical caps shall be delay cap and M/S caps in multi delay.

The 3rd, drilling pattern is bench cut in open cut and applied controll blasting in tunnelling and also shall drill anti-vibration holes as line drilling.

Ammount of powder charge is calculated according to the following ampirical

formula

$$V = KW^{0.57}D^{-1.7}$$

$$V = KW^{0.57}D^{-1.7}$$

$$1. 0.4 = 100 \times 260 \times 16^{-1.7}$$

$$2. 0.4 = 100 \times 470 \times 20^{-1.7}$$

K =Seoul metro subway

Co's coefficient

With slurry in open cut

D =Distance

16m, 20m

V =Vibration cm/sec

allowable Value

0.2cm/sec

Anti-Vibration hole is reduced $\frac{1}{2}$

W =delay charge, kg

Several measured blasting Vibration Values were

0.2cm/sec. by VMC and VM-12B Vibration Meter.

The result of measurement are as follows:

1. Histogram system

resultant data is flexible and appeared not to give any impact to the stone castle and timer-made architect the natural frequency is 7.7Hz.

Record

Kinds Value	Stone castle	Timber architect, 3rd floor
max	0.1 mm	0.17
Average	0.02	0.05
min	0	0.01

2. Inclination of timber-made architect deformation varies greatly

with varied temperature and also inclined deformation went up to 0.8mm, There after returned to the original state.

3. Strain gage system

Wall earth pressure movement was within allowable value according to measurements by measured strain-gage on strut.

4. Measurement of underground water level

There measured not much differences in the level of underground water because of the execution of surface grouting

5. Inclinator Measurement

Measured value turned out to be 3~5mm at max, and it was not necessary to implement the precise survey of ground structure.

I. 緒 論

문화재인 동대문 앞 정차장은 총연장 $L=205m$

중 지하철 1호선 구간의 underpinning $L=64m$,

청계천측 지하상가의 under pinning $L=56m$ 와

동대문 정문앞의 open cut 구간 $L=85m$ 로 굴

착심도 $h=24m$ 이다.

문제의 open cut 구간은 문화재 보호구역 $L=50\text{m}$ 이내로 동대문 석축에서 $L=13\text{m}$ 로 지반 구성은 매립토층 $h=4\text{m}$, 연약한 점토층 $h=5\text{m}$ 와 심도 $10\text{m}\sim 25\text{m}$ 는 굳은 화강암층으로 동대문 보호대책의 가장 큰 암발파에 의한 동대문의 보호대책이었다. 동대문 로타리는 교통혼잡구간으로 Rush Hour에는 약 만대의 자동차가 질주하고 있으며 현재 진행중인 지하철 1호선 열차도 3분간으로 진행되고 있어 로터교통에 의한 현상의 진동이 크게 발생되고 있는 구간이다.

특히 동대문과 불과 2m 정도의 사이를 두고 열차 없이 질주하는 자동차의 노면교통 진동이 크게 동대문에 영향을 끼치고 있다.

이와같은 현 실정에서 동대문의 보호대책이 뒤따르게 되었고 1979년에 지하철 1호선 건설 당시에도 동대문과 남대문의 보호대책이 수립되기도 했다.

지하철 4호선의 건설에 따른 문화재인 동대문 보호대책은 지하철건설 기간중의 작업진동, 중장비 . 작업, H-pile 박기 굴착중의 지하수위 저하방지, 암발파시의 진동영향등 다각적인 방면에서 동대문에 아무런 손상이 없이 공사를 추진하는데 그 목적이 있다.

따라서 지하철공사에서는 보호대책에 따른 조사, 연구에 착수하였고 국내, 외의 전문 기술자가 참여하게 되었다.

동대문구간은 당초 1981.10 착공계획이었으나 이상과 같은 문화재 보호대책으로 1983.10에 굴착승인을 받아 현재 동대문에 아무런 손상이 없이 무사히 구조물 공사가 추진되고 있다.

문화재 보호대책으로

- 1) 동대문의 Model test에 의한 고유진동시험 실시 및 기초지반지층조사
- 2) 차수벽설치
- 3) 방진재의 구체적인 성분효과와 축정을 위한 재질별 비교실험실시
- 4) 공사구간 중 Monitoring system 실시
- 5) Histogram system 설치등 상시점검운영의 조건이었다.

이에따라 한국과학기술원(KAIST)의 현상진동 측정과 일본, 서독의 진동측정 전문기술자의 참여, 국내의 斯界교수들로 구성된 동대문 관리

위원회가 구성되어 측정분야의 한양대학교의 한응교 교수, 구조물고유진동과 지반 진동분야의 홍대 김형만 교수, 서울대 이기화 교수, 각국의 문화재보호 사례분야의 文化財委員인 서울대 이태영 교수들이 참여하게 되었다.

수많은 매스컴을 타고 동대문의 보호에 차질이 없도록 격려의 덕분으로 모든 계측에 이상이 없이 어려웠든 굴착공사가 완료되었다.

동대문은 사람을 진찰하는 청진기와 같이 수많은 줄들이 늘어져 계측실로 들어가고 있으며 실사이 없이 계측기는 움직이고 있다.

동대문 보호 진찰에 사용된 계측기. 경사계, 구조물 기동침하계, 간격변위계, 현상진동측정계, 지반지하수위 측정기, 토압변위계, 지중변위계 등이다.

본 동대문의 보호계측은 어느나라에서도 실시하여 보지 못한 새로운 계측기가 설치되어 있다고 1984.4.3에 동대문의 고유진동을 측정한 일본 동경공업대학교 小林啓美 교수는 찬탄을 한 일이 있었다.

이상과 같은 system으로 동대문은 완벽하게 보호되면서 2년 지연된 공기만회에 최선을 다하고 있다.

II. 東大門 保護를 위한 發破 設計

1. 發破振動 測定 單位 및 상관관계

振動 測定時 使用되는 物理量에는 變位, 速度 加速度 및 ISD 표준단위로서 dB 이 있으며 다음과 같이 定義된다.

變位: d

速度: $V=2\pi f d$

加速度: $a=4\pi^2 f^2 d$

(단, f 는 周波數)

한편, dB은 넓은 범위의 物理量을 작은 수의 범위내로 압축하여 表現할 수 있는 利點이 있으며 다음 式으로 定義된다.

$$\text{dB}=20 \log_{10} \frac{a_0}{a_r}$$

a_r : 기준량(reference)

a_0 : 測定值

一般的으로 發破振動은 速度로 表示하는데, 東大門의 경우 日製 振動測定機(VM-12B) 및 美製 振動測定機(VME)를 使用하였다.

VM-16은 振動加速度를 dB로 나타내며, VME는 振動速度를 ips 또는 cm/sec로 나타내 준다. 따라서 VM-16으로 測定한 結果値는 Tape Recorder에 수록하여 FFT를 利用하여 週波數를 알아낸 다음 速度로 환산한다.

즉 다음 式에서

$$dB = 20 \log_{10} \frac{a_0}{a_r} = 20 \log_{10} \frac{2\pi f V}{10^{-5}}$$

$$a_r : 10^{-5} \text{m/sec}^2$$

V : 速度

dB 값을 測定하고 週波數 f를 FFT로부터 알아내서 振動速度 V를 계산한다.

2. 振動 許容值 設定

振動 許容值는 독일의 Vornorm DIN Teil 3를 기준하였다. 여기에는 文化財에 관한 規定이 있는데 Resulting Velocity를 使用하여 0.2cm/sec를 許容值로 하고 있다.

이는 同一한 時點에서 測定된 서로 수직인 3方向 成分으로부터 계산되어 진다.

(가) Resulting Velocity

地盤에서의 한 점에서 振動速度는 3方向의 成分을 가지므로 이들의 合成值인 V_R (resulting velocity)은 다음과 같이 주어진다.

$$V_R = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

그러나 실제 振動 測定機에 나타나는 것은 4成分別 振動速度로서 V_x , V_y , V_z 가 나타난다.

(나) 振動 許容值 환산

振動 許容值는 0.2cm/sec인데 이것은 V_R 을 의미한다. 따라서 振動 測定機로부터 얻어지는 成分別 速度로 規制해야 하므로 成分別 速度는 許容值의 $1/\sqrt{3}$ 배 이내이던 된다.

예를들면 發破振動의 경우 中心週波數가 50Hz 정도이므로,

$$dB = 20 \log_{10} \frac{a_0}{a_r} = 20 \log_{10} \frac{2\pi f V_R}{a_r \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3}}$$

$$= 20 \log_{10} \frac{2\pi \times 50 \times 0.2 \times 10^{-2}}{10^{-5} \times \sqrt{6}}$$

$$\approx 88 \text{ dB}$$

이 된다.

여기서,

$$f = 50 \text{ Hz}, V_R = 0.2 \times 10^{-2} \text{ m/sec},$$

$$a_r = 10^{-5} \text{ m/sec}^2$$

이다.

즉 振動 加速度 레벨로 88dB 이하이던 振動 速度로 0.2cm/sec 以內가 된다.

3. 東大門 振動 測定 結果

(가) 振動 모니터링 장비

- 加速度計 PV-83A
- Vibration level meter VM-12B
- Level recorder ORL-22
- 速度測定機 VME
- Vibrator system
- Dscilloscope
- Tape recorder

(나) 振動 測定 結果

먼저 現象振動에 있어서 대부분 그 中心週波數가 15Hz 정도였다. 이를 地盤에서의 許容值인 0.2cm/sec를 利用하여 dB로 환산하면,

$$dB = 20 \log_{10} \frac{0.2 \times 10^{-2} \times 2\pi \times 15}{10^{-5} \times \sqrt{6}} = 77.7 \text{ dB}$$

정도가 된다.

수차례에 걸친 振動 測定 結果 69dB이 最高이므로 許容值에 미달되는 수준이었다.

發破振動의 경우는 대부분 88dB에 미달되었으나 이를 초과하는 경우 여러번의 試驗發破를 通하여 振動值를 88dB 이하로 감소시켜 文化財인 東大門 보호에 功력을 기울였다.

速度로 나타내는 VME 振動 測定 結果 記錄紙가 그림 1에 참고로 나타나 있다.

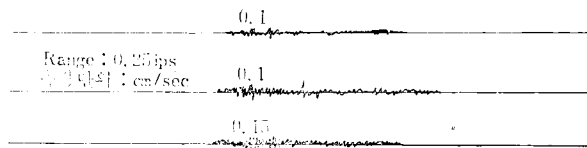


그림 1. VME 振動 測定 記錄紙

4. 發破 패턴 設計

가. 發破設計의 目的

1. 鍾路 6街 停車場이 東大門과 $L=13m$ 의 距離에 떨어져있어 寶物 1號인 東大門의 發破振動에 의한 影響을 考慮하고
2. 地下鐵 1號線과 地下商街 밑을 通過하는 區間에서는 既存 構造物에 대하여 發破로 因한 影響을 參酌하고
3. 梨大 附屬病院의 精密機器와 隣接된 擁壁등에 미치는 影響등에 대한 檢討와 여기에 適合한 防振發破作業 設計를 하는데 있다.

나. 發破設計 基準

1. 寶物 1號인 東大門附近은 Open cut 區間로 $L=13m$ 의 位置에서 發破時 許容振動値는 文化財管理局 指示에 의거 $0.28cm/sec(88dB)$ 로 制限發破기로 한다.

族工에 앞서서 東大門과 境界線間을 地下水로 因한 自然地盤沈下 防止를 위하여 Grouting 施工도 勘案해야 한다.

發破作業은 다음 設計圖와 作業指示書에 따르되 發破時는 반드시 發破振動記錄을 參酌하면서 許容值 範圍內에서 作業을 進行하여야 할 것이다.

施工順序는 다음과 같다.

1. $\phi 75mm \times 10m$ Line drilling 으로 防振遮斷孔을 穿孔한다. 孔內에는 Casing을 하고 作業이 完工된 후에는 Grouting 한다.
2. $\phi 40mm \times 2m$ 의 無裝填孔을 穿孔한다.
3. Control Blasting 의 F-1, F-2孔을 穿孔한 다음 pre-splitting 에 의한 孔間龜裂로서 振動遮斷壁을 만든다.
4. 이 遮斷壁을 自由面으로 하여 Bench $\phi 40mm \times 1m$ (길이) $\times W65cm \times$ 孔間隔 $75cm$ 로 下向發破한다.

다. 施工方法

1. Open cut 區間

- a. Line drilling 穿孔으로 防振遮斷孔 交通量이 $5,000$ 台/hr 로 複雜한 道路內에

서 깊이 $H=10m$ 로 穿孔하기가 困難하나 Crawler 또는 Wagon drill 로서 振動遮斷孔을 設置하여야 함.

- b. 上記 振動遮斷孔 內側에서는 Bench cut 方法을 擇하되 東大門에서 遠距離에서부터 發破着手토록 한다.

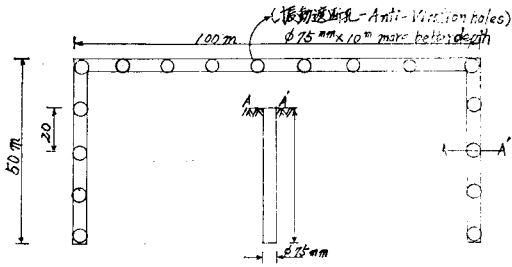


그림 2. 防振遮斷孔

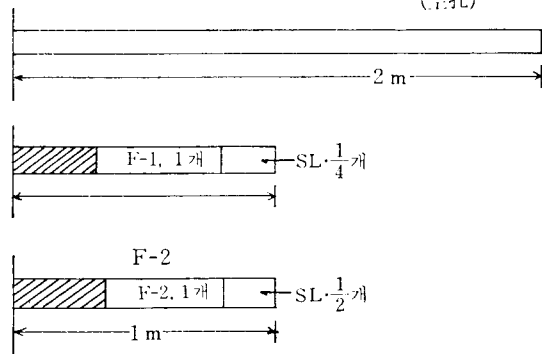
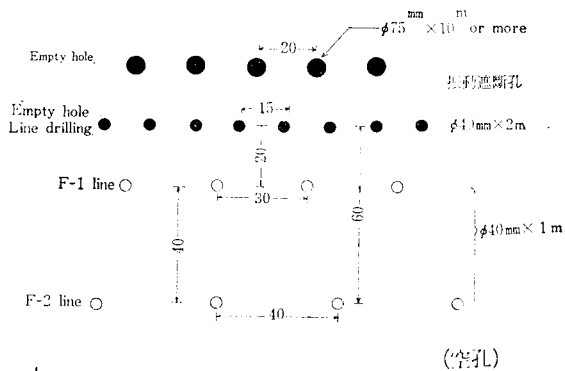
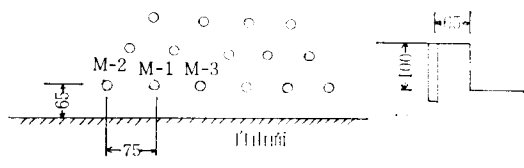


그림 3. Control blasting

每回發破時 點火雷管數는 3個로 하여 1組로 한다.



區分	算出根基	
1 回	Slurry or 초폭	112.5g×3孔×2個=675g
發破當	雷管	MS 3個
	穿孔長	孔當 1.2m×3=3.6m

그림 3. Bench Cut

(가) 동대문지반의 발파진동 허용치를 $a^{2cm}/sec = 88dB$ 로 KAIST 와 합의 설정하고 이를 dB 로 환산하면,

$$dB = 20 \log \frac{a}{a_0}$$

$$= 20 \left(5 + \log \frac{2\pi 50 (0.2 \times 10^{-2})}{\sqrt{2} \sqrt{3}} \right)$$

$$= 88dB$$

$$a = \text{가속도 } 2\pi f V$$

$$a_0 = \text{기준 가속도 } 10^{-5}$$

$$f = \text{주파수 } 50Hz$$

따라서 발파진동을 절감할 목적으로 동대문에서 13m 떨어진 H-pile 안쪽으로 $\phi 45m/m$ UP 방진공을 간격 15~20cm, 길이 10m 로 시공함으로써 다음과 같이 약 1/2의 진동을 절감시켰다.

(나) 방진공에 의한 진동절감 효과근거

이론적으로 진동절감 효과를 계산한다는 것은 쉬운일은 아니나 吉井 모형실험 chart 를 이용하면 다음과 같다.

진동을 1/2로 경감시키기 위해서는 chart 에서

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{3}{13} \times 1/4 + 1/4 = \frac{16}{52} \div 0.3$$

이 된다.

h : 방진구의 깊이

λ : 파장

① 표면파속도:

$$v: 200m/sec \quad f=10Hz \quad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{200}{10} = 20$$

따라서

$$h = 0.3\lambda = 6m$$

즉 방진구는 전체가 공간으로 되어있다는 가정하에 계산된 것이다.

실제로는 이러한 굴착이 15cm 空 β 으로 空孔을 천공하여 방진한다. 따라서 완전한 방진효과를 낼 수 없으므로 약 50%정도의 안전율을 고

〈圖-1 防振溝의效果〉
吉井實驗 Chart

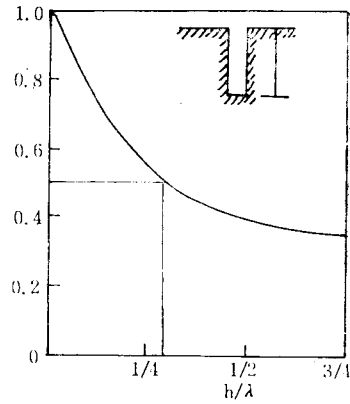


그림 4. 防振溝의 效果

려하면,

실제깊이 $H=12m$ 정도가 된다.

그리고 고주파 성분은 거리에 따른 감쇠가 크므로 특별히 주의할 필요가 없으며 특히 건물에 피해를 주는 주파수 대역은 낮은 주파수 대역이므로 저주파를 주의해야 한다.

이상 여러가지 條件을 감안하여 點火當 장약량은 다음과 같이 算出하였다.

진동허용치 0.2cm/sec 로 방진구를 시공함으로써 0.4cm/sec 가 가능하므로

$$V = KW^{0.57} D^{-1.7}$$

$$K=100 \text{ 서울 지하철상수 함수곡역 개착식}$$

$$D=\text{거리직선}$$

$$(i) 0.4 = 100 \times 260 \times 16^{-1.7}$$

$$(ii) 0.4 = 100 \times 470 \times 20^{-1.7}$$

$$16m(\text{地下 } 10, \text{ 地平 } 13)$$

$$20m(\text{地下 } 15, \text{ 地平 } 13)$$

6. 發破時的 留意事項

가) 試驗 發破結果 東大門에 미치는 影響中 가장 脆弱部인 여담부에서는 現在 許容值인 85 dB이 超過되고 있는바 여담부의 龜裂 增大를 勘案하여 여담부의 振動을 85dB 以內로 施工하여야 한다.

나) 覆工板위의 車輛振動과 地下鐵 1號線의 複合振動으로 東大門에 미치는 影響이 增大될 可能性이 크므로 試驗發破에 依한 試驗值보다

發破振動이 적게 發破를 推進하여야 한다.

나) 低周波數의 車輛振動으로 長期間 東大門에 미치는 影響이 累積되어 있는바 어느 時點에서 發破로 인한 衝擊이 作用될 可能性이 있으므로 微振動 化藥을 적극 使用토록 한다.

라) 1~3項의 條件을 充足시키기 위한 方案으로 東大門側 週邊에 防振孔을 設置하여 發生된 振動을 消滅시키는 施設이 必히 要求되며 防振孔에는 물의 流入을 막아 施工토록 한다.

7. 發破 作業

가) 特殊區間 發破工法

東大門 停車場 區間은 開削式으로서 寶物 第1號인 東大門 文化財를 保護하기 위하여 發破振動을 0.2cm/sec 以下로 하여 設計에 各별한 配慮를 하였다.

길이 90m 길이 25m 幅 32m의 停車場 掘削區間中 地表로부터 깊이 10m까지는 土砂層이며 그 以下는 發破對象이다. 따라서 東大門으로부터 水平으로 13m 떨어진 H-Pile 안쪽으로 70cm 떨어져서 20cm 間隔으로 孔徑 $\phi 75$ m/m 길이 16m의 防振溝를 穿孔하므로써 發破振動을 輕減시켰다. 停車場 幅 32m를 그림 1과 같이 東大門쪽에서부터 4區間으로 나누어 距離에 따른 Drilling & Ignition Pattern을 作成하였다.

그러나 여기서 留意해야 할 것은 2自由面을 만들기 위한 심빼기(CUT) 發破에 가장 慎重을 期하였고 防振溝의 役割은 初期作業에는 豫想한 대로 效果를 보았으나 深度가 깊어진 表土로부터 15m 以下에서는 防振溝에 地下水가 스며들어서 各孔에 PVC pipe에 스티노플을 插入하여 地下水의 流入을 막았다.

東大門은 로타리 役割을 하기 때문에 交通混雜이 極에 이르러 北쪽으로 5m 떨어진 곳에 地下鐵 1號線이 運行되어 地下鐵 1號線과 路面交通 振動의 合成振動인 現狀振動은 東大門 構造物 3層에서 80dB에 近接했기 때문에 發破時間이 極히 制限되어 發破는 一段 南北方向 交通을 遮斷하고 地下鐵 1號線 通過時差 4分間内の 條件을 맞추어 點火하는데까지 留意하여 許容 振動值를 넘지 않는 範圍에서 發破作業을 施行하

였다.

나) 自由面 發破와 Bench-cut 發破

그림 5-7及 表 1에서와 같이 掘削區間을 區分하여 位置에 따른 發破 Pattern과 裝藥量을 決定하며 東大門에 미치는 振動 Level을 測定하였다. 發破作業 原則인 底比重 底爆速에 따라 미치는 振動 Level를 每回마다 測定 그 結果를 分析 檢討하였다.

Bench-cut 掘削을 原則으로 하며 Bench-cut 掘削을 위하여 各 區間마다 길이 30m에 그림 2에서와 같이 自由面을 만들어 四方面으로 Bench-cut 作業을 하므로 作業效率의 向上과 振動 底下에 크게 도움이 되었다.

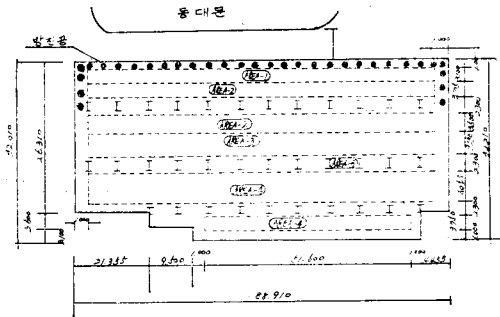


그림 5. 구간별 발파pattern
自由面掘削 Pattern(硬岩)

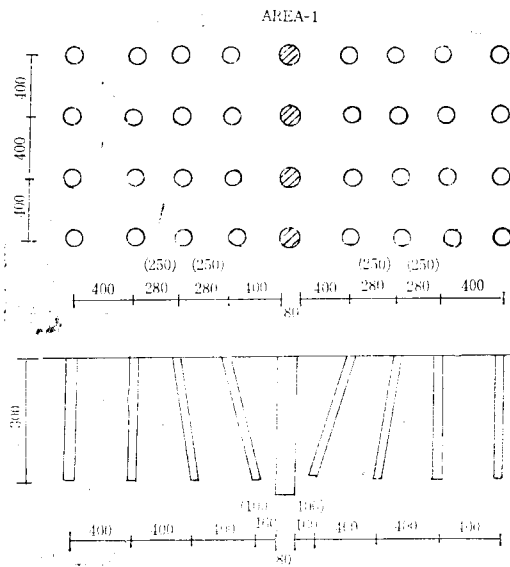


그림 6-1

表 1.

Bench Cut Dimension

Area No.	Rock Phase	Explosives (g)			hole clearance		Depth (m)	holes per delay	Caps	Remark
		CCR	Slurry	G.D.	Spacing (m)	Burden (m)				
1 width (3.10m)	Ⅲ	(160) 640			0.4	0.4	0.8	4	4	Bench-cut only
	Ⅱ	"			"	"	"	"	"	
	Ⅰ	"			"	"	"	"	"	
2 width (3.10m)	Ⅲ	"			"	"	"	"	"	V cut & Bench-cut
	Ⅱ		112.5		"	"	"	"	"	
	Ⅰ		"		"	"	"	"	"	
3 width (6.3m)	Ⅲ		(225) 900		0.65	0.6	1.2	"	MS 1-4	V cut & Bench-cut
	Ⅱ		"		"	"	"	"	"	
	Ⅰ		"		"	"	"	"	"	
4 width (6.05m)	Ⅱ		"		"	"	"	8	MS 1-8	V cut & Bench-cut
	Ⅰ			(112.5) 900	"	"	"	"	"	
5 width (2.3m)	Ⅱ	(80) 80			0.4	0.4	0.6	1	1	Bench-cut only
	Ⅰ	"			"	"	"	"	"	

Ⅰ : Hard Rock Ⅱ : Semihard Rock Ⅲ : Soft Rock Ⅳ : Weathered Rock Ⅴ : Sandy Soil
V cut/7.5m distance

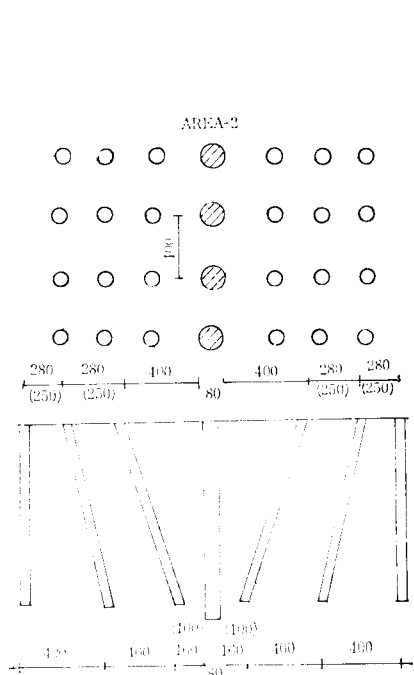


그림 6-2

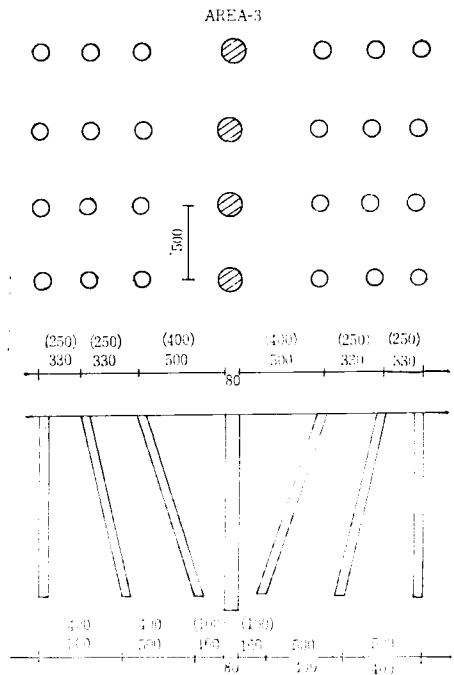


그림 6-3

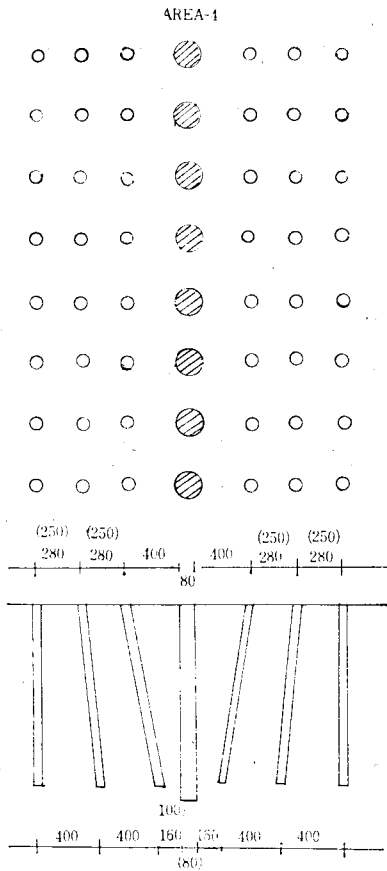


그림 6-4

Bench Cut Pattern 硬岩

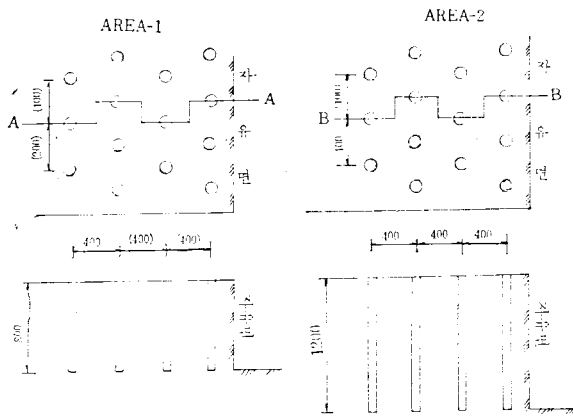


그림 7-1

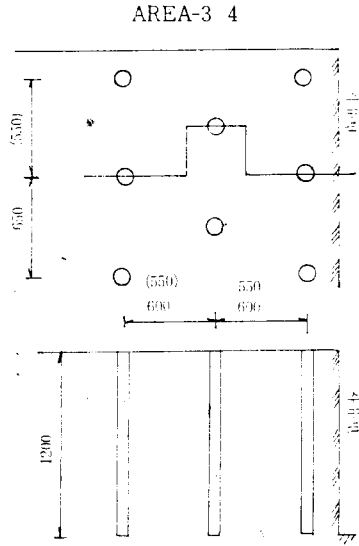


그림 7-2

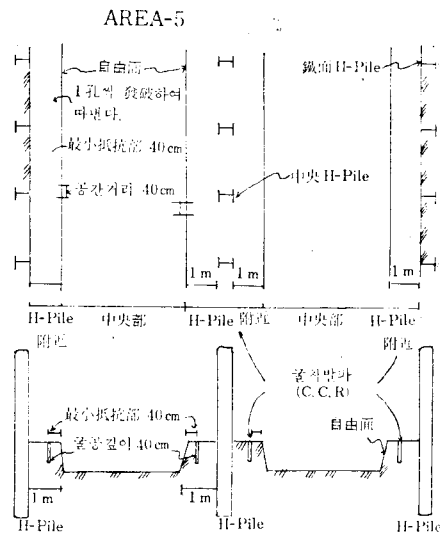


그림 7-3

(다) 一號線 밑 通過工事

運行中인 一號線과의 交叉地點 밑을 通過하는 터널掘鑿으로, 먼저 터널 上部에 5列의 防振孔을 $\phi 100\text{mm}$, 깊이 10m로 좌우로 50cm 간격으로 한 다음 2m \times 2m 크기의 터널 發破後 Bench

를 造成하여 兩側을 떨어낸다.

岩質은 節理나 龜裂이 전혀 없는 衣崗岩質의 硬岩으로서 最小低坑線과 孔間距離는 500 : 600 으로 하여 穿孔長은 1.0m로 하고 裝藥量은 Kovex 孔當 337.5g을 MS 雷管을 使用하여 發破振動에 格別한 主意를 한바 一號線은 물론 東大門에서 測定한 振動值가 許容值인 0.2cm/sec 를 넘지 않았다. 下部掘鑿後 上部의 防振孔은 Rock Jack으로 하나하나 떼어냈으며 支保는 鐵骨構造로 하였다.

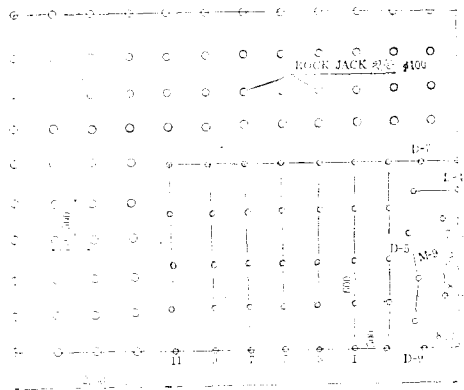
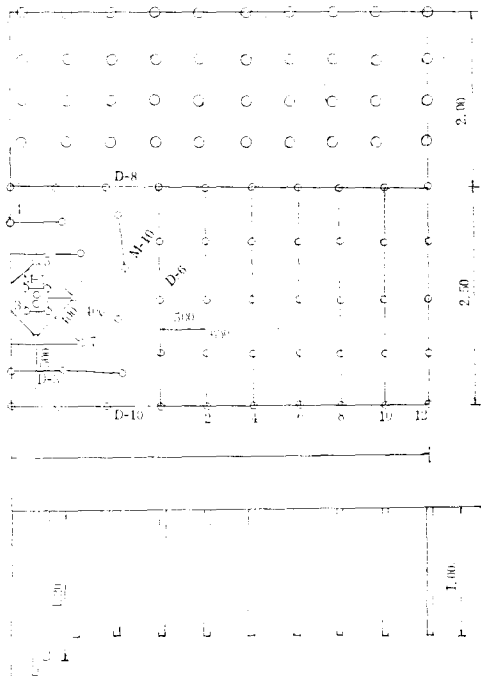
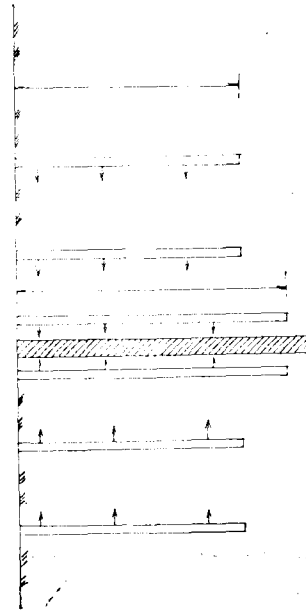


그림 7-4



一號線 下部 掘鑿 Pattern



- N NOTE: 1. M.S 1~4의 穿孔은 1.20m, 그외는 1.00m로 한다.
 2. M.S 1~8와 DCD 9~10은 孔當 450g의 Slurry를 裝藥하고 그외는 Slurry 337.5g을 裝藥한다.
 3. 공간격은 60cm, 最小저항선은 50cm로 한다.

8. 現狀 振動과 發破振動

가) 現狀 振動

a. 自動車 走行에 依해 發生된 振動

'82年 7月 工事 着手前 KAIST 調査는 그림 4~5와 같이 東大門 主要部分의 位置에서 自動車走行으로 미치는 振動影響을 推定하였다. 工事 着手前으로 道路上의 鋪裝된 狀態에서 自動車가 Asphalt 鋪裝面을 通行할때의 振動으로 道路面의 凹凸과 車種 重量及 走行速度에 따라 變化되며 이때 道路上에서 發生된 振動은 地層을

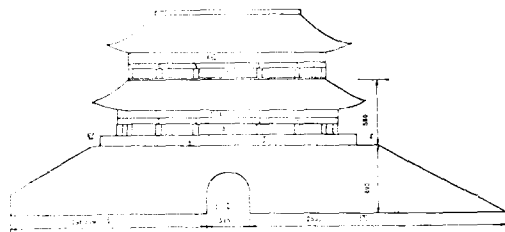


그림 8 속도계 및 가속도계 배치도(동대문 정면도)
 ①~⑤, ⑫ : 가속도계, ①~⑧ : 속도계

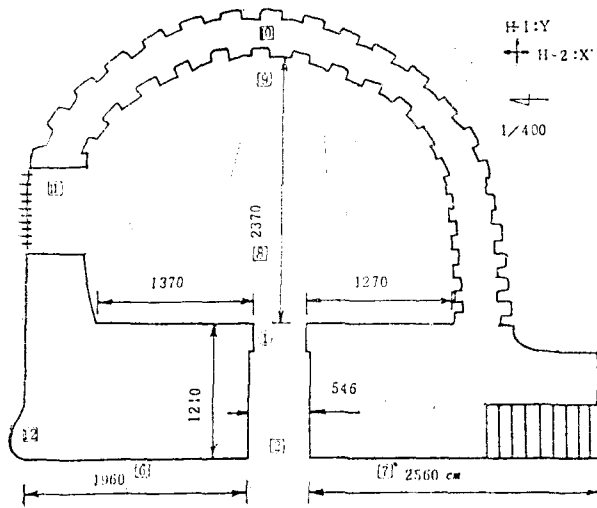


그림 9. 속도계 및 가속도계 배치현황(동대문 평면도)
 ①~⑫: 가속도계
 (단 지하철 진동 측정시 ①→⑫, ⑦→⑪로 위치를 이동했음)

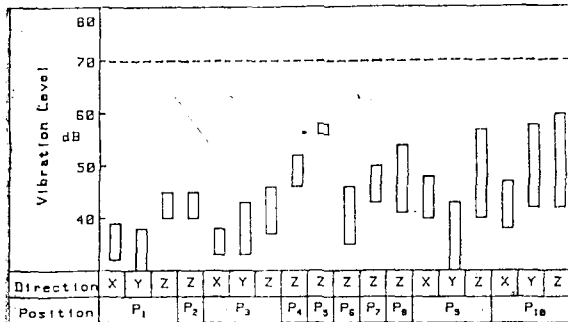


그림 10. 차량주행에 의한 각 지점에서의 진동레벨
 (측정시간: 7월 3일, PM3:00~3:30)

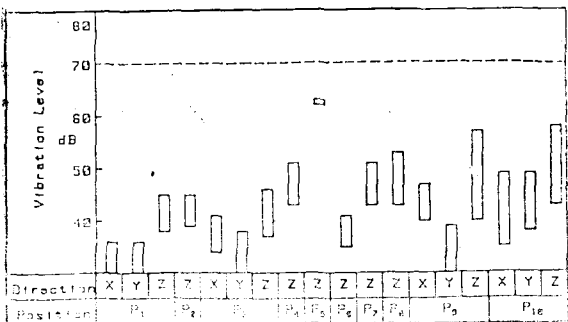


그림 11. 차량주행에 의한 동대문 각 측정지점에서의 진동레벨
 (측정시간: 7월 3일, PM7:00~7:30)

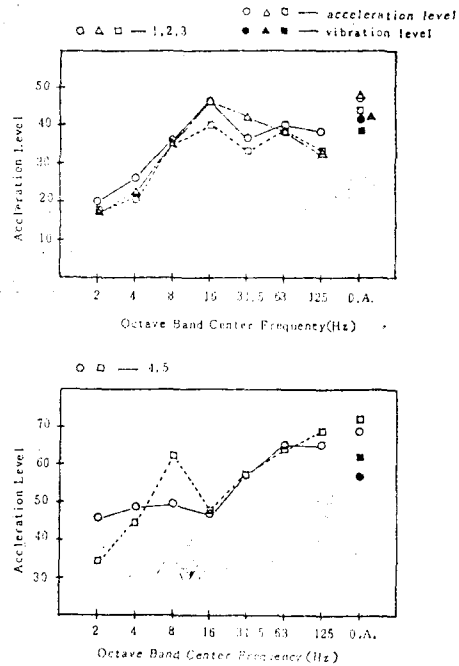


그림 12. 동대문에서의 차량주행에 의한 진동의 스펙트럼

表 2. 차량주행에 의한 진동레벨

측정위치	방향	주간(15:00)		야간(19:00)	
		min	max	min	max
1	X	32	39	30	36
	Y	29	38	29	36
	Z	40	45	38	45
2	Z	40	45	38	45
3	X	33	38	34	41
	Y	33	43	30	38
	Z	37	46	37	46
4	Z	46	52	43	51
5	Z	56	58	62	63
6	Z	35	46	35	41
7	Z	43	50	43	51
8	Z	41	54	43	53

통해 傳達되어 東大門에 그 振動影響을 받게 된다. 그림 9, 10, 11, 12에서와 같이 中心 周波數는 10~30 Hz가 優勢하며 車輛 走行에 依한 振動 Level은 表 3과 같다.

표 13. 공사착수후 현상진동측정치(가속도 Level) (1983. 12. 17~25)

시간	A			B			C			D			E		
	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60
01:00	64.2	62.4	64.5	65.2	70.6	67.2	67.0	67.0	70.0	67.2	63.0	71.8			
02:00	62.8	69.2	63.5	73.5	65.5	67.0	67.0	64.0	60.5	71.6	67.8	64.6			
03:00	64.0	67.0	—	62.2	67.5	—	68.5	65.0	—	70.2	65.0	67.0			
04:00	64.2	65.0	65.0	65.0	69.0	70.0	59.0	67.0	70.0	66.0	68.0	—			
05:00	64.8	66.0	72.0	75.5	70.0	74.0	70.0	68.0	70.5	71.2	58.0	73.0			
06:00	67.0	67.0	73.0	76.5	72.0	73.0	73.5	68.0	73.0	72.4	68.0	74.0			
07:00	67.5	71.0	70.5	76.5	73.0	74.5	71.0	62.2	72.0	74.5	76.5	76.0			
08:00	68.2	72.0	78.0	72.2	78.0	73.8	71.5	62.0	64.5	74.0	75.0	74.0			
09:00	69.3	68.5	71.0	77.5	73.6	76.8	71.0	71.2	72.0	74.4	74.5	75.5			
10:00	69.2	68.0	73.0	74.0	71.2	74.5	66.5	69.0	71.0	70.6	73.2	63.0			
11:00	67.8	72.8	70.0	75.1	76.3	70.5	74.0	70.5	73.0	74.9	74.0	75.0			
12:00	68.0	68.3	72.2	74.5	71.2	69.0	72.5	70.0	72.0	75.8	74.5	73.2			
13:00	75.8	74.5	69.8	73.0	75.4	75.0	71.0	71.5	68.4	74.2	73.0	72.4	82.0		
14:00	69.5	74.0	74.8	74.0	74.6	75.0	65.0	70.0	72.0	73.0	73.7	74.0	85.5		
15:00	66.5	76.0	77.5	77.0	74.3	75.0	67.0	72.5	63.0	73.4	74.2	74.2	84.8		
16:00	67.4	75.8	68.5	73.5	74.0	74.0	70.5	70.2	73.0	73.4	75.0	73.0	85.0		
17:00	68.2	75.0	71.0	72.8	72.0	78.5	68.0	73.0	74.0	75.6	75.0	75.5			
18:00	68.2	68.5	70.6	77.0	74.5	74.2	72.0	71.5	74.0	69.8	75.0	75.8			
19:00	65.9	67.0	79.2	76.7	74.5	75.0	62.0	62.5	74.5	68.8	76.0	77.0			
20:00	67.0	71.5	69.4	77.0	75.5	74.0	73.0	75.0	73.8	76.5	75.5	75.5			
21:00	67.6	68.5	71.0	75.0	72.6	72.5	73.0	72.0	74.0	76.8	75.5	77.5			
22:00	66.8	69.0	72.0	78.0	76.2	72.2	75.0	70.8	71.0	72.8	74.5	75.8			
23:00	67.2	68.6	68.5	78.8	70.8	73.5	74.0	70.0	69.0	75.0	76.5	74.5			
24:00	68.0	65.5	69.8	70.2	67.0	72.4	71.0	67.2	67.0	68.0	75.0	78.0			

단위 dB

그러나 '83年 12月 工事 着手後 振動調査는 H-pile를 地中에 박고 覆工板을 設置한 道路面에 自動車가 走行하므로 發生된 振動을 말하며 Asphalt 鋪裝代身 凹凸이 있는 覆工板아래는 土

工作業으로 掘削된 狀態이다. 이때 發生된 振動으로 東大門 各部分에 傳達된 振動은 그림 13, 14의 位置에서 表 3과 같으며 着工前과 比較해 보면 振動 Level 差가 10~15^{dB} 이 增加 되었음

을 알 수 있다.

b. 覆工板 架設時의 振動 Level

Asphalt 舖裝 道路面에 比較해서 振動 Level 値가 增加될 것은 當然하다. 工事着手前 類似區間의 Data 即 傳達函數를 求하여 東大門에 適用한바 그림 15, 16과 같다.

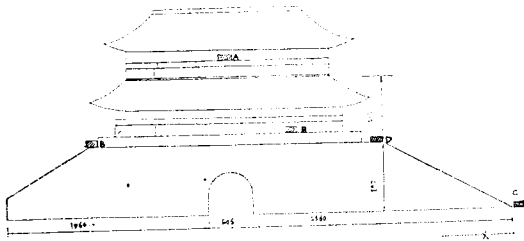


그림 13.

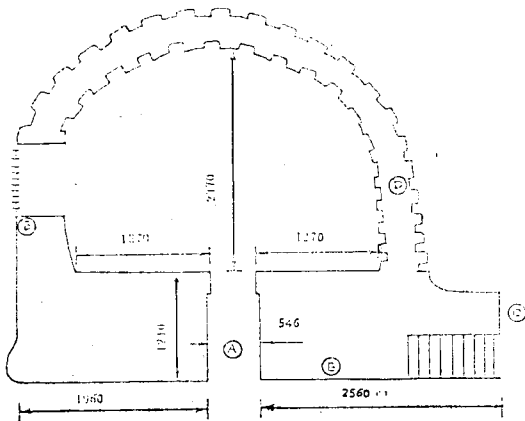


그림 14.

類似區間의 傳達函數를 適用한 豫想振動 Level 은 下層에서 68^{dB}, 上層에서 70^{dB}로 推定되었으나 實際覆工後 實測한 바 그림 17에서와 같이 地表面에서 70^{dB} 擁城위에서 평균 71.3^{dB} 東大門 3層에서 평균 70.2^{dB}로 推定値와 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 實測點別로 살펴보면 C點은 交通量이 많은 이스턴 호텔측으로 車輛走行과 가까운 位置의 原因으로 比較的 높은 Level의 振動値로 나타났고 時間別로 分析할 때 16:00~21:00 사이로 그림 18과 같이 車輛走行이 많은 時間으로 나타난다. 이와같은 理由로 東大門의 脆弱區間을 이스턴 호텔과 淸계천側 사이로 볼 수 있다. 또한 擁城部分도 B點(梨大

A : Input P_{2z}, Output P_{4z}
B : Input P_{2z}, Output P_{5z}

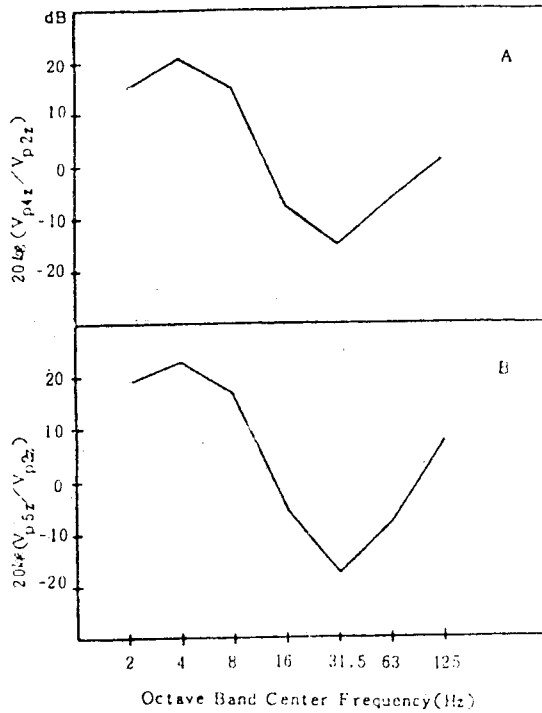


그림 15. 전달함수

附屬病院側) 보다 D點 (이스턴 호텔側)이 振動 Level이 크게 發生함을 알 수 있다. 이들 擁城은 上端部가 拘束되어 있지 않고 增幅되었음을 알 수 있다.

東大門 3層 構造物에서의 傳達 振動 Level은 V=70.2^{dB}로 地表面의 振動보다 높게 發生하였고 東大門構造物內에서 가장 크게 振動 Level이 發生한 部分은 여담 部分이다. 數次例의 新聞報導上으로 말썽의 씨앗이 되었던 이 部分은 地盤 振動에 比較하여 15^{dB} 程度 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 그 原因을 分析해 보면 地表面에서 發生된 振動은 地盤을 통해 東大門에 傳達되어 다시 二層의 가느다란 壁을 타고 運動하므로 增幅되어 85^{dB}의 높은 振動을 나타내고 있고 繼續 危險 個所로 取扱되어 진다.

c. 地下鐵 1號線의 振動 Level

地下鐵 1號線과 東大門과의 距離는 5^m 程度이며 地下鐵 通過時 發生된 振動 Level을 單獨으로 測定하기는 不可能하였다.

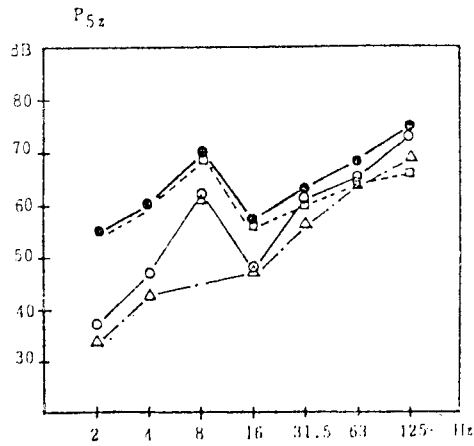
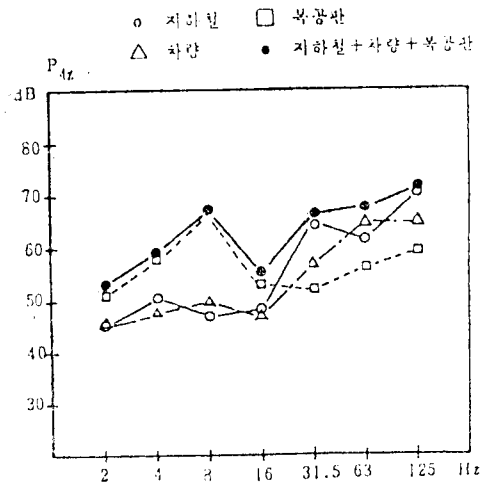


그림 16. 복공판 가설시의 스펙트럼 추정(하층 및 상층평방)

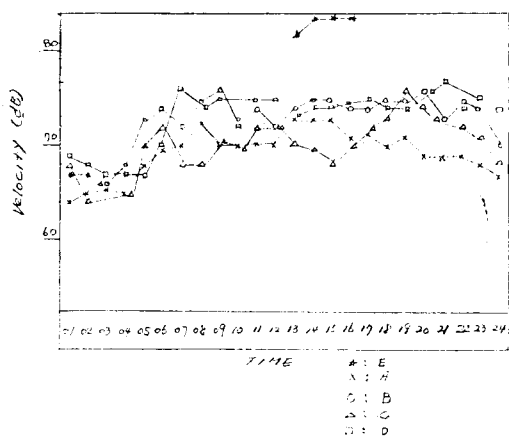


그림 17. 時間別 現狀振動 Level 값

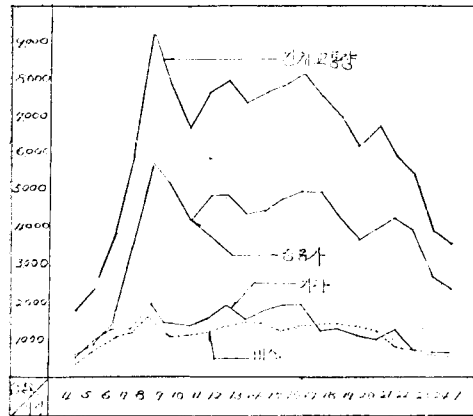


그림 18. 東大門 ROTARY 交通量 調査表

測定된 振動 Level 値는 地下鐵과 自動車 振動의 合成振動으로 나타난 것이다. 그러나 이 두가지 振動은 그림 19의 Spectrum 에서 알 수 있듯이 各各 測定이 判이하게 다르므로 區分할 수 있다. 地下鐵 走行에 의해 發生된 振動은 Rail 침목, Concrete 地中을 通하여 東大門 構造物의 各 部分에 傳達되어진다.

이때 測定된 振動 Level 값은 그림 20에서와 같이 中心 周波數 63Hz 에서 最大값이 나타난다. 또한 上層과 下層에서 나타난 振動값은 大略 10 dB 程度增幅되어 나타남을 表 4에서 알 수가 있다.

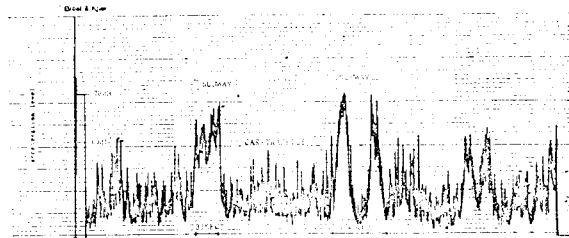
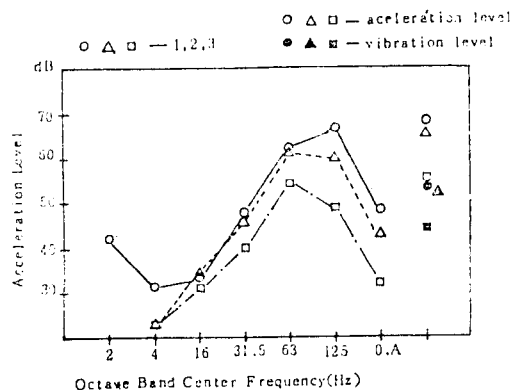


그림 19. 측정지점 7에서 측정된 가속도 신호(측정 시간 : 7월 3일 PM2:00~2:30)



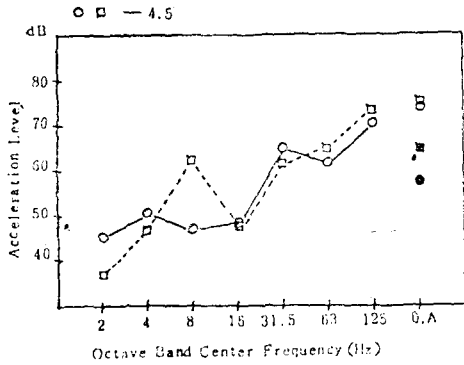


그림 20. 동대문에서의 지하철운행에 의한 진동의 스펙트럼

표 4. 동대문 각 측정점에서 진동레벨 최대치 (데이터수: 20개, 30초 간격)

측정 위치	진 동 레 벨 (dB)			
	지하철	차 량	합성진동레벨	
1	X	51	39	51
	Y	51	38	51
	Z	57	45	57
2	Z	55	45	55
3	X	46	41	47
	Y	47	43	48
	Z	49	46	51
4	Z	56	52	57
5	Z	66	63	68
6	Z	50	46	51
7	Z	56	51	57
8	X	40	48	49
	Y	44	43	47
	Z	57	57	60
10	X	48	49	52
	Y	57	58	61
	Z	59	60	63

d. 現狀振動的合成

東大門에 미치는 現狀振動 影響은 앞에서 記述한 바와 같이 自動車와 地下鐵 1號線의 走行에 의한 振動 Level이 代表된다. 工事 着手前 振動 Level 값과 工事 着手後 實際 測定된 振動 Level은 大略 8^{dB} 程度 差異가 나타났으며 東大

門 2層 여담 部分에서는 現狀의 振動이 許容值인 85^{dB}에 近接되고 있음을 알 수 있다.

그 原因을 分析해 보면 覆工板 위의 車輛振動과 覆工板 위의 作業裝備 即 CRANE, Dump Truck(15^噸) 등의 가동으로 미치는 振動 Level이 追加되었음을 알 수 있다. 計測中 覆工板 위의 作業裝備에 의한 影響은 鋼材의 충격등의 影響으로 그림 21에서와 같이 10^{dB} 程度의 差異를 나타내고 있다.

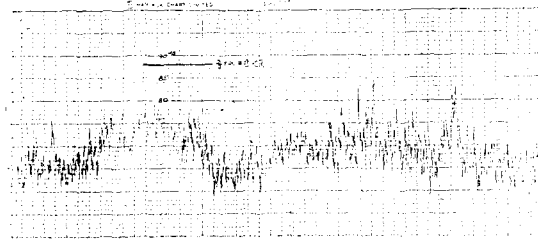
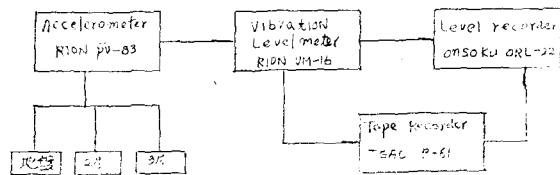


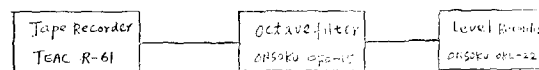
그림 21. 鋼材作業時的 충격진동

(나) 發破振動

a. 計測機器와 system 振動測定



周波數 分析



b. 振動速度的 處理

Accelerometer를 통해서 얻어진 加速度計의 出力을 tape Recorder에 Recording하여 韓國科學技術院의 Spectrum 分析器를 使用하여 시계열 信號及 Spectrum을 얻었다. 얻어진 加速度 Level에 對한 Calibration 信號의 振幅의 1/2을 基準으로 하여 시계열 信號의 크기를 測定한後 다음의 公式으로 加速度 Level를 計算하였다.

$$dB = 70 + 20 \log_{10}(\alpha/a)$$

a = Calibration 信號 振幅의 1/2 크기,

No	火藥의 種類	孔火藥 當量	1回 發破孔數	1回發破 火藥量	加 速 度 Level(dB)	中 心 周波數(Hz)	換算速度 mm/S	測 位	定 置	發破源과 水平距離
1	Slurry	337.5(g)	4	1,350	74.9	52	0.29	지	반	32m(A-4)
2	"	168	4	672	76.0	35	0.33	3	층	32m(〃)
3	"	337.5	4	1,350	75.7	52	0.32	지	반	32〃(〃)
4	"	337.5	4	1,350	74.9	52	0.29	지	반	32〃(〃)
5	"	337.5	4	1,350	77.4	35	0.58	3	층	32〃(〃)
6	"	337.5	4	1,350	77.0	52	0.38	지	반	32〃(〃)
7	"	337.5	4	1,350	76.0	52	0.33	지	반	32〃(〃)
8	"	450	2	900	83.2	35	1.14	3	층	26〃(A-3)
9	"	450	4	1,800	81.5	35	0.94	3	층	26〃(〃)
10	"	112.5	5	675	82.0	35	1.00	3	층	26〃(〃)
11	"	112.5	5	675	76.8	52	0.54	지	반	26〃(〃)

(加速度計 VM-16으로 測定된 70dB 일때의 진폭의 1/2)

$$\alpha = \text{測定된 振幅의 } 1/2 \text{ 크기}$$

c. 測定值의 分析

Case1(83.10.1)

① 發破源: 地面에서 깊이 10M 지점, AREA1 과 AREA 4

② 火藥量과 振動 값 Case1의 境遇는 x方向 (鍾路側 道路方向과 平行) 測定 하였으며 加速度 Level 70dB에 對한 Calibration 信號의 振幅의 1/2을 基準으로 하여 시계열 信號의 크기를 測定

$$dB = 7 + 20 \lg_{10} \left(\frac{30}{17} \right) = 74.93dB$$

을 얻었다.

또한 換算速度는

$$\alpha = \frac{2\pi f_0 v}{\sqrt{3}} \text{에서 } V = \frac{\sqrt{3}\alpha}{2\pi f_0} 10^{\frac{dB-70}{20}}$$

으로 算出하였다.

f_0 : 振動의 中心 周波數(main Frequency)

V : 換算速度

③ Nefb (작센 地質研究協會)의 安全爆藥量 計算과의 比較

◦ 實驗 I (No1~7)

測定 地點까지의 平均距離 $d=32M$

$$d = 60L^{2/3}$$

$$\therefore L = \left(\frac{32}{60} \right)^{3/2} = 0.389kg$$

389grol이 許容爆藥이므로 單位遲延當 Slurry 336gr 을 더뜨릴 경우 安全範圍로 判斷된다.

◦ 實驗 II (No8~11)

測定地點까지의 平均距離 $d=14M$

$$L = \left(\frac{d}{60} \right)^{3/2} = \left(\frac{14}{60} \right)^{3/2} = 0.113kg$$

113 grol 許容 爆藥量이므로 No.8,9는 安全爆藥量 超過이며 No10의 境遇는 시계열 信號를 살펴볼때 두개의 發破信號가 重疊되어 No11 보다 2배 程度 크기의 速度를 나타내는 것으로 보인다.

그러므로 MSD 雷管을 使用함에 있어서 雷管의 發破遲延時間의 正確성이 要求된다.

Case 2 ('83.10.16)

① 發破源: 地面에서 깊이 13M 支點 AREA 1~4

② 火藥量과 振動值

③ 下記表의 方向 測定 加速度 Level과 直接 level Recorder 出力을 통해 얻어진 結果의 比較 表

④ 結果分析

下記 比較表를 보면 直接 level Recorder 出力이 85dB 以上인 경우 10番中에서 7番이 危險하다고 判斷되므로 85dB을 加速度레벨의 安全 基準으로 하고 Slurry 와 GD를 混合 使用 할 경우 대체적으로 50Hz 以上이므로 振動 傳達率 이 적은 것으로 判斷된다.

No	火藥의 種類	孔 當 量 火 藥 量	1 回 發破孔數	1 回發破 火 藥 量	加 速 度 Level (dB)	中心周波 數 (Hz)	換算速度 mm/S	測定位值	發破源과 水平距離
1	Slurry(1) GD(1)	675	2,700	8				地 盤	45M
2	"	"	"	"				"	"
3	"	"	"	"	78.1	50	1.72	"	"
4	"	"	"	"	78	42.5	11.18	"	"
5	Slurry(1) GD(1/2)	450	3,600	"	84.1	52	1.55	"	33M
6	"	"	"	"	85.8	53.5	1.98	"	"
7	"	"	"	"				"	"
8	"	"	"	"	81.4	55	1.80	"	"
9	Slurry(1)	900	"	4	78.3	37.5	1.91	"	25
10	"	"	"	"	76.2	37.5	1.57	"	"
11	"	"	"	"	83.3	52	1.50	"	"
12	"	"	"	"	85	47	1.82	"	"
13	CCR(2)	480	480	"	85	47	"	"	23
14	"	"	"	"	75.2	35	1.82	"	"
15	"	"	"	"	86.7	35.5	2.30	"	16
16	"	"	"	"	86.8	52	2.12	"	"

※ 振動 許容値는 2mm/sec에 만전을 고려 下向조정하여 적용한다.

NO	FFT	LEVEL RECORDER	NO	FFT	LEVEL RECORDER	NO	FFT	LEVEL RECORDER
1	.	.	7	.	.	13*	85.8	88
2	.	.	8*	81.4	88	14*	75.2	77
3	78.1	79	9*	78.3	88	15*	36.7	89
4	78.0	78	10	76.2	86	16*	36.8	87
5	84.1	85	11	83.3	86			
6*	85.8	90	12*	85	87			

*는 진동 허용치 적용시 1.8mm/sec 이상되는 위험한 경우를 나타낸다.

Case 3 (83.10.5 & 11.1)

- ① 發破源：地面에서 깊이 13支點 AREA1~4
- ② 火藥量과 振動值
- ③ CCR 發破 振動 Spectrum
- ④ 結果分析

10月 5日 CCR 發破 振動 Spectrum에 依하면 中心周波數가 16Hz 로써 大端히 낮으므로 地盤에서 構造物의 振動傳達率이 높으며 同時에

建物部材의 첫번째 振動 Mode나 두번째 振動 Mode에 近接 혹은 一致하여 그것은 建物 部材에 共振을 일으키게 된다.

따라서 建物에 損傷을 줄 可能性이 있으므로 10.5일 實施한 CCR 發破振動 信號가 단하나였으므로 CCR의 發破振動 特性을 規定짓기 어려 워 11月 1日 10회에 걸쳐 CCR 發破試驗을 하였 다.

No	火藥의 種類	孔 當 量 火 藥 量	1 回 發 破 孔 數	1 回發破 火 藥 量	加 速 度 Level(dB)	中 心 周 波 數 (Hz)	換 算 速 度 mm/S	測 定 位 值	發 破 源 與 水 平 距 離
1	GD	112.5	8	900	86	43	1.28	地 盤	42M
2	GD+Slurry	225	"	1,800	92	42	2.2	"	42
3	Slurry	337.5	"	2,700	91	52	1.7	"	39
4	"	450	"	3,600	93	38	2.3	"	42
5	GD	112.5	"	900	85.5	43	1.21	"	39
6	Slurry	337.5	"	2,700	91	27	3.3	"	24
7	"	225	"	1,800	80	16	1.72	"	27
8	CCR	120	8	960	80	16	1.72	"	22

그림 22. 10月 5日 CCR 發破 振動 Spectrum

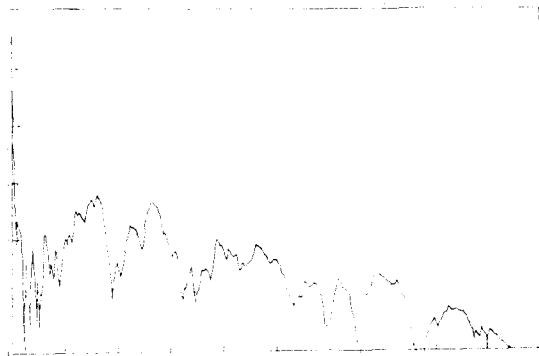
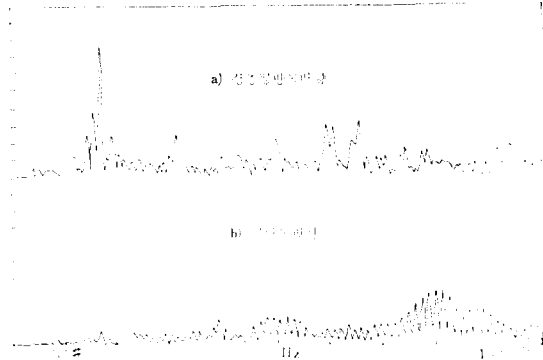


그림 23. 11.1 CCR 發破 振動 Spectrum



CCR 振動 Spectrum을 얻은 結果 中心周波數가 50Hz 以上으로 나타나고 10回 모두 85dB 以下이므로 安全하다.

10月 5日 實驗에서 얻은 結果는 不完全 發破

로 因해 發破時에 力이 岩石의 破碎를 일으키지 못하고 振動으로 바뀌는 過程에서 發生된 特殊한 경우로 解析된다. <계속>

註

- * 崔相烈; 土木技術士(施工)
- * 許 瑱; 鑛業技術士(採鑛)
- * 蔡洙連; 土木技術士(施工)