

터널 보링 머신 공법 구경별 지질조건에 따른 월굴진장 분석

Analysis of Monthly Excavation Length Depending on Ground Condition and TBM Diameter

Choi, Jae Jin^{a,1}, Park, Hong Tae^{b,*}

a Department of Civil Engineering, Kongju National University, 275 Budae-dong Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungnam 331-717, Republic of Korea

b Department of Civil Engineering, Kongju National University, 275 Budae-dong Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungnam 331-717, Republic of Korea

ABSTRACT

This study analyzed monthly excavation length and amount of time occupied by the work item based on drilling reports to record the entire work process of TBM tunnel site. TBM equipment(ϕ 2.6m, ϕ 3.0m, ϕ 3.5m, ϕ 3.8m) was developed by WIRTH company in Germany. In addition, This study analyzed rising expected monthly excavation length based on the lowest loss rate of operating shifts among the field of nine. Analysis results are confident to be a useful tool when Planning and Managing TBM method construction to the primary planning steps in the field similar to geological conditions and analyzed geological conditions.

KEYWORDS

Equipment Diameter
Drilling Reports
Loss Rate
Monthly Excavation-
Length

본 연구는 독일의 WIRTH사에서 개발한 ϕ 2.6m, ϕ 3.0m, ϕ 3.5m, ϕ 3.8m TBM 장비로 굴진한 TBM 공법 적용 터널 현장의 작업 전 과정을 수록한 굴진보고서를 근거로 작업 항목 별로 차지하는 소요시간을 통계화하여 월굴진장을 분석하였다. 또한, 분석된 9개 현장의 운영교대시간의 손실률을 비교해서 가장 낮은 현장을 기준으로 TBM 상승 예상 월굴진장을 분석하였다. 이와 같이 분석된 결과는 향후 유사한 지질 조건의 현장에서 TBM 공법을 적용하여 운영할 경우 기본계획수립단계에서 개적인 공사기간과 공사비의 추정 등의 공사를 계획하고 관리하는데 유용한 도구로 활용할 수 있을 것이다.

장비구경
굴진보고서
손실률
월굴진장

© 2014 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

1 Tel. 82-41-521-9301. Fax. 82-41-568-0287 Email. jjchoi@kongju.ac.kr

* Corresponding author Tel. 82-41-521-9310. Fax. 82-41-568-0287, Email:htpark@kongju.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Feb. 19, 2014
Revised Feb. 28, 2014
Accepted Mar. 19, 2014

1. 서론

현재 국내에서 적용되는 터널굴착공법은 지질, 암질, 굴진상태에 따라 다양한 공법이 활용되고 있으나 1990년도 이후 각종 민원, 노무비 상승, 공기단축, 표준품셈 제정 등으로 암반터널에서 TBM 공법이 증가되고 있다. 또한, 국제터널협회(International Tunnel Association)의 통계자료에 의하면 미국, 오스트리아, 독일 등에서 시공된 터널 중 30% 정도가 TBM 공법에 의해 시공되고 있는 것으로 나타났다.(Ultra Construction Co., Ltd. 2000)

TBM 공법의 경우 공사착수 전에 기본계획수립단계에서 사전에 월굴진장을 파악할 수 있다면, 과거의 공사 경험을 토대로 개략적인 작업 항목별(순굴진 시간, 커터 점검 및 교환, TBM 정비, TBM 점검 및 급유, 후속설비, 광차 대기 및 타설, 터널보강, 운영교대)에 필요한 시간을 예측할 수 있고, 그로 인한 공사에 소요되는 개략적인 공사기간과 공사금액을 판단할 수 있어서 효율적인 공사의 관리가 가능하게 된다.

따라서 본 연구에서는 한국의 OOO 건설사가 독일 WIRTH사 개발 TBM 장비($\phi 2.6m$, $\phi 3.0m$, $\phi 3.5m$, $\phi 3.8m$)로 시공한 TBM 공법 적용 터널 현장의 작업 전 과정을 수록한 굴진보고서를 근거로 작업 항목별로 차지하는 소요시간을 통계화하여 월굴진장을 분석하였다.

2. 기존 연구의 고찰 및 연구방법

2.1 기존연구의 고찰

터널공사에서 TBM 공법의 효율성을 분석하여 제시한 TBM 공법의 적용 사례 연구(Lee, YO, etc, 1997)와 암반에서 TBM공법 적용 사례를 제시한 경질 암반에서의 TBM 공법 적용 사례 연구(Park YU, 1998)가 있다. 이 두 연구는 TBM공법을 적용한 현장의 생산성을 분석한 후 작업분석항목의 문제점을 제시하고 개선방법을 제시한 연구이다. 또한, TBM 구경 3.5m를 대상으로 TBM 공법 적용 현장별 생산성 분석을 통한 효율성 개선방법을 제시한 연구(Park HT, etc. 2010))와 OOO 건설사에서 출간한 Tunnel Boring Machine Method(Ultra Construction Company, 2000)은 TBM 장비 구경별로 단위 굴진장(m)당 공사비를 제시하였다. 외국의 경우 산악터널공사의 시공사례를 소개한 일본의 토목공학사편 산악터널공사의 실례집(Civil Engineering Hand Book, 1998)과 TBM 공법에 의한 암쇄터널굴착에 관한 유의점을 기술한 연구(Nishida, T, 1993) 등이 있다.

2.2 연구방법

한국의 OOO 건설사에서 독일 WIRTH사 개발 TBM 장비($\phi 2.6m$, $\phi 3.0m$, $\phi 3.5m$, $\phi 3.8m$)로 수행한 TBM 터널 현장의 작업 전 과정을 수록한 굴진보고서를 분석하여 작업 항목별로 차지하는 소요시간을 통계화 하였다. 분석 작업 항목은 순굴진 시간(A, Net Excavation Time), 커터 점검 및 교환(B, Cutter Checking and Replacing), TBM 정비(C, TBM Maintenance), TBM 점검 및 급유(D, TBM Inspection and Lubrication), 후속설비(E, Subsequent Facility), 광차 대기 및 타설(F, Tramcar Wait and Pouring), 터널보강(G, Tunnel Reinforcement), 운영교대(H, Operating Shift), 안전 및 회의(I, Safety and Meetings)의 9개로 분류하여 분석하였으며, 분석된 결과를 가지고 월굴진장과 상승예상 월굴진장을 분석하였다. 여기서, 9개의 작업분류항목들을 설명하면 다음과 같다. ① 순굴진 시간은 TBM 장비의 굴진-TBM 원 스트록 유압에 의해 당김-TBM 원 스트록 굴진의 반복에 소요되는 시간인 Resetting 시간을 의미한다. ② 커터 점검 및 교환은 TBM 굴진할 때 커터가 마모하게 되는데 이 마모한 커터를 교환하고 점검하는 시간을 의미한다. ③ TBM 정비는 커터를 교환할 때, 유압이 발생할 수 있으므로 점검해서 정비하는 시간을 의미한다. ④ TBM 점검 및 급유는 총연장 약 110m인 TBM 장비를 운영하기 위해서는 사전 점검인 1일 단위 점검 및 1주일 단위 점검이 완료되어야 하는데 이 점검에 소요되는 시간을 의미한다. ⑤ 후속설비는 TBM 굴착할 때 발생하는 버력을 갱외로 운반해야 하는데 이 버력을 처리하는 벨트컨베이어를 연결하고 점검하는데 소요되는 시간을 의미한다. ⑥ 광차 대기 및 타설은 광차는 버력 처리 장비가 피견인식이므로 견인장비를 접속하는데 소요되는 시간을 의미한다. ⑦ 터널보강은 굴착 후 느슨한 지반

에 Wire Mesh, Steel Rib, Shotcrete, Rock Bolt를 설치하는데 소요되는 시간을 의미한다. ⑧ 운영교대는 TBM 굴착시 1일 3교대로 작업이 이루어지므로 이 교대시간에 소요되는 시간을 의미한다. ⑨ 안전 및 회의는 TBM 장비를 운영할 때 발생하는 모든 문제를 해결하기 위하여 소요되는 시간을 의미한다. Fig. 1은 본 연구의 흐름도를 보이고 있다.

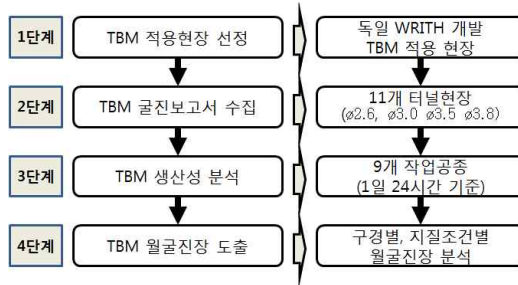


Fig. 1 The flow of study

3. TBM 운영 현장별 지질 현황

Table 1은 분석 대상 현장의 지질 현황을 나타내고 있다. 본 연구의 분석 대상 현장의 지질현황을 나타내고 있다. 분석한 월굴진장은 TBM 운영 현장별 현황 즉, 현장구분, 구경, 현장지질조건, 굴착환경, 굴착거리가 중요한 의미를 가진다.

Table 1. Status of TBM Operating Field

현장구분	구경	현장지질조건		굴진환경	굴진길이
A	ø2.6m	화강암 150~250 MPa	단층대 존재 및 극경암 굴진속도 저하	◆	5136.0m
B-1	ø3.0m	화강암 100~150MPa	암질 양호, 수직구 굴착 후 TBM 굴착	●	4331.0m
B-2		편마암 20~70MPa	편마암 지역 전체 암질의 변질도 및 풍화도가 심함 굴진속도 저하 막장자립에 문제가 발생	◆	899.0m
C-1	ø3.5m	안산암 40~150MPa	안산암 암질이 불균일함 대규모 단층 및 소규모 단층대 통과	◆	8,054.0m
C-2		흑운모 화강암 60~200MPa	굴진속도 저하구간 발생 대규모 단층 및 소규모 단층대 통과	◆	7,593.5m
C-3		화강섬록암 60~180MPa	암질 양호 굴진효율 양호	●	2,472.5m
C-4		응회암 60~100MPa 안산암 80~160MPa	압축강도 및 암질 양호 굴진효율 양호	●	4,361.2m
C-5		안산암 80~160MPa	압축강도 및 암질양호 굴진효율 양호	●	3,835.0m
D-1	ø3.8m	안산암 80~150MPa 및 다양한 암질	압축강도 및 암질 양호 굴진효율 비교적 양호	▲	7,042.0m
D-2		안산암 80~150MPa 및 다양한 암질	소규모 단층대 지하수위 과다유입으로 굴진속도 저하	◆	7,364.0m
D-3		안산암 80~150MPa 및 다양한 암질	압축강도 및 암질 양호 굴진효율 비교적 양호	▲	6,702.0m

Excavation environment : Bad(◆), Medium(▲), Good(●)

이는 향후 TBM 장비(ø2.6m, ø3.0m, ø3.5m, ø3.8m)를 가지고 공사하고자 하는 현장의 지질조건과 Table 1. 현장들의 지질 조건이 유사하거나 일치한 월굴진장을 가지고 개략적인 공사금액과 공사기간 그리고 9개 분석 작업 항목의 소요시간 및 백분율을 예측할 수 있기 때문이다.

4. TBM 구경별 굴진을 분석

4.1 현장별 굴진을 분석

(1) 구경 2.6m 운영 A 현장

A 현장의 굴진을 분석결과 Fig. 2와 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 26.2%로 매우 낮게 분석되었다. 그 이유는 단층대 존재와 극경암으로 인하여 굴진속도가 저하한 것이 주된 원인이었다. 단층대에서 필수적으로 수반되는 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 15.8%로 나타났다.

(2) 구경 3.0m 운영 B-1 현장

B-1 현장의 분석결과 Fig. 3과 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 36.4%로 매우 높게 분석되었다. 그 이유는 화강암의 암질이 균질하여 굴착하기 좋은 조건인 것이 주된 원인이었다. 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 7.9%로 낮게 나타났다.

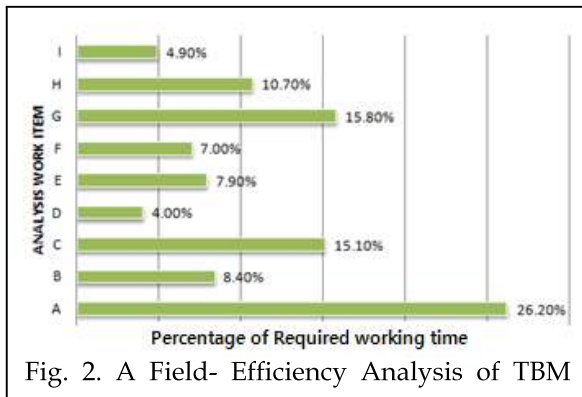


Fig. 2. A Field- Efficiency Analysis of TBM

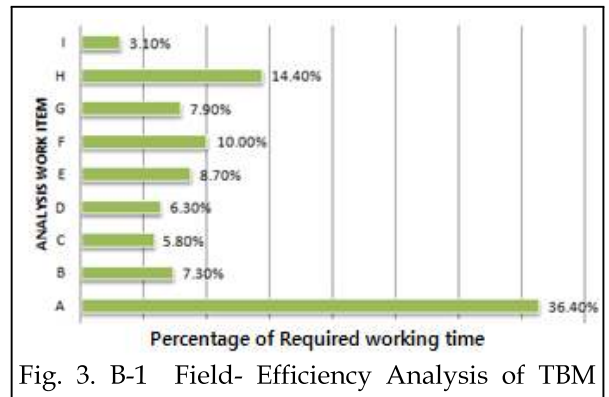


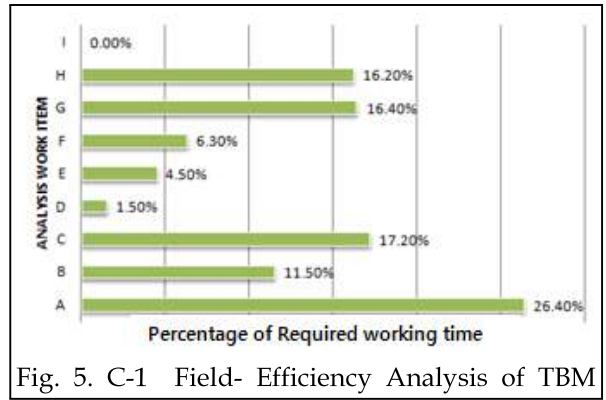
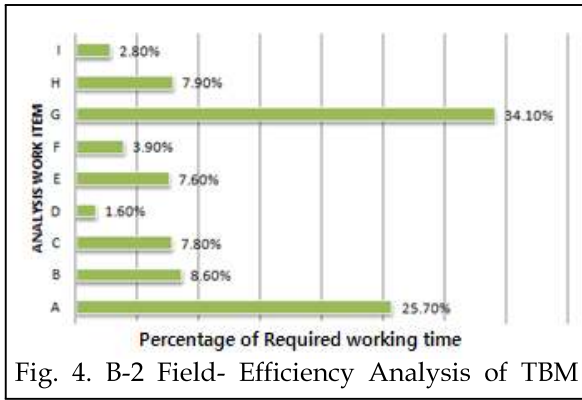
Fig. 3. B-1 Field- Efficiency Analysis of TBM

(3) 구경 3.0m 운영 B-2 현장

B-2 현장의 분석결과 Fig. 4와 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 25.7%로 매우 낮게 분석되었다. 그 이유는 압축강도가 비교적 적은 편마암 지역으로 전체 암질의 변질도 및 풍화도가 심하고, 막장의 자립문제가 발생하여 굴진속도가 저하한 것이 주된 원인이었다. 이에 반하여 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 34.1%로 매우 높게 나타났다. 특이한 것은 이러한 어려운 굴진조건에서도 운영교대에 소요되는 시간이 전체 작업시간의 7.9%로 굴진조건이 양호한 현장들에 비해 특히 낮게 분석된 것은 작업관리가 계획적으로 이루어진 것에 기인한 것으로 판단된다.

(4) 구경 3.5m 운영 C-1 현장

C-1 현장의 분석결과 Fig. 5와 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 26.4%로 매우 낮게 분석되었다. 그 이유는 안산암 암질이 불균일하고, 대규모 단층 및 소규모 단층대 통과하는 것이 주된 원인이었다. 이에 반비례하여 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 16.4%로 높게 나타났다.

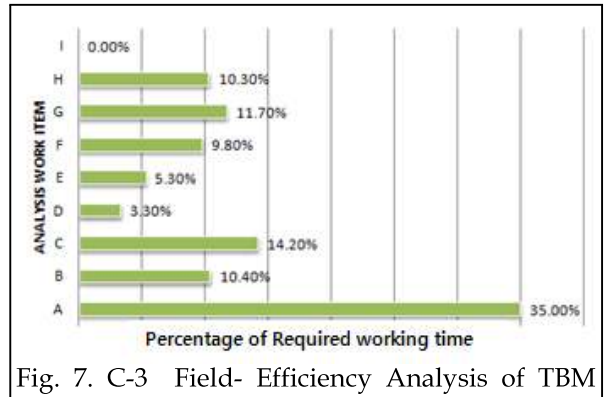
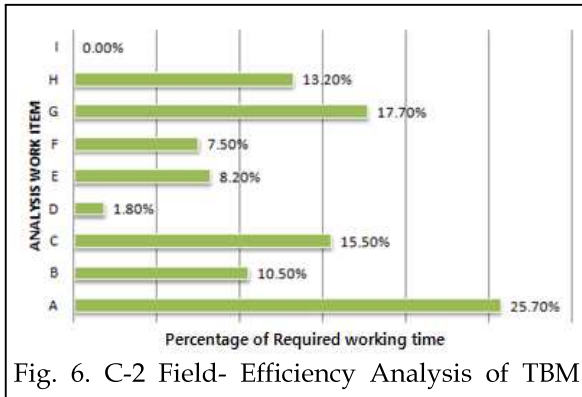


(5) 구경 3.5m 운영 C-2 현장

C-2 현장의 분석결과 Fig. 6과 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 25.7%로 매우 낮게 분석되었다. 그 이유는 굴진속도 저하구간 발생, 대규모 단층 및 소규모 단층대 통과로 인한 것이 주된 원인이었다. 이에 반비례하여 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 17.7%로 매우 높게 나타났다.

(6) 구경 3.5m 운영 C-3 현장

C-3 현장의 분석결과 Fig. 7과 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 35.0%로 매우 높게 분석되었다. 그 이유는 암질이 양호한 것으로 인한 굴진효율이 양호한 것이 주된 원인이었다. 이에 반비례하여 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 11.7%로 상대적으로 낮게 나타났다.



(7) 구경 3.5m 운영 C-4 현장

C-4 현장의 분석결과 Fig. 8과 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 34.0%로 매우 높게 분석되었다. 그 이유는 암질의 압축강도와 암질이 양호하여 굴착하기 좋은 조건인 것이 주된 원인이었다. 그러나 일부구간의 어려움으로 인하여 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 15.7%로 높게 나타났다.

(8) 구경 3.5m 운영 C-5 현장

C-5 현장의 분석결과 Fig. 9와 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 36.6%로 매우 높게 분석되었다. 그 이유는 안산암의 암질이 균질하여 굴착하기 좋은 조건인 것이 주된 원인이었다. 이 반비례하여 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 13.9%로 비교적 낮게 나타났다.

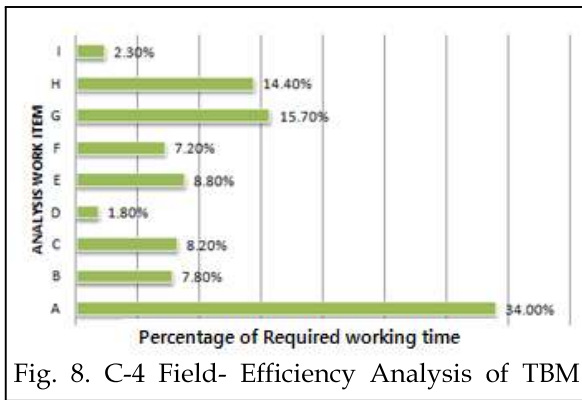


Fig. 8. C-4 Field- Efficiency Analysis of TBM

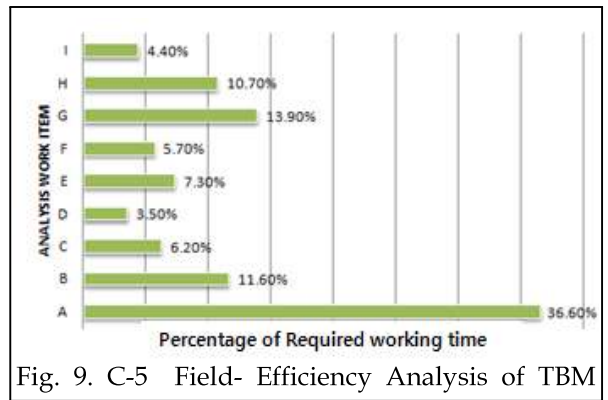


Fig. 9. C-5 Field- Efficiency Analysis of TBM

(9) 구경 3.8m 운영 D-1 현장

D-1 현장의 분석결과 Fig. 10과 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 27.5%로 약간 낮게 분석되었다. 그 이유는 화강암의 암질이 비교적 균질하여 굴착하기 비교적 양호한 것이 주된 원인이었다. 이에 반하여 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 17.2%로 약간 높게 나타났다.

(10) 구경 3.8m 운영 D-2 현장

D-2 현장의 분석결과 Fig. 11과 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 26.9%로 약간 낮게 분석되었다. 이유는 소규모 단층대 및 지하수위 과다유입으로 굴진속도 저하가 주된 원인이었다. 이에 반하여 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 16.4%로 약간 높게 나타났다.

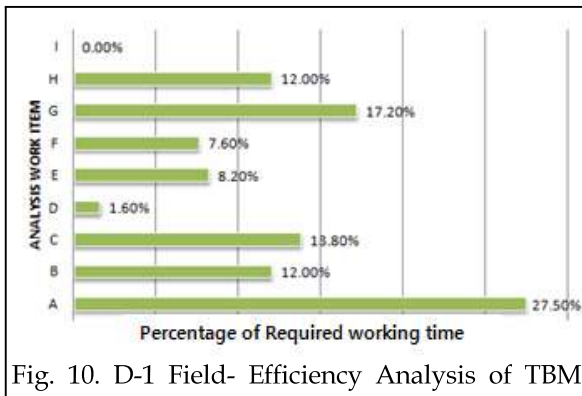


Fig. 10. D-1 Field- Efficiency Analysis of TBM

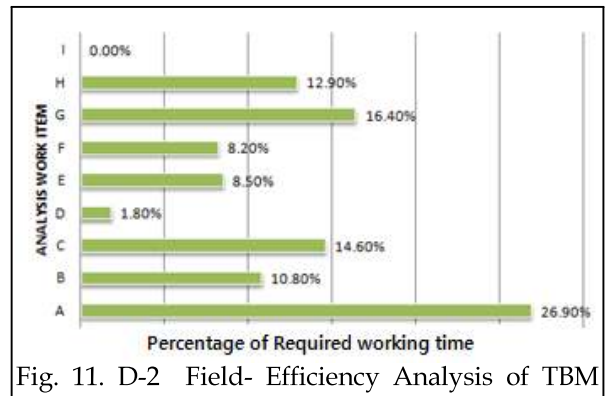


Fig. 11. D-2 Field- Efficiency Analysis of TBM

(11) 구경 3.8m 운영 D-3 현장

D-3 현장의 분석결과 Fig. 12와 같이 전체 작업시간 중에 순굴진 시간의 작업항목이 차지하는 시간비율이 26.9%로 약간 낮게 분석되었다. 그 이유는 화강암의 암질이 비교적 균질하여 굴착하기 비교적 양호한 것이 주된 원인이었다. 이에 반하여 터널보강의 작업항목은 전체 작업시간의 16.0%로 약간 높게 나타났다.

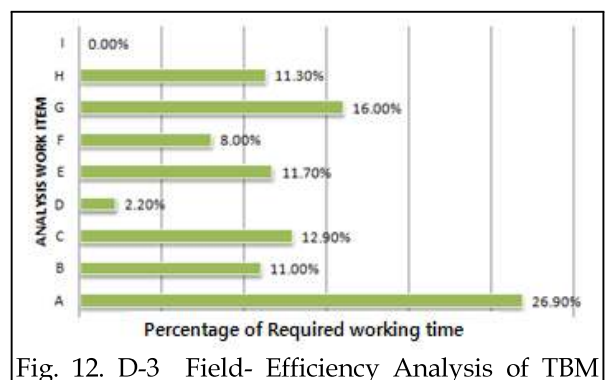


Fig. 12. D-3 Field- Efficiency Analysis of TBM

4.2. TBM 구경별 월굴진장 분석

TBM공법에서 변화무쌍한 현장조건이므로 구경별 평균치를 구하여 분석하는 것은 큰 의미가 없다. 그러나 향후 TBM 공법을 적용하여 굴착하고자 하는 현장은 다양한 현장조건이 나타날 수 있으므로 본 연구에서는 구경별 현장 지질조건별로 분석하는 것이 향후 유사 지질조건 현장에서 적용하는데 실질적인 도움이 될 것으로 사료되어 TBM 장비의 구경별, 지질조건별 분석을 실시하였다.

TBM 구경 2.6m의 TBM을 적용하여 터널공사를 수행할 경우, Table 2와 같이 화강암 압축강도 150~250MPa, 단층대 존재 및 극경암으로 굴진속도가 저하, 굴착환경이 불량한 지질조건에서는 월굴진장[굴진길이(m)/{총작업시간(일)/25}], 여기서, 총작업시간(일)은 {총작업시간(min)/60}/24]을 285m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있다.

Table 2. A Field- Monthly Excavation Length Analysis

현장구분	구경	현장지질조건		굴진환경	굴진길이 (m)	총작업시간 (min)	월작업일 (25일)	월굴진장 (m)
A	ø2.6	화강암 150~250 MPa	단층대 존재 및 극경암 굴진속도 저하	◆	5136.0	649,865	18.00	285

TBM 구경 3.0m의 TBM을 적용하여 터널공사를 수행할 경우, Table 3과 같이 화강암 압축강도 100~150MPa, 암질양호, 수직구 굴착 후 TBM 굴착, 굴착환경이 양호한 지질조건에서는 월굴진장을 344m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있고, 압축강도 20~70MPa 정도의 편마암 지역으로 전체 암질의 변질도 및 풍화도가 심하여 굴진속도가 저하하고, 막장자립에 문제가

Table 3. B Field- Monthly Excavation Length Analysis

현장구분	구경	현장지질조건		굴진환경	굴진길이 (m)	총작업시간 (min)	월작업일 (25일)	월굴진장 (m)
B-1	ø3.0	화강암 100~150 MPa	암질양호, 수직구 굴착 후 TBM 굴착	●	4331.0	453,050	13.00	344
B-2	ø3.0	편마암 20~70 MPa	편마암 지역 전체 암질의 변질도 및 풍화도가 심함 굴진속도 저하 막장자립에 문제가 발생	◆	899.0	125,751	3.49	257

발생하여 굴착환경이 불량인 지질조건에서는 월굴진장을 257m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있다.

TBM 구경 3.5m의 TBM을 적용하여 터널공사를 수행할 경우, Table 4와 같이 압축강도 40~150MPa 정도의 안산암 암질이 불균일하고, 대규모 단층 및 소규모 단층대 통과, 굴착환경이 불량한 지질조건에서는 월굴진장을 292m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있고, 흑운모 화강암 압축강도 60~200MPa, 굴진속도 저하구간 발생과 대규모 단층 및 소규모 단층대 통과하여 굴착환경이 불량인 지질조건에서는 월굴진장을 297m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있으며, 화강섬록암 압축강도 60~180MPa, 암질양호, 굴진효율 양호하여 굴착환경이 좋은 지질조건에서는 월굴진장을 358m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있다. 그리고 응회암 압축강도 60~100MPa 과 안산암 80~160MPa, 압축강도 및 암질양호, 굴진효율 양호하여 굴착환경이 좋은 지질조건에서는 월굴진장을 335m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있고, 안산암 압축강도 80~160MPa, 압축강도 및 암질양호, 굴진효율 양호하여 굴착환경이 좋은 지질조건에서는 월굴진장을 328m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있다.

Table 4. C Field- Monthly Excavation Length Analysis

현장구분	구경	현장지질조건		굴진환경	굴진길이 (m)	총작업시간 (min)	월작업일 (25일)	월굴진장 (m)
C-1	ø3.5	안산암 40~150 MPa	안산암 암질이 불균일함 대규모 단층 및 소규모 단층대 통과	◆	8,054.0	994,130	27.60	292
C-2	ø3.5	흑운모 화강암 60~200 MPa	굴진속도 저하구간 발생 대규모 단층 및 소규모 단층대 통과	◆	7,593.4	921,120	25.60	297
C-3	ø3.5	화강섬록암 60~180 MPa	암질 양호 굴진효율 양호	●	2,472.5	248,820	6.90	358
C-4	ø3.5	응회암 60~100 MPa 안산암 80~160 MPa	압축강도 및 암질 양호 굴진효율 양호	●	4,361.2	468,975	13.00	335
C-5	ø3.5	안산암 80~160 MPa	압축강도 및 암질 양호 굴진효율 양호	●	3,835.0	420,520	11.70	328

구경 3.8m의 TBM을 적용하여 터널공사를 수행할 경우, Table 5와 같이 안산암 압축강도 80~150MPa 및 다양한 암질, 압축강도 및 암질양호, 굴진효율 비교적 양호하여 굴착환경이 보통인 지질조건에서는 월굴진장을 308m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있고, 안산암 압축강도 80~150MPa 및 다양한 암질, 소규모 단층대, 지하수 위 파다유입으로 굴진속도 저하하여 굴착환경이 불량인 지질조건에서는 월굴진장을 269m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있으며, 안산암 압축강도 80~150MPa 및 다양한 암질, 압축강도 및 암질양호, 굴진효율 비교적 양호하여 굴착환경이 보통인 지질조건에서는 월굴진장을 302m 정도로 가정하여 공사를 계획하고 관리할 수 있다.

Table 5. D Field- Monthly Excavation Length Analysis

현장구분	구경	현장지질조건		굴진환경	굴진길이 (m)	총작업시간 (min)	월작업일 (25일)	월굴진장 (m)
D-1	ø3.8	안산암 80~150 MPa 및 다양한 암질	압축강도 및 암질양호 굴진효율 비교적 양호	▲	7,042.0	823,533	22.9	308
D-2	ø3.8	안산암 80~150 MPa 및 다양한 암질	소규모 단층대 지하수위 파다유입으로 굴진속도 저하	◆	7364.0	985,480	27.4	269
D-3	ø3.8	안산암 80~150 MPa 및 다양한 암질	압축강도 및 암질양호 굴진효율 비교적 양호	▲	6,702.0	798,210	22.2	302

4.3 TBM 상승 예상 월굴진장 분석

영교대시간은 TBM 굴착을 할 때 1일 3교대로 작업이 이루어지는 교대시간에 소요되는 시간으로 외부 환경의 조건에 영향을 받지 않고 수행되는 분석 작업 항목이다. TBM장비의 문제점이 아니라 관리적인 미흡으로 시간 손실률이 증가된 것으로 효율적인 관리가 이루어 질 경우 시간 손실률을 낮추어 월굴진장을 높일 수 있을 것으로 분석되었다. 운 따라서 본 연구에서 분석된 11개 현장의 운영교대 시간 손실률을 비교해서 최저 시간 손실률 현장을 기준으로 TBM 상승 예상 월굴진장을 분석하였다.

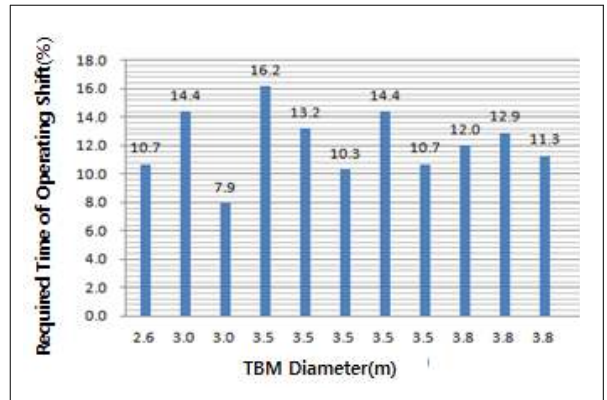


Fig. 13. Analysis of Operating Shift Time by TBM Diameter

Fig. 13은 TBM 구경별 운영교대시간을 비교 분석한 것으로 B-2현장 구경 3.0m의 운영교대시간 7.9%로 가장 낮은 시간 손실률을 나타냈다. 따라서 B-2현장의 운영교대시간 7.9%를 기준으로 Table 6의 상승 월굴진장을 A현장을 대상으로 다음과 같이 산정해 볼 수 있다. TBM 굴진 편차 상승률 = 2.8% × 0.262 = 0.7336%, 편차증분 월굴진장=285m × 0.007336 =2.090m, 편차 예상 반영 월굴진장 =285m+2.090m=287.1m가 된다. 즉, B-2현장 운영교대 7.9%을 기준으로 분석했을 때, A현장은 285m에서 287.1m로 증가됨을 알 수 있다. 나머지 현장도 동일한 방법으로 분석한 결과는 Table 6과 같으며, 공사관리 측면에서 운영교대에 대한 계획적인 작업관리를 수행한다면, 월굴진장은 다소 증대될 수 있다.

Table 6. Analysis of the Rise of Monthly Excavation Length Considering Operating Shift Time Variance

현장구분	A	B-1	B-2	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	D-1	D-2	D-3
운영교대시간	ø2.6	ø3.0	ø3.0	ø3.5	ø3.5	ø3.5	ø3.5	ø3.5	ø3.5	ø3.5	ø3.5
편 차 (%)	2.8	6.5	0.0	8.3	5.3	2.4	6.5	2.8	4.1	5.0	3.4
월굴진장(m)	285	344	257	292	297	358	335	328	308	269	302
편차 상승 월굴진장(m)	2.090	8.139	0.0	6.398	4.045	3.007	7.403	3.361	3.472	3.618	2.762
상승 월굴진장(m)	287.1	352.1	257.0	298.4	301.1	361.0	342.4	331.4	311.5	272.6	304.8

5. 결론

TBM 구경 2.6, 3.0, 3.5, 3.8m 장비로 시공한 11개 터널현장을 운영한 굴진보고서를 가지고 9가지 분석 작업 항목별 생산성을 분석한 결과를 근거로 TBM 구경별로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) TBM 구경 ø2.6경우 화강암 150~250 MPa정도에서 월굴진장은 285m로 도출되었고, TBM 구경 ø3.0 경우 화강암 100~150 MPa정도에서 월굴진장 344m, 편마암 20~70 MPa 정도에서 월굴진장은 257m로 도출되었다.
- (2) TBM 구경 ø3.5 경우 안산암 40~150 MPa정도에서 292m, 흑운모 화강암 60~200 MPa정도에서 월굴진장은 297m, 화강섬록암 60~180 MPa정도에서 월굴진장은 358m, 응회암 60~100 MPa와 안산암 80~160 MPa정도에서 335m, 안산암 80~160 MPa정도에서 월굴진장은 335m로 도출되었다.
- (3) TBM 구경 ø3.8 경우 분석 3개 현장의 지질조건이 안산암 40~150 MPa 및 다양한 암질로 구성되어 있어 3개 현장의 평균치를 도출하였고 평균 월굴진장은 293m로 도출되었다.

이 결과는 향후 유사한 지질 조건의 현장에서 TBM 공법을 적용할 경우 본 연구에서 분석한 월굴진장을 적용함으로써, 공사착수 전 개략적인 공사기간과 공사금액 그리고 분석 작업 항목별 소요시간 등을 추정할 수 있어 기본 계획수립단계에서 공사를 계획하고 관리하는데 유용한 도구가 될 것으로 확신한다.

References

Examples of Mountain Tunnel Construction in Japan, Civil Engineering Bachelor Hand Book, 1998

Lee, YO, etc, "TBM method Application Examples of the tunnel excavation", Korea Journal of the Tunnel, 1997, pp 1 ~ 10

Ultra Construction Co., Ltd. "Innovation of TBM Tunneling Technology", 2000, pp.1 ~ 20

Park HT, etc, " Analysis of Excavation Speed and Direct Construction Cost Based on the Operating Productivities of TBM Method Site", Journal of The Korean Society of Civil Engineers, 2012, PP 637~ 643

Park YU, etc, "TBM Method Application Examples in the Hard Rock", Symposia for the Construction of Underground Space, Journal of Geotechnical Korea, 1998, pp 1~15

T,Nishida, Y, Matsumura "Rock Mechanical Viewpoint on Excavation of Pressure Tunnel by TBM, 1993, pp.10 ~ 20