

TBM 커터헤드의 설계 기술

장 수 호^{*1}, 이 성 원^{*2}

1. 서론

TBM (Tunnel Boring Machine)으로 대표되는 터널 기계화시공법은 종래의 발파공법과 비교할 때 환경피해가 적고 노동력을 절감할 수 있다는 장점으로 인하여 21세기의 친환경적이고 경제적인 터널 굴착공법으로 고려되고 있다. 특히 TBM은 균질한 지반조건에서 장대터널 일수록 기존 발파공법보다 공기와 시공비 절감 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 또한 도심지 터널에서 TBM은 민원발생과 주변 인접구조물의 손상을 줄일 수 있는 굴착공법의 하나로서 중요하게 고려되고 있다 (배규진 등, 2000).

TBM에서 가장 핵심적인 부분 중의 하나는 실제로 지반을 굴착하게 되는 TBM 전면의 커터헤드 (cutterhead)라고 불리는 회전식 면판이다. TBM을 설계·제작하고 있는 선진외국에서는 과거 20~30년 이상의 기술개발과 경험을 통해 자국의 지반조

건에 적합한 TBM 커터헤드 설계기술을 보유하고 있다. 대표적으로 미국의 Colorado School of Mines (CSM)에서 활용하고 있는 LCM (Linear Cutting Machine)와 같은 실물 절삭시험장비와 노르웨이의 Norwegian University of Science and Technology (NTNU)에서 개발한 DRI (Drilling Rate Index) 등을 들 수 있다 (Nilsen & Ozdemir, 1993).

그러나 NTNU모델은 노르웨이의 지반조건에 적합하도록 개발된 경험적인 모델이며, LCM을 활용한 TBM 커터헤드의 핵심 설계기술은 현재까지 대외적으로 전혀 공개되지 않고 있다. 특히 국내 TBM의 설계와 제작을 100% 외국기술에 의존함으로써 인해, 국내 지반조건에 적합하지 못한 TBM이 도입되어 시공시에 많은 문제점들이 발생하고 있기도 하다.

따라서 본 고에서는 현재까지 공개된 TBM 커터헤드 설계관련 기술들을 정리하였으며, TBM 커터헤드 설계기술 자립을 위한 국내 기술개발 현황을 간략히 소개하였다.

*1 한국건설기술연구원 선임연구원(sooho@kict.re.kr)

*2 한국건설기술연구원 선임연구원(swlee@kict.re.kr)

2. 경험적 모델에 의한 TBM 커터헤드의 설계기술

미국 CSM에서는 20년 이상동안 축적된 LCM 시험결과와 현장 굴진자료에 근거하여 TBM의 커터헤드 설계변수와 굴진성능을 예측할 수 있는 경험적인 모델을 제시하였으며 (Rostami 등, 1996), 노르웨이에서는 수많은 TBM 시공자료의 축적을 통해 DRI를 기반으로 TBM의 굴진성능, 커터의 수명 및 TBM시공시의 비용산정 등에 대한 예측모델을 성공적으로 개발하여 적용하고 있다 (NTH, 1995). 이외에도 암반분류법인 Q-system을 TBM 터널에 적용하기 위해 개발된 QTBM에 의해 역시 TBM의 굴진성능, 굴진율 및 커터 마모 등을 예측할 수 있는 방법이 제시되었다 (Barton, 2000). 또한 Takoy(1987)는 슈미트해머에 의한 암반의 반발경도와 실험실 실험에 의한 마모경도로 정의되는 합경도 (total hardness)를 활용하여 TBM 굴진성능을 예측할 수 있는 경험적인 상관관계를 제시한

바 있다. 이상과 같은 경험적 모델들에 의한 TBM 커터헤드 설계인자 및 굴진성능 평가항목을 정리하면 아래의 표 1과 같다.

또한 국외에서는 TBM 설계와 굴진성능 평가를 위한 전문화된 각종 시험장비를 보유하고 있지만 (그림 1), 국내에는 이와 관련된 시험장비가 거의 전무하다고 해도 과언이 아니다.

본 고에서는 앞선 경험적 모델들 가운데 미국 CSM 모델과 노르웨이 NTNU모델에 의한 TBM 커터헤드 설계변수들의 도출 과정을 간략히 정리하였다.

2.1. NTNU 예측모델

NTNU 예측모델은 노르웨이 지반조건에 대해 수십년간 축적된 자료에 근거하여 얻어진 경험적인 TBM 설계·평가기술이다 (NTH, 1995).

경험적 방법이라는 단점을 제외하고는 TBM의 기본 설계자료 도출, 굴진성능 예측, 커터 수명 예

표 1. 대표적인 경험적 TBM 모델과 각 모델별 설계항목

TBM 모델	CSM 모델	NTNU 모델	QTBM	Total hardness
설계항목	커터 작용력	커터 추력	관입율	관입율
	커터 간격	커터헤드 RPM	굴진율	커터 비용
	커터 개수	커터 간격		TBM 가동율
	추력	커터 크기/형상		
	토크	동력		
	RPM	단위 관입율		
	동력	총 관입율		
	굴진율	토크		
	가동율	가동율		
	커터 수명	커터 수명		
		커터 링 수명		
		비용		

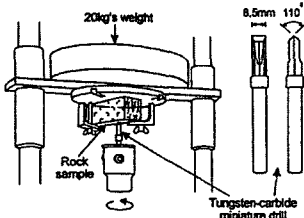
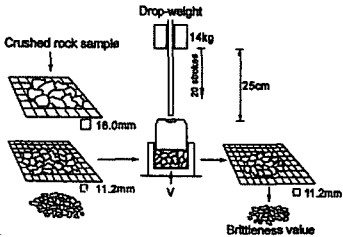
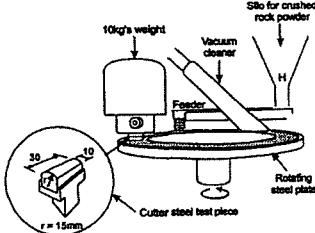
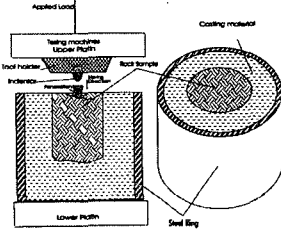
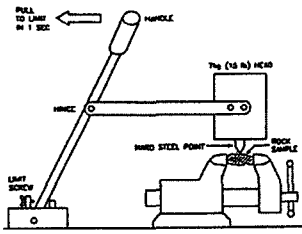
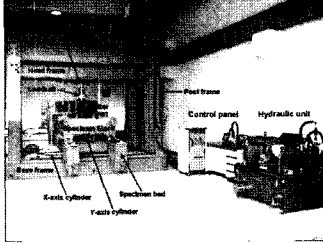
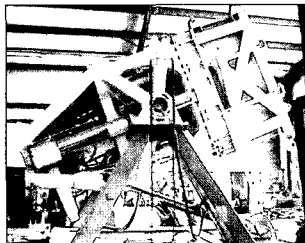
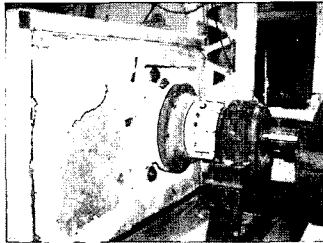
<p style="text-align: center;">Siever's J-value test (NTNU)</p>  <p style="text-align: center;">암석의 표면경도 측정 (DRI 산정용)</p>	<p style="text-align: center;">Brittleness test (NTNU)</p>  <p style="text-align: center;">암석의 분쇄저항성 측정 (DRI 산정용)</p>
<p style="text-align: center;">NTNU abrasion test (NTNU)</p>  <p style="text-align: center;">암석의 마모도 측정 (DRI 산정용)</p>	<p style="text-align: center;">Punch penetration test (CSM)</p>  <p style="text-align: center;">인성/취성 산정 (굴착난이도 산정용)</p>
<p style="text-align: center;">Cerchar abrasion test (CSM)</p>  <p style="text-align: center;">암석의 마모도 측정 (커터마모도 예측)</p>	<p style="text-align: center;">Linear Cutting Machine (KICT, CSM)</p>  <p style="text-align: center;">커터의 실물 절삭시험 (면판 설계)</p>
<p style="text-align: center;">Laboratory TBM (CSM)</p>  <p style="text-align: center;">실물 TBM면판의 굴진성능 평가(지름2m)</p>	<p style="text-align: center;">Drill Test Fixture (CSM)</p>  <p style="text-align: center;">드릴비트/면판의 굴진성능평가(지름0.9m)</p>

그림 1. TBM 설계관련 주요 시험장비

TBM 커터헤드의 설계 기술

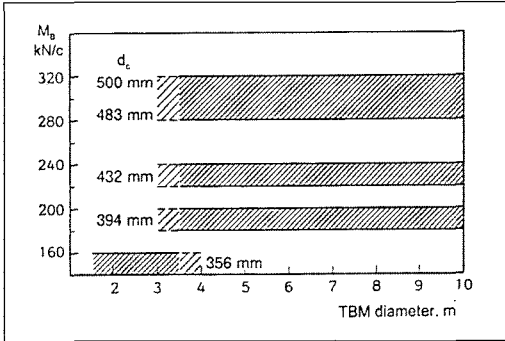


그림 2. 디스크 커터당 최대 평균 추력

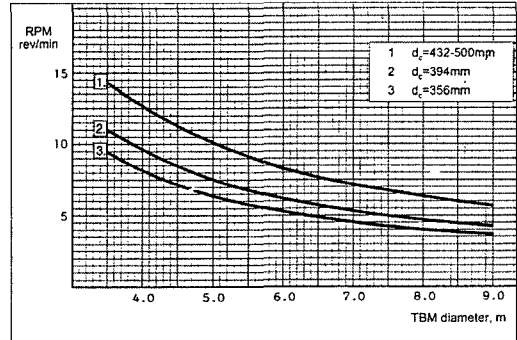


그림 3. 커터헤드 RPM

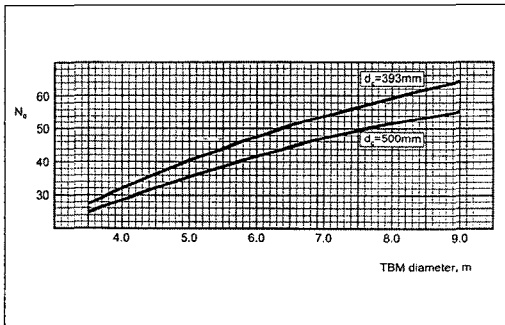


그림 4. 커터 평균 개수

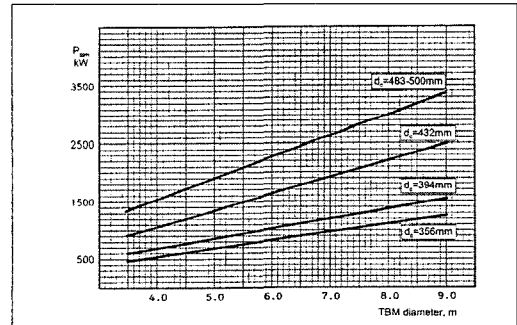


그림 5. 평균 커터헤드 동력

측 및 공비 예측이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 기본적으로 NTNU 예측모델에 사용되는 지반특성 관련 입력변수는 등가균열계수, DRI (Drilling Rate Index) 및 CLI (Cutter Life Index) 등이 있다.

NTNU 예측모델에 의해 TBM 설계변수를 도출하고 굴진성능을 예측하기 위해서는 관련 기계적 변수들을 초기 계획단계에서 가정해야 한다.

그림 2는 커터 직경 (d_c)과 TBM 직경의 함수로서 각 디스크 커터당 최대 평균 추력(M_b)의 경향을 도시한 것이다.

커터헤드의 RPM은 커터헤드의 지름과 반비례하는 것으로 나타났다(그림 3). 또한 커터헤드에 장착되는 커터의 평균 개수 (N_c)와 동력 (P_{tbm})에 대한

경험적인 경향은 각각 그림 4와 그림 5와 같다.

NTNU 모델에서의 균열도는 균열인자 k_s 로 표현되는데, k_s 는 균열정도 및 터널축이 연약면과 이루는 각도 (α)에 따라 달라진다. 연약면의 방향은 주향과 경사 측정으로부터 다음과 같이 결정된다.

$$\alpha = \arcsin(\sin\alpha_f \cdot \sin(\alpha_t - \alpha_s)) \quad (\text{degrees}) \quad (1)$$

여기서 α_s = 주향, α_f = 경사 그리고 α_t = 터널 방향이다.

균열인자(k_s)는 균열 또는 절리 등급과 터널축이 연약면과 이루는 각도의 함수로서 그림 6과 같이

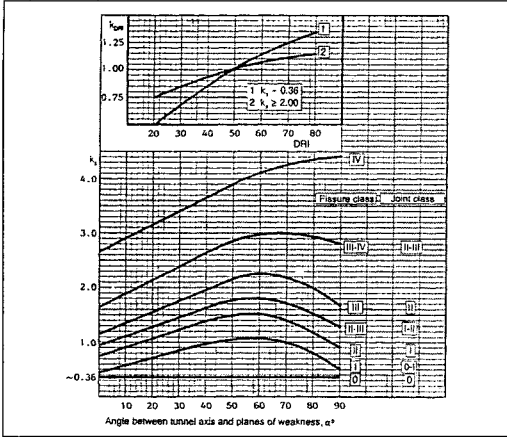


그림 6. 균열인자 (DRI≠49인 경우)의 보정 계수

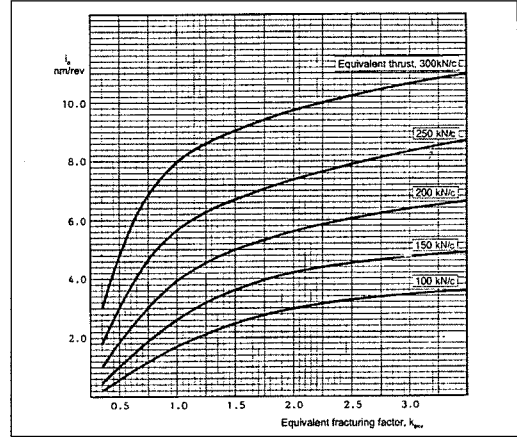


그림 7. 기본 관입량 (d_c = 483mm이고 a_c = 70mm인 경우)

계산된다. 절리군이 하나 이상인 경우에 총 균열인자는 식 (2)와 같이 계산된다.

$$k_{s-tot} = \sum_{i=1}^N k_{si} - (n-1) \cdot 0.36 \quad (2)$$

여기서 k_{si} = i번째군에 대한 균열인자, n = 균열군의 개수이다.

정리하면 TBM 굴진에 대한 암반 물성은 다음의 식 (3)과 같이 등가 균열인자 (k_{ekv})로 정의된다.

$$k_{ekv} = k_{s-tot} \cdot k_{DRI} \quad (3)$$

등가 추력 (M_B)과 등가 균열인자의 함수인 기본 관입량 (basic penetration, i_o)은 그림 7과 같다. 커터지름과 평균 커터간격(a_c)이 그림 7과 상이한 경우의 등가 추력은 식 (4)와 같다.

$$M_{ekv} = M_B \cdot k_d \cdot k_a \quad (kN/cutter) \quad (4)$$

여기서 k_d 와 k_a 는 각각 커터 지름과 평균 커터간격과의 경험적인 관계로부터 추정된다 (NTH, 1994).

단위 관입률 (net penetration rate, I)는 기본 관입량과 cutterhead RPM의 함수이다.

$$I = i_o \cdot RPM \cdot \frac{60}{1000} \quad (m/hr) \quad (5)$$

최적 굴진을 위하여 추정된 추력에 대해 커터헤드 동력이 충분한지 확인을 해야 한다. 동력이 불충분하여 주어진 관입깊이만큼 커터헤드를 회전시킬 수 없다면 TBM 토크에는 제한이 있을 수밖에 없다. 따라서 요구되는 토크량이 토크 용량보다 작아질 때까지 추력을 감소시켜야 한다. 필요한 토크 (T_r)는 다음과 같이 계산된다.

$$T_r = 0.59 \cdot r_{tbm} \cdot N_{tbm} \cdot M_B \cdot k_c \quad (kNm) \quad (6)$$

여기서 0.59 = cutterhead에서 평균 커터의 상대 위치,

TBM 커터헤드의 설계 기술

r_{tbn} = 커터헤드 반경,
 N_{tbn} = 커터헤드에 장착된 커터 개수,
 k_c = 커터 계수 (회전 저항, 식 7)
 M_B = 등가 추력

$$k_c = c_c \cdot \sqrt{i_o} \quad (7)$$

여기서 커터 상수 c_c 는 커터 지름의 경험적인 함수이다.

이상과 같이 얻어진 토크로부터 필요한 동력 (P_n)을 식 8과 같이 계산할 수 있다.

$$P_n = \frac{T_n \cdot 2 \cdot \pi \cdot \text{RPM}}{60} \quad (\text{kW}) \quad (8)$$

2.2 CSM 예측모델

CSM 예측모델은 미국 Colorado School of Mines (CSM)에서 20~30년 이상 축적된 실제 현장 자료 및 실험실시험으로부터 얻어진 방대한 자료에 근거하여 제시된 TBM 설계모델이다. CSM 모델과 NTNU 모델에 필요한 실험실 시험항목을 비교 정리하면 표 2와 같다.

CSM 예측모델에서는 시험편의 역학적 특성과

절삭조건에 따른 커터 작용하중 산출식을 다음과 같이 제시하고 있다 (Rostami & Ozdemir, 1993; Rostami 등, 1996).

$$F_t = \frac{P' RT \phi}{\psi + 1} \quad (9)$$

$$F_n = F_t \cos \beta \quad (10)$$

$$F_r = F_t \sin \beta \quad (11)$$

여기서 F_t 는 커터에 작용하는 총 하중, F_n 과 F_r 은 각각 커터에 작용하는 연직력과 회전력이다. 또한 R 은 커터의 반경, S 는 커터 간격, T 는 커터 tip의 너비이며 압력분포 상수 ψ 는 17인치 디스크커터인 경우 0에 가까운 값으로 가정할 수 있다 (Rostami 등, 1996). 이때 재료와 커터 사이의 상호작용이 발생하는 영역을 정의하는 각도 ϕ 및 β 그리고 커터 하부에 작용하는 기저 압력 P' 은 다음과 같이 계산된다 (Rostami & Ozdemir, 1993; Rostami 등, 1996).

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{R-p}{p} \right) \quad (12)$$

$$\beta = \frac{\phi}{2} \quad (13)$$

$$P' = -32628 + 521\sigma_c^{0.5} \quad (R^2 = 0.525) \quad (14)$$

$$P' = 103400 + 4200S - 7.37\sigma_t + 2.48\sigma_c - 21030T - 11740R \quad (R^2 = 0.780) \quad (15)$$

$$P' = C \cdot \left(\frac{S}{\phi \sqrt{RT}} \cdot \sigma_c \cdot \sigma_t \right)^{1/3} \quad (16)$$

표 2. CSM 모델과 NTNU 모델에 필요한 실험실 시험항목

CSM Model	NTNU Model
Petrographic analysis	Petrography
Uniaxial compressive strength (including deformability)	Siever's J-value
Brazilian tensile strength	Brittleness
Density measurement	Abrasivity(AVS)
Cerchar abrasivity	

여기서 p 는 절삭깊이, σ_c 와 σ_i 는 각각 시험편의 압축강도와 인장강도 그리고 C 는 약 2.12의 상수이다.

이상의 CSM 모델에 의해 예측된 커터 하중값들로부터 TBM의 주요 설계인자를 다음과 같이 도출할 수 있다 (Rostami & Ozdemir, 1993; Rostami 등, 1996).

1) 커터개수: $N=D/2S$ (17)

2) TBM 추력(thrust): $Th = \sum_1^N F_n \approx N \cdot F_n$ (18)

3) TBM 토크(torque):
 $Tq = \sum_1^N F_n R_i \approx 0.3 \cdot N \cdot F_r$ (19)

4) 면판 회전속도(RPM): $RPM = \frac{V_{limit}}{\pi D}$ (20)

5) TBM 파워(power):
 $HP = \frac{Tq \cdot RPM}{conversion\ factor}$ (21)

6) 굴진속도(advance rate): $AR=RPM \cdot P \cdot \eta$ (22)

여기서 D 는 TBM 직경, F_n 과 F_r 는 각각 LCM시

험 또는 CSM 예측모델에서 얻어진 연직력과 회전력의 평균값, V_{limit} 는 커터의 선형한계속도 그리고 η 는 장비효율(%)이다.

이 때 커터의 선형한계속도 V_{limit} 는 17인치 디스크커터를 사용할 경우 150m/min를 사용할 것을 추천하고 있으며, 토크의 단위가 $kN \cdot m$ 일 경우 TBM 파워계산시 변환 상수는 7이다 (Rostami 등, 1996).

3. 실물 절삭시험에 의한 TBM 커터헤드의 설계인자 도출

이상과 같은 경험적 모델들에 의한 예측결과는 일반적으로 실제 현장 굴진결과와 잘 부합하는 것으로 나타났지만 (Rostami & Ozdemir, 1993), 실규모 절삭시험을 통해 TBM 설계자료와 굴진성능 예측을 하는 것이 더욱 신뢰도가 높다고 할 수 있다.

TBM 커터헤드 설계를 위한 대표적인 CSM의 실규모 절삭시험으로는 LCM을 들 수 있다 (Nilsen & Ozdemir, 1993). 이 시험에서는 충분한 구속압을 가할 수 있도록 $100 \times 50 \times 50$ cm 크기의 암석 시료를 무거운 중량의 강철 박스에 콘크리트로 고정을

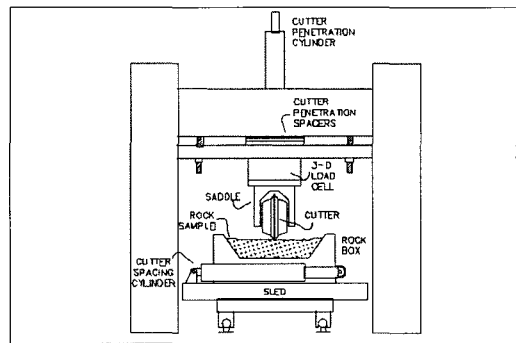
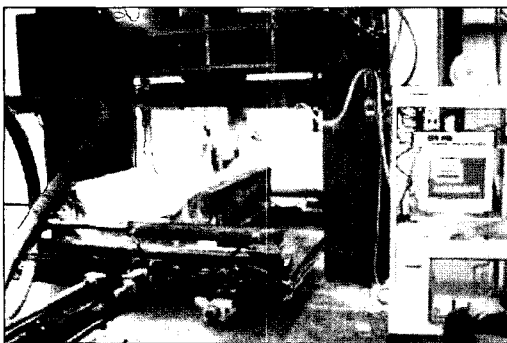


그림 8. 미국 CSM의 LCM

TBM 커터헤드의 설계 기술

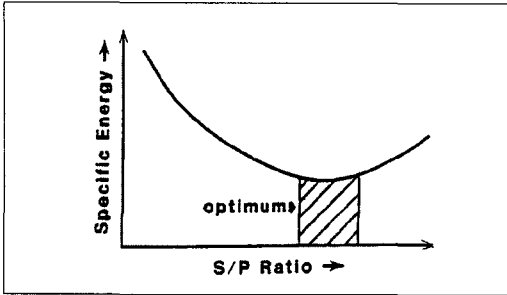


그림 9. LCM시험에서 최적 절삭간격/절삭깊이의 결정 개념

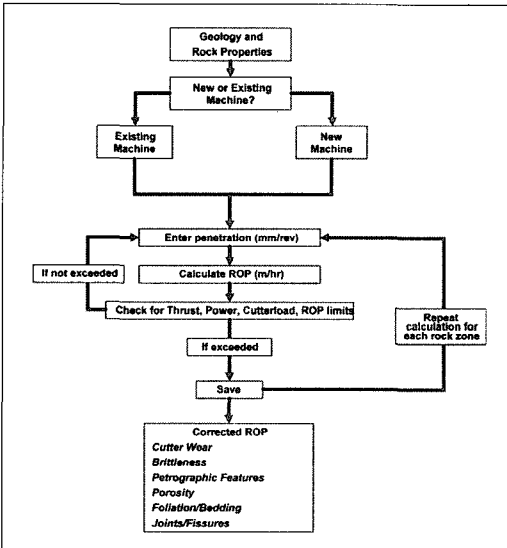


그림 10. TBM 성능예측을 위한 CSM 설계과정의 흐름도

시킨다. 설정된 절삭깊이와 커터 간격으로 유압 액츄에이터에 의해 커터에 하중을 가하게 된다(그림 8). 따라서 LCM에 의해 다양한 커터 간격과 절삭 깊이에 대한 조합들의 절삭시험이 가능하다. 이러한 시험조건들로부터 최소의 절삭에너지에 의해 최대의 절삭효과를 얻을 수 있는 조건을 최적 조건으로 선정하여 TBM 설계와 굴진성능을 예측하게 된다(그림 9). LCM 시험은 실제 크기의 커터를 사용하며, 실제 현장 굴진동안 나타날 수 있는 커터 하중과 절삭깊이를 재현할 수 있다. 따라서 크기효과

로 인한 영향을 배제할 수 있기 때문에, LCM 시험 결과를 직접 현장의 TBM 성능예측에 적용할 수 있다. 이 LCM 시험은 CSM에서 지난 20여년간 활발히 사용되고 있으며 현장의 TBM 성능을 정확히 예측할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Nilsen & Ozdemir, 1993). 또한 LCM 시험에서 얻어진 파편들로부터 chip 크기 분포를 분석할 수 있다.

그림 10은 이상과 같은 LCM 시험과 CSM 예측 모델에서 얻어진 절삭결과에 근거하여 TBM 설계 자료들을 예측하기 위한 흐름을 보여준다(Cigla & Ozdemir, 2000). 일단 암반과 지질 자료를 모델에 입력하고 몇 가지 선택사항들 중에 한 조건에 대해 검토를 수행한다. 기존 TBM에 대해 예측을 할 경우에는 커터 종류, 커터배열, 추력, 토크, 동력 등 TBM 장비에 대한 정보를 입력한다. 새로운 TBM을 설계하는 경우에 CSM 모델은 지반조건에 적합한 TBM 사양과 최적 커터헤드 구성을 산출한다. 이외에도 CSM에서는 커터 배열, 커터헤드에 작용하는 커터 하중 분포 및 커터 수명 등에 대한 자체 모델과 해석기술을 가지고 있으나 이에 대한 상세 정보는 전혀 공개되고 있지 않은 실정이다.

또한 CSM에서는 설계된 커터헤드를 검증하고자 실규모의 굴진시험을 수행할 수 있는 LTBM(Laboratory Tunnel Boring Machine)을 보유하고 있다(Nilsen & Ozdemir, 1993). 이 LTBM은 지름이 2m이고 컴퓨터 제어에 의해 회전절삭이 가능하다. 또한 LTBM에 의해 다양한 커터 종류, 커터 간격, RPM, 추력 및 동력들에 대한 시험과 평가가 가능하다(그림 11). LTBM의 용량은 1,000,000 pounds(추력) 및 200,000 foot-pounds(토크)이며 면판 회전속도는 최대 55 rpm이다. 워터젯(water-jet) 병용 절삭시험을 수행하기 위한 워터

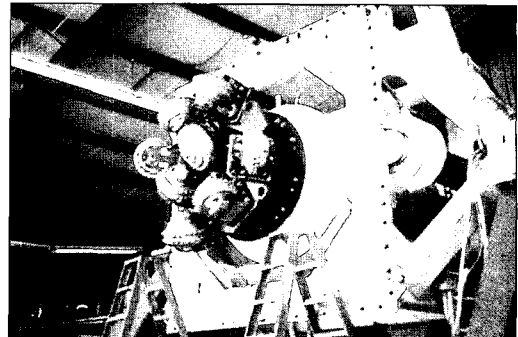
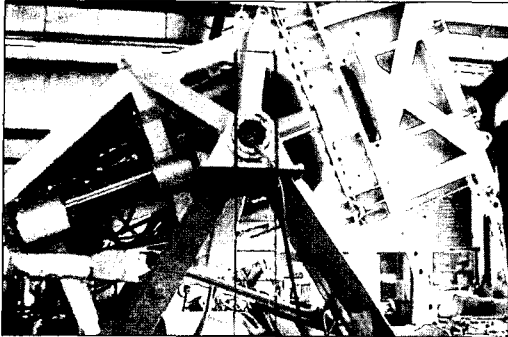


그림 11. 미국 CSM의 LTBM

젯 장비가 장착되어 있으며, 분진저감과 폐석처리 연구에도 활용이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

4. 국산 LCM 시스템의 구축과 활용

LCM은 TBM 커터헤드의 설계인자를 도출하고 TBM의 굴진성능을 예측하여 최적화된 급속 시공을 도모하기 위한 매우 유용한 시험 장비임에도 불구하고 국내에 도입되고 있는 TBM의 커터헤드 설계시 활용되고 있지 않으며 이로 인해 실제 현장 지반조건에 적합한 커터헤드를 설계하는데 있어 기술적인 어려움을 겪고 있다. 최근 들어 국내 터키설계시 LCM시험이 수행된 바 있으나 (이승복 등, 2004), 일본의 LCM 장비와 기술을 활용한 것으로서 TBM 커터헤드 설계를 위한 설계인자 도출에 있어 기술의존이 심각한 실정이다.

따라서 한국건설기술연구원에서는 국내 지반조건에 최적화된 TBM의 커터헤드 설계 인자를 도출하고 TBM 굴진성능 예측을 통한 공기·시공비 절감을 유도하고자, 미국, 영국, 일본, 터기에 이어서 세계에서 다섯 번째로 LCM 시스템의 구축을 완료

하였다(장수호 등, 2004).

새롭게 구축된 LCM장비는 최대 50톤까지 커터의 연직방향으로 하중재하가 가능하며, H형강으로 구성된 시험 프레임은 최대 2배의 안전율을 갖도록 설계되었다(그림 12).

구동부는 총 3축이며 X, Y, Z방향으로 유압실린더에 의해 구동된다. X축은 시험편 블록 프레임을 2개의 실린더로 총 1,200mm의 스트로크(stroke)를 구동하여 커터 간격을 조절하고, Y축은 시험편 블록을 1개의 실린더로 1,500mm의 스트로크를 구동할 수 있는 구조로서 절삭속도를 제어한다. 또한 Z축은 시험시 실제 하중이 부하되는 축으로 최대 50톤의 하중을 가할 수 있으며 서보제어(servo-

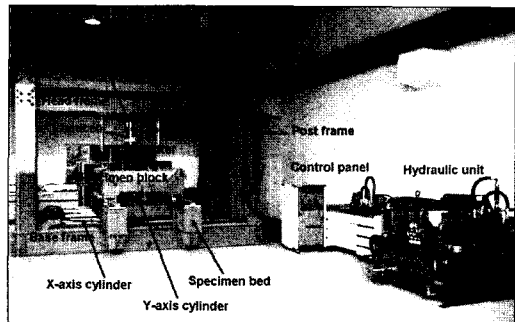


그림 12. 국산 LCM 시스템 (한국건설기술연구원)

TBM 커터헤드의 설계 기술

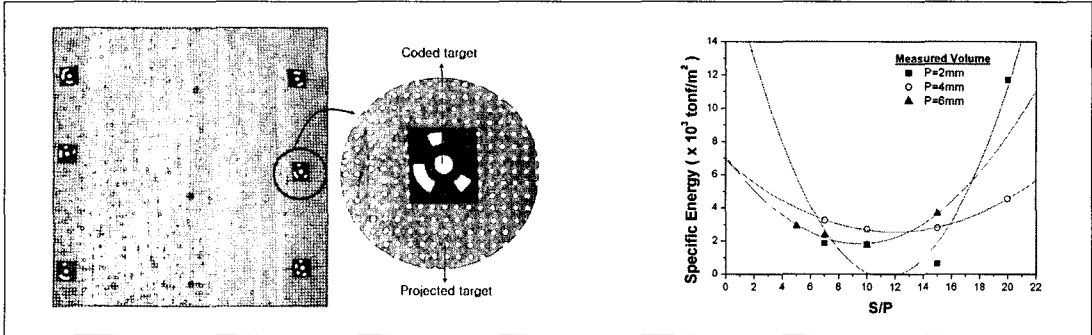


그림 13. 디지털 사진계측기법에 의한 절삭성능의 정량화와 최적 절삭조건의 유도

control)가 가능하다. 특히 Z축 실린더의 선단부에 3축 로드셀 (loadcell)이 부착되어 있어 커터에 작용하는 3방향의 하중성분을 동시에 측정할 수 있다.

시험편이 설치되는 시험편 블록 (specimen block)은 크기가 1.5m(길이)×1.4m(폭)×0.43m(깊이)이고 크레인으로 탈부착이 가능하며, 커터의 교체 또는 장착 역시 쉽게 볼트로 용이하게 할 수 있는 구조이다. 또한 유압밸브의 조절을 통해 시험편 블록의 이송속도를 조절할 수 있도록 제작하였다. 그리고 다양한 커터의 절삭성능을 평가할 수 있도록 최대 직경 48cm(19")까지의 disc cutter 또는 drag bit 등을 장착할 수 있도록 설계하였다.

또한 TBM 커터에 의한 3차원 절삭성능을 정량화하기 위한 디지털 사진계측 시스템을 최초로 적용하였다. 디지털 사진 계측을 위한 측정 시스템에는 카메라, 타겟(target) 및 laser points projector 등이 포함된다. 이와 같은 디지털 사진계측 기법에 의해 TBM 커터에 의한 절삭부피와 절삭깊이를 측정하여 LCM 시험으로부터 최적 절삭조건을 유도하게 된다(그림 13).

공개되지 않았던 LCM의 상세시험 과정뿐만 아니라, LCM 시험으로부터 TBM 커터헤드의 크기에

따른 커터의 총 개수, 커터 간격과 추력, 토크, 동력 등의 TBM 장비사양을 도출할 수 있는 설계과정을 확립한 단계이다.

5. 맺음말

노르웨이 NTNU에서 개발된 설계방법은 비교적 간단한 실험실 시험을 통해 DRI 등의 인자를 도출하고 다양한 TBM 설계 및 굴진성능 관련 결과를 제시할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 국내 지반조건에 대한 NTNU 예측모델의 적합성이 검증되지 못하였으며, DRI 산정에 필요한 관련 시험 장비도 국내에 전무한 실정이다. 또한 경험적인 설계방법이기 때문에 설계결과의 신뢰성에도 의문이 제기될 수 있다.

Q_{TBM} 은 Q-system에 근거하여 TBM의 굴진성능을 예측할 수 있으나, 역시 경험적인 예측방법이며 TBM의 설계인자 도출이 불가능하다는 한계를 가지고 있다.

반면 미국 CSM에서 개발된 LCM 시험에서는 실물 절삭시험을 통해 TBM 설계인자를 도출하기 때

문에 비교적 해석결과의 신뢰성이 높다고 할 수 있다. 하지만 세계적으로 일부 연구기관을 제외하고는 관련 시험장비가 전무한 실정이며 시험과정이 다소 어렵고, 절리와 같은 불연속면의 영향이 고려되고 있지 않다. 또한 CSM에서 제시한 경험적 예측모델은 시험조건에 따라 실제 절삭시험 결과와 상당한 오차를 보이는 경우도 있었다(장수호 등, 2004).

또한 현재까지 공개된 커터헤드 설계방법들은 주로 경암 위주의 open TBM에 적용되는 기술이다. 최근 도심지를 중심으로 Shield TBM의 국내 적용이 급증하고 있는 실정을 고려한다면 Shield TBM의 커터헤드 설계와 굴진성능 예측에 관련된 기술 개발이 시급하다고 할 수 있다. Shield TBM의 커터헤드 설계는 각 제조업체별로 수십년간의 경험으로부터 자체 설계 모델을 가지고 있는 것으로 파악되고 있다. 그러나 이들 설계 모델들은 외부 공개가 전혀 이루어지고 있지 않다. 특히 지반의 단위중량이나 N치와 같은 일반적인 지반조사 자료만을 가지고 Shield TBM 설계가 이루어지고 있기 때문에, 국내 지반조건에 부적합한 장비들이 도입되어 급속시공을 저해하고 downtime을 증가시키고 있는 실정이다.

따라서 국내 지반조건, 특히 복합지반 조건에 적합한 TBM 커터헤드 설계모델과 상세 설계기술 개발이 매우 중요하다고 할 수 있다. 이와 더불어 TBM 설계와 관련된 각종 시험장비의 구축이 시급히 병행되어야 한다. 더욱이 절리와 같은 불연속면의 영향을 고려한 기술 개발이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 2004 건설핵심기술연

구개발사업인 “급속 터널 기계화시공을 위한 최적 굴착설계 모델 개발” 연구사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 배규진, 이성원, 이두화 (2000), “터널 기계화 시공분야의 기술개발 현황과 미래수요예측”, 제1차 터널기계화시공기술 심포지움 논문집, pp. 13~26.
2. 이승복, 김응태, 천윤철, Dan-Akihiro, Kitahara-Youich (2004), “암반대응 쉴드TBM의 롤러커터 절삭성능에 관한 실험적 연구”, 2004년도 한국터널공학회 정기 학술발표회 논문집, pp. 233~245.
3. 장수호, 배규진, 이성원, 최순욱, 임종진 (2004), “선형절삭 시험에 의한 TBM의 굴진성능 평가에 관한 기초 연구”, 제5차 터널기계화시공기술 심포지움 논문집, pp. 97~112.
4. Barton, N. (2000), “TBM Tunnelling in Jointed and Faulted Rock”, A.A. Balkema, Rotterdam.
5. Cigla, M. and Ozdemir, L. (2000), “Computer Modeling For Improved Production of Mechanical Excavators”, Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME) Annual Meeting, Salt Lake City, UT, pp. 1~12.
6. Nilsen, B. and Ozdemir, L. (1993), “Hard Rock Tunnel Boring Prediction and Field Performance”, Proc of Rapid Excavation and Tunneling Conference (RETC), pp.833~852.
7. NTH (1995), “Hard Rock Tunnel Boring”, Project Report 1-94.
8. Rostami, J. and Ozdemir, L. (1993), “A New Model for Performance Prediction of Hard Rock TBMs”,

TBM 커터헤드의 설계 기술

Proc of Rapid Excavation and Tunneling Conference (RETC), Boston, USA, pp. 793~809.

9. Rostami, J., Ozdemir, L. and Nilsen, B. (1996), "Comparison Between CSM and NTH Hard Rock TBM Performance Prediction Models", ISDT 1996, Las Vegas NV, pp. 1~11.

10. Takoy, P.J. (1987), "Practical geotechnical and engineering properties for tunnel boring machine performance analysis and prediction", Transportation Research Record 1087, Transportation Research Board, National Reserach Council, pp. 62~78.

제 18회 한국지반공학회 계속교육 안내

한국지반공학회 지반진동위원회에서는 "지반구조물의 내진설계"라는 주제로 제18회 한국지반공학회 계속교육을 아래와 같은 일정으로 개최하오니, 지반구조물의 내진설계 관련 업계 및 학계의 관심 있는 분들의 많은 참여를 바랍니다.

- | | |
|---|--|
| <p>■일 시 : 2006. 2. 21 (화) ~ 2. 22 (수) / 2일간</p> <p>■주 최 : 사단법인 한국지반공학회</p> <p>■등 록 비 : 정회원 12만원, 비회원 15만원</p> <p>■일 정 :</p> | <p>■장 소 : 한국과학기술회관(과총회관)</p> <p>■주 제 : 지반구조물의 내진설계</p> <p>■사전등록 : 선착순 100명</p> |
|---|--|

일 자	강의 내용	강사(공동 집필)	
2006년 2월 21일 (화)	1. 지반공학 분야의 내진설계 개요	김동수	
	2. 지반의 동적시험법	2.1 개요	이종섭, 권기철
		2.2 실내 시험	
		2.3 현장 시험	조성호, 박형춘, 황세호(목영진, 선창국)
		2.4 부지특성 평가방법	권기철(이종섭)
		2.5 모형 시험	하익수
3. 설계지반운동 결정	3.1 내진설계기준	김동수(윤종구)	
	3.2 해석적 기법	박두희	
2월 22일 (수)	4. 액상화 평가	박인준(김수일, 황대진)	
	5. 항만구조물과 일반사면의 내진설계	김진만	
	6. 필댐의 내진설계	오병현(황성춘)	
	7. 지하구조물 내진설계	이정학(이인모, 송치용)	
	8. 기초구조물 내진설계	김성렬(김명모, 장학성)	

■문 의 : 김동수 교수(한국과학기술원)
(Tel. 042-869-3659, 016-417-3619, Email : dskim@kaist.ac.kr)

■참가 신청서는 p 84를 참조 하시기 바랍니다.