KGS FALL '94 National Conference
28, 29 October, 1994/Seoul/Korea

Umbrella 공법에 의한 터널전단부 보강시 주변지반의 변위연구

Ground Movements Associated with Tunnelling by Umbrella Arch Support Method

배규진*(G. J. Bae)　구호본*(H. B. Koo)　홍성완*(S. W. Hong)　유영휘*(Y. H. Ryu)　이봉열*(B. Y. Lee)　원경식**(G. S. Won)

* : 한국건설기술연구원 지반연구실, Geotech. Div., KICT
** : (주) 지오텍 엔지니어링 기술이사, Director, Geo-Tech Engineering Co., LTD.

SYNOPSIS : Soil and Rock improvement and reinforcement techniques are applied to permit safe tunnel excavations in difficult geological conditions. Umbrella Arch Method(UAM), one of these auxiliary techniques is used to reduce the ground permeability and to improve the stability of the tunnel by inserting a series of the steel pipes into the ground around the crown and parallel to the longitudinal axis of the tunnel and multi step grouting through them. The UAM combines the advantages of a modern forepoling system and of grouting injections. The technique has been applied in subway tunneling sites for the last few years in Korea.

The paper presents case records on ground movements associated with NATM UAM tunneling in Seoul Subway 5th Line. The magnitude and distribution of ground movements are compared with other findings such as the results of case records of the tunnels driven by other auxiliary techniques.

Imprevement of tunnel stability and decrease of ground settlements expected with pipe inserting are discussed and finally measures to minimize ground settlements caused by NATM UAM tunneling in Korea are suggested.

1. 서　론

지반조건이 열악한 곳에서 터널을 시공할 때에는 터널의 안정성 증대와 인접구조물의 손상방지를 위하여 지하굴착 보조공법을 적용하게 된다. 이와 관련, 선진외국의 경우는 터널의 보강 및 차수 효과를 동시에 얻을 수 있는 공법개발에 많은 연구비 및 연구인력을 투입, 수평 Jet grouting공법, Umbrella공법, 동결공법등 다양한 지하굴착 보조공법들을 개발해오고 있다. 특히 이탈리아의 경우는 70년대 중반부터 굴착전에 터널 천단부를 따라 소구경 강관들을 일정간격으로 천공, 삽입한후 그 강관속의 구멍을 통해 그라우팅을 수행하여 터널의 보강 및 차수효과를 동시에 얻는 Umbrella공법을 개발하여 실무에 활용할 수 있게 하였고, 그 후 정밀천공장비나 주입약재 등의 개발을 통해 본 공법의 효용성을 극대화하는 방향으로 기술개발을 추진해오고 있다. 가까운 일본의 경우도 이러한 이탈리아의 Umbrella공법을 자국의 현장여건에 부합하도록 설계, 시공면에서의 보완 연구를 통해 공법을 정착화시켰으며, 빙하퇴적층, 대규모 단층파쇄대층, 하상퇴적층 등 매우 열악한 지반조건하에서도 터널시공을 현재까지 무리없이 수행하고 있다. 한 예로 일본의 아가이시해협의 마이고 도로터널은 터널직경이 16~17.7m, 토피가 13~20m인 대단면 저심도 터널이며, 연약사력층 지반을 관통하는 난공사 구간임에도 불구하고 Umbrella공법을 활용, 성공적으로 굴착공사를 수행하고 있어 각종 보조공법중에서도 Umbrella공법이 터널안정에 상당히 효과적인 공법임을 예시하고 있다고 판단된다. 대만 중국의 경우도 시아원 지역을 관통하는 Nanling터널공사시 붕락사고가 자주발생, 이의 해결 일환으로 본 공법을 적용하여 좋은 결과를 얻은 것으로 보고하며 있다.

국내의 경우는 1990년대초 제 2기 지하철 건설공사시 일부구간에서 이러한 Umbrella공법, 일명 강관보강형 다단그라우팅공법이 적용된 바 있고 일부 지중신 터널현장에서도 사용되고 있으며, 그 결과 공비 및 공기면에서는 타공법에 비해 유리한 것으로 알려져 있다. 그러나 공법의 지반 차수 및 보강효과에 대해서는 관련연구의 미흡으로 현재까지 자세하게 알려져 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 강관보강형 다단그라우팅공법의 터널보강효과와 주변지반의 거동에 미치는 효과를 파악하기 위하여 본 공법이 적용된 서울 지하철 5-A공구에 대해 시험시공 및 계측을 실시하였으며, 서울 지하철 5-B공구의 계측자료도 이용하여 수집, 분석하였다.

2. 현장조건 및 실측계획

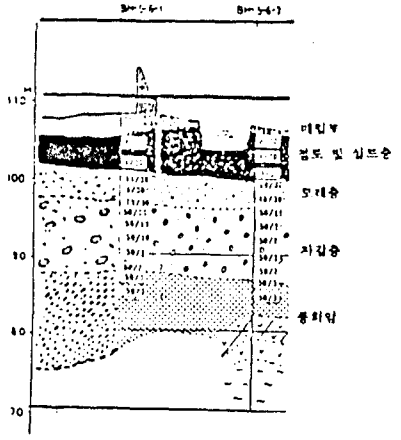
2.1 현 장 조 건

본 구간의 지질상태는 그림2.1과 같이 매립토, 충적층, 풍화대층, 기반암층으로 구성되어 있으며 지하수위가 지표로부터 2~3m로 비교적 높은 구간이다. 본 구간의 지반물성치는 표2.1과 같다.

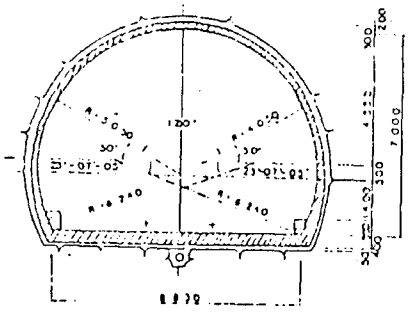
표 2-1 지반 물성치

	층두께(m)	γ (t/m3)	C(t/m2)	φ (°)
매립토층	7.60	1.80	1.0	30.0
충적층	13.80	2.10	0.0	35.0
풍화토층	6.00	2.20	30.0	40.0
풍화암층	2.00	2.20	40.0	43.0
연암층	8.00	2.45	50.0	45.0

이 구간의 터널단면은 직경 10m이고 터널상부의 토피는 약 25m로 충적층과 풍화암층이 위치하고 있으며 그 하부에 연암층이 발달해 있어 PD-3패턴에 준한 시공이 진행되고 있다.



a) 지 질 도



b) 터널 단면도

그림 2.1 지질 및 시공단면도

현장터널의 굴진장은 0.8m이고 상하반 분할굴착이 이루어졌으며, 상반과 하반의 간격은 상반의 작업공간만을 확보하면서 10m 간격으로 진행되었다. 터널 막장 전면의 지층은 매우 연약한 풍화암이 주를 이루고 있어 보강을 위해 터널 아치부 120° 각도내에 길이가 18m인 29개의 강관이 일정간격으로 설치되었고 그속에서 다단 그라우팅이 시행되었다.

2.2 강 관 시 공

삽입되는 강관은 그림 2.2와 같이 Φ50mm(T=4mm)인 일반구조용 강관이 사용되었고 시공성 및 경제성을 감안하여 40~50cm 간격으로 분사공을 설치한 후 주입재의 역류를 방지하기 위해 고무재질의 Banding이 실시되었다. 또한 강관은 3m 간격으로 양단에 나사를 설치하고 Coupling을 하면서 연결되었다

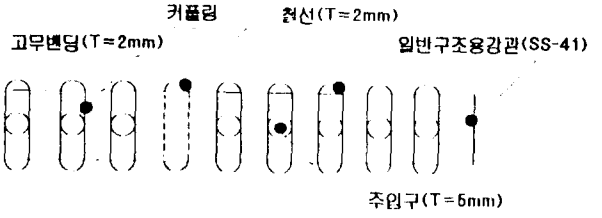


그림 2.2 강관 시공도

강관삽입은 천공완료후 지하수의 누수 및 토사의 유출을 방지하기 위하여 천공 후 즉시 강관이 삽입되고 입구부는 그림 2.3과 같이 Corking 되었다. Corking 대는 주입압력이 15kg/cm²에 이르므로 그 이상의 압력에서도 견딜 수 있도록 제작되었으며 Corking시 Seal재를 주입하기 위한 Hose가 설치되었다.

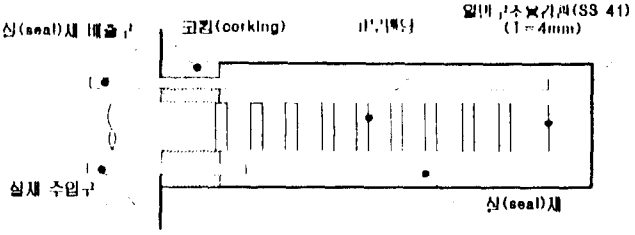


그림 2.3 강관 삽입 상세도

분사공이 설치된 강관을 삽입후, 천공된 강관사이를 막기위해 강관과 공벽사이에 실재가 투입되었으며 이 실재의 주입은 주입재의 역류를 방지하고 한정된 범위만의 주입을 위하여 실시되었다. 실재의 배합비는 표 2.2과 같다.

표 2.2 실재의 배합비

구 분	시멘트(kg)	벤토나이트(kg)	물(l)
배합량(M^3 당)	200	625	855.1

주입재의 원활한 주입 및 효과의 극대화를 위해 삽입된 강관내에 1.5~3.0m 간격으로 설치된 패커에 의해 주입재가 주입되었

으며 패커로는 Hydraulic packer system이 사용되었다.

그리고 강관보강형 다단 그라우팅은 여러가지 주입재를 복합 주입할때 보다 양호한 주입효과를 기대할수 있기 때문에 여러가지 주입재를 사용하고 있다. 일반적으로 L/W Grout재는 시멘트 밀크의 주입범위의 한계를 보완하고 차수효과를 증대시키기 위하여 사용되며, 주입재의 배합비는 표 2.3와 같다.

표 2.3 주입재의 배합비

구 분	시멘트(kg)	물유리(l)	물(l)
배합량(M^3 당)	250	250	167

2.3 실측계획 및 방법

강관 보강형 다단그라우팅공법의 보강효과를 파악하기 위한 현장계측은 지반침하 계측과 터널 천단침하 및 내공변위 계측위주로 수행되었다. 그러나 현장제약으로 지표침하의 경우는 그림 2.4(b)와 같이 터널 우측 반단면에 대해서 횡방향 8개의 측점에 대해 계측이 이루어졌고 지중침하계 및 지중경사계의 경우도 그림 2.4(b)에서와 같이 터널 우측에 각각 1개씩만이 설치·측정되었다.

한편, 터널 내부계측은 pin을 이용한 천단침하 및 내공변위 측정외에 터널의 막장내에 수평 경사계를 터널굴진방향으로 설치, 천단침하량을 정밀측정하도록 하였다. 수평 경사계는 그림 2.4(b)와 같이 수평설치가 어려워 10° 경사, 20m 길이로 설치됨으로써 6° ~7° 경사각도로 천공된 강관 바로 직상부에 위치하게 하였다.

본 터널 현장에서는 터널 내부 작업공간 문제로 경사계를 10° 경사로 설치하였기 때문에 경사계 끝단이 3.5m정도 터널 천단 상부에 위치하나 터널막장의 거동 영향 각도를 고려하여 실제 거동 측정은 경사계 13m정도까지만 이루어져 그 부위에서의 이격높이가 약 2m에 불과하므로 본 연구에서는 경사계로 부터 측정한 값들을 천단침하 값으로 사용하였다.

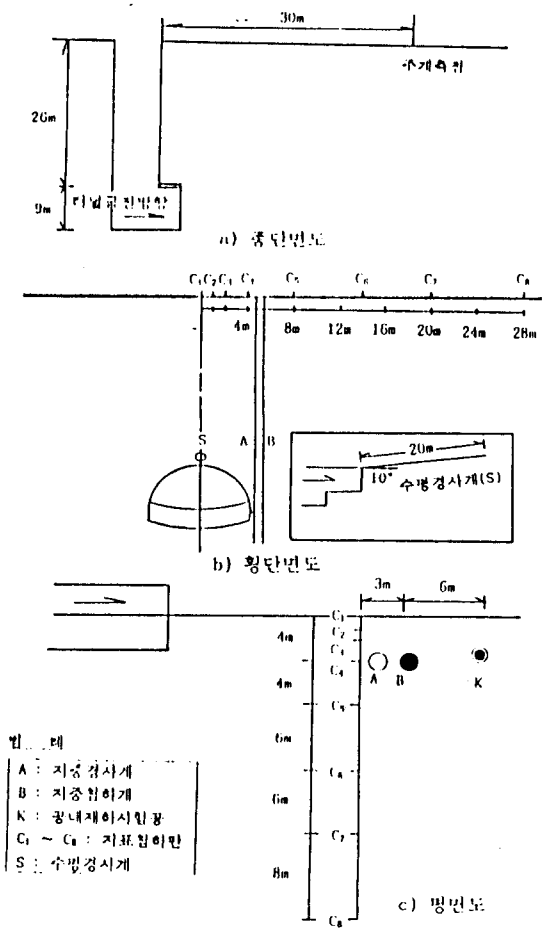


그림 2.4 현장계측도

3. 실측결과 분석

3.1 종방향 지표침하 및 터널변형

그림 3.1은 터널 중심선 상부의 지표침하와 터널내부의 pin을 이용하여 측정한 터널 천단침하 및 내공변위를 도시한 것이다.

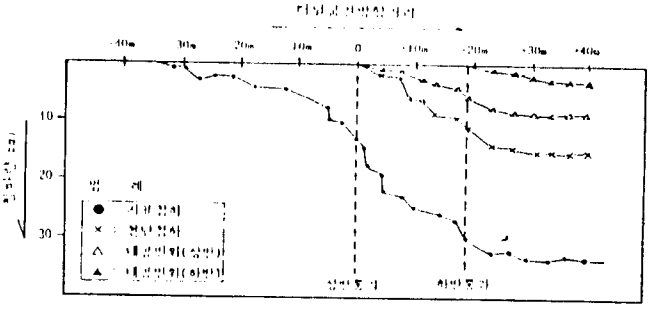


그림 3.1 종방향 거동 형태

그림에서 보는 바와 같이 강관 다단 그라우팅을 시행한 경우도 종방향 최대지표침하 곡선이 누적 가우스 함수(Cumulative Gaussian Function) 또는 일반 지수함수곡선 형태로 나타나고 있고 계측점 통과시의 발생 침하량이 최종 침하량의 38%로 도시되고 있어 강관다단 그라우팅을 시행하지 않은 일반터널 현장의 경향과 큰 차이점을 보이지 않고 있다. 또한 지표침하량의 최대값은 33mm로, 인접구간의 침하계측 결과에 비해 큰 값이나 실측현장의 지질조건이 매우 열악한 점을 감안하면 강관다단 그라우팅

이 시행되지 않았을 경우 더 큰 침하가 발생하였을 것으로 판단된다.

천단침하의 경우는 일반적으로 지표침하 보다 큰 값을 갖게되나 지표침하량의 1/2 정도로 매우 작은 값을 보이고 있는데, 이는 터널 굴진이 3m 정도 진행된 상태에서 pin이 설치되고 초기치가 읽혀져 실제 값보다 작게 나타났던 것으로 사료된다. 내공변위도 상반부의 경우 천단침하의 1/2 정도로 나타나고 있으며, 하반 통과후 8~10m 지점에서 부터 변위가 수렴하는 양상을 보인다.

3.2 횡방향 지반침하

그림 3.2는 횡방향 지표침하 형태와 터널 우측부에 설치된 지중 침하계의 침하형상을 도시한 것이다. 횡방향 지표침하의 경우, 그림에서와 같이 curve fitting을 하면 가우스 곡선 형태로 도시되고 있으며, 가우스 곡선상의 변곡점(i=0.61 S_{max}, 여기서 S_{max}는 최대 지표량을 나타냄)은 터널 중심선에서 약 15m 떨어진 지점(i/R = 3.4, 여기서 R은 터널 반경임)에 나타나고 있어 침하영향이 상당히 넓게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 강관시공의 영향 외에도 터널심도가 깊어 발생한 현상일 것으로 판단된다.

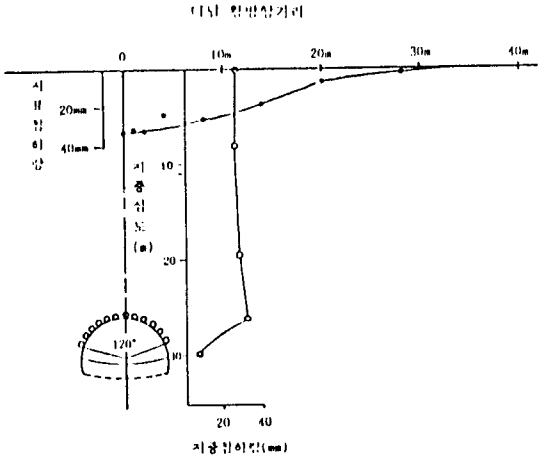


그림 3.2 횡방향 지반침하 형태

한편, 터널 측벽부에 설치된 지중침하계로 부터 측정된 지중침하의 경우는 지중심도에 따른 침하량 증감이 크게 발생하고 있지는 않으나 강관시공이 이루어지지 않는 터널 shoulder부에서 가장 큰 침하값을 보이고 있어 수집계측 자료를 분석한 그림 4.5와도 유사한 결과를 나타내고 있다.

3.3 터널 천단부의 거동

그림 3.3은 터널 막장에서 터널 굴진방향으로 설치한 수평경사계로 부터 얻은 터널 천단침하량을 터널상반 굴진거리별로 도시한 것이다. 상반굴착시 최대 천단침하량은 약 36mm이며, 터널 막장 전방 2~4m 지점에서 부터 지반거동이 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한 하반 굴착시 발생한 천단 침하량이 약 9mm 이므로 전체 천단침하값이 약 45mm이며, 이는 그림 3.1에서 도시한 천단침하량(터널막장 3m 후방에서의 레벨측정치) 16mm에 비해 약 2.8배 큰 값이다. 결과적으로 본 현장조건하에서 터널시공을 수행하는 경우 터널 막장 후방에서 레벨로 천단침하를 측정하면 아무리 초기에 Pin설치와 측정이 이루어진다해도 실제 지반거동의 1/3 정도 밖에 측정하지 못함을 알 수 있다.

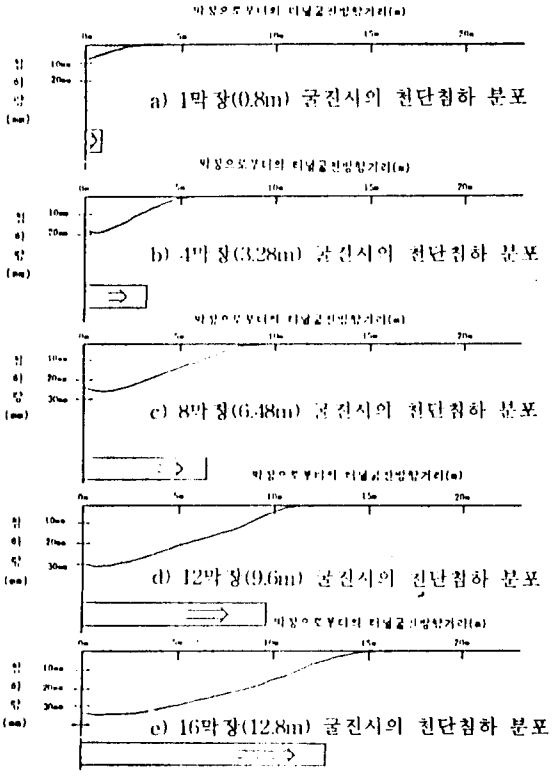


그림 3.3 터널종방향 굴진거리별 천단침하 형태

또한 터널 굴진거리에 따른 천단 침하량의 발생비율을 조사하기 위하여 그림 3.4와 같이 천단침하자료를 재도시하였다. 그림에서와 같이 지반침하는 막장 전방 0.75H(여기서 H는 터널높이임) 지점에서 부터 발생하기 시작하며, 막장이 초기침하 발생지점을 통과할 때 전체 침하량의 약 28%가 발생하고 있다. 그리고 3H

정도 터널굴진이 이루어지면 그 지점에서의 천단침하 값이 수렴하는 형태로 나타나고 있음을 알수있다.

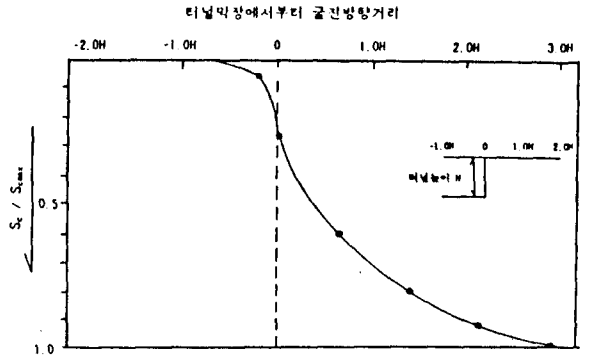


그림 3.4 종방향 천단침하 특성 곡선

그림 3.5는 강관설계시 주요 요소가 되는 터널 막장의 거동영역을 파악하기 위하여 수평경사계로 부터 구한 천단침하 곡선과 시험구간에서 발생한 2번의 소규모 막장 붕락사고시 얻은 막장 붕괴각도, 그리고 암반의 내부 마찰각 Ø값으로 부터 추정한 예상거동 영역 등이 함께 도시된 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 강관다단 그라우팅을 시행하는 경우 침하 실측시 지반거동각도가 31° ~36° 이고 암반물성으로 부터 추정한 예상 거동각도는 약 28° 로 나타나 큰 차이를 보이지 않으나 국부적으로 발생한 막장 붕괴의 각도는 23° ,43° 로서 막장 거동각도와는 상당히 다른 양상을 보이고 있다. 막장붕괴는 막장 천정부근에서 소규모 쐐기형태로 암괴가 떨어진 경우와 막장 저면부에서 43° 의 매우 완만한 각도로 강관 설치부근까지 붕괴가 발생한 경우등으로 대별할 수 있는데 이들은 모두 단층대를 따라 발생된 것이어서 풍화토가 심한 현장에서 강관의 겹침길이를 결정할 때는 막장의 일반거동영역보다는 단층대나 주절리의 가장 취약한 상태를 고려(45° 각도)하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

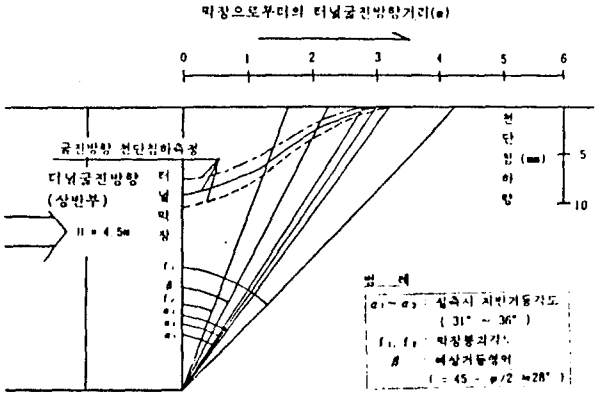
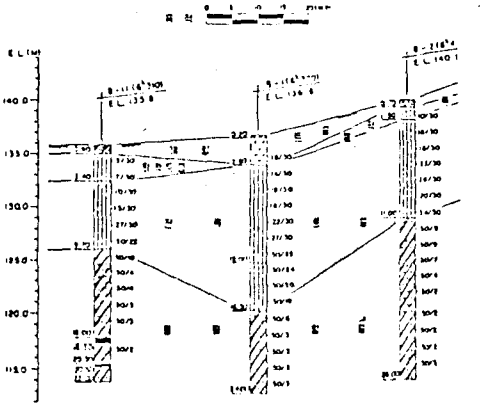


그림 3.5 터널막장 전방의 이완 및 붕괴범위

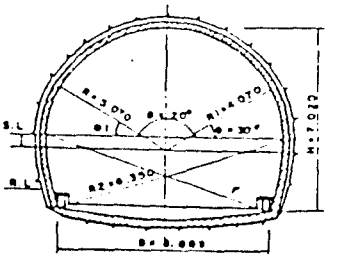
4. 수집계측자료 분석

4.1 현 장 조 건

본 구간의 지질조건은 그림 4.1과 같이 편마암이 풍화하여 형성된 지층으로 상부에 실트층이 얇게 분포되고 있으며 그 아래로 풍화토와 풍화암이 발달한 구간으로 터널의 토피고는 약 12m정도이며 터널봉과부는 풍화암층으로 구성되어 있고 터널 천단부 4~5m 상부에는 풍화토층이 위치하고 있다. 그러나 일부 구간에서는 터널 S.L부분까지 풍화토층이 위치한 곳도 있어 PD-3패턴에 준한 시공이 이루어진 구간이다. 터널의 직경은 10m이고 굴착방법은 다단 Bench cut이 적용되었고 굴진장 0.8m간격으로 Steel rib을 설치하고 길이 4m의 Rock bolt보강 등을 수행하면서 시공진행되었으나 터널 좌, 우측 상부에서 소성영역이 발생하고 지표침하 및 천단침하가 과다하게 발생하므로 막장의 안정과 지표면 침하의 억제를 위해 강관삽입식 다단 그라우팅이 시행된 구간이다.



a) 지 질 도



b) 터널 단면도

그림 4.1 지질 및 시공 단면도

4.2 계측자료 분석

계측이 수행된 본 구간은 터널직경(10m)에 비해 토피(12~13m)가 매우 얇고 풍화토가 터널 천단부위까지 폭넓게 발달하여 터널 상반부의 안정문제가 심각히 대두되었던 0k 280m 지점에서 0k 440m지점 까지의 터널굴착구간과 터널상부의 토피(15~28m)가 상대적으로 두껍고 풍화암 및 연암층이 터널 천단부에서 4~12m 이상의 상부까지 발달되어 터널굴착이 암반에서 이루어진 0k 440m~0k 660m지점 까지의 구간등으로 세분할 수 있다. 여기서 풍화토에서 터널굴착이 이루어진 0k 280m~0k 440m지점까지의 터널구간의 경우, 초기 굴착은 전술한 바와 같이 터널천단부의 사전보강없이 단순굴착으로 이루어졌기 때문에 상당히 큰 지표침하와 천단침하가 발생하였고 이로 인한 터널의 막장안정과 함께 지표면에서의 건축물의 손상에 대한 의문이 커짐에 따라 0k 300m 지점부터는 강관 삽입식 다단 그라우팅공법이 적용되었다. 그러나 토피가 증가하고 암선이 터널 천단부 이상으로 올라가는 0k 450m 지점 부터는 유입지하수량이 극소량이고 터널막장의 안정을 기대할 수 있어 강관 삽입식 다단 그라우팅공법을 사용하지 않고 당초처럼 단순 굴착 및 지보방법이 채용되었다.

4.2.1 터 널 변 형

그림 4.2는 지표침하가 측정된 지점에서의 터널 천단침하량의 분포를 도시한 것이다. 풍화토에서 터널굴착이 수행된 0k 283m, 320m, 360m의 경우 강관삽입식 다단 그라우팅공법을 적용했을 때의 천단침하량이 9mm 정도로서, 본 공법을 적용하지 않은 지점에 비해 천단침하가 약 1/3정도 경감된 값으로 나타나고 있으며, 또한 이 값은 풍화암 구간에서 본 공법 적용없이 굴착작업이 이루어진 지점들의 평균 천단침하량(9mm)과 같게 나타나고 있다.

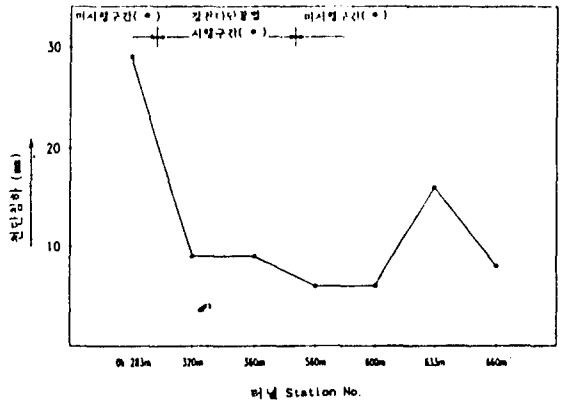


그림 4.2 천단침하량의 분포

따라서 이러한 경향을 볼 때 천단침하량의 분포는 그림4.4의 지표침하량의 분포형태와 비교적 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 양적인 면에 있어서는 지표침하량보다 천단침하량의 경감효과가 보다 크게 나타나고 있는데 이는 강관 삽입식 다단 그라우팅이 주로 터널 어깨부(shoulder) 위의 천단부를 보강(강관이 터널굴착 시만 중심부에서 120° 각도로 시공됨)하게 되므로 천단부 구속효과는 뛰어나나 터널 측벽부와 하반부에서의 터널거동은 허용하게 되며, 또한 이부위를 통해 지하수의 유입을 허용하기 때문으로 사료된다.

그림 4.3은 터널 내부 A, B 두 지점의 내공변위량을 터널 지점별로 도시한 것이다. 강관삽입식 다단 그라우팅을 시행했을 때의 내공변위량의 평균치는 약 9mm로서, 본 공법을 적용하지 않은 지점에 비해 내공변위가 약 35% 정도 경감된 값으로 나타나고 있으며, 또한 이 값은 비교적 굴착조건이 좋은 상태에서 본 공법 적용없이 굴착된 0k 600m~635m지점에서의 평균 내공변위량(8.8mm)과 거의 같게 나타나고 있어 그림 4.2의 천단침하 발생형태와 매우 흡사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

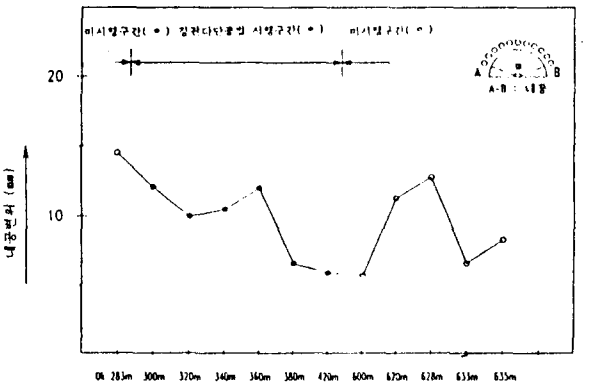


그림 4.3 내공변위의 분포

그러나 본 공법적용시의 내공변위량 경감효과는 전술한 바와 같이 침하량 감소효과에 비해 다소 낮은 35% 정도로 나타나고 있어 본 공법 적용시의 내공변위 경감효과는 침하경감효과에 비해 상대적으로 작음을 알 수 있다. 이는 그림 4.3의 내부에 도시된 터널형상에서와 같이 내공변위 측정은 Pipe roof가 형성되지 않은 터널 하단부에서 이루어지므로 120° 각도로 터널천단 주변부만 Pipe roof를 설치하는 현재 시공변위하에서는 침하경감효과만큼 내공변위 감소효과를 크게 얻기가 어렵다고 판단된다.

4.2.2 지 반 침 하

그림 4.4는 계측이 수행된 본 구간에서의 터널 지점별 최대 지표침하량을 도시하였다. 비교적 유사한 터널의 기하학적 조건(Z_0/D = 1.7)과 지반조건(풍화토구간)을 갖는 0k 283m~0k 360m 지점에서의 지표침하량을 1차적으로 고려해 볼 때 강관 삽입식 다단 그라우팅공법을 적용한 경우가 평균 28mm의 지표침하량을 보이고 있어 보조공법을 적용치 않은 지점에 비해 48%의 지표침하 경감효과를 얻은 것으로 사료된다. 또한 지반 조건이 상대적으로 양호하여 본 공법을 적용치 않은 구간의 경우는 지표침하량이 평균 24mm 정도로서, 풍화토 구간에서 강관 삽입식 다단 그라우팅공법을 적용한 경우와 비교적 유사한 침하값을 나타내고 있다.

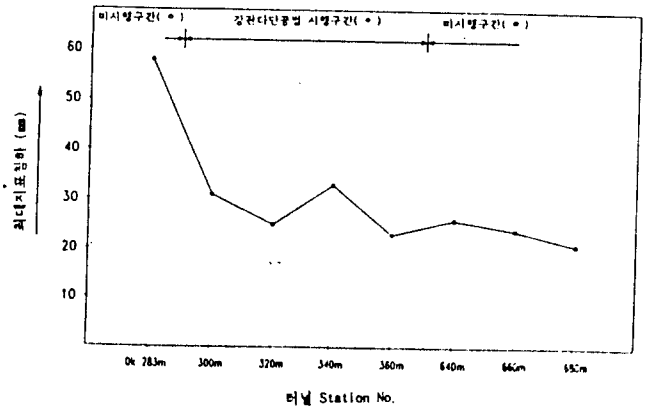


그림 4.4 지표침하량의 분포

본 구간의 경우 현장 데이타의 숫적인 제약과 특정한 현장조건을 갖기 때문에 강관 삽입식 다단 그라우팅공법 적용에 따른 지표침하 경감효과를 일반적으로 제시하기는 어려우나 Z_0/D = 1.7정도로 표피가 얇은 토사층 관통터널의 경우 약 1/2 정도의 지표침하 경감효과가 있을 것으로 추정된다.

그림 4.5는 강관 삽입식 다단 그라우팅공법이 적용된 0k 310m 지점에서의 지표 및 지중의 침하분포를 알기 위하여 터널주변에 설치된 지중침하계(Extensometer)와 지표침하 Pin의 측정치를 도시한 것이다. 그림으로부터 강관삽입식 다단그라우팅 공법을 적용한 경우 지반의 최대침하는 Pipe roof의 지반 구속효과로 인해 터널 Crown부 보다 Pipe 시공이 이루어지지 않은 터널 측벽부 직상단에서 나타나고 있다는 사실과 터널 중심선이 지나는 지중에서의 침하보다 이러한 터널 측벽부 상단의 지중에서의 침하가 다소 크게 발생하고 있음을 알 수 있다. 그러나 이러한 현상은 상부로 올라 갈수록 줄어들어 지표면에서는 일반 터널시공시에서와 같이 터널 중심선부에서 최대침하값이 나타나고 있다.

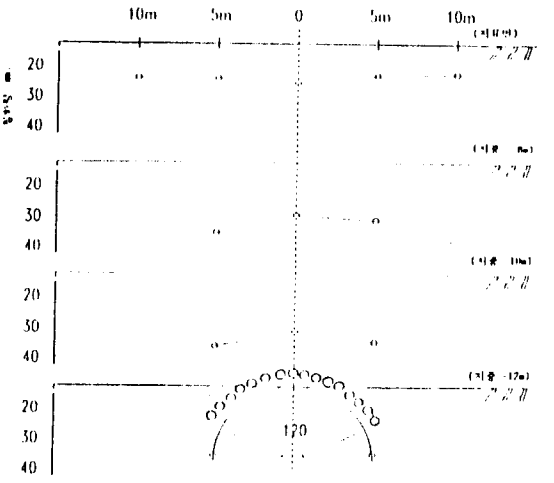


그림 4.5 지표 및 지중침하량 분포(0K 310지점)

그림 4.6은 이러한 지반침하경향을 자세히 파악하기 위하여 터널 중심선상에 설치된 지중침하계와 터널 스프링라인부에서 1m정도 떨어진 터널 좌, 우측에 설치된 지중침하계에서 측정한 지반침하량을 지중 심도비, h/Z_0(여기서 h 는 임의의 지중점 P에서 지표까지의 연직깊이를, Z_0는 터널중심에서 지표까지의 연직깊이를 나타냄)에 따라 재도시한 것이다.

h/Z_0=0.3인 지점부근에서부터 터널 중심선상의 지중침하가 주변 지반의 침하보다 다소 크게 나타나는 이른바 보조공법을 채용하지 않은 일반 터널시공법상에 발생하는 침하패턴을 보여주고 있다. 최대 지반침하를 발생시키는 터널 좌우 측벽부근의 경우, 측벽부에서 부터 h/Z_0가 0.5인 지점까지는 지중심도에 따른 지반 침하량이 느리게 감소하나 지표면으로 갈수록 급격한 침하감소가 일어나 터널측면부 상단의 지중침하는 터널 중심선상의 지중침하에 비해 적게 나타나고 있다

그림 4.5와 그림 4.6으로부터 터널굴착지면 중심부에서 120° 각도로 Pipe roof를 시공하고 있는 본 강관 삽입식 다단 그라우팅 공법이 누수가 많은 현장에 적용될 경우, Ground loss를 크게 발생시키는 주요 부위는 터널천단부보다 Pipe roof가 형성되지 않은 터널 측벽부임을 알 수 있으며, 이러한 원인으로 인해 h/Z_0 = 0.3 (또는 h/D = 0.6)인 지점까지는 터널 중심선상의 지중침하보다도 터널 좌우측면의 직상부에서의 지중침하가 터널과 인접한 지중구조물의 안전에 더 큰 영향을 미친다는 점을 알 수 있다.

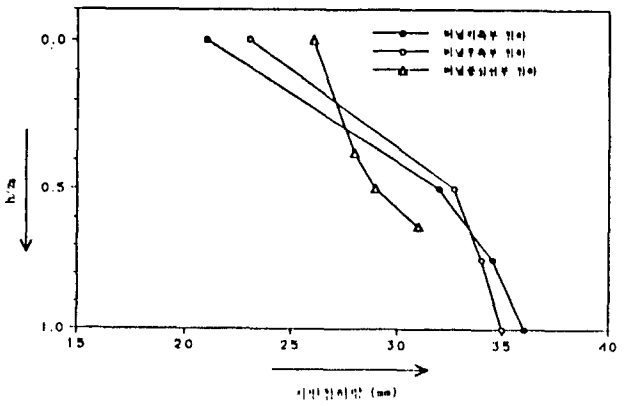


그림 4.6 지중심도비(h/Z$_0$)에 따른 지반침하량

4. 결 론

본 연구로 부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 현장 계측 자료분석 결과, 본 공법 적용시는 터널 천단부의 변위구속 효과가 매우 커, 기존의 타 보조공법(chemical grouting + Forepolling 방법) 적용시 보다 천단침하량에서 1/3 정도, 지표면 침하량에서는 1/2 정도의 경감효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 그러나, 이는 터널이 주로 화강 풍화암 구간을 관통하는 서울 지하철 5호선 구간에 대한 연구결과이므로 터널의 기하학적 형태나 지반조건이 크게 변화하는 터널현장에 대해서는 보다 많은 현장 Data의 축적 및 후속연구가 지속되어야 지반거동 감소효과의 정량적 분석이 가능할 것으로 판단된다.
2. 터널굴착 저면 중심부에서 좌, 우 60° , 즉 120° 각도로 강관을 일정간격으로 시공하는 기존방식의 강관 보강형 다단 그라우팅의 경우, 터널 측벽부의 누수 및 거동을 허용하게 되어 터널의 안정문제는 터널 천단부보다는 터널 어깨부(shoulder)에서 더 크게 발생하며, 또한 이로 인해 지표면 침하의 경감효과가 천단침하 경감효과보다 작게 나타나므로 누수가 심한 현장에서의 지표침하 및 터널 측벽부의 변위 억제효과를 크게 얻기 위해서는 강관설치 각도의 확대 또는 측벽부 추가보강 및 차수방법의 적용이 요구된다.
3. 터널 막장의 거동 양상과 붕괴메카니즘을 측정, 분석해 본 결과, 특정크기의 막장의 안정에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 암반절리각도와 방향인데 비해 실제 국내 터널 현장여건상 막장 암반의 절리각도와 방향을 정확하게 사전 결정하기가 용이치 않기 때문에 풍화토, 풍화암 구간에서는 극한 상태의 막장거동 영역을 고려, 강관의 overlap 길이를 결정하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

배규진, 홍성완 외 2인, "지하공간 보조공법의 설계와 시공에 관한 연구," 1986, 건기연 86-GE-2, pp.200~220.

Bruce, D. A, Gallavaresi, F., "Special Tunnelling Methods for Settlement Control: Infilaggi and premilling," Proc. 2nd Inter. Conf. on Case histories in Geotechnical Engng. 1988. 6, pp. 1121~1126.

Eisenstein, Z., Ezzeldine, O., "The Effect of Tunnelling Technology on Ground Control," Tunnelling and Underground Space Technology, 1992, Vol. 7, No. 3, pp. 273~279.

Fathalla, E. N., "Construction Monitoring of Urban Tunnel and Subway Stations,"Tunnelling and Underground Space Technology, 1992, Vol. 7, No. 4, pp. 425~439.

Societa Italiana Gallerie, "Tunnelling in Italy : 1990," Tunnelling and Underground Space Technology, 1991, Vol. 6, No. 3, pp.299~316.

Yunfeng, L., "Pipe Roof Supporting Method in Karst and Fill Section of Nanling Tunnel," Proc. of the Inter. Cong. The ITA Annual Meeting, 1990, pp 99~106.