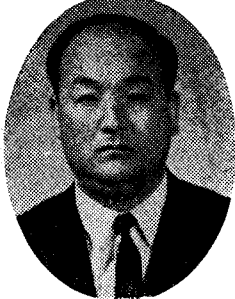


〈技術資料〉



터널 설계에 對한 基礎調查報文

서울地下鐵公社 研究開發委員 許 塡*
首席委員

1. 序 論

NATM이란 Rock Bolt와 Shotcrete를 主材로 하는 支保로서 地層의 弱화를 極力抑制하여 地層의 本來 가지고 있는 支持能力을 積極活用하는데 그 特徵을 들 수 있다. 從來 山岳式에 단 一貫해 오던 우리에게도 1982年 3.4號 建設을 맞이하여 서울地下鐵公社 金在明社長の 英斷에 따라 奧地利의 G.C와 日本의 JARTS와의 技術提携로 全 48個工區中 都心地의 10個工區에 NATM을 適用키로 하여 設計監理設計測에 對한 諮問을 받게 되었다. 上記 G.C에서 派遣된 젊은 W. Schubert 博士는 NATM의 元祖인 L.V. Rabcewic₂ 博士의 外孫이기도 한 支保專門家로서 터널굴착設計를 筆者가 맡어 共同으로 推進하게 되어 NATM 굴착工法의 새로운 紀元을 마련하게 된 것이다.

本報告書는 서울地下鐵 3,4號線建設에 따르는 設計作成에 있어서 基本資料가 되는 서울 일원의 土質岩盤의 對한 調查研究와 發破指針에 必要한 適用公式을 案出하여 發破作業으로 인한 振動影響이 隣接商街에 被害를 주지 않는 範圍內에서 效果的를 作業을 遂行토록 하였다. 따라서 市街地發破原則인 爆藥은 低比重低爆速으로 點火를 MS電管으로 振動減少의 工法에는 “빈갓트” 싹매기 式과 制御工法을 適用함으로 實用化에서 定着에 이르는 過程에서 極히 一部이나

마 뜻하지 않은 誤解까지 불러 이르게 된 것은 筆者의 不德의 所致로 思料되오며 지난날 30年間の 體驗이 歷史的인 地下鐵建設의 밑거름이 되었다는 工學徒으로서의 矜持와 自負心으로 自慰할 뿐이다.

2. 서울 一帶의 地質

서울市 일원의 地質은 크게 다음과 같은 세가지 岩石群으로 區分된다.

- (1) 基盤을 이루는 先캄브리아紀의 變成岩 複合體
- (2) 이를 貫入한 中生代의 花崗岩類
- (3) 上記岩層을 不整合으로 덮는 第四紀의 堆積層

2-1 先캄브리아紀의 變成岩類는 그의 岩相과 構造에 따라 크게 二大分할 수 있다. 그 중 하나는 서울市 북부에 貫入한 侏羅紀의 花崗岩體와 冠岳山花崗岩體의 分布地域을 除外한 거의 全域을 占하는 黑雲母縞狀片麻岩複合體와 구로동에서 安養에 이르는 沖積層의 西側에 주로 分布하는 Meta-Sediments의 含珪岩, 石灰岩, 片麻岩 複合體이다. 花崗岩類는 岩石組織에 依해서 斑狀組織을 띄는 斑狀花崗岩과 黑雲母花崗岩으로 區分되며 前者는 岩株狀으로 구과발등과 망우리고개 附近에 小規模로 分布하고 後者는 底盤狀으로 서울市 北側과 冠岳山일대를 구성하

* 副會長·鑛業技術士(探鑛)

는 규모로 產出한다. 黑雲母花崗岩의 絕對年齡은 202~160Ma 로써 후기 Triassic 내지 中期 Jurassic 에 該當함을 알 수 있으나 斑狀花崗岩은 基盤岩의 構造와 調和의이며 部分에 따라 葉理 構造를 띄는 점 등을 고려할 때 黑雲母花崗岩보다는 古期의 것으로 해석된다.

그러나 망우리附近에서와 같이 兩岩體가 接하는 경우에는 斑狀花崗岩의 黑雲母花崗岩의 綠邊相으로 볼 可能性도 있다.

脈岩類는 珪長岩과 酸性으로 구별되며 어느 것이나 대체로 NE-SW 走向과 垂直에 가까운 傾斜를 보이고 어느 것이나 黑雲母花崗岩에 貫入하였다.

第4紀層은 主로 沖積層으로 樹枝狀의 漢江流域, 安養川流域, 城南市 부근을 지나는 河川流域 및 中浪川流域을 따라 比較的 광범위하게 분포하며 이는 기존 암층을 不整合으로 덮고 있다

2-2 岩石學的 研究

(1) 黑雲母片岩

이는 주로 관악구 시흥동, 방배동, 강남구 삼성동, 성동구 군자동 附近에 分布하며 縞狀黑雲母片麻岩과 밀접히 關係하여 나타난다.

이 岩石의 광물조성은 주로 흑운모, 백운모 및 석영이며 斜長石, 鉀長石, “클리노조이사이트”를 수반하며 微量의 黑鉛을 포함한다. 石英은 일반적으로 세립질의 “모자이크” 집합체를 이루며 “렌즈”狀으로 來在되며 곳에 따라서 微縞狀構造를 띄기도 한다.

(2) 縞狀黑雲母片麻岩

이 岩石은 片麻構造의 발달은 현저하지 않고 粒狀組織에 가까운 部分도 있으나 黑雲母에 의한 葉理가 관찰된다. 斑狀變晶은 斜長石과 微斜

長石으로 되어 있다.

構成鑛物中에는 柘榴石, 珪線石, 角閃石 등이 包含되어 있어 높은 變成度를 推測케 한다.

(3) 花崗岩質片麻岩

주 구성광물은 石英, 흑운모, 斜長石이며 柘榴石, 白雲母, 經雲, 絹雲母, 綠簾石, 綠泥石 및 不透明鑛物을 수반한다.

(4) 優白質片麻岩

主成分鑛物은 石英, K-長石, 斜長石, 黑雲母, 白雲母 및 不透明鑛物로서 色度는 9% 정도이고 “아다멜라이트” 質花崗 片麻岩이다.

(5) 斑狀花崗岩

主成分鑛物은 石英, K-長石, 微斜長石 및 斜長石이며 特徵鑛物로서 黑雲母를 포함하며 백운모, 角閃石, 閃石, 스핀 및 불투명 광물을 수반한다.

(6) 黑雲母花崗岩

有色鑛物은 0.4~23.1%이나 平均 8.6%의 色度를 보여준다.

(7) 岩脈類

“페그마타이트”, “애플라이트”, 珪長岩, 石英斑岩, 長石斑岩 등의 산성암맥이며 片麻岩地帶와 花崗岩內에 多數 分布한다. 이들은 대개 2~10m 정도의 폭으로 수 10m 내지 200m의 연장을 가진 것으로 경사는 대부분이 수직이며 그의 走向은 대개 N20°~30°E인 것이 우세하고 少數는 N20°~40°W 또는 E-W이다.

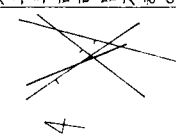
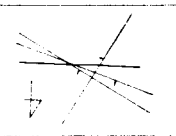
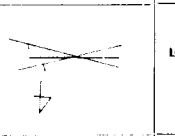
(8) 제 4紀層

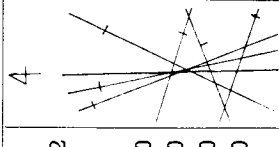
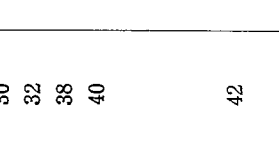
沖積層은 주로 砂礫과 粘土로 構成되었으며 漢江을 비롯한 大小의 河川流域을 따라 發達한다.

以上の 岩石學的 研究結果가 表 1에 나와있다

〈表 1〉 지하철허 3, 4호선 암석의 암석학적 및 암석역학적 조사연구

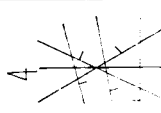
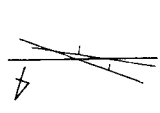
공구	조사지점 mileage (in km)	암석종류	암석의 원장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	암축강도시험		지하철허를 대 상한 상	절리 의 발 달 상 황				CSIR 등급의 합계 및 암질 분류
						현장에서 의 Schmidt Hammer Test (T)	실내에서의 일축성압축 강도 (kg/cm ²)		절리간격	주향과 경사	축선방향과 절리방향과의 관계도	절리면의 특징	
313	9K 440 9K>60 ~ >80	편마암	풍화도 약 9m		R 0%	37, 23, 16, 15		보통	15~20	N 72 E 90		절리면들 따 라 풍화가 심 함	불량암
			암석의 풍화도가 심해 풍화 토로 될 때		T 15%	32, 24, 18		적다	40~50	N 36 W 52 NE N 24 E 38 NW N 49 W 90			
CSIR 등급	9K>60		매립토사 약 4m 풍화가 심 하다		3	26, 18 평균 24	1510		20~30				40
315	11K 850 ~ 900	화강암	비교적 많은 부분 신선하고 강 한 조립질 화강암. 평균 크세 화강암		R 50% T 70% (5m 이하 경암에 대해)	40, 29, 56, 53, 27 평균 41		보통	150 15~40 40~90	N 52 E 37 NW N 87 W 38 NE N 55 W 45 NE		특히 절리면 따 라 풍화가 심 함. 절리 면의 장선이 상 당히 길다 (10 ~ 30m) 절리 의 틈사이 간 격이 크다 (0.7~1.0cm)	양질암
			6m 이하 경암에 대해		R 30% T 60%	1169 1485 1121 평균 1258			30~50 40~50 10~30 7~10	N 75 E 90 NS 77 NW N 36 W 35 NE N 10 E 38 SE NS 90 N 80 W 78 NE		얇은 판상절리	
CSIR 등급	11K 850				13		12	7	20				62

공 구	조사지점 mileage (in km)	암석 종류	암석의 현장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	압축강도시험		지하수출 배 산상	절리 의 발 탈 상 황			CSIR 등급의 합계 및 암질분류	
						현장에서 Schmidt Hammer Test (T)	신내에서의 일축정압축도 (kg/cm)		절리 간격	주향과 경사	축선방향과 절리방향과의 관계도		절리면의 특징
318	15K 415	화강암	10m 까지 풍화 10m 이하의 확토 풍화암			31, 24, 18 11, 24, 42 평균 27	1196	다량	N 10 W 82 SW N 58 W 42 SW N 10 E 78 NW		절리면이 유이 단층을 다 리 면이 수 분 이 많은 silt와 유 인 동 기 물 질 로 유 일 어 난 해	보통암	
CSIR 등급	15K 415	화강암	매우 조립질 의 화강암 평 크석 장석 Kaolin 풍운 토 → Chlorite 토 풍화됨		R 10% T 30% (9m 이 하 에 대 해)			적다	N 15 W 50 NS N 10 W 64 SW			보통암	
319	West 16K 712	화강암	심도 20m 간층화다 (회 색 - 흰색)		8	45 25 19 47 34 34 평균 34		다량 (2.5m)	N 60 W 70 NE N 30 E 72 SE			보통암	
CSIR 등급	16K 546	화강암	균열이 관찰 되 어 서 많은 수 분 포 함 하 고 있 었 다		13			다량 (2.3)	N 80 E 85 NW N 75 W 25 SW			보통암	
CSIR 등급							7	4				40	

공 구	조사지점 mileage (in km)	암석종류	암석의 현상 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	압축강도시험		지하수 산상 태	질 터 의 발 달 상 황				CSIR 등급의 합계 및 암질 분류
						현장에서 의 Schmidt Hammer Test (T)	실내에서의 일축성압축도 (kg/cm ²)		절리 시간격	주향과 경사	출선 방향과 절리 방향과의 관계도	절리면의 특징	
327	번전소부지 3호선 25km 717	호상흑운모 편마암	신성한 암과 풍화도가 정지 등으로 또는 교대로 또는 2대암의 후는 황 ~3m이며 2번 색되어 있음	5	50	22 30 32 평균 28	1582	거의 없다	25cm 15cm 12~37cm 1.2~1.5m	EW 90 N 59 E 72 SE N 9 E 90 N 31 W 90 N 24 W 90 N 82 W 90 N 31 W 90	4 	절리는 거의 수직이나 10mm의 나란한 절리를 절리면은 5mm 이상이고 절토가 있어	보통암
CSIR 등급					15		12	10	10		-5	6	48
330-3	터널입구 3호선 29km 710-740	호상흑운모 편마암	풍화가 페라이트 면에서 암석은 암색이 있고 암색이 있는 부분과 암색이 없는 부분이 있다	8	60	26 30 32 38 40 42 44 45		적다	10-50cm 13, 25, 35 40cm 10, 25, 40cm	N 11 W 82 NE N 51 W 83 SW N 56 W 46 NE N 44 E 72 NW N 8 W 84 NE N 38 W 86 SW N 28 E 62 NE N 34 E 68 NW N 11 W 75 NE N 21 W 76 NE N 36 W 56 NE N 51 W 74 SE		절리와 평행한 절리면이 1mm 이상인 곳이 적다. 절리면은 불규칙하고 면이 평평하다	
	터널라장 30km 170	호상흑운모 편마암	Augen이 현저함	33			1025 1285	보통					

공구	조사지점 mileage (in km)	암석종류	암석의 편장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	압축강도시험		지하수 산상	절리의 발달 상황				CSIR 등급의 합계 및 암질분류
						현장에서 Schmidt Hammer Test (T)	실내에서의 일축압축도 (kg/cm ²)		절리간격	주향과 경사	추진방향과 정리방향과의 관계도	절리면의 특징	
CSIR 등급					20	평균 37	평균 1155						보통암
332	3호선 32km 095	호상흑운모 편마암 석영장석질 편마암	암질은 신선하고 견고하나 절리가 발달하여 밀하여 표층이 1m로 밀함	68 53	70	34, 61 35, 64 36, 69 36 36 37	1609 1774	적다	65cm 10, 15, 17, 23, 26, 28cm	East wall N 44 E 90 N 43 W 77 SW N 13 W 82 NE N 52 E 50 NW West wall N 16 W 70 NE N 68 E 79 NW	절리면의 표층이 불규칙하며 1mm 내외의 폭으로 갈라져 있음	5	46
CSIR 등급				평균 50	20	평균 44	평균 1781						보통암
408	길음동 터널입구 11K 580	화강암	암석은 치밀 견고하고 정리가 밀하며 밀도가 높음	17.6 33.8	55%	65, 52 55, 31 33	1969 1051	거의 지하수 산출없음	5-3 100-500	N 70 E 62 NW N 45 E 35 SE	합반안강하며 절리 계단조 없음	6	52
CSIR 등급					15	평균 47	평균 1510						양질암
410	삼선교 공구 사무소 앞 13K 065	화강암	암석은 비교적 상부에 풍화되어 저층부의 풍화도는 반달화면의 풍화도보다 낮으며 남쪽은 환경사 바닷	7.81 33.68 (특정 구역)	연암 : 0% 경암 : 58%	54, 44, 61, 57, 29, 35	1572 1603 평균 1588	지하수 산출적용	160-12 5-12 25-50 40-50	N 10 E 70 SE N 74 W 77 SW N 55 E 88 SE	풍화의 정도가 다양하다		73

공 구	조사지점 mileage (in km)	암석종류	암석의 현장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	암추강도시험		지하수 출몰 태	절리 의 발달 상황			CSIR 등급의 합계 및 암질분류	
						현장에서 Schmidt Hammer Test (T)	실내에서의 일축성압축도 (kg/cm ²)		절리간격	주향과 경사	축선방향과 절리면의 관계도		절리면의 특징
			에 조정고한 암반있음			평균 46			N 20 E 86 SE			보통암	
CSIR 등급					13		12	7	10			54	
412	동대문공구 제 1호선 교차지점 15K 409	화강암	암석은 풍화 정도 받았으며 일부 산출물, 제 1회선 입	35.92	60%	49 28 평균 38	1550	절리면 울퉁불퉁하며 수부 불분 있음	30 20-35	N 60 E 15 NW N 2 W 73 SW N 10 W 70 -78 NE		절리면을 따라 지향수 유출이 현저하며 수부 불분 있음	보통암
CSIR 등급					12		12	5	10			49	
414	퇴계로 5가 공구 소 16K 698 흥문로주유 소부근 16K 738	화강암 (조립질 화강암)	암석 풍화 현저하며 동화 된 부분이 풍화 사이 석이 산출함. 수부 불분 있음	29.03 27.48 (평균 28.25)		26.31, 39.11, 15 평균 24	804 189 (평균 471)	저지 않음	40-45 3-38 5-20 30-20	N 38 E 70 SE N 4 E 70 NW N 60 W 50 SE N 60 E 60 SE		풍화현저하여 작업에 이 많음	보통암
CSIR 등급					5		7	4	8			24	
418	삼각지 정차장 4호선 22km 008	흑운모 편마암	암은 약간 변색되고 작용도 면이 다수 유출됨	14	60	12.30 14.32 16.37, 19 평균 23	1707	많다	30-43cm	N 20 E 90 N 42 E 90		약간 조각한 절리면이고 1mm 이상 벌어져 있는 암질 수입	보통암
CSIR 등급					13		12	4	12		-10	39	

공구	조사지점 mileage (in km)	암석종류	암석의 현장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	압축강도시험		지하수 산출량	절리의 발달 상황				CSIR 등급의 합계 및 암질분류
						현장에서의 Schmidt Hammer Test (T)	실내에서의 일축성압축강도 (kg/cm)		절리 간격	주향과 경사	축선방향과 절리방향과의 관계도	절리면의 특징	
422	터널막장 4호선 26km 953	호상흑운모 편마암	암석은 절리의 길이가 30cm 이하로 5cm 내외의 것이 붙어 있는 면이 적은 편으로, 절리면은 대부분 수평이고, 12% 정도는 경사되어 있다. 절리 수 밀도가 높고, 12% 정도는 경사되어 있다.	7	70		1864	거의 없다	2.5cm 5cm 30cm	N 5 E 67 N 55 E 87 N 60 E 60 N 70 E 87 N 50 W 87 N 45 E 53 N 10 W 77 N 35 W 82		야간 조광한 절리면이고, 절리면의 정도는 1mm 이하로, 불규칙하고 소약화한 소로	보통암
CSIR 등급			평균 12	평균 17	13		평균 28	7	5	-7	12	42	
423	이수정차장 29km 270 공구사무소 앞 29km 340	호상흑운모 편마암	상당히 풍화되어 있어, 암석도 절리면에 따라 나타나	18	50 이하		377	이주 많다	*	(29km 340) N 79 E 75 N 89 E 78 SW		절리면이 5mm의 폭으로 벌어져 있어 접토가 있음	풍화암
CSIR 등급				5	5		1	0		-5	5	14	

4. 節理의 走向과 傾斜의 方位

一般的으로 節理의 走向이 터널 方向에 對하여 直交하는 경우가 平行하는 경우보다 岩盤掘鑿이 쉬우며 傾斜의 角度와 “터널” 進行方向에 對한 傾斜의 方位도 岩盤掘鑿에 크게 영향을 준다. 다음 表 2는 터널方向에 對한 節理의 走向 傾斜方位의 영향에 對한 表이며 Fig. 1 및 2는 이의 說明圖이다.

表 2. 터널 方向에 對한 節理의 走向 傾斜의 영향

터널軸에 수직인 走向				터널軸에 平行한 走向		走向에 不相關한
傾斜方向으로 굴진		傾斜 반대방향으로 굴진		경사	경사	傾斜
경사 45°~90°	경사 20°~45°	경사 45°~90°	경사 20°~45°	경사 45°~90°	경사 20°~45°	0°~20°
극히 적함	적함	보통	부적합	극히 부적	보통	부적합

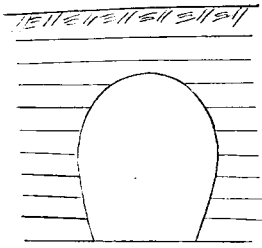


Fig. 1. 터널축에 수직인 走向

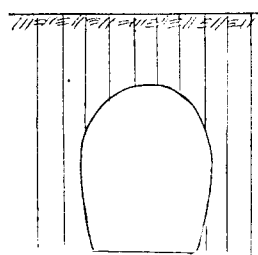


Fig. 2. 터널축에 平行한 走向

5. 岩石의 壓縮強度와 Schmidt

Hammer 에 의한 反撥硬度와의 관계

Schmidt Hammer 는 岩石表面에 타격을 주었을 때 反撥하는 정도를 測定하여 強度를 換算하는 現場用 壓縮強度 測定器이다.

地下鐵工事구간에서 實測한 花崗岩에서의 壓縮強度와 反撥硬度間에는 一定한 관계식이 成立하여 손쉽게 岩石의 壓縮強度를 얻을 수 있다.

現場에서 Schmidt Hammer 로 花崗岩의 反撥硬度를 測定한 후 試料를 채취하여 core 試片으로 單軸壓縮 試驗을 하여 비교해 본 結果 Fig. 3 와 같은 graph 를 얻었다.

이 곡선의 式은 다음과 같다.

$$Sc = 0.514(SH)^{2.03}$$

Sc : 壓縮強度

SH : 反撥硬度

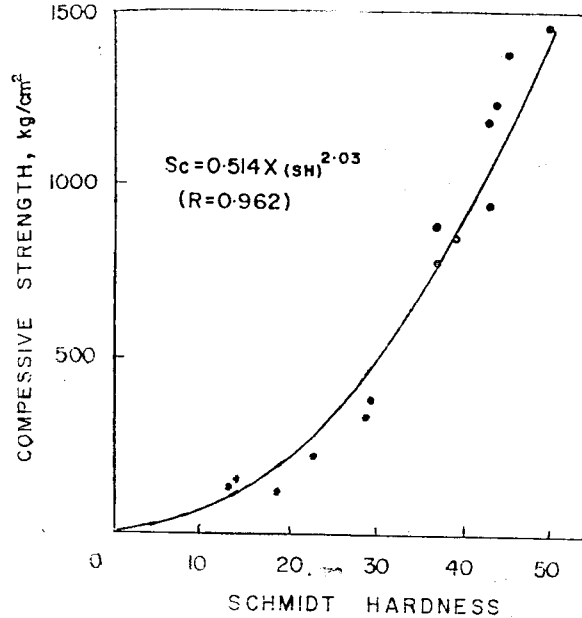


Fig. 3. Schmidt Hammer 反撥強度와 單軸壓縮強度 關係

6. 發破振動의 基礎理論

岩盤掘鑿時 發破를 하게 되면 衝擊波가 發生하는데 이는 岩盤의 壓縮強度보다 더 큰 初基爆發壓에 의하여 發生되어 岩盤내의 塑性領域을 그냥 지나서 流體力學的으로 擧動한다.

이런 衝擊波는 非彈性領域을 지나면서 速度가 줄어들고 安定한 類似彈性領域에서 振動波運動을 한다. 이때부터 振動波는 進路에 있는 媒質을 교환할 만큼 충분한 에너지를 갖지 못하는데 이 領域을 彈性領域이라 한다. 이 彈性領域에서 岩盤이 衝擊를 받게 되면 變形을 일으키게 되는데, 이 때 岩盤이 갖고 있는 質量은 이 變形을 계속 시키려하나 岩盤이 내부에 갖고 있는 剛性은 이 變形을 원래상태로 되돌리려 한다. 이렇게 하여 岩盤이 平衡狀態로부터 變形과 回復을 계속하게 되는데, 이것이 發破에 의한 彈性波이며 곧 發破振動인 것이다.

彈性波에는 두 가지 基本的인 形態가 있는데, 즉 岩盤內部로 전달되는 立體波와 物體의 表面을 따라 이동하는 表面波이다.

立體波에는 P波, S波가 있고 表面波에는 R波, L波 등이 있다.

P波는 여러가지 면에서 單純振動을 유발하며 正面以外的 어떤 方向으로든 自由面을 만나게 되면 進行方向과 垂直되게 振動하는 S波를 發生시킨다.

R波에 의한 粒子運動은 원형운동을 하며 剪斷方向의 變위가 없으므로 P波와 유사한 性質을 갖는 表面波이다.

地表上에서는 이 波들을 測定하는 方向에 따라 3가지로 나눈다. 즉 垂直方向(vertical)의 成分, 進行方向(radial)의 成分, 進前方向에 대한 接線方向(tangential)의 成分이다. 이것은 Fig. 4와 같다.

發破에 의한 地盤振動은 보통 變位(displacement), 速度(particle velocity), 加速度(acceleration)의 3種類로 表示되고 있다. 이들 變위(D), 速度(V), 가속도(A) 사이에는 다음과 같은 數學的 關係가 있다.

$$D = \int V \cdot dt, \quad V = dD/dt$$

$$V = \int A dt \quad A = dv/dt \quad (t : \text{時間})$$

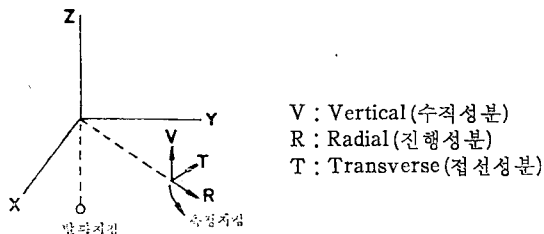


Fig. 4. 지표에서 측정된 발파진동의 3성분

7. 許容振動値

發破作業時 인접建物에 被害를 주지 않기 위해서 許容振動値를 決定해야 하는 데 이에 대한 研究가 유럽과 미국 등지에서 수십년간 행해졌다. 그러나 許容振動値는 각 국가 및 연구기관마다 다른 數値를 나타내는 데 이는 實驗條件 및 地盤條件이 서로 相異하기 때문인 것 같다. 따라서 서울 地下鐵의 경우는 서독의 DIN 규정에 第17卷 第2號(1984.6)

의한 許容振動値를 使用하기로 한다.

이 規定에 의한 許容振動値는 각 建物의 條件에 따라 定해져 있으며 外國의 여러나라의 許容値와 비교해 볼 때 상당히 安全한 數値를 나타내므로 適用에 無理가 없을 것으로 생각된다.

表 3. 서울地下鐵 發破振動許容値

건물등급	I	II	III	IV
분 류	문화재	주택, 아파트 (신금이 있는 정도)	상가 (crade이 없는 상)	철근 콘크리트 빌딩 공장
건물기초에서의 허용진동치 (cm/Sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

비고: (1) 위 表는 서독의 Vornorm DIN 4150, Teil 3을 기준하였음.

(2) 주파수는 약 100Hz 까지 통용된다.

(3) pickup 位置는 該當建物의 外郭마당 (Ground)에 設置함으로 基準을 둔다.

8. 發破振動 推定公式

發破振動許容値가 決定되면 다음으로 振動推定公式이 定해져야 한다.

8-1. 發破振動에 영향을 미치는 要素

- 가. 火藥類의 種類에 따른 火藥의 特性
- 나. 裝藥量(段差當 裝藥量)
- 다. 起爆方法
- 라. 填塞의 狀態와 火藥의 裝填密度
- 마. 自由面의 數
- 바. 爆源과 測點間의 距離
- 사. 地質條件

8-2. 일반적인 振動推定公式

$$V = K(D/W^b)^n \dots\dots\dots(a)$$

V : 地盤의 振動速度 (cm/sec)

W : 遲發當 裝藥量 (kg)

D : 爆源과 測點間의 距離 (m)

K : 發破振動常數

b : 裝藥指數

n : 減衰指數

여기서 D/W^b 을 scaled distance 라고 하며 (a)

式의 K, n, b를 實驗을 통하여 決定하면 完全한 振動推定公式이 된다.

8-3. 서울地下鐵 3,4號線의 發破振動 推定公式

地下鐵 3,4號線 구간의 岩盤에 對한 發破振動 推定公式을 決定하기 위하여 岩盤物性, 爆源과 測點間의 距離, 爆藥의 種類 및 發破方法 등을 變化시키면서 振動測定器 VME, VS-1100, VM-12B 등을 利用하여 實驗해 본 結果 花崗岩과 片麻岩으로 兩分되어 公式이 決定되었다.

○花崗岩에서의 發破振動 推定公式

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

○片麻岩에서의 發破振動推定公式

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

위의 두 公式이 나오기까지의 過程을 Graph로 表示하면 Fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10과 같고 振動測定器 VME 및 VM-12B의 記錄紙를 Fig. 11, 12에 例로써 소개하였으며 두 測定器의 Conversion Chart를 Fig. 13에 그래프로써 表示하였다.

(410공구, 압축강도, $1,450\text{kg/cm}^2$ 다이내마이트, 바닥발파)

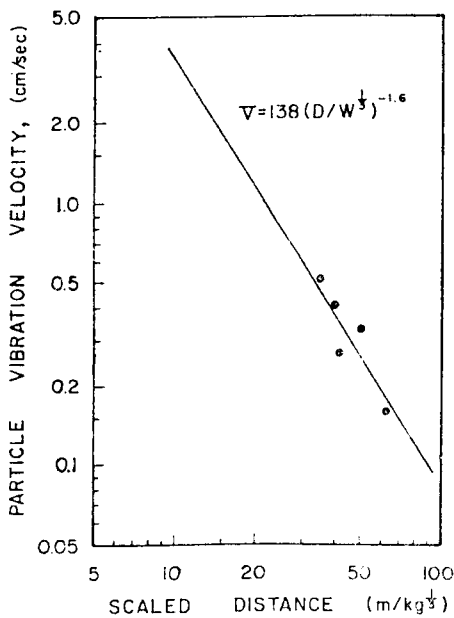


Fig. 5. 환산거리에 따른 진동속도

(408공구, 압축강도 890kg/cm^2 , 다이내마이트 터널발파)

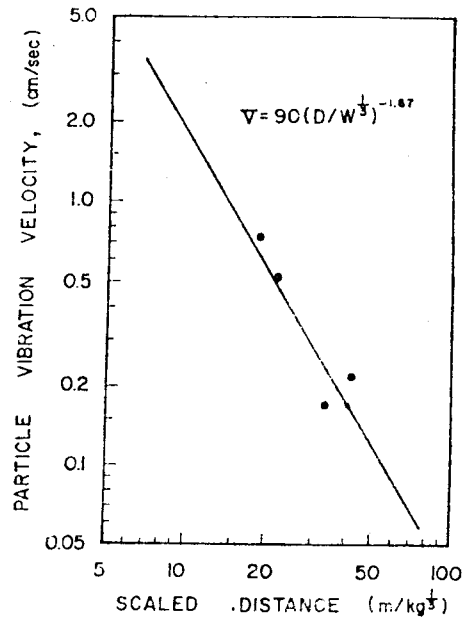


Fig. 6. 환산거리에 따른 발파진동속도

(410공구 압축강도 $1,450\text{kg/cm}^2$, 함수폭약, 터널발파)

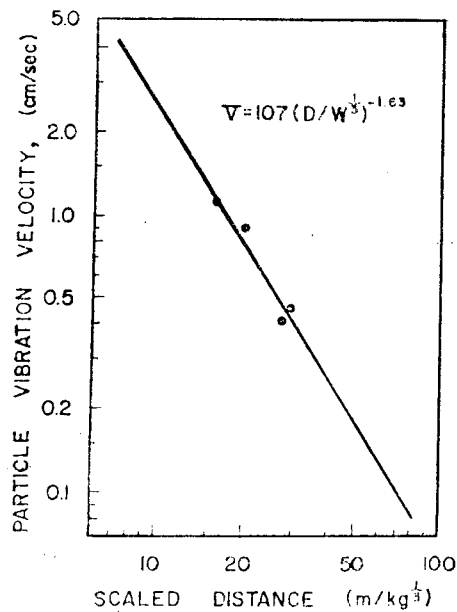


Fig. 7. 환산거리에 따른 발파진동속도

(414공구, 압축강도 390kg/cm^2 , 합수폭약, 바닥발파)

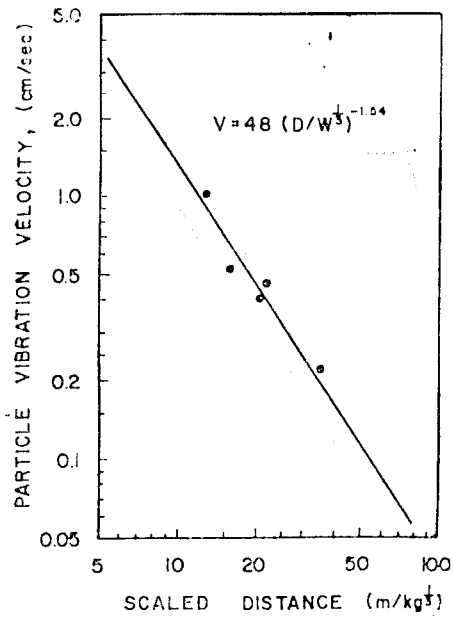


Fig. 8. 환산거리에 따른 발파진동속도

(317공구, 압축강도 350kg/cm^2 , 합수폭약, 바닥발파)

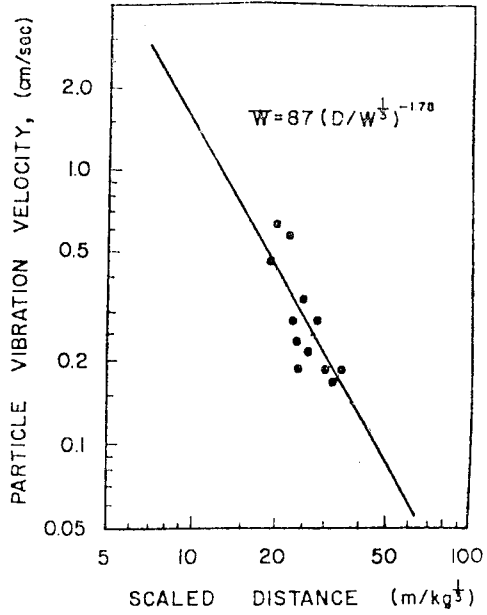


Fig. 10. 환산거리에 따른 발파진동속도

(317공구, 압축강도 350kg/cm^2 , 다이 나마이트, 바닥발파)

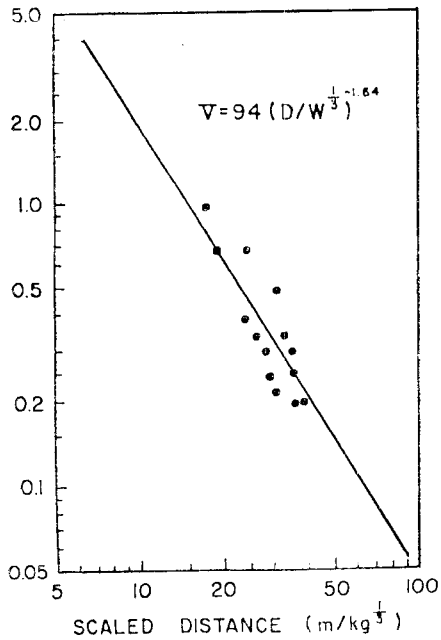


Fig. 9. 환산거리 따른 발파진동속도

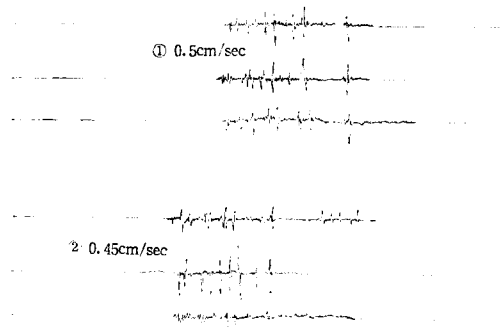


Fig. 11. 발파진동 측정결과 (VME)

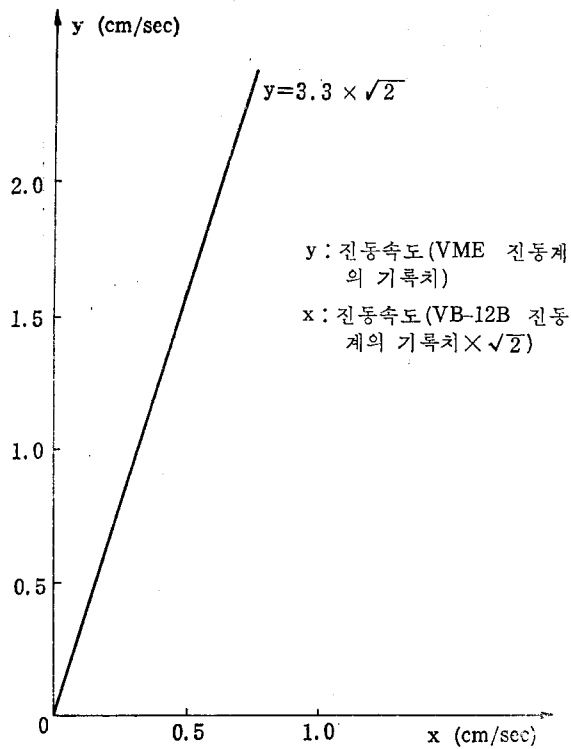


Fig. 12. 발파진동 측정결과 (VM-12B)

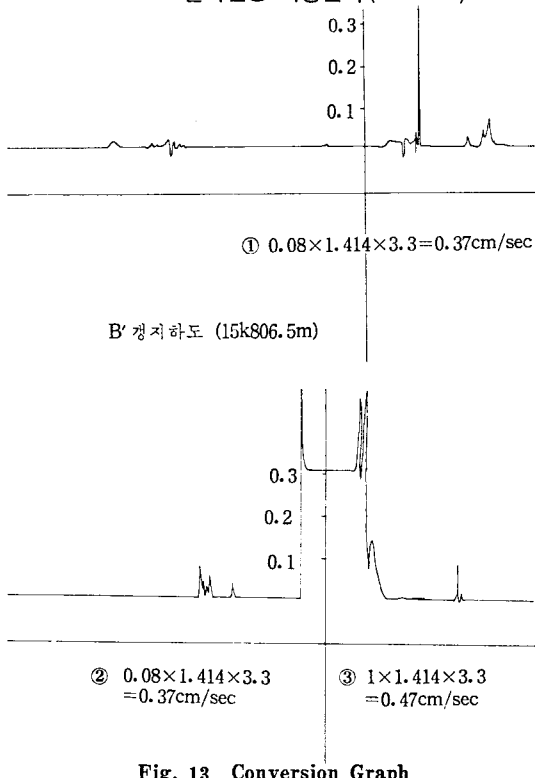


Fig. 13. Conversion Graph

8-4. 發破振動常數 K

8-3節에서 決定된 公式의 常數 K는 다음의 여러가지 要因에 의해서 變化한다.

- 가. 岩種(花崗岩 또는 片麻岩)
- 나. 岩石의 壓縮強度
- 다. 火藥種類
- 라. 發破方法

表 4. 發破振動常數 K (花崗岩)

구분 폭약	발파방법 압축강도 (kg/cm ²)	개착식		
		계단발파	삼발발파	확대발파
다이나마이트	1800~1500	117	127	97
	1500~1200	106	116	86
	1200~900	95	105	75
	900~600	84	94	64
	600~이하	73	83	53
함수폭약	1800~1500	94	102	78
	1500~1200	85	93	69
	1200~900	76	84	60
	900~600	67	75	51
	600~이하	58	66	42
초안폭약	1800~1500	76	66	63
	1500~1200	68	74	55
	1200~900	61	67	48
	900~600	54	60	41
	600~이하	46	53	34

表 5. 發破振動常數 K (片麻岩)

구분 폭약	발파방법 압축강도 (kg/cm ²)	개착식		
		계단발파	삼발발파	확대발파
다이나마이트	1500~1200	61	71	41
	1200~900	55	65	35
	900~600	49	59	29
	600~이하	42	52	22
함수폭약	1500~1200	49	57	33
	1200~900	44	52	28
	900~600	39	47	23
	600~이하	34	42	18
초안폭약	1500~1200	39	46	26
	1200~900	35	42	22
	900~600	31	38	18
	600~이하	27	34	14

이상의 4가지 要因을 고려하여 決定된 常數 K는 表 4.5에 表示되어 있다.

8-5. 岩種別 터널 區間 發破工法

全工區에 對한 發破 Pattern을 標準化하기 위하여 岩種別로 다음 要領에 의거 第1種부터 5

種까지 表 10과 같이 分類하였다.

(1) 發破 Pattern 作成에 앞서 標準發破를 實施하여 最少抵抗線과 標準裝藥量을 구해야 한다

(2) 掘鑿工法에 따라 斷面을 分類하고 이에 따라 支保를 分類한다.

表 6. NATM의 掘鑿과 支保分類

	I	II	III	IV	V
岩 種	硬 岩 (stable rock)	準 硬 岩 (moderately jointed and hard stratified or schistose rock)	軟 岩 (fractured and friable rock)	風 化 岩 (instable plastic & squeezing rock)	麻 砂 土 (highly plastic squeezing & swelling ground)
最少抵抗線 (cm) 但 36mm Bit Gage	60	65	70	80	—
掘 鑿	全 斷 面 (full face)	全 斷 面 (full face)	半 斷 面 (top heading & bench)	line-drilling 先導抗 半斷面 (pilot drift & bench)	for piling 先導抗 半斷面 (")
支 保	部分的인 R.B. (occasionally rock bolt)	S.C., W.M. 天體의 systematic R.B.	S.C., W.M. 天盤과 側壁의 R.B.	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 piling