J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 16(2)125-133(2014)
http://dx.doi.org/10.9711/KTAJ.2014.16.2.125
eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

시공여건을 반영한 TBM선정 방법에 대한 연구

오준근[1] · 사공명[2]*
[1]비회원, 고려대학교, 한국철도기술연구원
[2]정회원, 고려대학교, 한국철도기술연구원

Study on the selection of TBM in consideration of field conditions

Joon-Geun Oh[1], Myung Sagong[2]*
[1]Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Korea 437-757
[2]Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Korea 437-757

ABSTRACT: In this study, TBM selection methods to meet soil and site conditions were presented. Factors and excavation equipment affecting TBM selection by soil and environmental condition were selected and classified. Weights between equipment and influencing factors selected were calculated by applying the AHP (Analytic Hierarchy Process) method. The results of the analysis influence factors, Ground condition was a major factor in objective factors and strength was a major factor in the hard condition of criteria factors and water pressure was a major factor in the soft ground condition of criteria factors. In Environment condition, existence of adjacent structures was evaluated more important than existence of feasible site. Lastly, Adequacy was verified through the deduction of results that coincide with input equipment by applying derived weights to actual site conditions.

Keywords: TBM, TBM Selection, AHP

초 록: 본 연구에서는 지반 및 현장조건을 고려한 TBM 선정방법을 제시하였다. 지반, 환경, 가격조건별로 TBM 선정에 영향을 미치는 인자와 굴착장비를 선정·분류 하였다. 선정된 영향인자와 장비 간 가중치를 AHP기법을 적용하여 산정하였다. 선정된 영향인자의 분석결과 기본요소에서는 지반조건이 가장 중요한 영향요소로 확인되었으며, 세부요소로서 암반조건에서는 강도, 토사지반조건에서는 수압이 가장 중요한 인자로 확인되었다. 주변 환경조건에서는 시공성에 영향을 줄 수 있는 주변구조물 인접여부가 중요한 인자로 확인되었다. 마지막으로 도출된 각 영향인자별 가중치를 토대로 굴착현장에 적용 가능한 TBM을 선정하고 도출결과와 실제 현장에 적용된 장비의 비교를 통하여 본 연구에서 제안하는 방법에 대한 검증이 이루어 졌다.

주요어: TBM, 장비선정, AHP

1. 서 론

공학적인 기준과 다양한 주변·환경요소가 복합적으로 고려되어야 하는 TBM (Tunnel Boring Machine) 선정과정은 신뢰성 있는 의사결정이 필요하다. 또한 현장여건에 적합하고 효율적인 장비선정을 위해 과정은 합리적이어야 한다. 하지만 현재의 터널 굴착장비 선정 과정은 공학적인 기준으로 볼 수 있는 지반조건만을 고려하며 주변여유부지, 지장물 및 장비가격조건 같은 현실적이고, 직접적인 요소를 고려한 장비선정 역할을 하지는 못하는 것으로 보인다.

TBM선정과 관련하여 기존에 AITES-ITA Working Group No. 14 (이하, ITA) (2000) 및 German Tunnelling Committee Working Group (이하, DAUB) (2000)이 제시한 범위형태의 장비선정 가이드라인 같이 학회에서 배포하는 선정기준이 주로 사용되고 있다.

관련 연구로는 다기준의사결정 방법을 적용한 장비선정 연구와 위험도 분석을 중심축으로 하는 연구가

***Corresponding author:** Myung Sagong
E-mail: rockcore@krri.re.kr

Received January 28, 2014; **Revised** February 18, 2014; **Accepted** February 28, 2014

Copyright ⓒ2014, Korean Tunnelling and Underground Space Association
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativescommons.org/license/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

주로 수행되었다. 다기준의사결정 방법을 통한 연구로는 퍼지 이론을 이용한 장비 선정방법 연구(Yazdai and Yakhchail, 2012), 굴착지수(Excavability Index)를 이용한 장비선정 및 굴진량 예측에 대한 연구(Bieniawski et al., 2008), 다중척도방법을 통하여 싱글쉴드와 EPB (Earth Pressure Balanced)쉴드 중 적용가능한 장비선정에 관한 연구(Edalat et al., 2010) 등이 수행되었다.

터널 굴착 시 발생 가능한 위험도를 분석하여 TBM을 선정하는 연구로는 Shahriar et al. (2008)가 제시한 복합지반 내 터널굴착 시 막장 전방 및 주변 지반에서 발생할 수 있는 잠재적인 위험 요소를 분석하여 굴착효율이 최대가 될 것으로 예상되는 장비를 예측하는 방법론이 있다. Hamidi et al. (2010)가 수행한 위험요소를 영향인자로 하는 퍼지·AHP (Analytic Hierarchy Process, 계층화분석과정)기법을 적용한 장비선정연구 같은 위험도 분석과 다기준의사결정방법을 혼합하여 장비를 선정하는 연구 사례도 있다.

Taheri et al. (2008)는 기하학적 조건을 반영한 TBM선정과정을 이란의 이스파한 지하철 공사에 적용시켜 제시한 바 있다. 현장의 지반조건 및 터널연장, 구배, 직경 등 기하학적 조건까지 영향인자로 선정하여 AHP를 적용시켜 장비를 선정하였으나, 개별공사에 적용될 장비에 관한 연구로 범용성이 부족하며 현장여건 및 주변·환경 조건을 반영하지 않은 방법론이다.

이에 본 연구는 다기준의사결정방법을 적용하여 선정하는 연구를 기본방향으로 분석은 AHP기법을 적용하였다. 또한 보다 현실성 있는 장비선정을 위하여 기존연구들에 포함되지 않은 가격 및 환경조건을 기본분류에 포함하여 시공여건과 주변환경이 주는 영향을 반영하였다. 그리고 선정과정이 객관적이며 간편한 방법론에 대한 연구를 수행하였다.

2. AHP기법

Saaty (1977) 가 제시한 AHP는 다기준의사결정방법 중 하나로 구성원 및 개인의 의사결정시 다양한 평가요소를 종합적으로 반영하여 적절한 대안을 도출하거나 평가하는데 활용할 수 있는 기법이다.

AHP 분석단계는 대안 및 평가요소의 계층구조 설정, 쌍대비교에 의한 평가요소의 가중치 산정, 대안의 평가요소점수 산정, 가중치를 적용한 대안의 평가점수 산정으로 구분할 수 있다. 분석단계 중 중요한 부분인 측정 및 자료수집은 설정된 계층구조의 각 수준별 요소인 목표, 평가요소, 세부평가요소, 대안에 대한 쌍대비교를 통해 이루어진다. 쌍대비교는 상위수준 요소의 관점에서 비교대상인 두 요소의 상대적 중요도를 평가하는 것으로 결과는 행렬의 형태로 나타낸다.

한편 전문가의 판단으로 이루어지는 쌍대비교는 일관성이 완전하지 못할 수 있기 때문에 Saaty (1980)는 일관성 비율(Consistency Ratio, CR) 을 식 (1)과 같이 제시하고 이를 일관성 정도를 판단하는데 사용할 수 있는 수단으로 제안하였다. 일관성 비율은 설문응답자의 판단에 대한 일관성을 보여주는 지표인 일관성 지수(Consistency Index, CI) 와 행렬요소개수(n) 를 1～9사이의 값으로부터 무작위로 추출하여 작성한 확률 비일관성 지수(Random Inconsistency index, RI) 사이의 비율을 말한다. 일관성 비율이 10% 이내이면 일관성에 문제가 없다는 것으로 간주된다.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \left(\frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}\right)\left(\frac{1}{RI}\right) \quad (1)$$

여기서, $\lambda_{\max}$ (Maximum eigenvalue) 는 $n \times n$ 행렬의 특성방정식(Characteristic equation) 의 근중에서 가장 큰 근의 값을 말한다.

3. 장비의 분류

ITA (2000) 제시한 장비분류는 각 국가 별로 분류형태는 조금씩 상이하나 기본적인 분류체계의 틀은 같

Table 1. Selected TBM for comparison

	TBM type	Shield	Supporting system	Reaction Force
1	Gripper TBM	Non-Shield	None	Gripper
2	Double Shield (D.S) TBM	Shield	Face without Support	Gripper + Segment
3	Single Shield (S.S) TBM		Face without Support	Gripper or Segment
4	Earth Pressure Balance (EPB) TBM		Face with earth pressure balance support	Segment
5	Slurry TBM		Face with fluid support	Segment

다. 우선 쉴드여부를 통하여 크게 Close type과 Open type으로 구분하고 Close type은 막장면 전체를 굴착하는 장비와 막장면을 부분적으로 굴착하는 장비로 분류하게 되는데 Close type중 막장면 전체를 굴착하는 장비까지를 통상적으로 TBM이라는 용어범위에 안에 포함시켜 사용하고 있다. TBM 범위내의 대상장비는 막장 지보시스템과 추진반력을 기준으로 다양하게 장비가 분류된다.

본 연구에서 대안으로 사용되는 장비는 국내에서 주로 사용하거나 사용될 것으로 예상되는 장비를 중심으로 설문자가 응답 시 쉽게 인지할 수 있는 장비를 기준으로 Table 1과 같이 비교대상 장비를 5가지로 선정하였다.

4. 영향인자 선정

4.1 기존 가이드라인 분석 및 기본평가요소

ITA (2000) 장비선정 가이드라인은 크게 경암/토사지반과 연암/토사지반조건으로 구분하였으며, 경암/토사지반조건에서는 암반의 일축압축강도, 인장강도, RQD, 절리간격을 주요 인자로 고려하며, 연암/토사지반조건에서는 점착력과 입도분포를 고려하고 있다. DAUB (2000)이 제시한 장비선정 가이드라인의 경우 영향인자는 분류를 기본적으로 경암과 토사지반으로 구분하였으며, 경암조건에서는 압축·인장강도, RQD, RMR 터널10 m당 용수량, Swelling, 수압과 CAI 등 마모시험 값을 영향인자에 포함시킨 것이 특징이다. 토사지반조건에서는 입도분포, 투수계수, 점착력, 수압, Swelling이 영향인자로 포함이 되어있으며, Abrasiveness LCPC Index ABR (g/t), Breakability LCPC Index BR (%) 등 역시 마모 (Abrasivity) 를 파악할 수 있는 시험을 수행 것이 특징이다. 이와 같이 ITA (2000) 와 DAUB (2000) 에서 제시된 영향인자를 Fig. 1과 같이 정리하여 확인한 결과 DAUB (2000) 가 더 많은 영향인자를 검토하며 ITA (2000) 에서 제시된 영향인자 대부분은 DAUB (2000) 에서 제시한 인자에 포함되는걸 알 수 있다.

또한 양 기관에서 제시된 영향인자는 지반조건과 관련된 인자만 장비선정에 관여하는 것으로 확인된다.

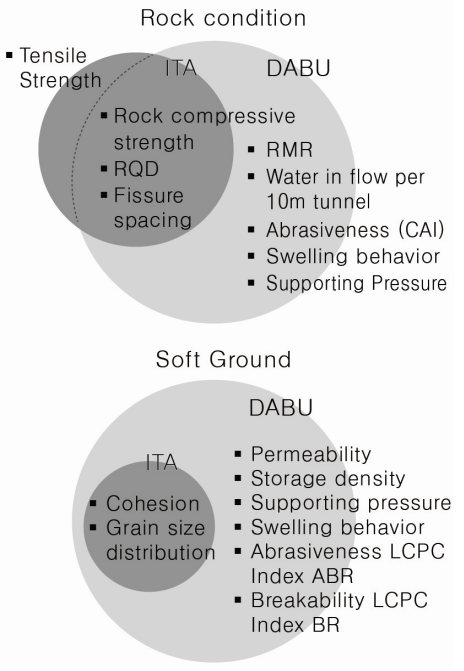

Fig. 1. Summary of Geotechnical Parameters of ITA (2000) & DABU (2000)

이에 본 연구는 장비선정에 영향을 미치는 인자를 지반조건뿐만 아니라 환경조건, 가격조건도 영향인자로 포함하여 총 3가지의 기본평가요소를 선정하였다.

4.2 세부평가 요소 분류

기본요소 하위에서 평가될 세부요소를 ITA (2000), DAUB (2000)이 제시한 가이드라인 및 전문가 자문을 바탕으로 선정하였다.

지반조건은 영향인자를 암반과 토사지반조건으로 분류하여 선정하였으며, 암반조건에서는 암반상태를 평가하는 RMR분류법을 근간으로 하여 요소 중 일축압축강도, ROD, 절리면의 간격, 터널길이 10 m당 유입량과 대규모 누수발생으로 터널굴착에 큰 영향을 미칠 가능성이 있는 파쇄대의 존재여부를 영향인자로 선정하였다. 토사지반 조건에서는 막장의 자립성을 확인 할 수 있는 점착력과 EPB, Slurry 구분에 중요한 영향인자인 되는 입도분포, 그리고 하·해저 터널 혹은 지하수 하부에서의 터널굴착 시 가장 크게 고려되는 영향인자인 막장면 수압을 영향인자로 선정하였다. 주변 환경조건 영향인자는 TBM 투입과 반출시 사용되는 장비, 플랜트, 장비 관련 시설물을 설치할 수 있는 지상 가용부지 존재여부와 굴착 시 발생하는 주변지반 응력변화로 인한 안정성 문제 발생 가능성에 따른 주변 구조물의 인접여부를 선정하였다. 가격조건은 장비가격이 현장의 특성에 따라 다르기 때문에 세부평가요소에서 평가될 영향인자를 따로 고려하지 않았다.

4.3 세부하위평가요소

세부하위평가요소는 세부평가요소에서 선정된 영향인자의 영향범위로 ITA (2000), DAUB (2000) 및 본 연구의 국내지반조건 적용성 향상을 위해 국내기관에서 제시한 기준을 근거로 전문가 자문을 통해 영향범위 분할기준을 선정하였다.

지반조건 중 암반조건에서 영향인자는 연암과 경암으로 분류하는 것을 기준으로 삼았으며 건설표준품셈, 지질조사표준품셈, 한국도로공사, 서울지하철공사, 한국고속철도건설공단, 서울특별시에서 제시된 국내암반분류기준 분석(Kim and Lee, 2008)을 참고하여 선정하였다. 이에 따라 연암과 경암 경계 값을 일축압축강도는 50 MPa, RQD는 50%, 절리간격은 0.6 m로 선정하였다. 터널 10 m당 유입용수량은 현장에서 유입용수로 인한 시공에 영향을 미치는 않는 용수량 25 L/min.를 기준으로 분할하였다.

토사지반조건의 영향인자 중 점착력은 막장의 자립여부를 분류의 기준으로 하였다. 이에 밀실한 사질토 지반의 기준값이며, 점성토, 점토 및 실트지반에서 N치 8～15정도로 약간 무르며 손가락 중간정도의 힘으로 들어가는 정도인 지반(Korea Express Corporation,

Table 2. Classification of influencing factors on TBM selection

Objective		Criteria	Sub-Criteria
Geology	Rock	Rock Compressive Strength (MPa)	300～50
			50～5
		RQD (%)	100～50
			50～10
		Fissure Spacing (m)	>2.0～0.6
			0.6～0.06
		Fault zone	Existence
			None
		Water in flow per 10 m tunnel (L/min.)	≥25
			< 25
	Soft Gro-und	Cohesion (kPa)	≥30
			30～5
		Grain size distribution (<0.06 mm, %)	≥30
			< 30
		Supporting Pressure (bar)	≥2
			< 2
Environ-ment		Feasible Site	Existence
			None
		Adjacent structures	<2.5D
			≥2.5D
Cost		-	

1996) 상태를 나타내는 점착력 30 kPa를 기준으로 선정하였다. 입도분포는 모래와 실트의 기준이 되는 입경 0.06 mm이하의 비율 30%를 기준으로 2분할하였다. 수압은 흙의 입경에 따른 투수계수 범위에서 실트와 모래를 구분하는 k=10^{-3} cm/s를 기준으로 k =10^{-3} cm/s일 때 수압은 2 bar를 초과하지 못한다는 내용을 근거로 하여 2 bar를 분할의 기준으로 삼았다 (Maidl et al., 2012).

환경조건에서 주변구조물 영향에 대한 범위는 굴착 시 발생하는 터널주변의 응력집중으로 인한 초기지중응력대비 응력증감율이 5%이상인 지역을 영향범위하여 2.5D로 산정하였다. 평가는 영향범위 내 인접구조물의 존재여부로 한다.

앞에서 언급된 기본, 세부, 세부하위평가에 사용되는 영향인자를 정리하면 Table 2와 같다.

5. 가중치 도출

가중치는 AHP를 적용하여 도출한다. 분석을 위하여 분류된 계층구조를 토대로 요소별 쌍대비교문항은 기본평가요소간 3문항, 세부평가요소간 14문항, 세부하위평가요소－대안간 200문항으로 총 217문항이 작성되며, 쌍대비교문항은 비교될 A, B 2개의 인자간 상호비교를 A가 매우중요, 꽤 중요, 중요, 약간중요로 9점, 7점, 5점, 3점 순으로 배점하며, B가 약간중요, 중요, 꽤 중요, 매우중요하다면 배점은 1/3점, 1/5점, 1/7점, 1/9점 순으로 매겨진다. 상호 동일한 경우는 1점을 배점하여 정리하게 된다. 비교결과는 행렬로 정리되며 Table 3과 같다.

Table 3. Example of the result of pair-wise comparison matrix

Factors	a	b	c	d	· ·
a	1	9	7	7	· ·
b	1/9	1	5	1/5	· ·
c	1/7	1/5	1	3	· ·
d	1/7	5	1/3	1	· ·
:	:	:	:	:	1

행렬은 정방행렬로서 대각선 라인의 요소가 모두 1인 역수행렬 형태이다. 행렬은 기본평가(3×3)에서 1개, 세부평가의 암반(5×5), 토사지반(3×3), 환경(2×2) 부분으로 각 1개, 세부하위평가요소-대안간 평가(5×5) 20개로 총 24개가 도출된다. 이 행렬을 각 열을 기준으로 정규화 하고, 정규화 값으로 이루어진 행렬의 행에 대한 평균으로 각 인자별 가중치가 산정된다.

개별 쌍대비교행렬을 총괄하여 총괄 가중치를 산정하게 되는데 방법으로는 기하평균으로 총괄하는 방법(Saaty, 1980), 가중평균으로 총괄하는 방안(Ramanathan et al., 1994), 목표계획법으로 총괄하는 방안(Bryson, 1999; Mikhailov, 2004)등이 제시되어 있다. 본 연구에서는 기하평균으로 총괄하는 방법(Saaty, 1980)을 사용하여 일관성 비율이 10% 초과인 응답자를 제외한 최종 가중치를 도출하였다. 도출된 영향인자별 가중치 및 일관성 비율은 Table 4, 5와 같다. 영향인자요소

Table 4. Weight of the Objective factors

	Weight	CR
Geology	0.59	7.6%
Environment	0.24	
Cost	0.17	

Table 5. Weight of the Criteria factors

Factors	Weight	CR
• Rock		
Rock Compressive Strength	0.29	2.4%
RQD	0.17	
Fissure Spacing	0.12	
Fault zone	0.22	
Water in flow per 10m tunnel	0.20	
• Soft Ground		
Cohesion	0.24	0.2%
Grain size distribution	0.27	
Supporting Pressure	0.49	
• Environment		
Feasible Site	0.45	0%
Adjacent structures	0.55	

Table 6. Total Weight (Parameters-Machine type)

Parameters			Machine type	Gripper	D.S	S.S	EPB	Slurry
Geology	Rock	Rock Compressive Strength (MPa)	300～50	0.0784	0.0437	0.0240	0.0150	0.0120
			50～5	0.0107	0.0257	0.0464	0.0500	0.0403
		RQD (%)	100～50	0.0403	0.0301	0.0152	0.0093	0.0078
			50～10	0.0059	0.0233	0.0267	0.0232	0.0235
		Fissure Spacing (m)	>2.0～0.6	0.0176	0.0240	0.0138	0.0079	0.0066
			0.6～0.06	0.0043	0.0161	0.0178	0.0172	0.0147
		Fault zone	Existence	0.0104	0.0278	0.0328	0.0286	0.0276
			None	0.0546	0.0346	0.0192	0.0111	0.0079
		Water in flow per 10 m tunnel (l/min.)	≥25	0.0068	0.0242	0.0208	0.0281	0.0371
			< 25	0.0274	0.0276	0.0250	0.0194	0.0176
	Soft Ground	Cohesion (kPa)	> 30	0.0173	0.0358	0.0260	0.0357	0.0280
			30～5	0.0063	0.0185	0.0191	0.0459	0.0529
		Grain size distribution (<0.06 mm)	≥30	0.0088	0.0255	0.0242	0.0477	0.0515
			< 30	0.0083	0.0188	0.0218	0.0542	0.0546
		Supporting Pressure (bar)	≥2	0.0116	0.0192	0.0136	0.1225	0.1225
			< 2	0.0187	0.0401	0.0394	0.0945	0.0967
Environment	Feasible Site		Existence	0.0121	0.0203	0.0188	0.0257	0.0303
			None	0.0285	0.0196	0.0214	0.0261	0.0115
	Adjacent structures		≥2.5D	0.0072	0.0269	0.0305	0.0522	0.0573
			< 2.5D	0.0304	0.0283	0.0273	0.0250	0.0187
Cost				-	-	-	-	-

에 대한 평가결과 기본평가요소에서는 지반조건(0.59/1)이 가장 중요한 인자로 도출되었으며 세부평가요소 에서는 각 조건별로 일축압축강도(0.29/1), 수압(0.49/1), 주변구조물영향(0.55/1)이 가장 중요한 인자로 나타났다.

세부하위평가요소 영향인자에 대한 대안(장비) 간 가중치는 Table 6과 같다.

6. 적용 및 검증

현재 EPB장비를 사용하여 시공중인 서울 지하철 △△△공구는 단선병렬 형태로 쉴드터널 구간(1,274 m) 과 NATM구간(86 m) 으로 이루어져 있으며 풍화토·암, 기반암, 복합지반으로 혼재되어 있다. 그리고 컨벤션 센터 및 문화재를 포함한 총 5개의 지중 구조물을 교차하고, 호수 하부로 통과하므로 지반침하를 방지하면서 위험을 최소화해야 하는 구간이다.

Table 7의 △△△공구 현장 영향인자 값을 바탕으로 각 장비의 가중치를 합산한 결과 실제 현장에 투입된 EPB장비와 동일한 장비임을 Table 8 에서 확인할 수 있다.

EPB장비를 사용하여 시공된 ○○선 하저통과 터널은 단선병렬 터널로 경암지역을 통과하는 지하철 터널이다. 하저터널로서 지장물에 대한 영향은 적지만 높은 수압으로 인해 발생할 수 있는 위험을 최소화해야 하는 터널이다. ○○선 하저터널의 지반조건 및 주변·환경요건에 대한 값(Table 9)을 바탕으로 장비의 가중치를 합산한 결과 선정된 장비가 실제현장에 투입된 장비와 동일한 걸로 확인됨을 알 수 있다 (Table 10).

Table 7. Geological properties of Seoul Metro construction, sector △△△

Parameters		Value
Hard Rock	Rock Compressive Strength	12～100 (MPa)
	RQD	under 50%
	Fissure Spacing	0.01～0.15 (m)
	Fault zone	○
	Water in flow per 10 m tunnel	Max. 42.55 L/min.
Soft Ground	Cohesion	50～30 (kPa)
	Grain size distribution (<0.06 mm)	below 0.06 mm = 0～50%
	Supporting Pressure	0.6～4.4 (bar)
Environment	Feasible Site	None
	Adjacent structures	20 m

Table 8. Result applies in the selection of TBM (Seoul Metro construction, sector △△△)

Service Machine	Geological condition	Applies in the slection of TBM						Selecting Machine
EPB	Mixed Ground	Machine type	Gripper	D.S	S.S	EPB	Slurry	EPB (OK)
		Weight Sum	0.134	0.239	0.255	0.411	0.379	

Table 9. Geological properties of ○○Line, Passing tunnel under the River

Parameters		Value
Hard Rock	Rock Compressive Strength	20～160 (MPa)
	RQD	30～85 (%)
	Fissure Spacing	0.01～0.05 (m)
	Fault zone	○
	Water in flow per 10 m tunnel	Max. 85 ℓ/min.
Environment	Feasible Site	None
	Adjacent structures	500 m

Table 10. Result applies in the selection of TBM (○○Line, Passing tunnel under the River)

Service Machine	Geological condition	Applies in the slection of TBM						Selecting Machine
EPB	Rock Condition	Machine type	Gripper	D.S	S.S	EPB	Slurry	EPB (OK)
		Weight Sum	0.087	0.172	0.192	0.216	0.204	

Table 11. Result applies in the selection of TBM in Other projects

Project	Service Machine	Geological condition	Applies in the slection of TBM						Selecting Machine
Seoul metro construction, Sector □□□	EPB	Mixed Ground	Machine type	Gripper	D.S	S.S	EPB	Slurry	EPB (OK)
			Weight Sum	0.134	0.239	0.255	0.411	0.379	
○○ conveyance water Tunnel	EPB	Rock	Machine type	Gripper	D.S	S.S	EPB	Slurry	EPB (OK)
			Weight Sum	0.078	0.168	0.198	0.216	0.211	
○○ Electric power tunnel	EPB	Mixed Ground	Machine type	Gripper	D.S	S.S	EPB	Slurry	EPB (OK)
			Weight Sum	0.129	0.250	0.256	0.419	0.408	
△△area, Electric power tunnel	Slurry	Soft Ground	Machine type	Gripper	D.S	S.S	EPB	Slurry	Slurry (OK)
			Weight Sum	0.046	0.104	0.104	0.300	0.318	

같은 방법으로 전력구 및 도수 터널에도 적용시켜 실제현장에서 사용된 장비와 선정된 장비를 비교하여, Table 11과 같이 모두 동일한 장비가 도출되는 것을 확인하므로서 본 장비선정 방법의 적용성 검증하였다.

7. 결 론

본 연구에서는 장비선정에 영향을 미치는 기본인자를 지반조건, 환경조건, 가격조건로 분류하여 세부평가요소를 선정하였다. 선정된 세부평가요소별로 영향범위를 지정하여 분할된 범위에 대한 장비별 가중치를 AHP를 적용하여 산정하였다. 도출된 가중치를 이용하여 적절한 장비를 선정하거나 평가하는데 활용할 수 있다.

선정된 영향인자의 분석결과, 기본요소에서는 지반조건이 가장 중요한 요소로 확인되었으며 지반요소 중 암반조건에서는 강도, 토사지반 조건에서는 수압이 가장 중요한 인자로 확인되었다. 주변 환경조건에서는 시공성에 영향을 줄 수 있는 주변구조물 인접여부가 조금 더 중요한 인자로 확인되었다.

방법론의 검증을 위해 서울 지하철 △△△공구 외 5개의 프로젝트 지반조건 및 주변환경조건을 조사하여 조사값과 도출된 각 영향인자별 가중치를 토대로 굴착현장에 적용 가능한 TBM을 선정하여 제안하는 방법에 대한 검증이 이루어 졌다.

제시된 방법론 적용 대상이 서울 한강영향권의 지하철 터널중심과 전력구 및 수로터널로 적용성을 확인을 하였으나 국내 TBM터널의 실적부족으로 적용대상 한계가 있다. 추후 국내 TBM 터널 현장의 확대와 굴착 현장의 자료가 확장되고 영향인자에 대한 조사값의 완성도가 높아진다면, 신뢰도가 높은 방법론으로 확실한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술 혁신사업의 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술 개발(10기술혁신 E09)” 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. AITES-ITA Working Group No. 14 (2000), Recommendations and Guidelines for Tunnel Boring Machines (TBMs), International Tunnelling and Underground Space Association, pp. 1-118.
2. Bieniawski, Z.T., Celada, B., Galera, J.M., Tardaguila, I. (2008), “New applications of the excavability index for selection of TBM types and predicting their performance”, World Tunnel Congress 2008 - Underground Facilities for Better Environment and Safety, pp. 1618-1629.
3. Bryson, N. (1999), “Generating consensus priority point vectors: A logarithmic goal programming”, Computers & Operations Research, Vol. 26, pp. 637-643.
4. Edalat, K., Vahdatirad M.J., Ghodrat, H., Firouzian, S., Barari, A. (2010), “Choosing TBM for tabriz subway using multi criteria method”, Journal of civil engineering and management, Vol. 16, No. 4, pp. 531-539.
5. German Tunnelling Committee Working Group (2000), Recommendations for selecting and evaluating tunnel boring machines, tunnel 5/97 ,Deutscher Ausschuß fur unterirdisches Bauen, pp 20-35.
6. Hamidi, J.K., Shahriar, K., Rezai, B., Rostami, J., Bejari, H. (2010), “Risk assessment based selection of rock TBM for adverse geological conditions using Fuzzy-AHP”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 69, No. 4, pp. 523-532.
7. Kim, M.G., Lee, Y.S. (2008), “A suggestion of a new rock mass classification system”, Journal of the Korean Geotechnical society, Vol. 24, No. 11, pp. 43-53.
8. Korea Express Corporation (1996), road design guideline, Vol. 2, part 5, pp. 41-42.

9. Maidl, B, Herrenknecht, M, Maidl, U., Wehrmeyer, G. (2012), Mechanised Shield Tunnelling 2nd Edition, Ernst & Sohn, Germany, pp. 262-264, pp. 400-447.
10. Mikhailov, L. (2004), “Group prioritization in the AHP by fuzzy preference programming method”, Computers & Operations Research, Vol. 31, pp. 293-301.
11. Ramanathan, R., Ganesh, L.S. (1994), “Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members weightages”, European Journal of Operational Research, Vol. 79, pp. 249-265.
12. Saaty, T.L. (1977), “A scaling method for priorities in hierarchy structures”, Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15, No. 3, pp. 234-281.
13. Saaty, T.L. (1980), The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York.
14. Shahriar, K., Sharifzadeh, M., Hamidi, J.K., (2008), “Geotechnical risk assessment based approach for rock TBM selection in difficult ground conditions”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 23, pp. 318-325.
15. Taheri, A., Borujeni, H.A.M. (2008), “Tunnelling machine selection for tunnel excavation in rock, using AHP method: CASE STUDY: Line 1 of the esfahan metro project”, International Conference and Exhibition on Tunnelling, International Tunnelling and Underground Space Association.
16. Yazdani-Chamzini, A., Yakhchali, S.H. (2012), “TBM selection using fuzzy multicriteria decision making methods”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 30, pp. 194-204.