

섀드TBM의 굴착관리와 근접시공 사례



신승진 >>
두산산업개발(주) 토목기술팀장



최기훈 >>
두산산업개발(주) 토목엔지니어 과장



황정순 >>
두산산업개발(주) 토목엔지니어 과장

하고 밀집된 지상 교통망은 주변 환경과 인간의 삶을 오히려 악화시키는 사례가 발생되고 있어 터널을 포함한 도심지 지하구조물의 중요성은 예전부터 강조되어 왔다. 또한, 지하구조물은 시공시 지반침하 및 붕괴 사고의 위험이 따르고 준공 후에도 화재와 각종 사고로 많은 인명피해가 발생 할 수 있어 설계, 시공, 운영시 각 단계에서 인명 및 재난사고로 이어지지 않도록 방재에 대한 충분한 검토와 대책이 필요하다.

지하철과 같은 도심지에서의 터널굴착공법도 과거에는 개착공법과 NATM(New Austrian Tunneling Method)을 주로 사용하였지만 교통체증, 소음과 진동, 붕괴 및 인명 사고가 많이 발생하여 친환경적 굴착공법인 섀드(Shield)터널공법의 중요성이 1990년대부터 증가되었다. 하지만 많은 장점에도 불구하고 경제성에서 타 공법에 비해 다소 불리하여 하저터널구간, 지장물 존재 구간 등 굴착이 어려운 구간에서만 한정적으로 적용되고 있는 실정이다. 따라서 본 고에서는 터널 붕괴와 여러 재해 사고가 거의 없는 섀드터널공법의 원리 및 굴착관리시스템과 근접시공 사례를 소개함으로써 좀 더 많은 현장에 섀드터널공법이 적용되어 친환경적이고 안전한 터널시공이 될 수 있도록 하고자 한다.

1. 서론

문화와 레저 등을 위한 이동목적과 산업 및 물류 등을 위한 운송목적으로 도시와 도시, 또는 도시 안에서 더 나은 교통망을 구축하려고 노력하고 있지만 복잡

2. 셴드터널공법이란?

2.1 셴드터널공법의 개요

셴드터널공법이란 터널 외경보다 약간 큰 강재통(셴드)을 지반속에서 추진시켜, 천단부와 막장부의 지반붕괴를 방지하고 굴착작업 및 복공작업을 안전하게 수행하면서 터널을 축조하는 공법이다. 셴드터널공법은 1818년 영국의 Marc Isambard Brunel이 고안하여, 1825년 런던의 테임즈강 하저터널공사에 최초로 셴드터널공법이 시공된 이후, 1900년대 초반에 블라인드(Blind)식, 기계식 등의 셴드TBM이 고안되었고 1900년대 후반에 이수가압식, 토압식 등의 셴드TBM이 개발되는 등 1900년대 이후에 급격히 발달되어 여러 타입 및 단면형상의 셴드TBM이 개발되었다.

일반적인 셴드터널공법의 작업순서는 그림 1과 같고 그 설명은 다음과 같다.

- ① 셴드기 후통부에 위치한 잭으로 세그먼트를 반력대 삼아 셴드를 밀면서 세그먼트 1링 분을 굴착
- ② 1링 분 굴착 완료 후 셴드 후방에서 세그먼트 조립기계인 이렉터를 사용하여 세그먼트 조립
- ③ 셴드의 전진으로 발생하는 여굴(세그먼트 외면과 굴착면 사이) 및 테일보이드에 뒷채움 충전
- ④ 다시 ①~③의 과정을 반복하면서 안전하게 굴진한다.

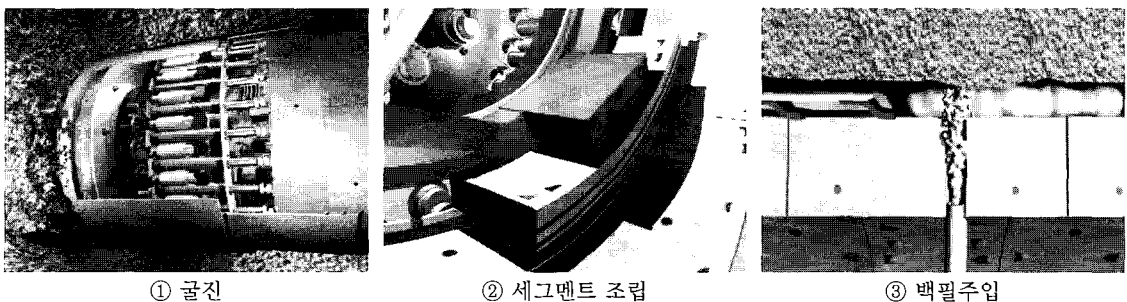
우리나라에서는 한국중공업(현 두산중공업)이 1987년 전력구 공사에 소구경 셴드TBM을 처음 도입

하여 시공한 이후, 대구경 셴드TBM으로는 두산산업개발에서 부산지하철230공구와 광주지하철 1호선에 이수가압식 셴드TBM과 이토압식 셴드TBM을 각각 사용하여 준공한 바 있다. 현재 서울지하철909공구, 서울지하철704공구 및 분당선 왕십리-선릉간 복선전철3공구에 셴드터널공법으로 설계되어 굴진 준비 또는 굴진 중에 있다.

2.2 셴드터널공법의 분류

셴드TBM은 크게 단면의 형상, 굴착방법 및 기계전면의 구조로 분류할 수 있으며, 그림 2와 같은 기계전면 구조와 굴착 방법에 의한 분류가 가장 일반적으로 사용된다. 최근에는 터널주변부 뿐만 아니라 막장까지도 격벽(Chamber wall)에 의해 막혀있는 밀폐형 셴드TBM을 주로 사용하고 있어 배토량과 막장압력의 균형을 맞추면 지반침하 및 붕괴 위험이 거의 없다. 밀폐형 셴드에는 이수식, 토압식, 이토압식이 있고, 이수식은 지반이완을 막기 위해 챔버(Chamber)안을 이수로 채워 막장면을 가압하면서 굴착하고 굴착토사는 이수와 함께 섞이어서 배니관으로 유체운송하여 터널밖 지상플랜트에서 이수와 토사를 분리되어 처리된다. 토압식은 챔버안을 굴착한 토사로 채운 후 셴드 굴진속도에 맞추어 스크류 콘베이어로 배토량을 제어하면서 토사를 셴드 내부로 반출하는 방식이다. 셴드 내부로 반출된 토사는 광차에 의해 터널 밖으로 운송되어 처리된다.

그림 3(a)은 다양한 형상의 셴드기와 그림 3(b)은



① 굴진

② 세그먼트 조립

③ 백필주입

그림 1. 셴드터널의 작업순서


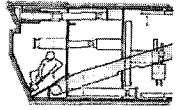

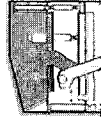

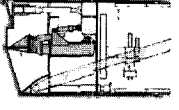

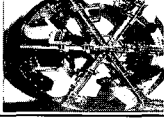
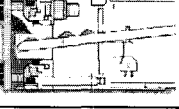

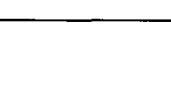
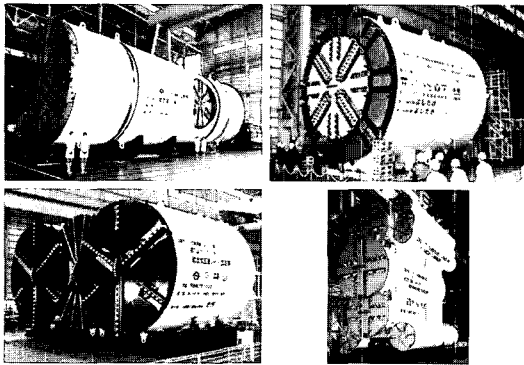
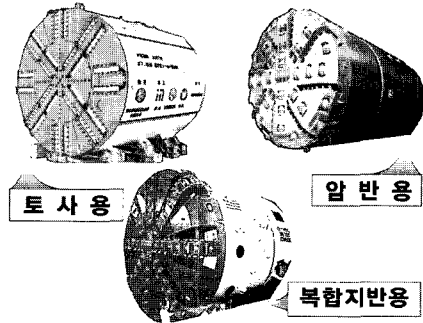
수굴식			부분 개방형	블라인드식		
수굴식				밀폐형	이수식	
반기계식			토압식			
			이토압식			

그림 2. 기계 전면의 구조와 굴착방법에 의한 분류



(a) 다양한 터널형상에 따른 실드기



(b) 지반 조건별 커터헤드의 형상

그림 3. 실드의 전면구조 및 커터헤드 형상

굴진 대상 지반 특성에 따른 커터 헤드의 형상이다.

2.3 밀폐형 실드터널공법의 특징

최근 주로 사용되는 밀폐형 실드터널공법은 지상 작업이 거의 없고 지하에서 기계에 의해 굴착하는 침착공법이기 때문에 지상으로부터 굴착하여 많은 교통체증, 민원, 붕괴사고를 발생시키는 개착터널공법에 비해 친환경적이고 여러 재해를 예방할 수 있는 공법으로 평가 받고 있다. 또한 발파로 인한 소음 및 진동이 없이 면판이 회전하면서 면판에 장착된 커터가 서서히 굴착하는 무진동/무소음공법으로 발파로 굴착하는 NATM공법에 비해서도 안전성 및 친환경성이 뛰어나다.

밀폐형 실드터널공법의 특징을 설명하면 다음과 같다.

- 그림 4와 같이 챔버 격벽에 의해 완전히 막혀있어 굴착시 터널 붕괴 등 각종 사고의 위험이 없음.
- 실드기가 전진하면서 디스크 커터의 압축력을 이용해 암반을 절삭하고 커터 비트로 토사를 굴착하므로 소음 및 진동이 없음.
- 투입갱(수직구)을 제외하고 지상작업이 없으므로 교통장애나 환경피해가 없음.
- 적당한 보호공의 시공으로 1m내의 근접시공이 가능하고 지하수 유입이 거의 없어 지장물이나 하천 하부를 통과하는 터널시공을 가능케 함.
- 실드장비의 개발로 토사층에서 경암층에 이르는 폭넓은 범위의 지반까지 적용 가능함.
- 이수가압식 실드의 경우 지상플랜트 설치를 위한 별도의 작업장 필요함.
- 터널굴진관리 실패시 지반조건에 따라 용기, 침하

등의 지반 변형 발생할 수 있음.

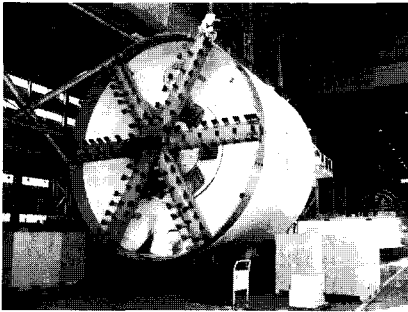
또한, 대부분의 터널공법은 굴착시 또는 굴착후 지하수 저하를 수반하면서 단위중량의 변화(수중단위중량에서 습윤단위중량으로의 변화)가 발생하고 0.6~1.0tf/m² 정도의 응력증가가 발생한다. 또한, 지하수로 채워진 공극에 지하수의 건조 또는 유실에 의해 air entry pressure(suction)가 발생하고 입자간의 공극이 축소되면서 지하수위 저하가 클 경우 지반 침하를 유발한다. 그리고 입경이 비교적 작은 토사들이 지하수와 함께 유출될 경우에도 입자의 재배치가 이루어지고 지반 변형이 발생한다. 그러나 밀폐형 셴드터널공법은 막장과 터널주변부가 밀폐되어 있는 셴드장비를 사용하며 시공시 지하수 유입을 방지함과

동시에 백필그라우팅과 세그먼트의 측면을 따라 부착되는 지수재에 의해 완공후에도 지하수의 유입을 방지하는 비배수형(완전방수형) 터널을 시공하는 공법이다. 따라서, 터널굴착시 지하수위 저하에 따른 지반침하를 거의 발생시키지 않는 공법이다.

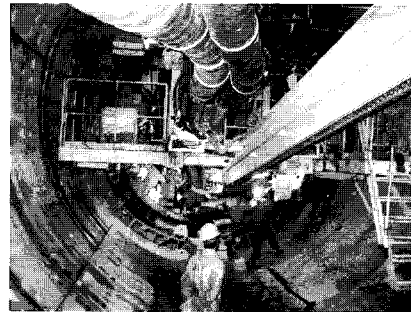
2.4 셴드터널공법의 굴착원리

1) 토사지반에서의 굴착원리와 막장관리

토사지반에서 셴드TBM은 강재로 제작된 원통(셴드)으로 외주부의 지반붕괴를 방지하면서 막장에서 인력 및 기계로 굴착한다. 최근 많이 사용되는 밀폐형 셴드TBM은 그림 4와 그림 5와 같이 스포크(Spoke) 또는 면판(Cutterhead)에 부착한 여러 타입의 비트



(a) 이토압식 셴드



(b) 이수식셴드터널 내부

그림 4. 셴드기 전면과 터널 내부

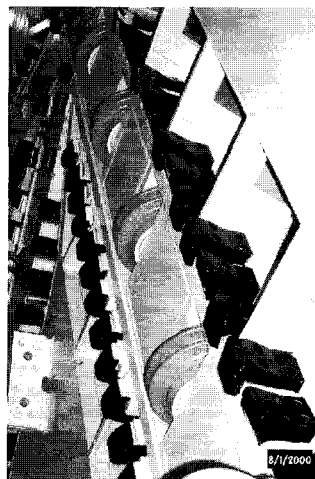
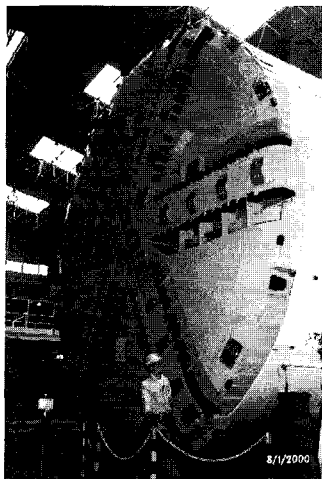


사진 5. 면판 및 컷터비트

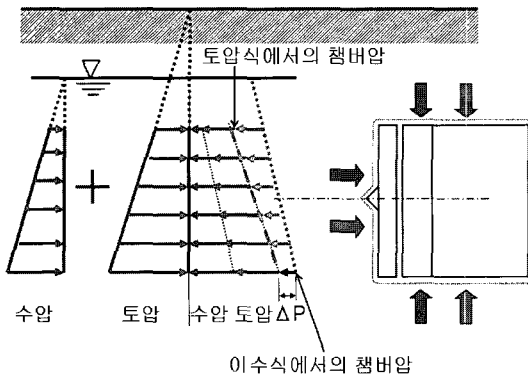


그림 6. 쉴드기의 막장압 관리

(Bit)를 사용하여 면판이 회전하면서 막장의 토사를 긁어 면판 개구부 후방으로 떨어뜨린 다음 쉴드TBM 내부를 통해 지상으로 배토시킨다.

밀폐식 쉴드TBM은 회전하는 면판과 격벽사이의 공간(챔버)에 슬러리 또는 굴착토를 채워 압력을 가할 수 있게 설계되어 막장의 붕괴를 방지할수 있다. 막장의 안정은 그림 6과 같이 기계 전방의 토압 및 수압과 챔버안에서 가압된 압력간의 균형에 의해 유지된다.

상세히 설명하면, 이수식일 경우 이수에 의한 챔버 압력이 토압과 수압의 합 보다 약 1~ 2 tonf/m²정도로 유지하여야 지반침하를 방지하고 굴착할 수 있다. 만일 챔버압력이 막장압보다 작을 경우 침하가 발생할 수 있으며, 반대로 챔버압력이 많이 클 경우는 지반용기가 발생할 수 있다. 토압식일 경우 막장의 굴착량과 스쿠루컨베이어에 의해 배출되는 배토량의 균형을 맞추고 챔버 압력과 토압 및 수압이 거의 같도록 굴착한다. 챔버압력(또는 굴착량)이 토압 및 수압(또는 배토량)보다 작을 경우 침하가 발생할수 있고, 반대일경우는 용기가 일어 날수 있다.

이러한 균형을 맞추기 위하여 이수가압식 쉴드는 순환하는 이수의 적절한 점성과 비중 유지 및 압력 관리가 매우 중요하고 이토압식인 경우 컨디셔너(conditioning material)와 굴착토사의 혼합을 통해 적절한 유동성을 확보하는 것이 중요하다. 이는 정밀한 계측 및 센서를 이용한 굴착과 배토량(압)의 균형, 그리고 토사와 컨디셔너의 적정 혼합이 정교한 쉴드

기 제어를 가능하게 하기 때문이다.

2) 암반에서의 굴착원리

암반구간에서는 막장 자립이 가능하기 때문에 막장압과 챔버압의 균형보다는 쉴드TBM의 굴착능력(boreability)에 따라 공사기간과 비용이 달라지므로 현장여건 및 암반성분에 적합한 최상의 쉴드기 설계가 중요하다. 암반구간에서는 비트(Bit) 대신 디스크 컷터(Disk Cutter)가 사용되고, 복합지반인 경우 굴진 대상 지반이 토사와 암반이 혼재하므로 컷터 비트(Cutter Bit)와 디스크 컷터(Disk Cutter)를 혼합하여 사용한다. 디스크 컷터는 고속회전하는 절삭기에 의해 굴진을 시행하는 로드헤더나 충격력에 의해 암반을 파쇄 하는 브레이크와 달리 그림 7과 같이 별도의 동력 없이 면판에 의해 궤적을 그리며 이동하고, 쉴드TBM이 전진하면서 막장에 압축력을 가압하여 그림 8과 같이 국부적인 압축변형과 이로 인해 궤적 사이에 발생하는 균열로 암반을 파쇄 한다. 컷터툴(디스크 컷터와 컷터 비트)과 면판의 설계는 노르웨이에서 개발한 NTH설계법과 미국 콜로라도에서 개발한 CSM설계법, 그리고 장비제작사의 시공 Know-how를 바탕으로 설계/제작 한다.

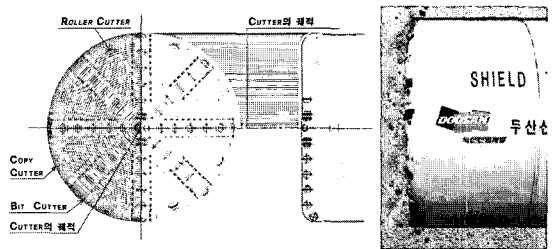


그림 7. 쉴드기 disk cutter 궤적

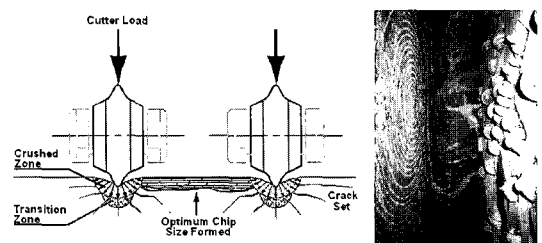


그림 8. 암반 파쇄 원리

3. 셴드터널공법의 굴착관리

셴드터널공법은 굴착, 세그먼트 조립, 배토 등 거의 모든 작업이 기계화되고 자동화되어 있어 평상시 그리고 비상시 이를 관리·제어하는 것이 매우 중요하다. 셴드터널 굴진관리 시스템으로는 그림 9와 같이 막장상황 검지, 굴착관리 및 속도제어, 방향제어, 막장 수압 및 토압관리, 배토/배내 제어, 이수관리 및 이수 처리, 뒷채움관리 등으로 구성되고 이상증후 감

지시 경고음과 함께 원인 및 경고 메시지가 모니터에 나타나서 신속히 대처할 수 있도록 해준다.

셴드TBM은 굴착시 막장의 압력관리 뿐만아니라 그림 10과 같이 천통 상부에 검지봉과 센서를 장착하여 천단부 토압을 감지하고 검지봉을 터널밖으로 인장시켜 붕괴 여부 및 공동 발생 여부를 판단할 수 있다.

셴드터널공법은 굴진시 다른 터널공법에 비해 지반침하가 거의 없으나 굴진 메커니즘을 고려하여 분석하면 그림 11에 도시된 바와 같이 ① 선행침하, ②

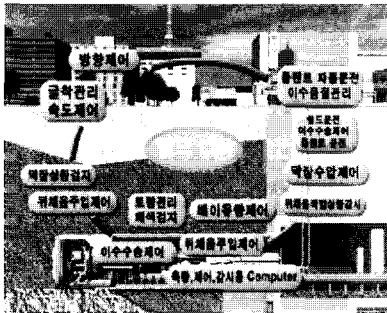


그림 9. 제어시스템 구성도 및 화면

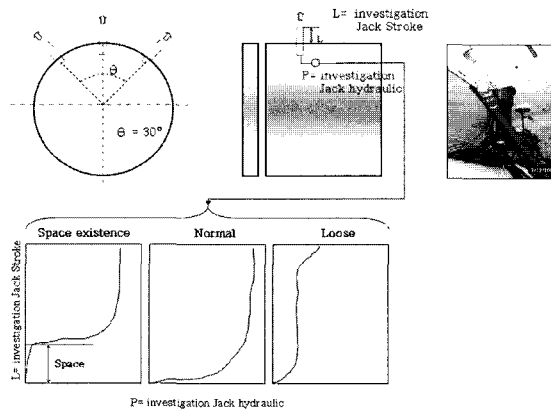
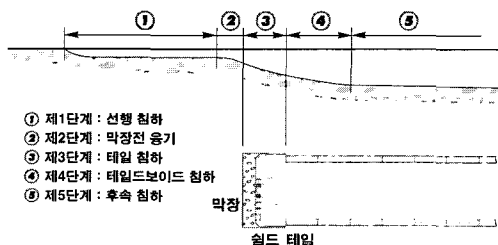


그림 10. 천단부 붕괴 감지 검지봉 및 센서



- ① 제1단계 : 선행 침하
- ② 제2단계 : 막장전 응기
- ③ 제3단계 : 태입 침하
- ④ 제4단계 : 태입드보이드 침하
- ⑤ 제5단계 : 후속 침하

그림 11. 셴드 굴착시 지표침하

표 1. 침하의 발생원인과 지반상태

침하의 종류	원 인	지반상태
① 선행침하	선행굴착시 지하수위저하	유효압력 증가
② 막장전 침하용기	이수압 과대시 용기 발생, 이수압 과소시 막장 붕괴	교란부 토압작용 지반응력 부분해방
③ 테일침하	셴드 통과시의 교란	지반교란
④ 테일보이드	테일보이드 발생	지반의 응력 해방
⑤ 후속침하	①~④ 요인의 잔류분	—

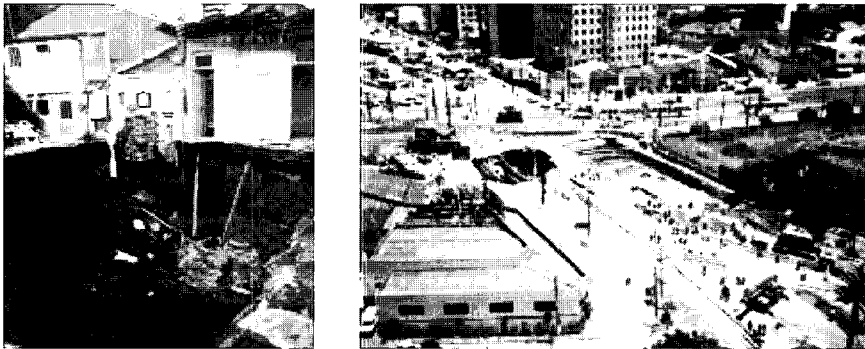


그림 12. 스위스 Metro Beta현장(좌) 및 스위스 Metro Munich현장(우)의 지반침하

굴진전 침하 혹은 용기, ③ 셴드 통과시 지반교란에 의한 테일침하, ④ 테일보이드에 의한 침하 및 ⑤ 전술한 침하요인들의 잔류분의 시간경과에 의한 침하가 발생한다. 이러한 침하의 발생원인과 침하발생시의 지반상태를 간단하게 정리하면 표 1과 같다.

토사구간 설계시 시행되는 시험은 일반적으로 시추 조사, 투수시험, 지하수위 및 간극수압측정 등의 원위치 시험과 입도시험, 함수비 시험, 밀도시험 등의 물리 시험, 그리고 물리탐사 및 기타 각종 토질시험 등을 시행한다. 이는 셴드형식 선정, 막장의 붕괴, 지반 침하 방지, 붕괴성 지반의 추정을 그 목적으로 한다. 일반적으로 다른 공법에 비해 붕괴사고가 극히 적지만 ① 굴착시 막장압력 균형 조절 실패, ② 토압과 수압 또는 추진압에 의한 세그먼트의 파괴, ③ 컷터툴(Cutter tool)의 교체시 압기 및 그라우팅과 같은 막장 보강공법의 파괴가 막장붕괴로 이어지는 사고가 발생할 수 있으므로 세심한 관리가 필요하다. 특히, 셴드터널 굴착시 압력 조절 실패는 바로 지반의 붕괴로 연결되어 작업 인부 및 주민 등 많은 인명피해를 발생 시키며 공사현장의 침수, 또는 인접 구조물의 붕

괴로도 연결 될 수 있다. 그림 12의 좌측 사진은 2001년 스위스의 Metro Beta현장에서 EPB타입 셴드 TBM으로 굴진시 막장 전면의 불균형(face loss)과 지하수 유입으로 인해 지반이 8m×8m×6m의 크기로 붕괴되었고 가옥 2 채가 파괴된 사례를 보여준다. 그림 12의 우측 사진은 스위스 Metro Munich와 기타 현장에서의 붕괴사례를 보여 준다

4. 근접시공 사례

기 서술한 바와 같이 국내에서의 셴드터널은 주로 개착공법이나 NATM공법으로 시공이 어려운 지하철현장의 하저통과구간, 구조물 직하부 및 근접구간 등에 적용되었고 부산지하철 230공구, 광주지하철1호선이 셴드터널공법에 의해 완공된 현장이다. 현재 셴드터널공법으로 시공중에 현장은 서울지하철909공구와 분당선 복선전철3공구가 있고, 본 문에서는 부산지하철230공구와 서울지하철909공구의 근접시공 사례에 대해 설명하고자 한다.

4.1 부산지하철230공구

널 - 420m×2)

부산지하철230공구의 개요는 아래와 같고 총연장 2,323.4m 중 수영강 하저 420m(왕복 840m)를 7.28m의 슬러리타입 셴드TBM으로 시공하는 공사이다.

- 현장명 : 부산지하철2호선 2단계 230공구 건설공사
- 주관사 : 두산산업개발(주)
- 공사기간 : 1995. 5. 19~2002. 9. 30
- 공사위치 : 부산광역시 수영구 민락동~해운대구 우동간
- 규모 : 연장 2323.4m(정거장 - 3개소, 셴드터

본 현장은 그림 13과 같이 우측 3.15m 지점에 강관상수도관(Ø1,350mm), 수영가교, 수영교가 인접하고 9.4m의 토피와 토사에서 경암(3,000kgf/cm²)까지의 복합지반을 굴착해야 하는 난 공사였지만 0.6~0.8m/hr의 평균 순굴진율을 보이며 2002년 9월 30일 관통하였다.

굴착시 지중변위계, 지중침하계, 지표침하계 등을 그림 14와 같이 6개소 설치하였고 터널주변 지반의 최대 지중변위는 표 2와 같이 10.4mm로 주변 구조물의 계측결과 어떠한 영향을 미치지 않고 굴착 완료하였다.

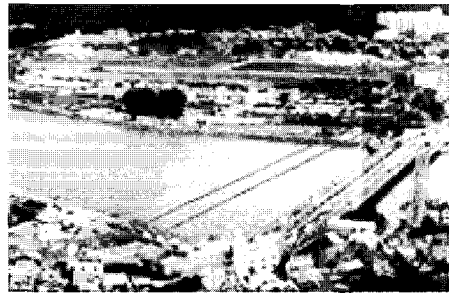
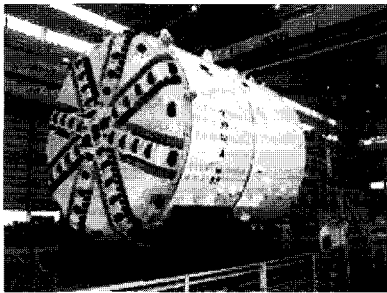


그림 13. 부산지하철230공구에 사용된 셴드기(좌)와 수영강 전경(우)

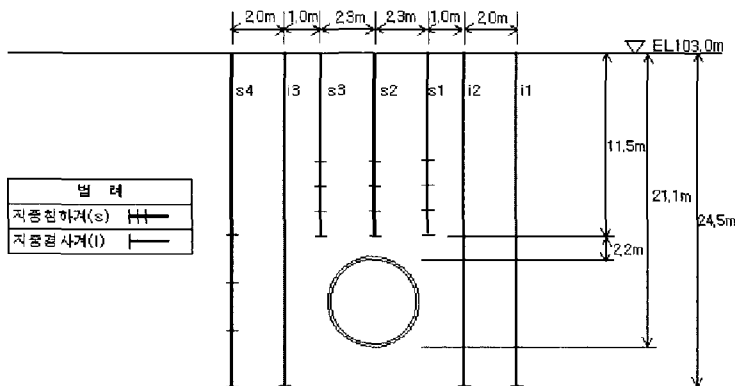


그림 14. 지중변위계 설치 위치 개요도

표 2. 계측기 측정값(연직, 수평 변위)

계측종류	계측기 No.(최대변위, mm)				비 고
	1	2	3	4	
지중경사계(i)	-10.4	-5.3	6.9	--	• 지중경사계의 변위 방향(+: 오른쪽, -: 왼쪽)
지중침하계(s)	-4	-6	-2	-4	• 지중침하계의 변위 방향(+: 위쪽, -: 아래쪽)

4.2 서울지하철909공구

서울지하철909공구의 개요는 아래와 같고 대부분 사질성분이 주가 되는 층적층과 일부구간에서 풍화암 및 연경암으로 구성되어 있다.

- 현장명 : 서울지하철9호선 909공구 건설공사
- 주관사 : 두산산업개발(주)
- 공사기간 : 2003.7.15~2008.3.31
- 공사위치 : 서울시 영등포구 당산동~영등포구 여의도동
- 규모 : 연장 2,330m
(정거장 - 2개소, 쉴드터널- 1807m×2)

본 현장은 총 2,330m중 1,807m(양복 : 3,614m)를 7.75m(굴착경 7.8m)의 슬러리 쉴드TBM으로 설계되었고 2004년 11월에 굴진을 시작하여 2007년 7월 굴착완료를 목표로 현재 C터널을 굴착하고 있다.

서울지하철909공구는 그림 15와 같이 각각 4개의 쉴드터널(A~D갱) 및 작업구(1~4)와 2개의 정거장으로 이루어져 있다. A와 B터널 지반조건은 실트질 모래, 모래질 자갈 등이 혼재된 조립질의 퇴적층이며, C와 D터널은 토사, 풍화암 및 연·경암이 혼재되어 있는 실정이다. 본 쉴드TBM 적용구간의 최소토피는 8.06m(1.08D)로서 한국화학시험연구원(①), 국회의사당(②), 국회앞 지하차도(③) 등 다수의 건축물 하부와 여의하류IC 교각(④)을 근접하여 통과하며 도로

및 셋강(⑤) 하부를 통과하므로 지반침하 방지와 인접 구조물에 대한 영향을 최소화해야 한다.

현재 공사현황은 4개의 쉴드터널구간중 A, B 터널은 이미 관통하였고 C 터널의 굴착이 진행 중으로 국회의사당 하부를 통과한 상태이다. 쉴드구간내 주요 근접 구조물 및 통과 이격거리는

- ① 화학시험연구원(지상 5층, 지하1층) : 이격거리 6.48m
- ② 국회의사당 지하통로 : 말뚝 기초의 박스구조물 (4.5×3.55) - 이격거리 2.21m
- ③ 국회 앞 지하차도(4차선) : 이격거리 6.27m(최소1.4m)
- ④ 여의하류I.C 교량 기초(그림 16) : 이격거리 0.64m
- ⑤ 셋강 측부 : 광역 상수도 - 이격거리 3.70m, 수로박스(2@3.0×3.0) 구조물 - 이격거리 4.40m

로서 지반이완을 최대한 방지하여 시공해야한다.

본 현장에서는 정밀 시공을 위하여 주요 구간마다 계측기를 설치하였고 국회내 지하보도 구간(16K+000)에도 그림 17과 같이 계측을 실시하여 지반 침하 경향을 파악하고자 하였다.

측정 결과 그림 18(a)와 같이 C 터널 상단에서 측정된 최대 침하량은 Point-1에서 굴진 초기에 최대 -9.0mm의 연직 침하로 측정되었다. 또한, 지중침하계의 바닥에서 계측된 값은 굴진 초기에는 비교적 큰

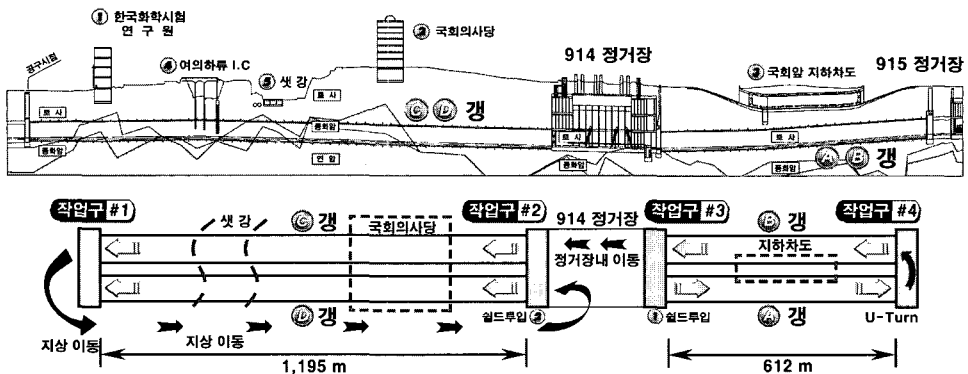


그림 15. 서울지하철 9호선 909공구의 지반조건 및 현황사상

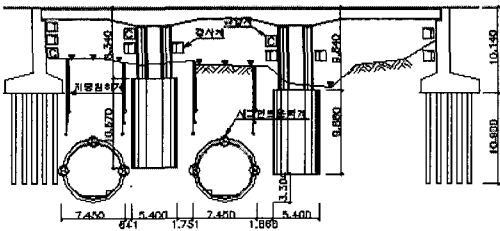


그림 16. 여의하루I.C 교량 기초 통과 단면도

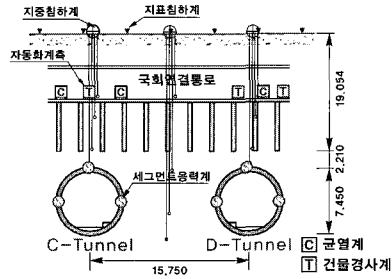
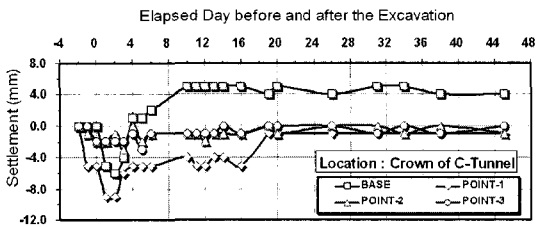
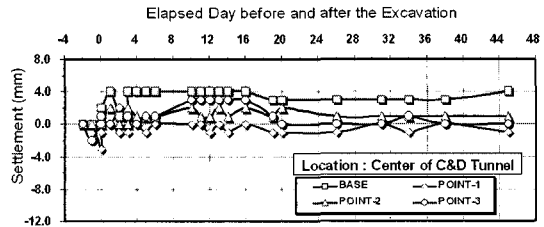


그림 17. 국회내 지하보도 구간(16K+000)의 계측 모식도



(a) C터널 계측결과



(b) 중앙부 계측 결과

그림 18. 지중 침하계 계측 결과

값의 연직침하량을 보이나 시간경과에 따라 오히려 용기에 해당하는 값을 보였다. 이는 지중침하계 바닥부는 실드굴진 이후에 시행되는 뒷채움 그리우팅에 의한 영향을 직접 받기 때문인 것으로 판단된다. 그림 18(b)와 같이 중앙부 지중침하계에서 계측된 최대 연직침하량은 -3.0mm로서 C 터널 상단의 값에 비해 크게 감소하는 것으로 계측되었으며, Point-2와 Point-3 및 바닥부의 침하경향은 C 터널 상단의 경우와 유사한 경향을 보이며 크기만이 상대적으로 감소하는 결과를 보였다. 추가적으로 지중 침하량은 굴진 초기에는 큰 변동을 보이나 실드 통과 후 약 10일에서 20일 이내 점차적으로 지반의 변형이 수렴됨을 확인할 수 있었으며, 발생하는 변위의 크기는 매우 미소한 것으로 평가되어 실드굴진에 따른 영향이 인접하거나 상부에 존재하는 구조물의 안정에 거의 영향을 미치지 않았다고 판단된다.

5. 결 론

실드터널공법의 굴진관리와 침하 방지에 대한 사

항은 상기 기술한 것 이외에도 지반침하 및 붕괴 방지 가소성형 뒷채움재의 동시주입, 주입압 관리, 인접구조물 보호를 위한 기내 및 지상 그라우팅 등 여러 가지 있지만 본 글에서는 언급을 하지 않았고, 기존에 소개된 실드TBM의 설계 및 굴진율과 관련된 내용보다 실드터널공법에 대한 간단한 개요와 굴진관리 시스템, 침하, 국내 현장의 근접시공 사례 위주로 기술하였다.

실드터널공법은 단순히 기계가 자동으로 굴착하는 것이 아니라 현장의 암반 종류 및 분포, foliation, 토질 분석, 성분분석 등의 굴착대상 지반을 면밀히 분석하고 세르샤 마모시험(Cerchar Abrasivity Test, CAI), Sievers' Miniature Drill Test와 취성도시험(Brittleness Test), 실스케일 컷팅시험(Full scale linear cutting test) 등의 시험을 통해 대상 지반에 적합한 실드TBM을 설계·선정해야 한다. 또한, 시공시 계측 자료, 굴진속도, Thrque, Thrust를 분석하고, Feed Back하여 정밀한 굴진관리를 통해 지반침하와 붕괴 사고를 최대한 억제하는 안전하고 친환경적인 공법임을 다시한번 강조하며 많은 연구와 적용사례가 있기를 바란다.