

터널굴착의 신공법(Ⅰ)

경암자유단면굴착기에 의한 무발파공법

조현 / 토목기술부 과장

I. 기술의 개요

제원 · 성능

종래기술과의 대비

시공능력과 카타의 소비량

II. 경제성

작용 굴착단면과 시공방법

분진대책 및 시공환경

굴착의 자동제어기능

연재 순서

시킨 것이다.

경암자유단면굴착기(MM130R)의 스윙붐과 피치붐에 부착된 종횡으로 움직이는 카타호일의 외측에, TBM과 같은 모양의 디스크카타를 붙여 4개의 그립퍼 및 2개소의 지반지지대로 반력을 잡고 카타를 막장면에 밀어 부침에 의해서 암반을 압쇄하는 기구로 되어 있다. 본기계는 일 축압축강도 50~250MPa에 적용가능하며, 굴착단면적 50~80m²까지는 전단면굴착이 가능하다. 굴착단면형상은 아치형, 마제형, 장방형 등에 임의로 선택가능하며 단면크기는 높이 6.1~8.1m, 폭 9~12m까지 한번에 굴착이 가능하다.

분진대책으로서 운전실 전방의 먼지쉴드(Dust Shield)를 넓혀서 터널벽부와 통합하여 굴착분진을 제거하고 후부프레임에 설치된 2대의 습식 집진기에 의해 흡인처리 하여 터널내에의 확산을 방지하였다. 또한 운전실은 밀폐식으로 하여 굴착 및 기계소음을 경감시켰으며, 터널내에

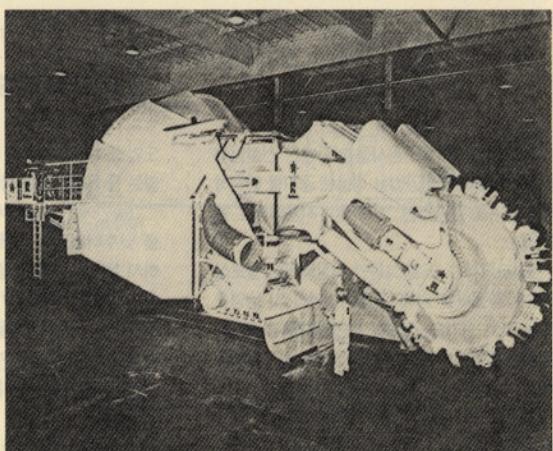
본 기술은 소음 · 진동 등의 제한된 조건하에서 경암을 대상암반으로 하는 터널을 효율적으로 시공하기 위한 자유단면굴착기술로서, 일본의 다이세이건설(大成建設)이 제안하여 일본건설기계화협회(건설부장관인정)로부터 1993년도에 인증받은 신기술이다.

본공법이 인정을 받은 기술수준을 요약하면 다음과 같다.

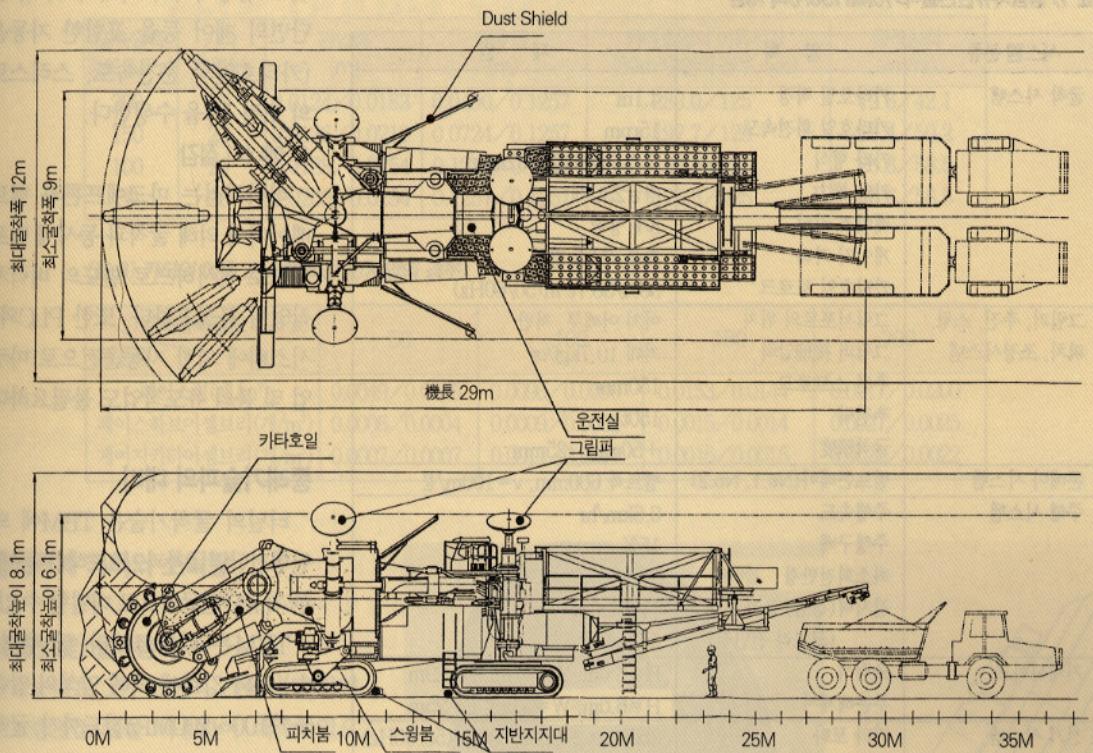
- (1) 일축압축강도 50~250MPa의 중경암 및 경암 굴착이 효율적 시공이 가능함.
- (2) 50~80m² 단면의 터널 굴착이 가능함.
- (3) 굴착에 의한 분진대책 등의 터널 시공환경이 좋음.
- (4) 터널내의 이동이 용이함.
- (5) 굴착의 자동제어가 가능함.

기술의 개요

본공법은 TBM의 경암 굴착 능력과 자유단면굴착기의 기동성을 합친 터널굴진기(MM130R)를 Robinson사(미국)와 공동개발하여 경암의 자유단면 무발파공법을 확립



(사진 1) 경암자유단면굴착기(MM130R)



(그림 1) 경암자유단면굴착기(MM130R)

서의 이동은 크로라 주행으로 용이하다.

본기는 주행과 그립퍼 조작이외의 운전조작(굴착단면 형상, 봄의 이동속도, 스러스트력)에 대해서는 자동화에 의해 에너지 절감, 품질향상, 굴착효율의 향상을 도모하였다.

제원 · 성능

1. 제원 (표 1참조)

2. 성능

1) 굴착능력 및 단면

- 대상지질 : 일축압축강도 50~250MPa정도의 중경

암에서 경암.

- 순(純)굴착능력 : 일축압축강도 150MPa의 화강암에 대해 $18.4\text{m}^3/\text{hr}$

- 굴착단면 : 단면적 $50\sim80\text{m}^2$ (전단면 1회 굴착가능)

단면형상 아치형, 마제형, 장방형 등

단면크기 높이 6.1~8.1m, 폭 9~12m

굴착은 암반을 준정직으로 압쇄하는 방식이므로 터널 주변암반의 이완을 최소화 하는 것이 가능하다.

2) 시공환경

먼지쉴드(Dust Shield)와 집진기의 조합에 의해 막장 면 후방에 대한 굴착분진의 영향이 거의 없다.

- Dust Shield : 적용단면 - $50\sim80\text{m}^2$, 재질 - 폴리에

(표 1) 경암자유단면굴착기(MM130R)의 제원

시스템 분류	항 목	제 원
굴착 시스템	카타호일 직경	4.1m
	카타호일 회전속도	15rpm
	카타 형식	디스크(카타徑 432mm)
	카타 推力	평균 23t/개
	페이스 카타	8개 장착
	케이지 카타	좌우 각 4개 장착
그립퍼, 추진, 스윙, 퍼치, 조정시스템	카타호일 토르크	36.4/36.7t·m(50/60Hz)
	그립서포트의 위치	아치 어깨부, 저반
	그립퍼 接地압력	최대 10.7kgf/cm ²
	추진 스크로크	150mm
	추진력	150t
콘베아 시스템	굴착精度	+50mm, -25mm
	벨트콘베아(No.1, No.2)	벨트폭 600mm, v=100m/분
주행 시스템	주행속도	0.6km/hr
	주행구배	15%
	최소회전반경	30m
	접지력(경암, 로라 下) (크로라 전면적)	11.5kgf/cm ² 5.7kgf/cm ²
	조립시 부분해체시	H=6.0m, W=7.3m, L=29m H=6.0m, W=5.6m, L=25m
전기 시스템	카타 모터	300kw×2, 3000/3300V(50/60Hz)
	유압 시스템	300kw×2
	기타	178kw
	합계	1,378kw
수송	총중량	314t
	최대분해중량	30t
	최대분해크기	H=3.5m, W=3.5m, L=6.0m

칠렌

- 습식집진기 : 55kw×600m³/분×2대

파스민코(호주)광산에서의 측정 실적에 의하면 분진농도는 먼지실드의 후방에서 2.4mg/m³이었으며, 터널내의 소음레벨은 기계주변에서 80~95dB이었다. 또한 본기(本機)의 주변환경에의 영향은 암반을 준정적(準靜的)으로 파쇄하는 굴진방식이기 때문에 터널밖 지표에 대해 소음·진동에 의한 영향은 아주 작다.

3) 자동제어

PLC시스템(Programmed Logic Control System)과 PG 시스템(Profile Guidance System)에 의해 본체의 주행

및 그립핑이외의 기계의 위치, 굴착 단면의 제어 등을 포함한 자동운전(카타호일의 운전속도, 스러스트력의 조정 등)을 수행한다.

4) 에너지 절감

버려처리는 마크에프론과 벨트콘베이어에 의해 굴착과 동시에 덤프트럭으로 실시하므로 별도의 버려처리 작업이 불필요하다. 또한 PLC와 PG 시스템에 의한 자동운전으로 마킹작업 및 봄의 유도작업도 불필요하다.

종래기술과의 대비

터널의 굴착기술은 TBM에 의한 원형전단면굴착과, 로드헤다 등에 의한 자유단면굴착으로 대별할 수 있다.

TBM은 디스크카타 및 추력(推力) 등의 강화에 의해 암석의 압축강도가 100~200MPa정도까지 굴착이 가능하지만 기동성이 없다.

한편, 종래의 로드헤다 등에 의한 자유단면굴착기는 기동성이 좋고 굴착단면도 자유롭지만, 경암에 대응하기가 어려웠다. 최근에 기계중량이 이제까지의 2배정도인 100t급의 대

형기계가 제작·도입되었지만, 경암에 대해서는 굴착능력이 TBM에 비하여 떨어진다.

그리고 환경상, 발파를 이용하지 않을 경우에 경암에 대한 굴착공법으로서 유압쐐기 등을 이용하는 할암(割岩)공법이 있으나 시공률이 현저하게 낮다.

이와같은 기계 및 시공법에 대하여 경암자유단면굴착기(MM130R)는 디스크카타를 사용함으로써 TBM에 필적하는 경암 굴착능력과 로드헤다의 자유단면성·기동성을 갖고 있는 기계이다. 또한 본 기계에는 시공환경을 고려한 강력한 분진대책이 세워져 있으며, 에너지 절감을 위하여 전자동 운전 시스템도 도입되어져 있다.

(표 2) 굴착능력 산정결과 (화강암/사암의 경우)

일축압축강도(MPa)	카타 추력(t)	관입량 (m)	카후폭 (m)	카타호일의 이동시간 (80m ³ 단면의 경우, sec)	굴착능력 (m ³ /hr)
200	23	0.0124/0.0183	0.0490/0.1257	283.0/125	12.6/42.1
150	23	0.0126/0.0218	0.0724/0.1257	197.7/125	18.4/50.2
100	23	0.0128/0.0254	0.1224/0.1257	127.8/125	28.8/58.5
50	23	0.0203/0.0254	0.1257/0.1257	125.3/125	46.6/58.5

(표 3) 카타의 예측 소비량(화강암/사암의 경우)

일축압축강도 (MPa) 부품명	50	100	150	200
페이스링(개/m ³)	0.0049/0.0045	0.0096/0.0090	0.0153/0.0144	0.0217/0.0200
페이스하브어셈블리(개/m ³)	0.0006/0.0004	0.0009/0.0008	0.0015/0.0014	0.0027/0.0025
게이지카타어셈블리(개/m ³)	0.0007/0.0007	0.0011/0.0011	0.0015/0.0015	0.0022/0.0022

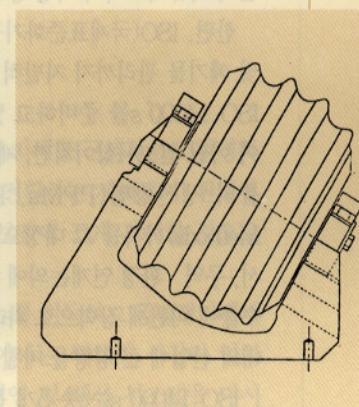
시공능력과 카타의 소비량

1. 상정(想定) 굴착능력
굴착능력은 로빈스社의 기술이 축적된 프로그램SRMM을 사용하여 예측하였으나 이는 파스민코광산(호주)에서 모빌마이나2호기MM130-3002의 실적으로부터도 높은 예측정도(精度)가 확인되었다. 이 방법에서는 주로 다음의 2항목이 산정된다.

- ① 지질, 강도, 광물함유율을 고려한 적절한 카타추력(推力)과 이에 의해 결정되는 카타의 관입량.
 - ② 지질, 강도, 광물함유율을 고려한 적절한 카후폭(디스크카타의 궤적의 간격)을 얻기 위한 카타호일의 이동시간
- 상기에서 언급한 프로그램을 이용하여 다음의 조건을 상정한 화강암 및 사암에 대한 경암자유단면굴착기의 굴착능력의 산정결과는 (표 2)와 같다.
- 암석의 종류 : 화강암 - 화성암, 변질되어 있지 않음.
 - 사암 - 퇴적암, 변질되어 있지 않음.
 - 광물입경 : 조립, 10mm



(사진 2) 페이스카타



(그림 2) 게이지카타 어셈블리

- 절리간격 : 평균 40cm

- 굴착능력 산정예 : 화강암에 대해 일축압축강도 150MPa의 경우.
 $(80\text{m}^3 \times 0.0126\text{m} / 197.7\text{s}) \times 3600 = 18.4(\text{m}^3/\text{hr})$

2. 상정(想定) 카타소비량

카타의 소비량에 대해서도 전절과 동종의 암석에 대한 예측 소비량은 다음의 (표 3)과 같다.

조립된 카타호일 및 부속카타의 상황은 (사진 2) 및 (그림 2)와 같다.