

## 셴드터널 굴착시 디스크컷터 교환주기 산정

### Computation with Replacement interval of Disc Cutter in Shield tunnel excavation

선오영\*, 김대상\*\*, 조국환†

Oh Young Sun\*, Dae Sang Kim\*\*, Kuk Hwan Cho†

**Abstract** Shield method(TBM) is introduced into the tunnel section of the subway in Korea because of obstacles existing in downtown and complaints such as vibration and noise. This method was mainly used in soft ground, but it is also used in composite ground that has been mixed soft ground and rock mass in recent years. The disc cutter for the rock interval is worn during excavation, replacing in a timely by managing the wear rate is no forced to advance the excavation. It is hard to management of replacement and budgeting by various factors such as injection material and injection rate. As Seoul Metro A section is the composite ground comprised of alluvium, weathered rock, soft rock and hard rock. This study have an object in view that is reflected in the design through it deduct actual replacement interval of Disc Cutter, and monitoring various excavation data.

**Keywords** : Shield Method, Disc Cutter, wear rate, excavation management data

**초록** 셴드공법(기계식터널굴착공법)은 도심지의 기존 지장물 간섭 및 소음, 진동 등의 민원으로 국내에서도 지하철 터널구간에 도입되고 있다. 셴드는 연약지반에 주로 사용하였으나 최근에는 연약지반과 암반이 혼재된 복합지반에서도 사용되고 있다. 암반구간용 셴드에 부착된 Disc Cutter는 마모가 진행되고, 마모율을 관리하여 적기에 교환하여야 굴진에 무리가 없다. 통상적으로 Disc Cutter 제작사에서 제작과정과 재질에 따라 실내실험을 실시하여 마모율을 제시하고 주입재료 및 주입량 등 다양한 요소에 의해 많은 차이가 발생함으로써 교환시기 관리 및 예산정책이 어렵게 된다. 서울지하철 00 공구는 토사, 충적층, 풍화암, 연암, 경암이 혼재된 복합지층으로서 다양한 굴진데이터를 모니터링하고 Disc Cutter 실제 교환주기를 도출하여 설계에 반영하는데 목적이 있다.

**주요어** : 셴드공법, Disc Cutter, 마모율, 굴진관리 Data

## 1. 서론

셴드기계제작사나 Disc Cutter제작사에서는 Disc Cutter의 Life Cycle을 산정하여 적정한 Disc Cutter를 셴드기계 면판에 설치하도록 설계를 하는 것이 일반적이다. 현재까지 많은 셴드터널 실적 이 있고 굴진Data가 도출되었지만 이를 Disc Cutter 마모율 개선에 적용한 정량화된 분석이 이루어지지 않아 굴진관리에 어려움이 있었다. 본 논문에서는 서울지하철현장에서 발생하는 다양한 지층과 약 2km의 굴진데이터를 분석하여 설계시에 적용된 교환주기와 비교함으로써 예산 및 공기를 재검토 하고자 한다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수(khcho@seoultech.ac.kr)

\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정

\*\* 한국철도기술연구원 첨단인프라연구단TFT 책임연구원

## 2. 이론적 배경

### 2.1 디스크 커터

일반적인 디스크커터의 구조는 Fig. 2.1과 같으며, 커터 링은 암반을 절삭하고 롤러 베어링은 디스크커터의 최대 허용하중을 결정한다. 디스크커터는 압축강도 200Mpa 이상의 암반에서도 사용할 수 있다.

커터의 종류에는 롤러 커터와 비트 커터가 있으며, 롤러 커터의 경우 지반조건에 따라서 풍화암, 연암, 경암에 사용을 하며, 비트 커터의 경우 충적층, 풍화토에 사용을 한다.

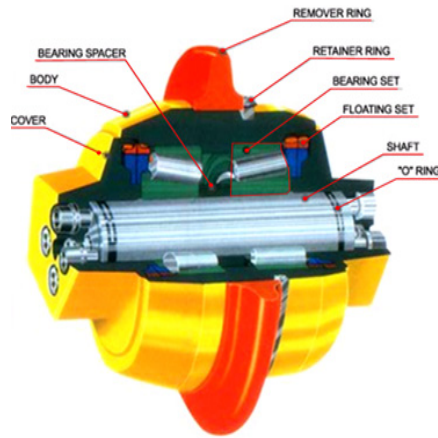


Fig. 2.1 디스크커터 구조

### 2.2 암반절삭 원리

Shield TBM 굴진 시 면판이 회전하면서 굴착면에 추력을 가할 때 Fig. 2.2와 같이 암반면에 디스크 링이 접촉되며 암반의 강도와 물성에 따라 Crushed Zone의 범위가 달라진다. Crushed Zone은 디스크 링이 암반을 회전이동하면서 접촉력에 의해 파괴되는 영역이며, 일반적으로 암의 강도가 낮을수록 형성되는 범위가 넓다. 디스크 커터는 암반의 일부에 하중을 집중시켜 균열을 유발시키며, 이 때 발생된 균열은 암반의 인장파괴에 의한 인장균열이 된다.

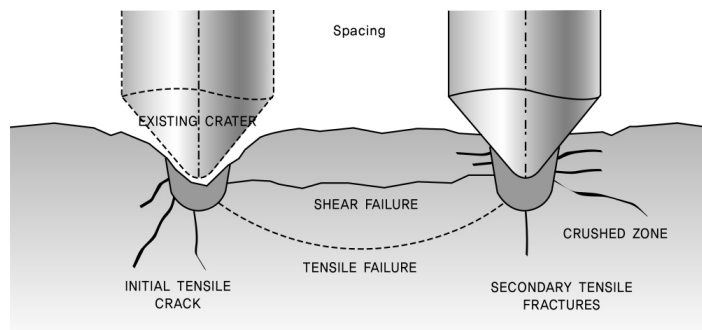


Fig. 2.2 디스크 커터에 의한 암석의 파괴 메카니즘 (철도청, 2003)

Shield TBM에 추력을 가하면서 면판을 일정한 회전속도로 회전시키면 Fig. 2.3과 같이 3방향

의 서로 직교하는 성분의 힘이 디스크 커터에 작용한다. 암반의 접촉면에 대해서는 연직으로 작용하는 Normal Force, 암반면과 수평한 방향으로 작용하는 Rolling Force, 디스크 링 측면으로 Side Force가 작용한다. 이 세 힘의 합력이 암반의 인장이나 압축 저항보다 크면 파괴가 일어난다.

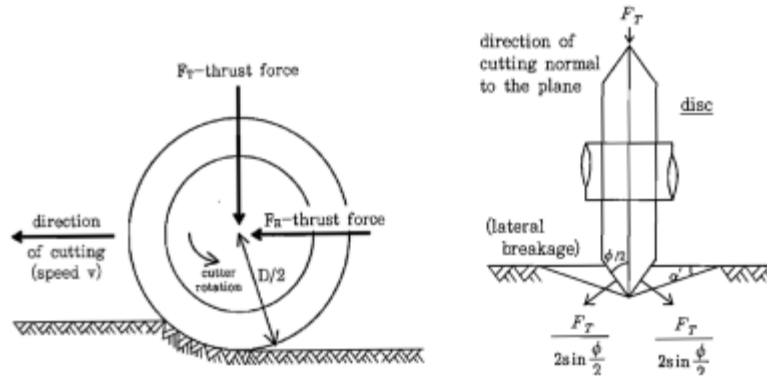


Fig. 2.3 디스크 커터의 기본적 형상과 주요 절삭변수

디스크 커터는 축방향으로 자유로이 회전하는 바퀴와 같다. 디스크는 암반 표면에 연직인 방향으로 높은 추력을 가해 암반을 절삭한다. 디스크를 회전시키는 Rolling Force는 암반 표면과 평행하고 디스크의 운동방향과 같은 선상에 있다. 디스크가 자유로이 회전하기 때문에 외적으로 작용하는 토크 또는 회전력은 발생하지 않는다.

디스크 커터의 경우 추력은 디스크 접촉면적 A의 투영된 면적이다. 암반과 접촉한 디스크의 길이  $l$ 은 디스크 관입깊이에 따라 증가한다

### 2.3 Disc Cutter 마모율에 영향을 주는 굴진 요소

지반 조건에 따라서는 일축압축강도, 인장강도, 석영함유량, 최적절삭조건, 압입깊이에 따라 Disc Cutter 마모율에 영향을 주며, 쉘드TBM장비 특성으로는 컷터헤드 직경, 컷터헤드 형태, 컷터직경 및 간격, 컷터헤드 RPM, 컷터헤드 동력 및 추력, 가동율에 따라 마모율에 영향을 미친다. 굴진데이터는 컷터 토크, 토압, 굴진 속도, 막장 주입 재료, 막장 주입량에 따라 마모율에 영향을 미친다.

## 3. 설계상 커터 교환주기 산정

### 3.1 굴착연장

서울지하철의 굴착직경은 7.93m이며 디스크 커터의 평균 회전수 1.76RPM을 기준으로 굴착 연장을 산정해보면 Table 3.1에 나타난 바와 같다.

**Table 3.1 굴착 연장**

지층	풍화토/풍화암	기반암	복합지반	계	비고
연장	674.400	572.200	1,297.306	2,543.906	

### 3.2 커터 교환 회전거리

1회전 당 롤러커터 회전거리(L)는 1회전당 16.61m이다. Table 3.2는 지층별 총 회전수 및 회전거리를 산출한 것이다.

**Table 3.2 1회전 당 롤러커터 회전거리**

구분	풍화토/풍화암	기반암	복합지반	계	비고
분당회전수(R.P.M)	1.5	2.5	1.5		
STROKE 당 굴착시간	47.9 분	80.0 분	64.0 분	191.8	
STROKE 당 회전수	71.9	200.0	95.9	367.7	
지층별 STROKE 수	562	477	1,081	2,119.9	
총 회전수(회)	40,380	95,367	103,703	239,450	
총 회전거리(km)	670.7	1,584.0	1,722.5	3,977.2	

### 3.3 총 회전거리

총 회전거리는 지층별 회전수 × 1회전당 커터의 회전거리 - 롤러커터 교환횟수로 산정할 수 있고 지층별 총 회전거리를 총 Table 3.3에 산출하였다.

**Table 3.3 지층별 총 회전거리**

구분	풍화토/풍화암	기반암	복합지반	계	비고
총 회전거리(km)	670.7	1,584.0	1,722.5	3,977.2	
허용회전거리(km)	300	300	300		
교환횟수	2.2	5.3	5.7	13.2	

## 4. 현장

### 4.1 현장 개요

본 현장은 모래층, 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 순으로 구성되어 있으며, 굴착지반은 풍화토, 풍화암, 연암이 혼재된 복합지층으로 구성되어 있다.

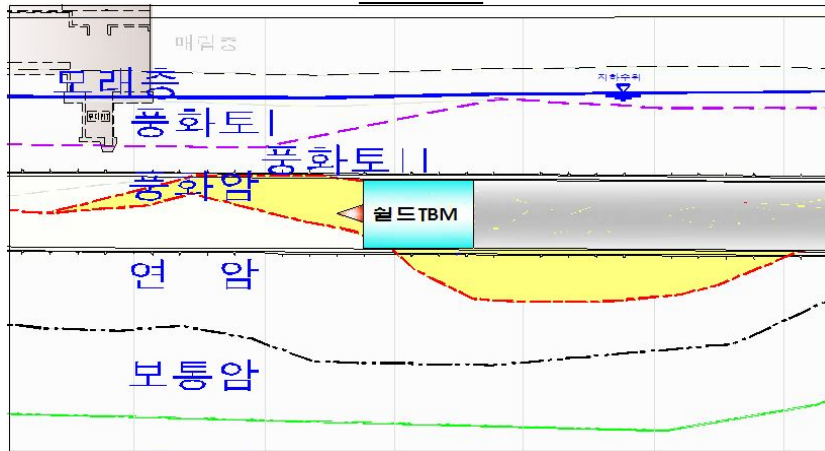


Fig. 4.1 현장 지층 단면도

## 4.2 현장 Disc Cutter 마모율 분석

지반 조건에 따라서는 2.1.3 에서와 같이 풍화토와 풍화암 지반과 연암 및 경암 지반에서는 교환주기가 약 2.4 배정도 기반암(연암 및 경암)지반에서 짧다. 따라서 마모율의 차이는 지반에 따라 상당히 큰 영향이 있음을 알 수 있으며 실제 현장 실적 데이터 상으로도 확인되었다. 장비의 특성에 따라 NTNU 와 KICT 모델의 평균값을 적용하여 평균수명을 산출할 수 있으며 기본설계시 장비 제작사에 의해 제시된다. 굴진시 마모에 영향을 주는 요소를 굴진속도, 추력, 토압, 주입량으로 선정하였으며 선정이유는 막장에 압력이 가해질 경우 속도가 느려지고, 추력이 증가되어 굴진량에 비해 회전수가 많아지며, 주입량에 따라 디스크 컷터와 절삭면의 윤회작용으로 마모에 영향을 미치는 것으로 판단하였다.

A현장의 경우 풍화암 연암 보통암이 혼재된 지반으로 디스크컷터를 3번에 걸쳐 교환하였고 디스크컷터를 하나로 굴진할 수 있는 평균 굴진 거리는 약 158m, 평균 굴진속도는 14.3mm/min로 산정되었다.

B현장의 경우 지반이 연암이 거의 대부분 존재하고 있는 경우로 디스크컷터를 3 번에 걸쳐 교환하였고 디스크컷터를 하나로 굴진할 수 있는 평균 굴진 거리는 약 68m, 평균 굴진속도는 15mm/min로 산정되었다.

굴진속도는 A,B 현장 모두 비슷한 굴진속도에 마모율이 다른 것으로 나타나, 굴진속도는 마모율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

A 현장의 경우 풍화암이 주된 단면으로서 막장 유지를 위해 토압이 요구되어 90~70 kPA 정도의 토압을 유지하며 굴진을 하였으며, B 현장의 경우 연암이 주된 단면으로서 막장이 자립되어 토압을 낮게 유지하여도 막장안정에 큰 문제가 없이 굴진이 가능하였다.

토압이 높을 경우 추력이 증가하여 디스크 컷터 마모에 영향을 줄 것으로 판단하였으나 굴진데이터에서 보여주듯이 토압이 증가함에 따라 마모가 증가하는 결과를 보이지 않았다.

막장 주입제는 A,B현장 모두 동일한 재료를 사용하였으며, 주입량은 B현장의 경우 약 60%적게 사용하였다. 주입제는 디스크 컷터와 절삭면의 윤회작용을 함으로써 마모를 줄이는 역할을 하는 것으로 판단되며, 주입량이 디스크컷터 마모율에 영향이 있는 것으로 판단된다.

풍화암이 주된 단면인 A 현장의 마모가 연암이 주 단면인 B현장 보다 2~3배 가까이 적게 발생하여 디스크 컷터 교환주기가 현저한 차이가 발생함을 알 수 있었다.

지층에 따라 산정된 디스크컷터 교환주기는 풍화암/풍화토 기준 약 2.2회, 복합지반의 경우 약 5.7배로 제시하고 있지만 실제 현장에서 교체된 디스크컷터는 풍화토/ 풍화암의 경우 3.3배, 복합지반의 경우 8.6회로 제작사에서 제시하는 교환주기와 실제 현장에서 교환된 디스크컷터의 교환주기는 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

당초 예상과는 달리 굴진시의 기계적인 변화는 디스크 컷터의 마모에 큰 영향을 주지 않은 것으로 분석되었으며, 디스크 컷터의 마모는 지반의 상태에 따른다는 것을 알 수 있었다.

단 막장의 유동성을 확보할 수 있도록 막장에 주입되는 주입제는 디스크 컷터와 절삭면의 마찰을 줄여 디스크 컷터 마모에 영향을 주고 있다. 그러나 적용된 데이터는 주입량이 일정하여 어느 정도의 량이 최적량인지 산출할 수 없었다. 향후에 더 많은 실험데이터를 적용하여 최적의 주입량을 산출하는 실험을 할 예정이다.

설계상의 교환주기는 디스크 컷터의 라이프 사이클을 기준으로 산정한 것이나 현장 적용시 약 60%가량 교환주기가 증가되는 큰 차이가 있다. 이는 설계 디스크컷터 교환주기 산정시 지층의 변화, 막장상태의 변화(토압, 속도, 추력등)를 고려하지 않은 결과인 것으로 판단된다. 교환시 소요되는 공기(약 10일/회) 및 예산(3억/회)과 추가 지반보강등은 설계시 반영되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Gyeong-Hwan Jeong, Min-Sik Shin, Boo-Seong Hwang, Dong-Hea Kim(2005) The present state and the hereafter trend in shield method, Journal of the Korean Society of civil engineers, Jeju Island, 2005(10), pp. 2976-2990.
- [2] Soung-chul Baek (2008) Study on Ubiquitous City Revitalization Plan Via u-City Project, MS Thesis, Chung-Ang University.
- [3] Kwak, Jun Hwan (2010) Case Study of Delay Factor Analysis using FMEA for Earth Pressure Balance Shield TBM Method in Construction Site, MS Thesis, Chungbuk National University.
- [4] Sung-Yil Koh, Sung-Ju Kwon, Seok-Yeon Choo, Yong-Man Kim (2010) The Study of The Disputed Issues During The Soft Ground Shield TBM Design and Construction According to Shield TBM Trouble Case Study, Journal of the Korean Society for Railway, Jeju Island, pp. 2362-2371.
- [5] Daewoo E&C (2010) Initial tunneling report of shield TBM.1159