J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 17(6)685-693(2015)
http://dx.doi.org/10.9711/KTAJ.2015.17.6.685

eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

최적의 비개착공법 선정을 위한 계층분석법의 적용에 관한 기초연구

강태호[1] · 장수호[2] · 최순욱[3]* · 이철호[3] · 조진우[4]

[1]정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 선임연구원
[2]정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 연구위원
[3]정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 전임연구원
[4]비회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 수석연구원

A preliminary study on the use of analytic hierarchy process for selecting a optimum trenchless excavation method

Tae-Ho Kang[1], Soo-Ho Chang[2], Soon-Wook Choi[3]*, Chulho Lee[3], Jinwoo Cho[4]

[1]Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Researcher
[2]Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Research Fellow
[3]Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Researcher
[4]Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Researcher

ABSTRACT: There have been high demands for urban underground structures. However, they should be rapidly constructed while maintaining the functions of adjacent structures and road systems especially in urban areas. In this respect, trenchless excavation methods are considered to very effective in minimizing ground displacements during excavation works. A variety of field conditions such as economic, technical and environmental aspects should be taken into consideration when an optimum trechless excavation method is to be chosen in a given condition. Therefore, this study aims to carry out a fundamental study to select an optimum trenchless excavation method by the decision making technique. Especially, AHP (Analytic Hierarchy Process) which is a kind of a multiple attribute decision making process is adopted to consider the opinions of experts and to derive reliable decision criteria. As a result, the weights of key factors and the most effective trenchless methods for different ground conditions were proposed in this study.

Keywords: Trenchless excavation, Decision making, Optimization, Analytic hierarchy

초 록: 도심지에서는 지속적인 지하 개발이 요구되고 있으며, 도심지공사는 주변구조물 및 기존 도로의 기능을 유지하면서 신속하게 진행되어야한다. 이러한 상황에서 비개착공법은 시공 시 주변 지반의 변위를 최소화하고 건설을 진행하기에 매우 유용한 공법이다. 그러나 비개착공법 선정을 위해서는 경제성, 시공성, 환경문제, 주변구조물 등 다양한 현장조건들을 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 의사결정기법을 활용하여 비개착공법의 최적 선정을 위한 기초연구를 수행하였다. 특히, 다중복합의사결정기법 중에 하나인 계층분석법을 이용하여 전문가 의견을 반영한 합리적인 공법선정의 평가기준과 규칙을 설정하였다. 분석 결과, 비개착공법을 선정하는데 있어서 필요한 고려항목들의 중요도를 도출하였고, 지반조건별로 가장 효과적인 비개착공법들이 제시되었다.

주요어: 비개착공법, 공법선정, 의사결정, 최적화, 계층분석

***Corresponding author:** Soon-Wook Choi
E-mail: soonugi@kict.re.kr

Received November 9, 2015; **Revised** November 19, 2015;
Accepted November 23, 2015

www.kci.go.kr

Copyright ⓒ2015, 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.

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 들어 도심지의 지하공간 개발이 증가되고 있는 가운데 비개착공법을 이용하여 구조물 횡단을 요구하는 시공이 증가하고 있다. 지하 공간 개발하는 방법은 크게 개착공법과 비개착공법이 있으며, 일반적으로 천층지반에서의 지하공간을 개발하기 위해서는 개착을 통한 굴착공법이 가장 많이 이용되었다. 하지만, 개착공법은 도심지에서는 교통통제 및 지중지장물 이설 등의 문제가 발생 할 수 있다. 따라서 최근 도심지 공사에서는 교통 불편과 도심의 지장물 문제를 최소화하기 위하여 비개착공법의 적용이 늘어나고 있는 추세이다. 1980년대 이후부터 국내에는 강관추진공법, 앨리먼트 견인추진공법, 암파쇄공법, 마이크로터널링공법 등과 같은 다양한 형태의 비개착공법이 적용되어 왔다. 이러한 다양한 공법들은 시공현장의 복잡하고 다양한 변수에 직면하게 되므로, 그에 따른 적정공법의 선정에 대한 객관적이고 합리적인 기준을 마련하는 것이 시급한 상황이다. 공법선정 문제는 다중복합의사결정(A multiple attribute decision making, MADM) 문제 중 하나이며, 의사 결정자(decision makers)들은 복합적인 현장변수에서 올바른 결정을 위해 항상 어려움을 가지고 있다. 이러한 복합적인 의사결정 문제를 고려한 최선의 공법을 선정하기 위해서 계층분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)이 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 전문가 의견반영과 복잡한 현장변수에 대한 평가가 가능한 AHP 기법을 기반으로 다양한 비개착공법에 대한 체계적인 공법선정방법을 제시하고자 하였다.

1.2 기존연구의 고찰

의사결정에 관한 연구는 1980년대 미국 중심으로 사회과학 분야에서 활발히 진행되었으며, 사회 현실적인 문제를 해결하기 위한 계층화의사결정법에 대한 많은 연구가 수행되었다(Zaheidi, 1986; Shim, 1989; Satty, 1980). 계층화의사결정법에 대한 연구는 방법론적인 관점 연구와 응용분야 연구로 구분된다. 방법론적인 연구는 순위역전, 평가척도의 적정성 등에 대하여 주로 연구가 진행되었고(Satty, 1980; Vargas, 1990; Dyer et al., 1985), 응용분야에 대한 연구는 여러 의사결정대안이 고려되는 경우에서 각 대안의 효율성 평가 또는 대안간의 우선순위를 결정하는 데에 효과적으로 활용되고 있다. 기존의 연구결과에 따르면, 계층화의사결정법의 응용분야는 특정분야에 국한되지 않고 공학적인 분야와 사회과학분야 모두에 광범위하게 적용되고 있음을 볼 수 있다(Cheng, 1997; Cheng et al, 1999; Levary and Wan,1997; Singpurwalla et al, 1999; Vincent et al, 1999).

지반굴착분야에서의 의사결정에 관한 연구는 광산에서의 굴착공법 선정에 관한 분류체계 구축으로 시작(Boshkov and Wright, 1973)하여 광산 채굴공법 선정을 위한 차트 개발 연구로 발전하였다(Morrison, 1976). 또한 Laubscher (1981)에 의해서 암석분류체계를 기반으로 하는 광산채굴을 위한 방법론적 공법선정 기법과 Nicholas (1981)에 의해서 정량적 평가방법이 제안된 바 있다. 이러한 의사결정연구는 지반정보를 포함하는 분류차트 활용(Hartman, 1987; Miller-Tait et al., 1995)과 AHP 기법을 이용하는 다중복합의사결정시스템의 적용으로 발전하였다(Alpay and Yavuz, 2009). 특히 터널분야에서는 AHP 기법이 공법선정의 우선순위 결정을 위한 효과적인 매개변수 연구로 시작하여(Nord and Stille, 1988) 터널공사에서 공법 결정을 위한 지원방법 또는 보조도구로 발전하였다(Einstein et al., 1992). 이후 TBM 공법선정을 위한 기준(ITA, 2000)과 암반 굴착 공법선정 시 평가시스템 도입(Bieniawski et al., 2006)에 대한 연구, 그리고 TBM 공법선정 시 위험도분석기법을 활용한 의사결정기법 연구 등이 수행되었다(Kourosh et al., 2008).

www.kci.go.kr

2. 계층분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)

계층분석법은 복잡한 비구조적인 상황에서 다중인자의 상호작용을 나타내는 가중치를 표현하기 위해서 Saaty (1980)에 의해서 개발되었다. AHP 기법은 다수 대안에 대한 계층 분석을 실시하여 구성 요소간의 쌍대비교(the Pair-Wise)를 수행하는 것을 기반으로 하고 있으며, 평가자의 지식, 경험 및 직관을 대안결정에 활용하기 위해 사용하는 방법이다.

AHP 기법은 복잡한 상황의 구조화와 비율척도(Ratio Scales)를 통한 우선순위 도출과 통합 및 논리적 일관성 검증을 통하여 복잡한 변수들의 상호간의 영향을 파악한다. 이러한 분석을 위해서는 계층 구조의 설정(Hierarchier), 상대적 중요도 설정(Priorities), 논리적 일관성의 유지(Consistency)가 필요하다. 이 기법은 의사결정 사항에 대하여 우선 계층화를 시행한 후, 계층별 상대비교를 통해 상대적인 중요도를 설정하고, 마지막으로 계층에 있는 대안의 우선순위를 선정한다. AHP 기법의 쌍대비교는 n × n 행렬로 구성되며, 계층 문제 구조화에 대하여 적용된다. 가능하면 모든 비교를 통하여 여러 가지 정보를 수집하여, 최종적으로는 전체 우선순위의 일관성을 검증한다(Saaty, 2000).

첫 번째 단계는 계층 구조 설정 후에 쌍대 비교 행렬을 구성한다. 쌍대비교에는 1~9의 개별 등급(Scale)이 사용된다(Table 1). 다음 단계는 기준의 상대적인 우선순위나 비교의 대안을 구축한다. 전문가 응답의 신뢰도를 검증하기 위해서 일관성 비율(Consistency ratio, CR)을 검증하며, 여기서, 상대적인 우선순위는 고유벡터(Theory of Eigenvector)를 이용하여 중요도를 구한다. 예를 들면, 쌍대 비교 행렬이 A일 때, 다음 식에서

$$(A-\lambda_{\max}\times I)\times w=0 \tag{1}$$

고유치 $\lambda_{\max}$와 고유치벡터 $w=(w_1,w_2,\cdots,w_n)$를 구하기 위해서 가중치는 기준 또는 대안의 상대적인 우선순위로 추정될 수 있다(Saaty, 2000).

쌍대 비교는 주관적인 평가를 기반으로 하고 있기 때문에, 선정의 정확성을 보장하기 위해서는 일관성 비율(Consistency ratio)이 필요하다. AHP 기법에서는 일관성을 검증하기 위해서 랜덤 지수(Random Index, RI)와 일관성 지수(Consistency Index, CI)를 사용한다(Table 2).

Table 1. Scale for Pair-Wise Comparisons (Saaty, 1980)

Relative intensity	Definition	Explanation
1	Of equal value	Two requirements are of equal value
3	Slightly more value	Experience slightly favors one requirement over another
5	Essential or strong value	Experience strongly favors one requirement over another
7	Very strong value	A requirement is strongly favored and its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme value	The evidence favoring one over another is of the highest possible order of affirmation
2, 4, 6, 8	Intermediate values between two adjacent judgments	When compromise is needed

Table 2. Consistency indices of randomly generated reciprocal matrices (Saaty, 2000)

Order of matrix	1, 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI value	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

www.kci.go.kr

3. 비개착공법선정을 위한 계층분석법 적용

3.1 공법선정절차

본 연구에서는 비개착공사에서 시공가능성, 지반조건, 주변 구조물 등과 같은 복잡한 현장변수에 대하여 지반 굴착전문가 의견이 반영되어 평가가 가능하도록 계층분석법을 활용하였으며, 기술자의 현장 경험과 현장 변수를 체계적으로 정량화하여 합리적인 공법선정기법을 정립하였다. 계층분석법을 이용한 최적의 비개착공법 선정 절차는 다음의 Fig. 1과 같다. 먼저 비개착공법의 계층구조를 설정한 다음, 결정된 계층구조를 활용하여 전문가 조사를 시행한다. 그리고 각 계층별로 쌍대비교를 실시한 이후, 평가항목과 공법별로 상대적 우선순위를 구하기 위해 계층별로 계산된 평가된 상대적 가중치를 종합한다. 마지막으로 종합된 가중치를 통하여 최종적으로 공법을 선정하는 단계를 거친다.

3.2 평가기준 선정

다양한 공법들에서 최적공법을 선정하기 위해서는 대상공법을 평가하기 위한 기준이 있어야한다. 본 연구에서는 평가기준을 선정하기 위해 일반적인 건설공사에서 수행하고 있는 공사의 공정별로 중요하게 고려해야 될 사항을 정리하였다.

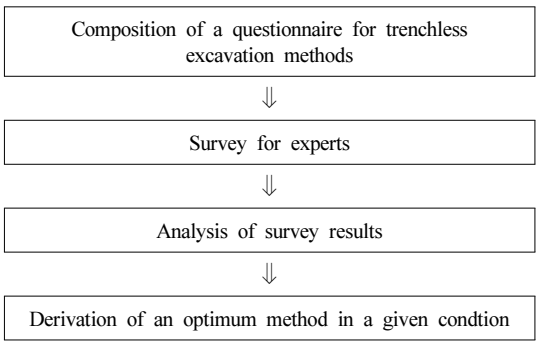

Fig. 1. Procedure for selection of an optimum trenchless excavation method

국토교통부(Ministry of Land, Infrastructure and Transport)의 도로설계기준(Road Design Criteria, 2012), 철도설계기준 노반편(Railway Design Criteria-Subbase volume, 2013), 터널표준시방서(Tunnel Standard Specification, 2009)와 한국도로공사(Korea Expressway Corporation)의 고속도로공사 전문시방서(Expressway Construction Guide Specification -Civil, 2012), 한국철도시설관리공단(Korea Rail Network Authority)의 고속철도공사 전문시방서 노반편(Guide Specification for High Speed Railway Construction-Subbase volume, 2012)등 관련기준으로부터 공법선정에 필요한 각종 공사조건을 검토하였다. 위 기준 중에서 철도설계기준 노반편(2012)에서는 지반의 굴착방법 선정 시 고려사항으로, 원지반이 본래 가지고 있는 지지능력을 최대한 보존하면서 안정성, 경제성, 시공성을 가져야 하는 점과 지반조건, 지하수 유입정도, 굴착단면의 크기와 형태, 터널연장, 근접구조물 유무와 주변환경영향(진동, 소음 및 지표침하 등), 보조공법의 적용성을 고려하여야 함을 언급하였다.

경제성과 시공성, 환경영향은 모든 공법에서 중요한 평가기준이며, 비개착 공법은 특히 기존 도로 및 철도의 하부를 굴착하는 동안 주변의 변위를 최대한 억제하면서 구조물을 건설하는 공법으로 굴착작업이 주변 구조물이나 도로의 기능에 영향을 주지 않도록 안정성과 적용성이 중요하다.

3.3 계층구조설정

비개착공법 선정을 위한 계층분석법의 평가기준을 구성하였고, 하부기준은 8가지 항목으로 구분하여 대안공법인 강관 추진공법, 마이크로터널링공법, 암파쇄공법, 자유단면굴착기공법을 대상으로 각 공법에 대한 가중치 분석을 실시하였다. 최적의 비개착공법 선정을 위하여 구성한 AHP 계층도는 Fig. 2와 같다.

www.kci.go.kr

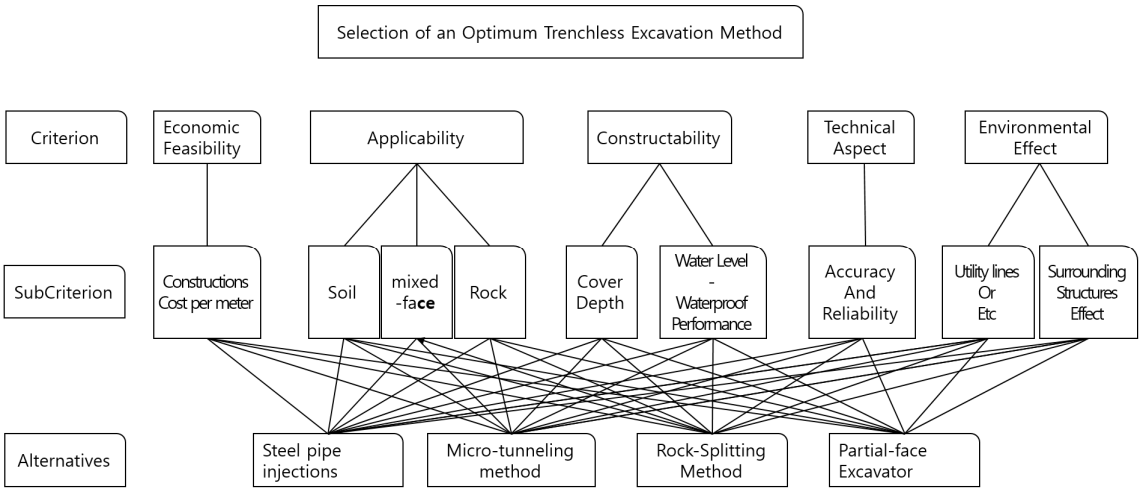

Fig. 2. Hierarchical Classification of trenchless underground excavation methods

3.4 전문가조사

비개착공법 선정을 위한 의사결정연구를 진행하기 위해서 지반굴착 전문가 집단으로 약 30명의 산학연 전문가들을 구성하여 설문 조사를 시행하였다. 설문조사는 2015년 하반기에 2주에 걸쳐 시행하였으며, 설문 대상자는 지반굴착분야에서 최소 5년 이상 실무에서 많은 경험을 쌓은 전문가로 선정하였다. 3.1절에서 선정한 평가기준에 대하여 전문가를 대상으로 시행한 설문 결과의 쌍대비교 대표 예는 Table 3과 같다.

AHP기법의 주요 평가기준에 대한 대안공법의 쌍대비교 결과는 Table 4의 예시와 같이 표시되며, 이들 값을 이용하여 기준에 대한 공법의 우선순위를 선정하게 된다. 주요평가기준별로 선정된 우선순위의 값은 주요평가 기준에 할당된 가중치와 접목하여 결과값을 계산하고, 전문가의 평가결과를 상호 가중 평균하여 최적의 공법을 선정하는데 사용된다.

4. AHP 분석결과

AHP 분석에서 전문가들의 주요평가항목에 대한 우선순위 결과는 Table 5와 같다. 비개착공법 선정에 관하여 굴착전문가의 설문결과에 대하여 5가지의 주평가기준에 대한 상대적 우선순위는 적용성(27.5%), 경제성(19.6%), 시공성(19.1%), 환경영향(17.1%), 기술성(16.8%) 순으로 나타났다. 전체적인 굴착전문가 의견은 공법의 현장 적용성이 가장 중요하다고 평가하고 있다고 분석되었다. 비개착공법 선정에 관한 설계자의 경우에는 평가기준의 상대적 우선순위가 적용성(32.7%), 기술성(19.9%), 환경영향(19.2%), 시공성

Table 3. Pair-wise comparisons among considered criteria

Criteria	Economic feasibility	Applicability	Constructability	Technical aspect	Environmental effect
Economic feasibility	1	5	5	7	3
Applicability	1/5	1	5	1/5	1/3
Constructability	1/5	1/5	1	5	1/3
Technical aspect	1/7	5	1/5	1	1/7
Environmental effect	1/3	3	3	7	1

www.kci.go.kr

Table 4. Summary matrix for alternatives by taking different criteria into consideration

Economic feasibility		1	2	3	4	Normalized matrix				Scores
1	Steel pipe injections	1	9	7	5	0.688	0.409	0.530	0.788	0.604
2	Micro-tunneling	1/9	1	1/5	1/7	0.076	0.045	0.015	0.023	0.040
3	Rock-Splitting Method	1/7	5	1	1/5	0.098	0.227	0.076	0.032	0.108
4	Particial-face excavator	1/5	7	5	1	0.138	0.318	0.379	0.158	0.248
Constructability 1		1	2	3	4	Normalized matrix				Scores
1	Steel pipe injections	1	5	7	7	0.673	0.795	0.461	0.350	0.570
2	Micro-tunneling	1/5	1	7	7	0.135	0.159	0.461	0.350	0.276
3	Rock-Splitting Method	1/7	1/7	1	5	0.096	0.023	0.066	0.250	0.109
4	Particial-face excavator	1/7	1/7	1/5	1	0.096	0.023	0.013	0.050	0.046
Constructability 2		1	2	3	4	Normalized matrix				Scores
1	Steel pipe injections	1	7	9	3	0.630	0.820	0.450	0.417	0.579
2	Micro-tunneling	1/7	1	5	3	0.090	0.117	0.250	0.417	0.218
3	Rock-Splitting Method	1/9	1/5	1	1/5	0.070	0.023	0.050	0.028	0.043
4	Particial-face excavator	1/3	1/3	5	1	0.210	0.039	0.250	0.139	0.159
Applicability: Soil		1	2	3	4	Normalized matrix				Scores
1	Steel pipe injections	1	5	9	7	0.688	0.799	0.346	0.462	0.574
2	Micro-tunneling	1/5	1	9	7	0.138	0.160	0.346	0.462	0.276
3	Rock-Splitting Method	1/9	1/9	1	1/7	0.076	0.018	0.038	0.009	0.036
4	Particial-face excavator	1/7	1/7	7	1	0.098	0.023	0.269	0.066	0.114
Applicability: Mixed-face		1	2	3	4	Normalized matrix				Scores
1	Steel pipe injections	1	1/5	5	5	0.156	0.138	0.227	0.380	0.225
2	Micro-tunneling	5	1	9	7	0.781	0.688	0.409	0.533	0.603
3	Rock-Splitting Method	1/5	1/9	1	1/7	0.031	0.076	0.045	0.011	0.041
4	Particial-face excavator	1/5	1/7	7	1	0.031	0.098	0.318	0.076	0.131
Applicability: Rock		1	2	3	4	Normalized matrix				Scores
1	Steel pipe injections	1	1/3	1/3	1/5	0.100	0.036	0.071	0.115	0.081
2	Micro-tunneling	3	1	1/3	1/5	0.300	0.107	0.071	0.115	0.148
3	Rock-Splitting Method	3	3	1	1/3	0.300	0.321	0.214	0.192	0.257
4	Particial-face excavator	3	5	3	1	0.300	0.536	0.643	0.577	0.514
Technical Aspect		1	2	3	4	Normalized matrix				Scores
1	Steel pipe injections	1	1/5	7	5	0.158	0.130	0.438	0.417	0.285
2	Micro-tunneling	5	1	7	5	0.788	0.648	0.438	0.417	0.573
3	Rock-Splitting Method	1/7	1/7	1	1	0.023	0.093	0.063	0.083	0.065
4	Roadheader	1/5	1/5	1	1	0.032	0.130	0.063	0.083	0.077
Environmental Effect		1	2	3	4	Normalized matrix				Scores
1	Steel pipe injections	1	1/7	5	5	0.119	0.093	0.417	0.417	0.261
2	Micro-tunneling	7	1	5	5	0.833	0.648	0.417	0.417	0.579
3	Rock-Splitting Method	1/5	1/5	1	1	0.024	0.130	0.083	0.083	0.080
4	Particial-face excavator	1/5	1/5	1	1	0.024	0.130	0.083	0.083	0.080

www.kci.go.kr

(17.2%), 경제성(11.1%)로 나타나서, 비개착건설현장에 대한 설계 시 중요하게 고려하는 것이 공법의 적용성과 기술성이라는 것을 알 수 있었다. 시공자의 경우에는 평가기준의 상대적 우선순위가 적용성 측면(31.9%), 시공성(27.0%), 기술성(19.4%), 환경영향(13.2%), 경제적 측면(8.6%)으로 설계자와 마찬가지로 최우선 평가기준으로 적용성을 우선시 하고 있으나 다른 점은 2순위로 시공성을 산정하였으며, 이는 시공자 입장에서는 건설현장의 원활한 공사 진행이 중요함을 보여주고 있다. 반면에, 학계의 경우 평가기준의 상대적 우선순위가 경제성(46.2%), 환경영향(18.7%), 적용성(14.2%), 시공성(12.0%), 기술성(9.0%)로 나타났으며, 이는 관련 학계전문가의 판단에는 적용성이나 시공성 보다는 경제적인 측면에 가중치가 있다고 볼 수 있다.

비개착공법 선정에서 대안기술에 대한 종합적인 계층분석 결과는 Table 6과 같다. Table 5에서의 지반굴착 전문가들이 선정한 평가기준에 대한 상대적 우선순위는 적용성(27.5%), 경제성(19.6%), 시공성(19.1%), 환경영향(17.1%), 기술성(16.8%)에 대하여 대안 기술의 가중치(Table 6)를 종합적으로 분석하여 최종적으로 최적의 비개착공법으로 선정된 결과를 Fig. 3에 제시하였다.

공법선정결과를 적용성 측면에서 살펴보면, 토사지반에서는 강관추진 공법이 적용성(0.502), 경제성(0.421) 등에서 순으로 가중치가 높게 나타났으며, 경제적에서 다른 공법에 비하여 우수한 평가를 받아 상대적으로 우선순위(38.1%)가 높은 것으로 판단된다. 복합지반에서는 마이크로터널링공법이 적용성(0.444), 기술성(0.428) 순으로 가중치가 높게 나타났으며, 특히 적용성이 다른 공법에 비하여 우수한 평가를 받아 우선순위(33.0%)가 높은 것으로 나타났다. 마지막으로 암반지반에서는 마이크로터널링공법이 기술성(0.428) 환경영향 (0.426) 순으로 가중치가 높게 나타났으며, 마이크로터널링공법은 시공성, 기술성, 환경영향 등에서 타공법에 비해 상대적으로 우수한 평가를 받은 것으로 사료된다.

Table 5. Calculated Criteria for Underground Structure Construction Method

Criteria	Design Engineers	Construction Engineers	Academic field	Total Rank
Economic feasibility	0.11	0.09	0.46	0.20
Applicability	0.33	0.32	0.14	0.28
Constructability	0.17	0.27	0.12	0.19
Technical Aspect	0.20	0.19	0.09	0.17
Environmental Effect	0.19	0.13	0.19	0.17
Total	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 6. Calculated weight for each alternative as a trenchless excavation method

Alternative	Economic Feasibility (0.2)	Applicability (0.28)			Constructability (0.19)	Technical Aspect (0.17)	Environmental Effect (0.17)
		Soil	Mixed-face	Rock			
Steel pipe injections	0.421	0.502	0.327	0.072	0.399	0.246	0.255
Micro-tunneling	0.144	0.273	0.444	0.297	0.385	0.428	0.426
Rock-Splitting Method	0.161	0.087	0.088	0.281	0.092	0.143	0.192
Particial-face excavator	0.274	0.139	0.140	0.351	0.124	0.184	0.126

www.kci.go.kr

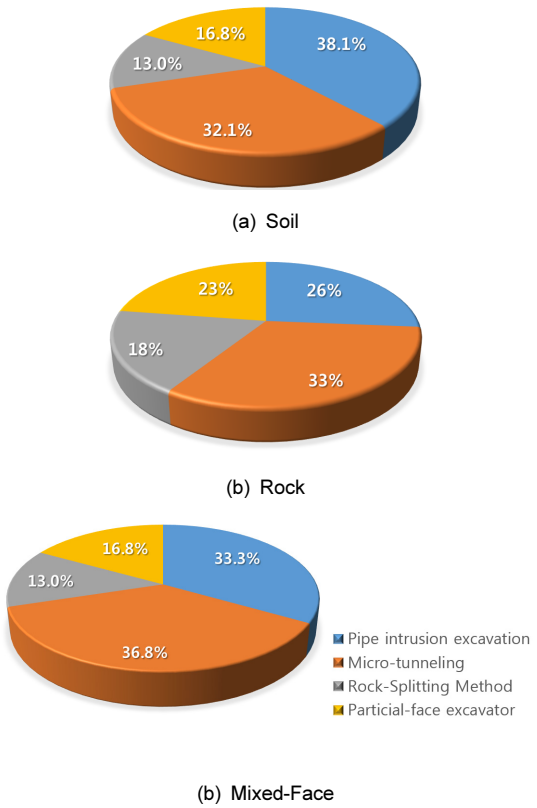

Fig. 3. Combined weights for each alternative at different ground conditions

5. 결 론

본 연구에서는 비개착굴착공법에서 주로 사용되는 강관추진공법, 마이크로터널링공법, 암파쇄공법, 자유단굴착공법을 대상으로 계층분석기법을 활용한 의사결정기법에 대한 기초연구를 수행하였다.

조사대상 굴착전문가 중에서 설계자와 시공자들은 비개착공법을 선정함에 있어서 공통적으로 적용성을 최우선적으로 여기고 있었으나 학계 전문가들은 경제적인 측면을 우선시하는 것을 설문 결과에서 확인할 수 있다. 2순위 선정에서도 설계자들과 시공자들은 각각 기술성과 시공성을 경제적인 면보다 높은 우선순위로 선정하여 비개착공사 현장에서 기술의 성능적인 측면과 시공의 용이성을 높게 평가하고 있는 것으로 확인되었다. 굴착전문가의 종합적인 평가에서는 적용성의 우선순위가 가장 높게 평가되었다.

AHP분석으로부터 도출된 각 공법별 가중치들을 분석한 결과, 비개착공법을 가장 일반적으로 사용되는 토사지반에서는 강관추진공법의 순위가 가장 높게 평가되었고, 복합지반이나 암반지반에서는 마이크로터널링 및 강관추진공법 순으로 선정되었다.

본 연구에서는 비개착공법 선정을 위한 기초적인 의사결정 관련 연구를 수행하였으며, 추후에서는 하부규칙을 보다 세분화하고 현장데이터에 대한 통계분석, 전문가 의견의 다분화 등과 같이 다양한 평가기준을 하부규칙에 적용함으로서 보다 합리적인 의사결정 시스템을 구현할 계획에 있다.

감사의 글

본 논문은 한국건설기술연구원의 주요연구개발사업인 “시나리오 기반 인명구호용 수평굴착 및 안정화 기술 개발” 과제의 지원을 받았습니다.

References

1. Alpay, S., Yavuz, M. (2009), “Underground mining method selection by decision making tools.”, Tunnel. Underg, Vol. 24, Issue 2, pp. 173-184.
2. Bieniawski, Z.T., Tamames, B.C., Fernandez, J.M.G., Hernandez, M.A. (2006), “Rock mass excavability indicator: new way to selecting the optimum tunnel construction method.” In:ITA-AITES World Tunnel Congress&32nd ITA General Assembly, Seoul, Korea.
3. Boshkov, S.H., Wright, F.D. (1973), Basic and parametric criteria in the selection, design and development of underground mining systems, SME Mining Engineering Handbook. SME-AIME, New York.
4. Cheng, C-H. (1997), “Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of member ship function.”, European Journal

www.kci.go.kr

of Operational Research, Vol. 96, Issue 2, pp. 343-350.
5. Cheng, C-H., Yang, K-L., Hwang, C-L. (1999), “Evaluating attack helicopter s by AHP based on linguistic variable weight.”, European Journal of Operational Research, Vol. 116, Issue 2, pp. 423-435.
6. Dyer, J.S., Wendell, R.E. (1985), “A critique of the analytic hierarchy process.”, Working paper 84/85-4-24, Department of Management, The University of Texas at Austin.
7. Einstein, H.H., Dudt, J.P., Halabe, V.B., Descoudres, F. (1992), “Decision aids in tunneling-principle and practical application.”, Monograph. Swiss Federation Office of Transportation.
8. Hartman, H.L. (1987), Introductory Mining Engineering, John Wiley, New Jersey.
9. ITA (2000), Recommendations and Guidelines for Tunnel Boring Machines (TBMs). ITA-AITES Working Group No. 14.
10. Korea Expressway Corporation (2012), Expressway Construction Guide Specification (Civil).
11. Korea Rail Network Authority (2012), Guide Specification for High Speed Railway Construction (Subbase volume).
12. Kourosh Shahriar, Mostafa Sharifzadeh, Jafar Khademi Hamidi (2008), “Geotechnical risk assessment based approach for rock TBM selection in difficult ground conditions.”, Tunnelling and Underground Space Technology, 23, 318-25.
13. Laubscher, D.H. (1981), Selection of Mass Underground Mining Methods, Design and Operation of Caving and Sublevel Stoping Mines. SME-AIME, New York.
14. Levary, R.R., Wan, K. (1997), “An analytic hierarchy process based simulation model for entry mode decision regarding foreign direct investment.”, Omega, Vol. 27, Issue 6, pp. 661-677.
15. Miller-Tait, L., Panalkis, R., Poulin, R. (1995), “UBC mining method selection.”, In: Proceeding of the Mine Planning and Equipment Selection Symposium, pp. 163-168.
16. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2009), Tunnel Standard Specification.
17. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012), Road Design Criteria.
18. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), Railway Design Criteria (Subbase volume), Korea Rail Network Authority.
19. Morrison, R.G.K. (1976), AW Philosophy of Ground Control, McGill University, Montreal, Canada.
20. Nicholas, D.E. (1981), Method Selection - A Numerical Approach, Design and Operation of Caving and Sublevel Stoping Mines. SME-AIME, New York.
21. Nord, G., Stille, H. (1988), “Bore and blast techniques in difficult types of rock: Sweden’s experience.”, Int. J. Tunnel. Underground Space Technol. Vol. 3, No. 1, pp. 45-50.
22. Saaty, T.L. (1980), The Analytic Hierarchy Process, New york, McGraw- Hill.
23. Saaty, T.L. (2000), Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. RWS, Pittsburg.
24. Shim, J.P. (1989), “Bibiographical research on the analytic hierarchy process.”, Socio-Economic Planning Science, Vol. 23, No. 4, pp. 1-25.
25. Singpurwalla, N., Forman, E., Zalkind, D. (1999), “Promoting shared health care decision making using the analytic hierarchy process.”, Socio-Economic Planning Science, Vol. 33, Issue 4, pp. 277-299.
26. Vargas, L.G. (1990), “An overview of the analytic hierarchy process and its applications.”, European Journal of Operational Research, Vol. 48.
27. Vincent S. Lai, Robert P. Trueblood, Bo K. Wong (1999), “Software selection: a case study of the application of the analytical hierarchical process to the selection of a multimedia authoring system.”, Information & Management, Vol. 36, Issue 4, pp. 221-232.
28. Zahedi, F. (1986), “The analytic hierarchy process: a survey of the method and its applications.”, Interfaces, Vol. 16, July-Aug, pp. 96-108.

www.kci.go.kr