

南山 1號터널(쌍굴)工事報告

- TBM 공법 -

金 吉 受*

《目 次》

- | | |
|--------------------|------------------|
| 1. 머리말 | ① 후속설비 |
| 2. 지형, 지질의 개요 | ② 봉락대책 |
| 3. 공법의 선정 | 6. IBM 굴진 |
| 4. 기계 구조의 개요 | ① 남산1호터널 시공계획 |
| ① 개요 | ② 공정순서 |
| ② 주요기계 장치의 구조 및 기능 | ③ 굴착방법 및 실적분석 |
| 가) 주요장치 구성대별 | 7. 터널 공사비 및 공법비교 |
| 나) 각 부분의 기능 | 8. TBM 굴진 진동측정 |
| ③ IBM 규격별 제원 및 성능 | 9. 결론 |
| 5. 후속설비 및 봉락시 처리대책 | |

《工 事 概 要》

工事名 : 南山1號터널(쌍굴)建設工事
 터널굴착 : (2차선) 폭 : 9m
 길이 : 1,532m
 필 동 쪽 : 폭 : 15m→25m로
 도로확장 : 길이 : 816m
 한남동쪽 : 폭 : 35m→40m로
 길이 : 1,552m
 총 연 장 : 3,900m
 工事費 : 412억원
 工事期間 : 1989.6~1992.7
 施行處 : 서울特別市 綜合建設本部
 施工者 : 眞露建設(株)

이 공사의 목적은 기존 터널 改修工事を 위한 순廻道路 확보와 都心地의 교통을 원활하게 소통하는데 필요한 것이다.

그래서 필동쪽에서는 道路폭 15m를 25m로 확장하고, 한남동에서 한남대교까지 道路幅 35m를 40m로 확장하여 南山1號터널(쌍굴) 工事와 함께 병행하게 된 것이다.

터널을 굴착함에 있어 기존터널의 安全性을 고려하여 T.B.M(Tunnel Boring Machine) 공법을 채택하게 되었다. 기존의 발파공법과는 달리 비발파로 터널을 굴착하는 것으로 굴착기(TBM)를 이용, 암석을 파쇄하면서 굴진하는 공법인 것이다.

2. 地形 地質의 개요

본 터널(쌍굴) 工事は 기존터널과 나란히 뚫어 한남동과 퇴계로를 연장하는 확장공사이다. 터널 연장 L=1,532^m중 1,498^m를 T.B.M(φ4.5^m)과 T.B.E(Tunnel Boring Enlargement) (터널 확대 굴착기) (φ11.3^m)를 투입시켜 2차에 걸쳐 굴착을 완료하는 공사이다.

1. 머리말

南山1號터널(쌍굴)은 중구 필동쪽에서~용산구 한남동간의 기존터널과 나란히 하나 더 터널을 만드는 것이다.

* 진로건설(주), 남산 1호터널(쌍굴)공사 현장소장

• 位 置 : 서울시 中區 筆洞 ~ 龍山區 漢南洞

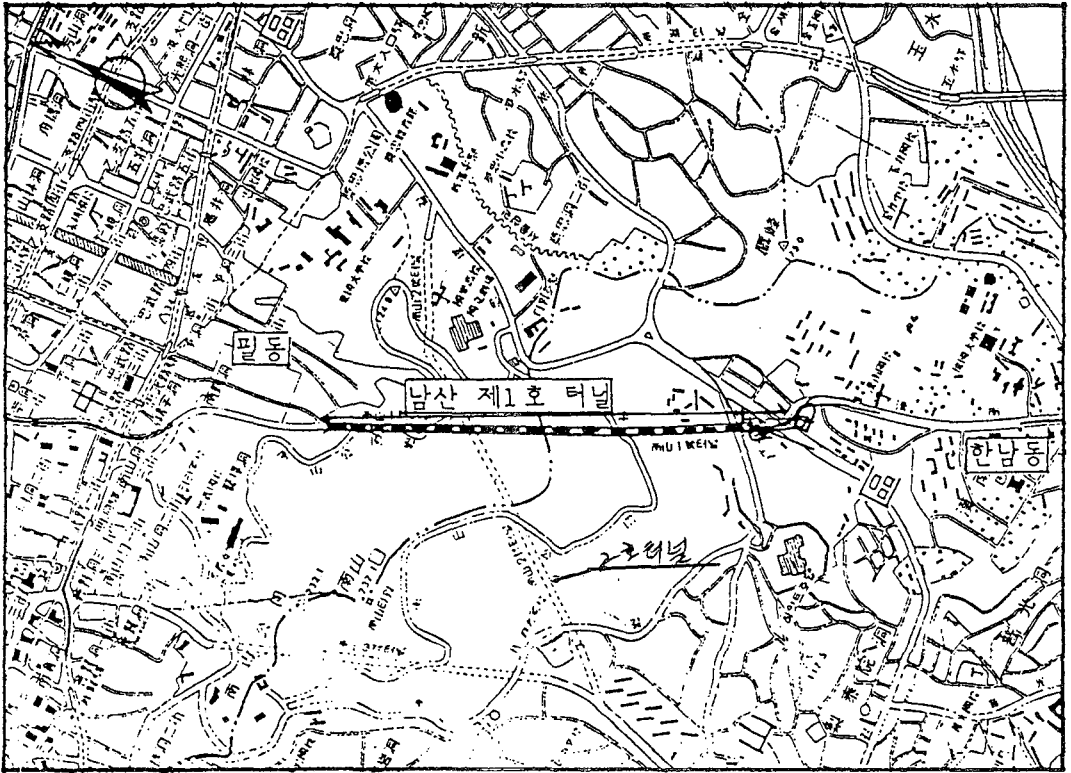


그림 1. 쌍굴 工事現場 位置圖

지질조건은 전반적으로 양호하나 한남동 350^m 구간은 풍화된 편마암으로 구성되었고 수맥이 발달되어 용수가 많은 지역으로 판단된다. 폭 $\phi 4.5^m$ 굴착시 이 지역은 용수 및 지반의 붕락으로 강지보재 0^{5m}~1^{0m} 간격으로 설치하여 어렵게 시공하였다. 필동쪽 지역은 비교적 양호한 화강암으로 흑운모를 함유하고 있었으며 T.B.M($\phi 4.5^m$) 굴진에 적당한 암질이었다.

본지역의 地質은 변성암류인 先캄브리아紀의 黑雲母 片麻岩과 이를 買入한 中生代의 흑운모 화강암이 기반암으로 분포하며 계곡部에는 沖積層이 不整合으로 被覆하고 있다. 片麻岩은 南山의 능선 및 南西部를 占하고 있다.

走向 및 傾斜는 各各 N35-45W 70-80SW와 N10-20E 30-40NW 방향이다.

가) 터널入口 지역(필동)

• 花崗岩은 조립의 等粒狀 조직, 소량의 흑운모 含有

• 알카리 長石類가 淡紅色 띠며 塊狀構造

• RQD 20~97%

나) 터널出口(한남동)

先캄브리아紀의 흑운모 편마암과 실트가 석인 모래로 구성된 崩積土層이 0.7~0.8^m로 피복

• 편마암은 地殼變動에 依하여 수차의 변형을 받아 파쇄대가 발달

• RQD 0~50%

다) 터널 중간위치는 양호한 花崗岩으로 형성됨

3. 工法의 選定

터널 시공에 있어 굴착방식의 決定은 터널의 安定과 工期를 지배하는 절대적인 要素이므로 地質 浸水, 단면형상 傾斜등 제반 조건을 充分히 檢討하여 安全하고 경제적인 방법을 選定하여야 한다.

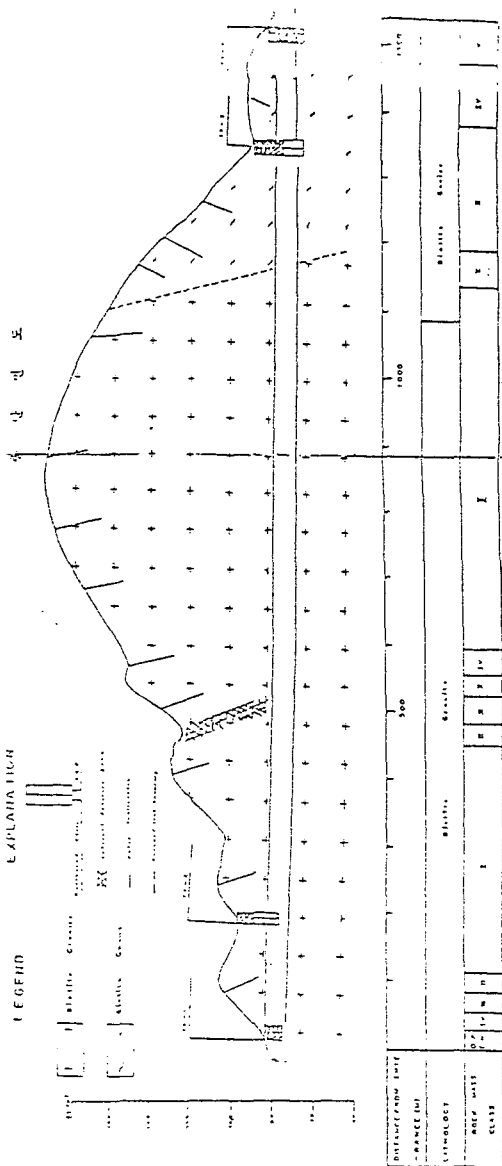


그림 2 종단면도

본 터널은 部心地에 位置하고 있으며 기존터널과 신설터널과의 간격이 16m밖에 떨어져 있지 않아 발파시공시 미치는 영향이 크므로 構造的으로 安全性이 確保되는 圓形斷面으로서 비발파 기계굴착인 T.B.M 공법을 결정하였다. 그래서 南山1號 터널은 1차로 T.B.M($\phi 4.5m$)을 전구간(L=1532m) 굴진한 후 선진도갱($\phi 4.5m$)의 地質 조건 등을 고려하여 확대굴착기($\phi 11.3m$)를 사용하여 굴진하는 방법이다.

4. 기계 구조의 개요

① 개요

기계 구조부는 크게 Head부 Body부 후속트레일러(Trailer)부 3분류로 나눌수 있다.

Head부는 터널굴착을 위한 Cutter 및 Driving Motor, 유압 Cylinder가 있고 Body부는 Cutter Head를 돌리기 위한 발전실, 집진기 등으로 구성 되어 있으며 후속 Trailer부는 버럭 처리 및 봉락 처리 장치로 구성되어 있다.

② 主要 機械 장치의 構造 및 機能

가) 主要장치 構成大別(3大部分)

나) 各部分의 機能

① Cutter Head

- 最先端 部分으로서 全面에 Cutter의 配列장착 Head의 邊端에 Scraper 및 Bucket 장착
- Head의 回轉과 同時 Cutter의 自轉으로 岩石굴착 前進
- 굴착된 岩石은 Scraper로 集積 Bucket 投入

② Main Body

- 기계의 從方向으로 中央部를 直通하는 Conveyor Belt 장치(Cutter Head Bucket로부터 切取岩石 取入 運送)
- Cutter head의 회전을 위한 回轉軸, Cutter Head의 前進作動을 위한 Cylinder 및 Clamping Pad 장치
- 굴착前進作業時에는 Clamping Pad로 굴착된 터널 벽면을 壓着, Cylinder의 前進力에 대한 強力한 支持反力 形成
- 기계 本體의 地上支持를 위한 支持室

③ Trailer

- 上部에 切取岩石 運送用 Conveyor Belt 탑재
- 内部에 Cutter Head와 기계本體 구동用 油壓 Pump 및 動力 설비 적재

③ T.B.M 규격별(南山1號 쌍굴건설현장은 직경 4.5m와 11.3m 이용)재원 및 성능

5. 후속 설비 및 봉락시 처리대책

1) 후속설비

선진도갱 굴착시 투입된 후속설비는 국내에서는

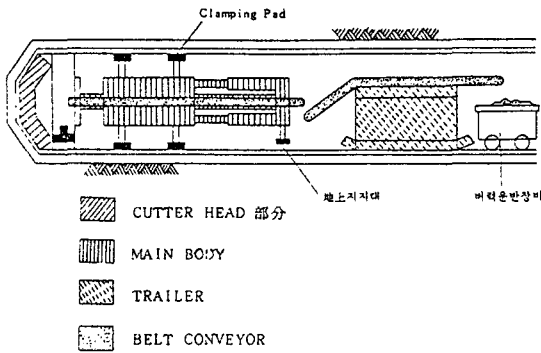


그림 3. T.B.M의 주요 부분

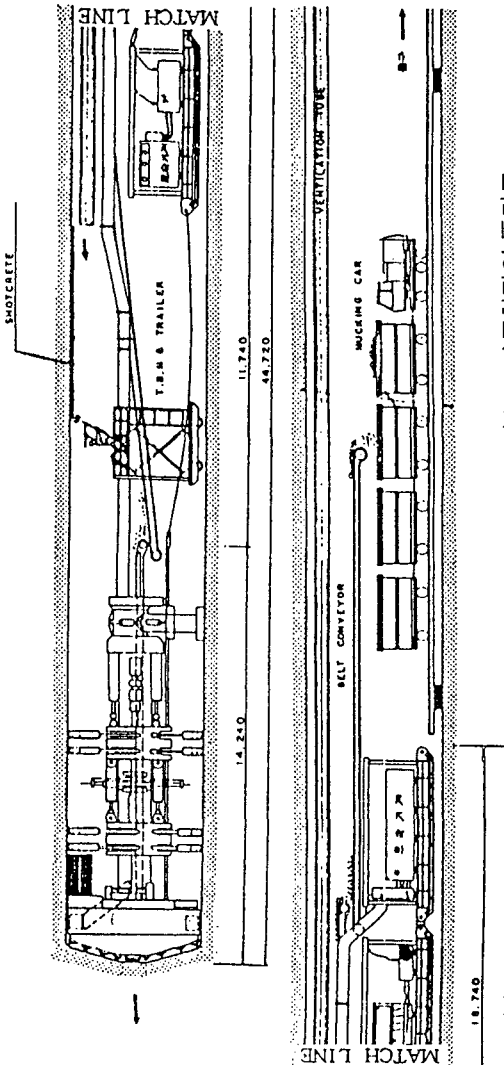


그림 4. 터널기계(φ 4.5m) 굴착작업 종단도

구 분		φ4.5 ^m	φ11.3 ^m
Cutter	Center	8	
	Outer	28	57
Complete	Gauge	4	4
	계	40	61
총중량(ton)		300	500
Boring Diameter(m)		4.5	11.3
Cutter Head rpm		7.3	0-2.7
Cutter Head Motor(kw)		640 (4×160KW)	1,200 (6×200KW)
Boring Stroke(m)		1.50	1.50
Advance (m/hr)		0-5	0-3.9
Hydraulic pressure(bar)		233	300
Curve Radius(m)		180	300
Grade Ability(°)		36°	20°
Electric system		380V-60HZ	380V-60HZ
1.Stroke당 굴삭량(모암·m ³)		23.8M ³	126.6M ³
총 소요전력(kw)		850	1,500
소요 용수량(ton)		200ton/day	310ton/day
소요 환기량(m ³ /min)		250m ³ /min	250m ³ /min

처음 시도하는 Car Puller and Car Passer system으로 연속적인 버럭 처리방법으로 1 Stroke의 버럭처리 시간을 기존의 방법보다 30% 정도 단축시킬수 있는 System이다.

당 현장에서 시험한 결과 및가치 보안 사항만 해결한다면 좋은 결과를 얻을수 있을 것으로 생각된다.

2) 붕락대책

T.B.M 굴착시 가장 중요한 것은 최소한 작업시간을 최대화하는 것이 바람직하다. T.B.M 굴진시 불가피하게 붕락이 발생하면 기계 Head 상부에서는 Shotcrete로 1차 처리하고 기계가 완전히 통과한 후 2차 Shotcrete, Rock bolt 강지보공 등으로 완전 보강하였다.

가) T.B.M 굴진시 붕락의 원인을 살펴보면 B.M 정지중에 발생하는 경우도 있지만 T.B.M 운

전중에 발생하는 것은 Cutter Head의 회전력에 의해 주변의 붕락이 발생하는 경우 T.B.M Clamping시 그 압축력에 의해 발생하는 경우 Cutter에 의한 붕락이 아니고 지보설치후에 붕락되는 형태 T.B.M 굴착에 따른 것이 아니고 시간을 두고 붕락하는 형태 등이다.

나) T.B.M 굴진능력을 최대한 발휘할수 있도록 강구하는 것이 중요하며 다음과 같은 사항에 유의하여 가동률을 높이지 않으면 안된다. 붕락부 처리 작업시간 단축 Cutter Head에서의 붕락 미연방지 경암부에서의 굴진속도 향상.

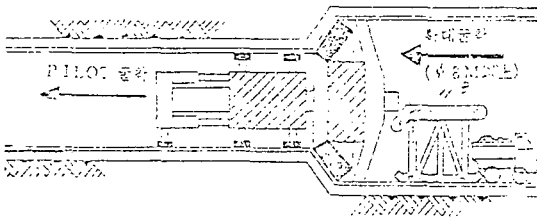


그림 5. $\phi 11.3m$ 인 터널확대 굴착기 (Tunnel Boring Enlargement)



그림 6.

3) 굴착방법(직경 4.5m T.B.M 기준) 및 실적분석 기계굴착의 대표적인 공법으로서 기계 전면엔 Cutter를 장착하여 壓 회전시켜 암석을 굴삭하는 비발과 굴착방법으로 무진동으로 주변암반에 영향을 주지 않으므로 원지반의 자립성과 應力을 이용하여 단면을 유지한다.

Pilot $\phi 5.5m$ 를 T.B.M으로 굴착(굴착기간 1989. 12. 15~90. 6. 30完了) 한남동측 入口部 약 300m는 풍화된 파쇄대로서 Shotcrete와 강지보간격을 05~1.0m 간격으로 보강하면서 일평균 3.70m/day를 굴진하였다. 그러나 터널 入口部 300m 이상~필동쪽 방향에는 비교적 암반 상태가 양호하여 일평균 10.6m/day 이었으나 아주 양호한 조건에서는 일최대굴진 25m/day 일때도 있었다. T.B.M 굴착시 발생하는 버력은 Conveyor Belt를 이용 후방으로 이동 Mucking Car에 적재되어 갱외로 운반한다(레이식)

암석의 파쇄정도는 암질과 T.B.M의 사양에 따라 다소 차이는 있지만 Cutter의 간격 및 투과 깊이에 따라 형성된다.

경암일 경우 대체적으로 60~80m/m 두께 3-10m/m 정도의 편석으로 굴착된다.

T.B.M(규격 4.5M) 굴진실적에 대해 분석하면 그림 7과 같다.

6. T.B.M 굴진

① 南山1號 터널 施工計劃

가. 施工斷面(L=1532m)

1단계 : $\phi 4.5m$ 의 T.B.M 굴착을 ①과 같이 先施行

2단계 : $\phi 11.3m$ T.B.M으로 ②와 같이 擴大굴착

②공정순서

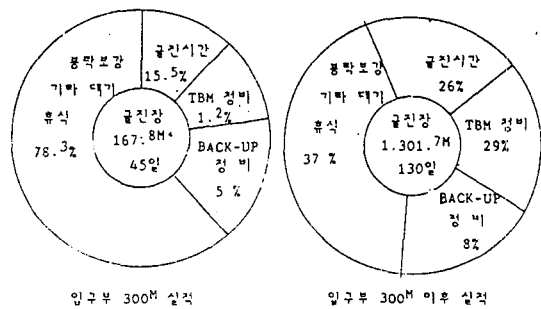
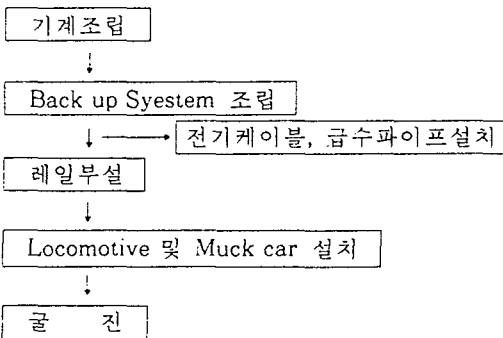


그림 7. T.B.M 굴진 실적

7. 터널 공사비 및 공법비교

본 터널에서 우선 직경 4.5m를 T.B.M으로 굴진해 본 결과 예상금액 2억원 이상 절감할 수 있었다. 예를들면 기 실적이 있는 부산구덕수로의 경우(직경 4.5m L=2,260) 당초 재래식 工法時 예산 45억

원으로 책정하였으나 T.B.M 시공으로 5억 절감했다. 굴착공기도 당초 20개월 예상하였으나 T.B.M 굴착기간을 7개월 단축하였다. 본 터널 역시 10개월로 예상했으나 4개월 단축하여 6개월만에 完了하였다.

터널의 공법 역시 기계화 시공이기 때문에 여러 가지로 효율적이라고 보아진다. 다음 비교표를 참조하시기 바라며 굴착중 진동 측정결과 安全性을 확보할 수 있었다.

8. T.B.M 掘進 振動測定

T.B.M 굴진이 진행되는 동안 터널 막장으로 부터 5, 10 및 15m 거리에 설치된 가속도계(모델 707LF)로 진동을 측정하여 Ono Sokki 진동측정기로 기록 분석하였다. 진동원과 수신점의 위치는 그림 8에 표시한 바와 같으며, 각 수신점에서 측정된 진동의 경시이력은 그림 9에 나타내었다. 기록지에는 기록 가능 진동범위를 카계 Setting한 관계로 분명한 파동이 나타나지 않았으나, 최대 진동치는 수치로 주어져 있기 때문에 최대치를 얻는데 어려움은 없다.

현장에서 측정된 반진폭 진동강도(Zero-to-peak)를 표1에 정리하였다. 표에서 막장거리 15m 일 때에 진동이 10m일 때보다 크게 나타났는데 이는 수신점 C에서 약 3m 정도 이격되어 설치된 기계실의 진동에 의한 영향으로 판단된다. 따라서 15m에서 측정된 진동치는 무시하고 그림 10과 같이 거리별 진동감쇄관계를 도출하였다.

그림10에서 알 수 있듯이 T.B.M 굴진으로 인한 진동의 크기는 거리에 따라 감쇄되어서 30~40m 정도의 거리에서는 수신가능한 강도를 상실하는 것으로 보인다. 최대진동(Peak to Peak)은 입자속도로 표시하여 5m 거리에서 0.02cm/sec 이하로서 상당히 낮은 수치를 나타내었는데, 이는 T.B.M 굴진이 Head의 회전으로 인하여 지반을 연마하면서 진행되기 때문에 충격(impact)으로 분류되는 항타등에 비하여 현저하게 적은 에너지가 지반을 통하여 전달되기 때문이라고 판단된다. 즉, head에 있는 Cutter가 지반을 연마하면서 대부분의 에너지를 소비하고 진동으로 전환되는 에너지가 상대적으로 적기 때문에 야기된 결과로 믿어진다.

터널 공법 비교표

구 분	NATM(화약발파 굴착공법)	TBM(기계굴착 공법)
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> · 터널 주변 지반의 지보력을 이용 · Rock Bolt, Shotcrete가속 지보공 사용 · 계측으로 안전 여부판단 · 근래 많이 사용 	<ul style="list-style-type: none"> · 굴착기계에 의한 굴착 공법 · 비발파 작업 · 암질에 따라 보강공병행 · 원형 구조 형성
장 점	<ul style="list-style-type: none"> · 변화의 발견과 대비책에 연계성 양호 · 지반 조건이 불량한 곳에 적용 	<ul style="list-style-type: none"> · 비발파로 높은 안정성 확보 · 원형 구조로 구조적 안정 · 공사 기간 단축 · 터널 공사 환경 양호
단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 병행터널 공사로 계측 및 시공시 높은 정밀도를 요함 · 정확한 지질조사가 필요 · 적은 단면적은 비능률적 · 화약 사용이 필수적임 	<ul style="list-style-type: none"> · 굴착단면적 고정 · 기계설치, 해체와 작업장이 필요함 · 암질에 알맞는 Cutter갯수 변경
환경성	<ul style="list-style-type: none"> · 화약발파로 주변 시설에 안전대책 필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 비 발파로 주변 시설에 영향없음
굴착성능	<ul style="list-style-type: none"> · 1.5~3.0m/1일 	<ul style="list-style-type: none"> · 5~10.0m/1일
시 공 예	<ul style="list-style-type: none"> · 산악 도로터널 다수 · 서울 및 부산 지하철 다수 	<ul style="list-style-type: none"> · 부산구덕 수로터널 지하철 · 주암도수 터널 및 외국 다수

표 1. 최대 반진폭 진동강도

수신점	막장거리	진동강도(mm/sec)	비 고
A	5m	0.139	
		0.141	
		0.167	
B	10m	0.0882	
		0.0642	
		0.0508	
C	15m	0.118	기계실의 진동에 의한 영향이 지배적이었음.
		0.147	
		0.154	

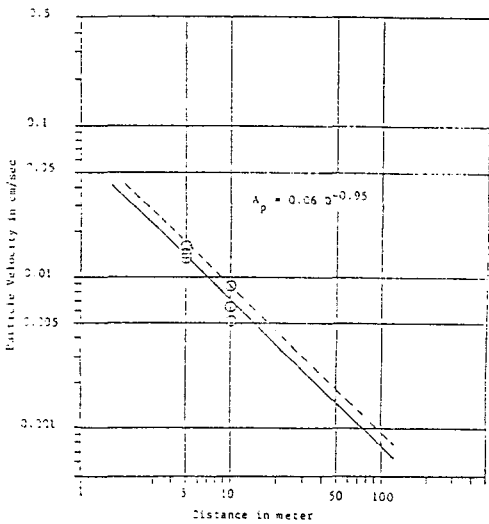


그림 10. T.B.M 굴진진동의 거리별 감쇄관계

9. 결 론

T.B.M 공법은 자동화된 기계 System으로 점

진적으로 개발하여 시공기술을 향상 시킨다면 全斷面을 同時に 굴착함으로써 굴착능력이 월등할 것으로 기대된다.

또한 비폭파 방식으로 작업 安全性가 극히 높고 재래식 처럼 반복되는 발파음이나 진동으로 시민 생활에 불편을 끼치는 일이 없으며 특히 市街地의 터널 굴착에는 最適工法으로 생각되며 기계화에 따른 인력부족의 심각한 문제점을 다소 해소할 수 있다고 보아진다.

I.B.M 工法이 우리나라에서는 처음 시도된것은 진로건설(주)이 독일 WIRTH社로부터 기계를 도입하여 1985. 10 부산 상수도 확장사업으로 구덕수로터리(직경 4.5m) L=2.23km를 시작으로 부산지하철 직경 7m) L=2.17km 주암도수로 터널(직경 4.5m) L=11.5mkm를 시공하여 성공적으로 마무리 함으로써 이를 기반으로 하여 서울시에서는 처음으로 남산1호터널 신설공사에 시도하여 1차 직경 4.5m 선진도갱을 굴진 完了하였다.

앞으로 국토의 대부분이 산악지인 우리나라에서는 Tunnel 건설물량의 증대가 필연적으로 발생하며 또 터널 이용면에서 편익성과 효율성이 높도록 계획되어야 하므로 터널의 연장은 장대화될 수 밖에 없으므로 장대 터널에 우수한 T.B.M 공법으로 유도하는 것이 매우 바람직하다고 보아진다.

경제적인 측면에서 대형단면일 경우 다소 증가 되겠지만 간접적인 요인의 효율성을 감안한다면 T.B.M 공법이 유리하다.

국가 경제가 선진국 수준의 대열에 진입함에 따라 국민 생활수준과 의식수준이 향상됨으로 인하여 공사의 질적인 개선이 요망되는 시점에서 볼때 T.B.M 공법이 매우 타당성있는 시공방법이라 생각되어 더욱더 연구 개발하여야 하겠다.

科學의 눈

물沸點은 99.974度 22년만의 눈금 修正

물의 비등점은 100도가 아니라 99.974도이다-. 온도의 정밀측정 기술이 향상된 결과 국제적으로 정해진 온도 눈금이 22년만에 개정되고 이에 따라

나라마다 계량법상의 수정이 행해진다.

온도눈금의 변경은 작년 9월에 열린 도량형위원회에서 결정되었었다.

물의 비등점의 온도변경에 따라 교과서등의 기술변경이 필요하지만 가정에서의 온도계사용에는 별지장이 없다한다.