

서울지하철 909공구 쉴드 공법 소개와 세그먼트 검토 및 시공

Introduction to Shield Method Applied to 909 District of Subway Construction Field in Seoul and Investigation of Segment and Execution



김경민*
Kyoung-Min Kim



이재삼**
Jae-Sam Lee



홍순중***
Soon-Jung Hong



지석원****
Suk-Won Jee



이성연*****
Seong-Yeun Lee

1. 서 론

표 1. 공사 개요

서울지하철 909공구는 총 연장 2,660m에 정거장 2개소(914, 915 정거장), 환기구 5개소를 포함하는 공사로 서울시 영등포구 당산동 6가에서 시작해 국회의사당 밑을 관통하는 구간이라 공사 초기부터 많은 주목을 받았고, 국내에 3개뿐인 대구경 쉴드 현장이라는 점에서도 많은 화제를 모았다. 최신 기계화 시공법의 하나인 쉴드공법은 두산산업개발(주)에서 광주지하철 1-1공구의 EPB형식의 쉴드, 부산 지하철 230공구의 하저 터널공사에 Slurry 형식의 쉴드에 이어 세 번째로 시도하는 것이며, 서울 지하철에서는 최초로 시행하는 공사이다.

그러나, 지하철 5호선 환승구간을 포함하고, 국회 밑을 관통한다는 점, 그리고 사력(砂礫)으로 구성된 지질상의 문제는 공사의 순탄한 진행여부를 방해했으나, 현재 쉴드 단선 구간을 580m 이상 굴착하여 이번 3월 말 소규모 1차 관통식을 가졌다.

본고에서는 쉴드공법의 소개와 쉴드 세그먼트 선정 및 시공을 중심으로 보고하고자 한다.

구분	내용
공사명	서울지하철 909공구 건설공사
공사기간	2003. 7. 15 ~ 2007. 12. 31
발주처	서울특별시 지하철 건설본부
시공사	두산산업개발(주), 현대건설(주)
공사위치	영등포구 당산동 6가~여의도동
사업개요	총연장 2,660m - 본선 : L = 2,070 m (쉴드 : 1,870 m) - 정거장 : 2개소, L = 330 m

2. 쉴드 공법(Shield Method)의 소개 및 선정

쉴드공법은 소음 및 진동이 적고, 작업의 안전성이 높아 연약지반이나 대수지반에 터널을 만들 때 주로 사용되는 공법이다. 즉, 철제로 된 원통형의 쉴드를 수직구 안에 투입시켜 커터헤드(cutter head)를 회전시켜며 터널을 굴착하고, 쉴드 뒤쪽의 세그먼트를 반복 설치해 가면서 터널을 만들어 가는

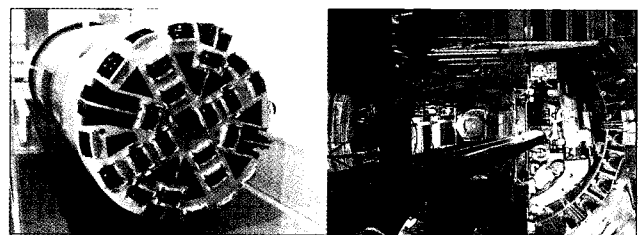


사진 1. 소형으로 제작된 쉴드모형

사진 2. 쉴드가 굴진중인 모습

것이다.(사진 1, 2)

본 공사구간은 지반 조건이 대부분 모래, 자갈 성분의 층적층이며 일부구간에 풍화암, 연암이 존재하는 복잡지층으로 구성되어 있다. 국회의사당 구간 굴착면 하부는 기반암에 걸쳐 있어 코어스톤(core stone)의 출현이 예상되고, 전구간에 걸쳐 지하수 유입 대책과 막장 안정이 확보되어야 한다. 따라서 쉴드 형식과 적용 토질 일람표(일본토목학회) 및 기계화 시공 기술 선정에 영향을 미치는 요소(프랑스 APTES)를 참조하여 가장 적합한 공법으로 이수식 쉴드공법을 선정 하였다.

3. 세그먼트 선정 및 시공

쉴드 터널은 굴착과 거의 동시에 시공되는 세그먼트에 의해

* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 전임연구원
kim-kim@doosan.com

** 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 팀장

*** 두산산업개발(주) 서울지하철 9호선 909공구 건설현장 현장소장

**** 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 팀장

***** 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 담당중역

표 2. 세그먼트 재질 비교 검토

구분	철근 콘크리트	강재	덕타일 주철	강판+콘크리트 합성
형상				
장점	- 공장 제작이므로 품질관리 용이 - 누수 및 방수를 위한 2차복공 불필요 - 내부식성, 내열성 우수	- 지반변형에 대한 적응성 우수 - 중량이 가벼워 취급이 용이	- 복잡한 형상의 제작이 용이 - 지반변형에 대한 적응성 우수	- 대구경터널에 적용 사례 많음 - 철근콘크리트보다 강도 및 강성이 큼
단점	- 중량이 무거워 운반, 취급불편	- 방청 및 세그먼트 보강목적으로 2차복공 필요 - 제작비용이 고가임	-	- 연결부가 구조적으로 취약 - 시공사재가 적음
적용안	◎	-	-	-
적용사유	구조적으로 안정성이 높고 품질관리가 우수하며 내구성, 시공성, 경제성 측면에서 우수한 철근콘크리트 세그먼트 적용			

표 3. 세그먼트 형식 비교 검토

구분	편테이퍼형	양테이퍼형
형상		
장점	- 직선구간 선형유지에 유리 - 조립된 세그먼트의 반력으로 굴진시 직선 구간은 터널축 방향과 일치하여 세그먼트의 국부적 응력집중이 없음 - 육안으로 정확한 연결부의 확인이 용이하여 조립시간 단축 가능	- 직선 및 곡선에 모두 적용가능
단점	- 표준형 링은 직선구간에 적용 - 곡선구간에는 표준형+테이퍼형 조합사용 - 조립시 순서를 맞춰 시공	- 설드장비의 조정과 조립순서 관리에 불리 - 조립된 세그먼트의 반력으로 굴진시 진행방향이 터널 축방향과 일치하지 못하여 세그먼트에 국부적인 응력 발생
적용안	◎	-
적용사유	조립이 용이하고 정확한 연결부의 확인이 쉬우며, 조립된 세그먼트 링의 반력으로 굴진시 직선 구간에서 세그먼트의 국부적 응력 집중이 없는 편테이퍼형 적용	

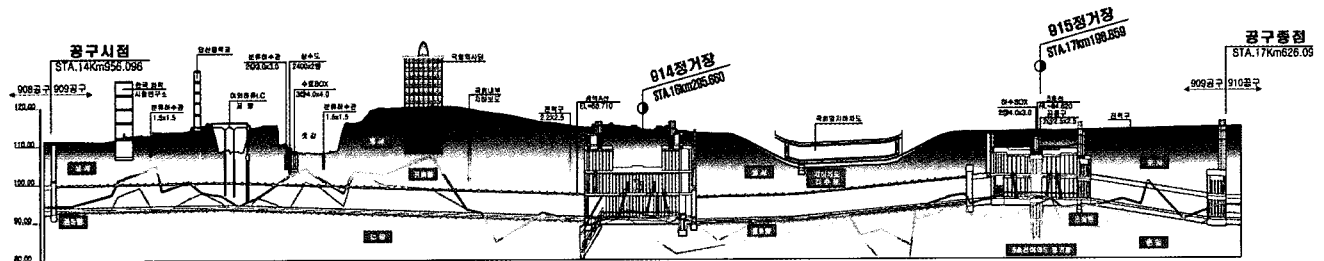


그림 1. 현장 종 단면도

터널 지보 역할을 수행한다. 일반적으로 구조적 안정성과 설드 장비의 특성에 적합한 원형 단면의 세그먼트가 사용된다. 세그먼트를 이루는 재료의 성질, 형식, 키 세그먼트, 링 형식, 이음형식 등에 의해서 다양한 종류가 있으며 각 형식의 장·단점을 아래와 같이 검토하여 본 공구에 적용할 형식을 선정하였다.

3.1 세그먼트 재질 선정

일반적으로 사용되는 세그먼트의 재질은 철근콘크리트, 강재, 덕타일 주철, 강판+철근콘크리트 합성재 등이 사용된다. 본 공구에서는 <표 2>와 같이 구조적 안정성이 높고 품질관리가 용이하며 내구성, 시공성 및 경제성 측면에서 우수한 철근 콘크리트 세그먼트를 적용하였다.

표 4. 키 세그먼트 형식 비교 검토

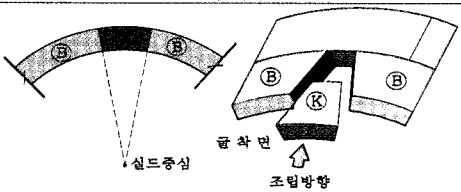
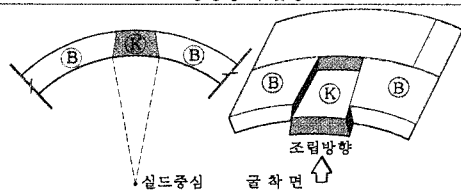
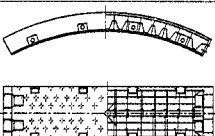
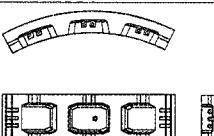
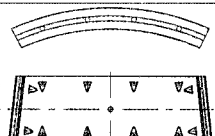
구분	축방향 투입형	반경방향 투입형
개요	 <p>세그먼트 폭의 1/3 위치에서 밀어넣어 조립</p>	 <p>터널 내측에서 세그먼트를 밀어넣어 조립</p>
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 세그먼트 주변의 토압, 수압, 뒤채움재 주입압 등의 영향으로 인한 조립시의 어려움 극복에 유리 - 세그먼트 조립 후 발생하는 변형방지에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> - 터널내측에서 세그먼트를 밀어 넣어 조립하므로 협소한 공간에서도 작업가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 세그먼트의 폭의 1/3 위치에서 밀어 넣어 조립하므로 넓은 조립 공간 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 세그먼트 연결면이 터널 중심방향에 대해 기울어져 있기 때문에 수압 및 토압과 축력에 의한 전단력에 대해 불리
적용안	◎	-
적용사유	세그먼트 설치 후 발생하는 지반변형에 대해 대응성이 우수한 축방향 투입형 적용	

표 5. 세그먼트 링 형식 비교 검토

구분	평판형	상자형	사다리꼴
형상			
개요	- 판상의 사각형 모양이며 단면 전체가 외력에 저항	- 외면이 외력에 저항 추력을 받는 중Rib가 있음	- 판상의 사각형 모양이며 단면전체가 외력에 저항
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 중소형(직경 10m 미만) 쉴드공법에 주로 사용 - 휨모멘트가 대해 합리적 설계가능 - 추력에 대한 저항력이 큼 - 2차복공이 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 대형(직경10m 이상)을 쉴드에 주로 사용 - 볼트연결에 편리 - 2차복공이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 추력에 대해 저항력이 큼 - 2차 복공 불필요
단점	- 연결부 상세가 복잡	- 부모멘트에 대한 저항력이 작음	- 편연결로 급곡선시공시 조립틈 발생으로 연결부 취약
적용안	◎	-	-
적용사유	중소형의 쉴드공법에 적용한 시공실적이 많고 2차 복공이 필요 없는 평판형 세그먼트 적용		

3.2 세그먼트 형식 선정

세그먼트 형식은 테이퍼의 형태에 따라 편테이퍼형과 양테이퍼형으로 나뉜다. 본 공구에서는 조립이 용이하고 정확한 연결부의 확인이 쉬우며, 조립된 세그먼트 링의 반력으로 굴진시 직선 구간에서 세그먼트의 국부적 응력 집중이 없는 편테이퍼형을 적용하였다.

3.3 키 세그먼트 형식 선정

세그먼트를 조립하는 과정의 최종 단계는 키 세그먼트를 삽입하는 과정이다. 키 세그먼트를 링에 삽입하는 방향에 따라서 축방향 투입형과 반경방향 투입형으로 나뉜다. 축방향 투입형은 세그먼트 설치 후 발생하는 지반 변형에 대해 적용성이 우수하므로 본 공구에 적용하였다.

3.4 세그먼트 링의 형식 선정

세그먼트 링은 평판형, 상자형, 사다리꼴 등이 있으며, 본 공구에서는 중소형의 쉴드 공법에 적용한 실적이 많고 2차 복공이 필요 없는 평판형 세그먼트를 적용하였다.

3.5 세그먼트 분할 선정

쉴드 세그먼트의 한 링은 운반 및 조립을 용이하게 하기 위하여 여러 개의 세그먼트로 분할된다. 본 공구에서는 세그먼트의 분할이 균등하고 최대 세그먼트 중량이 작은 <표 6>의 제1안을 적용하였다.

3.6 세그먼트 이음 형식

분할된 각 세그먼트 및 완성된 링의 연결을 위해서는 다양한 방법의 이음이 사용된다.

본 공구에서는 내진 성능이 우수하고 유지관리가 용이한 곡선볼트 형식을 적용하였다.

표 6. 세그먼트 분할 선정 검토

구분	제1안	제2안	제3안
형상			
	A(4)+B(2)+K(1)	A(4)+B(2)+K(1)	A(5)+B(2)+K(1)
특징	- 최대 세그먼트 증량이 작음 - 대칭 구조 - 일본식 표준 세그먼트	- B세그먼트가 상대적으로 큼 - 비대칭 구조 - 부산 지하철 적용	- 세그먼트 분할 수가 많음 - 대칭 구조 - 광주 지하철 적용
적용안	◎	-	-
적용사유	세그먼트 분할이 균등하고 최대 세그먼트 증량이 작은 제 1안 적용		

표 7. 세그먼트 이음 형식 비교 검토

구분	곡선볼트 형식	경사볼트형식	볼트박스형식	연결편+조립봉형식
형상				
장점	- 내진성능이 우수 - 유지관리가 용이	- 국내생산이 가능 - 가격이 저렴	- 조립공정이 간단 - 곡선시공시 안정성 확보 용이	- 조립공정이 간단 - 완공후 외관이 미려
단점	- 볼트이음에 의해 - 콘크리트에 반력이 발생	- 내진성능이 낮음	- 볼트박스 설치로 구조적 취약점 발생 - 볼트박스부에 몰탈주입 필요	- 가격이 고가임 - 곡선시공시 안정성 확보가 불리
국내실적	- 광주, 부산지하철	- 전력구 쉴드	- 전력구 쉴드	- 전력구 쉴드
적용안	◎	-	-	-
적용사유	내진성능이 우수하고 유지관리가 용이한 곡선볼트 형식 적용			

4. 맺음말

1825년 영국 런던의 템즈강 하저터널 공사에 최초로 쉴드 공법이 도입된 이후로 다양한 공법이 도입되고 우수한 성능의 쉴드 장비가 개발되어 하수터널, 우수터널, 전력구, 지하철 터널 등 다양한 목적의 구조물에 지질 조건에 관계없이 시공되어지고 있다. 특히, 본고에 소개한 것과 같이 세그먼트의 선정 과정 및 시공모습을 참고한다면 향후 증가 할 것으로 예상되는 쉴드 터널 공사의 한 참고자료가 될 수 있을 것으로 사료된다. □

참고문헌

1. 임병세, 전병훈, 윤영진, "서울지하철 9호선 건설공사에서 쉴드 TBM 공법 적용사례", 터널 기계화 시공기술 심포지움 논문집, 사단법인 대한터널협회, 2001. 9.
2. 서울특별시 지하철건설본부, "서울지하철9호선 909공구 건설공사 실시설계보고서", 서울특별시 지하철건설본부, 2001.
3. "터널설계기준", 사단법인 대한터널협회, 1999.
4. 토목공법연구회, "쉴드工法の 實際", 창우출판, 1990.

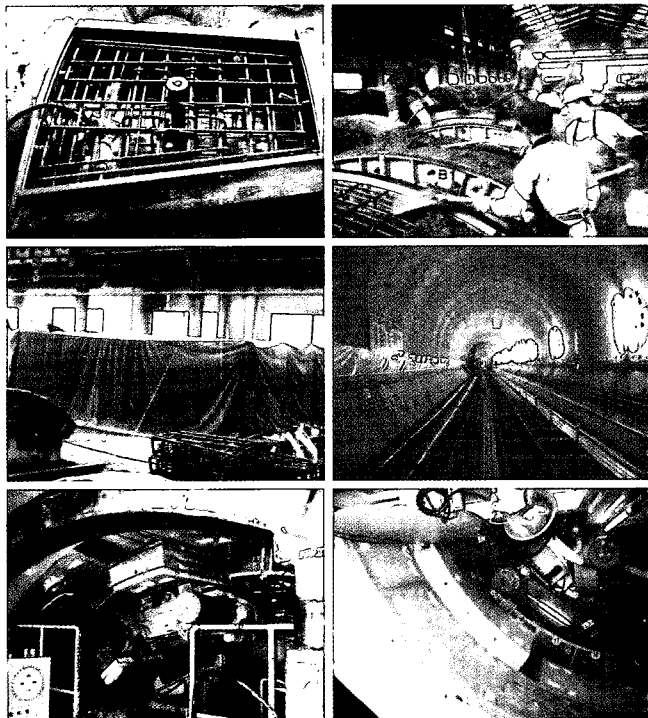


사진 3. 세그먼트 제작 및 조립 전경