

AHP기반 지중 전력구 굴착 위험요소 평가

The Risk Factor Analysis of Power Line Tunnel Using the AHP Method in Construction Stage

우 상 균¹⁾ 김 경 진²⁾ 김 태 호^{3)*}
Sang-Kyun Woo Kyung-Jin Kim Tae-Ho Kim

Abstract

In this study, the risk factors which derive from the ground condition of typical construction sites are put forward. In order to prioritize the risk elements, the analytical method of AHP was used. The result of using a weighting factor for each risk analysis showed that if the constituency index is less than 0.1, then reliable results and priorities for each of the risk elements can be calculated using the AHP method. From now on, if the range of measured value can be established, the risk or safety value of concrete structures for power lines can be applicable.

Keywords : AHP method, Risk analysis, Consistency index, Weighted factor, Priority

1. 서 론

현재 국내 건설현장에서의 안전관리는 건설공사의 안전을 확보하기 위하여 공사 착공에서 준공에 이르기까지 이루어지는 모든 활동을 말하며, 건설교통부에서는 ‘건설공사 안전관리 계획서 작성지침’ (Ministry of Construction & Transportation, 1997)을 통하여 안전관리에 대한 제반 절차와 방법에 대하여 규정하고 있다. 현재까지 이루어지고 있는 건설 안전관리는 시공시의 안정성을 확보하기 위한 최소한의 수단과 범위로서 적용되어오고 있다고 볼 수 있다 (Hong, 2007). 그러나 환경적인 위험요소들이 포함된 대형 건설공사의 경우에는 안전관리계획만으로는 위험요소들을 파악 할 수조차 없거나 위험요소들에 대한 적절한 대비책을 규정하는 것이 어려운 경우가 많다. 국내의 건설 산업 규모와 최근 정부 발주공사들의 양적 질적 변화를 감안할 때 이러한 문제는 가까운 장래에 현실화 될 가능성이 크며 가능한 잠재 위험들에 대한 정량적인 분석과 평가는 효율적인 대책의 수립을 위해 매우

중요해질 것으로 생각된다. 이러한 잠재 위험들로는 건설 현장 지반의 상태와 시공의 정확도 및 적절성 여부 등이 대표적인 것으로 고려되며 이를 직·간접적으로 추정할 수 있는 요소들에 대한 다각적인 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이러한 연구의 일환으로 본 연구에서는 건설현장에서 발생하는 잠재 위험요소들을 선별하고 각 요소들의 가중치를 산출함으로써 상대적 위험성을 지시하고자 하였다. 이를 위해 전력구조물을 대상으로 시공현장에서 일반적으로 산출되는 정보 중 지반의 상태를 나타내는 자료와 시공 상태를 나타내는 자료들을 추출하여 위험도 분석에 사용될 수 있는 요소들로 규정하였고, 각 요소들간의 쌍대비교를 통해 가중치 및 우선순위를 산출하였다. 이때 적절한 평가를 위해 전문가 그룹을 활용한 계층적 의사결정법 (AHP: Analytic Hierarchy Process)을 활용하였다. 또한 전력구조물의 굴착공법중 Semi-shield TBM, Shield TBM, Messer-shield, NATM 공법을 대상으로 각각 개별적인 분석을 수행함으로써 위험요소들의 중복성과 오류를 방지하였다.

1) 정회원, 전력연구원 부장
2) 정회원, 전력연구원 대리
3) 정회원, 넥스지오 대리, 교신저자

* Corresponding author : kth1911@nexgeo.com
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 연구방법

본 연구에서는 분석 대상 공법 선정을 위한 기초조사로 일반적인 전력구 굴착공법의 개요와 특징을 조사하였다. 선정된 공법에 대한 위험요소 후보를 획득하기 위해 현재 국내에서 TBM 공법으로 굴착중인 터널 시공 현장과 NATM 공법으로 굴착중인 터널 현장에서 실질적으로 산출되는 문서자료를 확보하였으며 최종적으로 공법별 위험도와 연계된 핵심요소를 선정하였다.

2.1 전력구 굴착공법 개요

2.1.1 Semi-shield TBM

Semi-shield TBM 공법은 Semi-shield machine (강제 원통형 굴착 기계)을 가시설 작업구내에 투입시켜 기계 선단부에 정착되어 있는 굴착용 커터 헤드의 회전에 의하여 지반을 굴착하며, 막장 전면의 붕괴를 방지하고 Semi-shield machine 후방 shaft에서 유압잭을 이용하여 shield 장비 및 추진관을 압입, 이것을 반복하여 지중에 터널을 형성시키는 공법이다.

Semi-shield TBM 공법의 방식은 작동원리에 따라 이수가 압식과 토압식으로 양분되는데 이중 이수가압식은 밀폐형 기계굴진의 전면 굴착부에 펌프로 이수를 압송하여 지반의 붕괴를 방지하는 동시에 커터에 의해 굴착된 토사는 이수와 혼합되어 배니파이프를 통하여 갱외로 배출되면서 발진입갱내 관체후부의 잭에 의해 관을 연속적으로 추진하는 공법이다. 토압식은 밀폐형 기계굴진의 Chamber 내에서 굴착, 토사를 충전시켜 굴착면의 토압 및 수압에 대응토록 압력을 유지하여 막장면의 안정을 도모하는 동시에 Chamber 내의 토사는 screw conveyor로 배출하여 발진입갱내 관체 후부 잭에 의해 관을 연속적으로 추진하는 방식이다.

2.1.2 Shield TBM

Shield TBM 공법은 Shield Machine (강제 원통형 굴착 기계)을 가시설 작업구내에 투입시켜 기계선단부에 장착되어 있는 굴착용 Cutter Head를 회전 시키면서 터널 막장면을 굴착하여 굴착 장비는 Rear Gripper와 Thrust Ram을 터널 벽면과 Segment에 지지하면서 Advance Cylinder를 앞으로 전진함과 동시에 Shield Machine 후방에는 Segment를 굴착과 동시에 조립 Lining을 완료함으로써 지반의 조기 안정과 높은 품질을 형성하는 공법이다. 본 공법은 장거리 암반터널에 적합하며 굴착시 초기응력을 신속하게 제어할수 있다. 또

한 직선용 segment와 곡선용 segment를 분리 제작하여 선행의 정확성을 높이고 굴착과 동시에 lining이 설치되므로 공사기간이 단축된다.

2.1.3 NATM

NATM (New Austrian Tunneling Method) 공법은 터널의 파괴가 전단파괴에 기인한다는 이론에서 정립된 공법으로서 암반의 역학적 성질을 이용하여 굴착된 원지반에 비교적 얇은 콘크리트 라이닝을 설치하므로써 기존의 터널에 비하여 경제적이고 안전성 있는 터널을 구축하는 공법이다. 2차 대전 이후 Shotcrete 공법이 사용되면서 굴착면에 용이하게 Shotcrete를 타설하게 되므로써 NATM 공법이 한층 더 발전하게 되었다.

NATM 공법은 터널 굴착 후 초기에 1차 지보재 (shotcrete)를 타설하여 원지반 암반의 거동을 조기에 정착시키고 락볼트를 설치하여 주변지반이완 방지 및 암반간의 봉합효과 등을 기대하며 설치된 계측기의 계측결과를 분석하여 2차 지보재의 설치 등을 판단하면서 경제적이고 안정된 터널을 설치하는 공법이다.

2.2 AHP의 개념 및 분석방법

AHP (Analytic Hierarchical Process) 기법이란 평가항목 간의 상대적 중요도를 감안하여 항목별 우선적인 기준을 선정하는 다기준의사결정 (Multiple Criteria Decision Making: MCDM)의 문제를 해결하기 위한 방법으로 Saaty (1977)에 의해 개발된 우선순위 산정 기법이다. AHP는 다기준의사결정문제를 계층구조로 파악하고 각 속성의 중요도를 상대비교를 통해 결정하는 방법으로 계량적인 경우는 물론이고 비계량적, 질적 기준들을 평가할 때 좋은 결과를 보여 행정부문 의사결정에 널리 쓰이고 있다. 또한 복잡한 문제를 의사결정자가 관리 가능한 작은 하위문제들로 그룹화하는 방법으로 시스템적 접근법에서 널리 쓰여졌으며 계층분석과정은 계량적 기준 외에 비계량적, 질적 기준들을 평가할 때도 사용한다 (Saaty, 1980). Fig. 1은 AHP의 일반적인 분석 절차를 도시하고 있다.



Fig. 1 The step of AHP analysis

Shield TBM excavation report

2011 - 5 - 21 - sat - day - fao - Kim Hyun-bung

RING NO.		313 (9) T		314 (5) T		315 (5) T		S T		S T			
CUTTER	RPM	794		794		794		RPM		RPM			
	Rotary Comp.	MPa 8.5		MPa 8.5		MPa		MPa		MPa			
SHIELD JACK	JACK	1709		1706		1711		1704					
	Stroke	mm 18		mm 15~18		mm		mm					
	Exc. speed	kN 3000		kN 3500		kN		kN					
	Traction Force	MPa 14		MPa 16.5		MPa		MPa					
	Jack Comp.	MPa		MPa		MPa		MPa					
Clearance	Before Assembly	40		20		15		15		+			
	After Assembly	30		30		30		10		+			
Pitch	Excav./Ba./Af.	/		-0.37 / -0.34		-0.41 / -0.32		/		/			
Rolling	Excav./Ba./Af.	/		0.17 / -0.05		0.24 / 0.11		/		/			
Operation	Time	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Excavation	15"	20"	21"	22"	23"	24"	01	02	03	04	05	06
	Assembly	15"	20"	21"	22"	23"	24"	01	02	03	04	05	06
	Ect.					10"							
Significant													

Fig. 2 Shield TBM excavation report

TBM working state report

Excavation	Time	Significant	Pitch	Rolling	Excavation Pressure		Motor Load		Working Requirement	Operator	Significant
					Bar	kN	torque	Model			
7	19										
8	20										
9	21										
10	22										
11	23										
12	24										
13	1										
14	2										
15	3										
16	4										
17	5										

Fig. 3 TBM working state report

3. 연구결과 및 고찰

3.1 굴착공법별 시공 관련자료 분석

3.1.1 시공중 산출문서 분석

Semi-shield TBM과 Shield TBM 공법이 적용된 시공현장에서 산출되는 자료는 각각 ‘TBM 운전일지’ 및 ‘Shield TBM 굴진일지’ (Fig. 2, Fig. 3)가 일반적인 것으로 판단되었으며, 이에 따라 본 연구에서는 상기 문서를 분석함으로써 효용 가치가 있는 데이터를 선별하였다. TBM 공법을 대상으로 최종 선별된 요소들은 semi-shield TBM에서 굴착시간 외 13개 항목, shield TBM에서 프로젝트명 외 14개 항목이다 (Table 1).

NATM 공법을 대상으로는 ‘막장 관찰일지 및 face mapping’

(Fig. 4) 자료를 분석함으로써 본 연구에 효용 가치가 있는 데이터를 선별하였으며 최종 산출된 데이터는 막장관찰일지에서 공사명을 비롯하여 12개 항목, face mapping에서 맵핑 데이터 외 9개 항목이다 (Table 2).

3.1.2 전력구 분야 표준 CTQ 분석

CTQ (Critical to Quality)란 중점 관리해야 할 품질의 핵심 특성값으로 정의된다. 현재 전력구 분야 표준 CTQ는 시공중 정보화 핵심 요소로써 인정되고 있으며 전력구조물 잔존수명을 예측할 수 있는 항목으로 선별되어 측정 및 관리되고 있다. CTQ 항목은 사실상 전력구 분야에서 객관적으로 측정되고 관리될 수 있는 대부분의 자료를 포괄하고 있으며 실무자들에 의해 1차적으로 엄선된 자료라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 CTQ 자료를 선정, 전력구 분야에서 2010년

Table 1 Output data of TBM tunnel in construction stage

excavation method	data	construction data
semi-shield TBM	TBM working state report	excavation time, excavation certain, segment Installation certain, filling certain, repair item/time, excavation pressure (bar, kN), motor load (torque), working requirement (Model, Worker), excavation quantity (m), amount of blast tube, amount of medium pressure, laser state, Ect.
shield TBM	shield TBM excavation report	project Name, date, ring No., cutter rotation speed (RPM), cutter rotation prussure (MPa), shield jack, stroke, excavation speed (mm), thrust (kN), pressure (MPa), clearance assembly before/after, pitching, rolling, excavation time, assembly time, significant

Tunnel face observation diary

construction name : RMR chart
 Start point : STA. 457+00 ~ STA. 2010 - 7 - 14

classification	value range					
1	Intact rock strength (MPa)	> 10	4 ~ 10	2 ~ 4	1 ~ 2	Uniaxial compressive strength
	Point load strength index	> 250	100~250	50~100	25~50	10~25 3~10 < 3
2	RQD(%)	90~100	75~90	50~75	25~50	< 25
	Spacing	> 2m	0.6~2m	0.2~0.6m	60~200mm	< 60mm
3	Length (m)	< 1	1~3	3~10	10~20	> 20
	Apertur(mm)	Adhesion	< 0.1	0.1~1.0	1~5	> 5
4	Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Very smooth
	Filling (mm)	None	Hard < 5	Hard > 5	Soft < 5	Soft filling > 5
5	Weathering	Fresh	SW	MW	HW	CW
	Strike direction	Vertical to tunnel axis	Parallel to tunnel axis	regardless		
6	Dip direction	Same as the direction of drilling	Opposite to the direction of drilling			
	Dip angle	45~90°	20~45°	45~90°	20~45°	0~20°
7	Point	0	-2	-5	-10	+15 -5 -5
	Total					
Rock evaluation (SR)	Point	100~81	80~61	60~41	40~21	200이하
	Class	Very good (I)	good (II)	Fairness (III)	Poor (IV)	Very Poor (V)

Fig. 4 Facemapping sheet

9월 개정된 표준 CTQ 자료를 확보하였으며 공법별 표준 CTQ 요소와 상세 정보를 Table 3~6과 같이 도출하였다.

3.2 위험도 분석 핵심요소 선정

전력구 시공중 산출되는 “TBM 운전일지” 및 “Shield TBM 굴진일보”, “막장관찰일지” 등의 자료와 전력구 분야에서 표준 CTQ로 산정되어 측정되고 있는 각각의 요소들은 지반 정보를 비롯하여 시공관리를 위한 다양한 정보들이 내제되어 있다. 그러나 본 연구에서는 전력구 위험도 분석을 위한 요소만이 필요하므로 지반정보와 시공품질을 직/간접적으로 추정할 수 있는 정보만을 선별하였다. 예를 들어 Semi-shield TBM 공법의 경우 “TBM 운전일지”에서 지반의 상태를 지시하는 요소는 굴진시간, 굴진속도, 굴진압력을 산정하였으며 “표준 CTQ”에서는 굴착면이수압, 배토량, 선형정밀도를 위험도 분석 요소로 선정하였다. 이러한 기준을 통해 공법별 선정된 위험도 분석 핵심요소는 Table 7과 같다.

Table 2 Output data of NATM tunnel in construction stage

excavation method	Data	construction data
NATM method	tunnel face observation diary	construction name, STA section, observation diary, point load strength, uniaxial compressive strength, RQD (%), joint spacing, joint state, groundwater state, discontinuity orientation, RMR class
	face mapping	face mapping data, rock mass, groundwater, joint, crack, strike/dip angle, weathering degree, tunnel face image, rock mass pattern, operator supervisor

Table 3 Standard CTQ of NATM tunnel

type	standard CTQ	measuring period	record method	evaluation standards	measure position
survey	precision linear	1 time/week	value	coordinate ± 2cm	tunnel head part
ventilation	oxygen concentration	1 time/week	value	21 ± 3%	"
Blast	gunpowder amount	1 time/week	value	plan Amount ± 10%	-
"	vibrate velocity	1 time/week	value	< Plan Amount	adjacent facilities
Survey	surface sinkage	1 time/week	value	specification standard ± 5%	tunnel head part
water proof	sleet connection air test	1time/40m	value	0.2MPa ± 20%	span randomly point
excavation	1st Lining	1 blast	ox	immediately	

Table 4 Standard CTQ of Shield TBM Tunnel

working types	standard CTQ	measuring period	record method	evaluation standards	measure position
operator	operator management	1 time/week	value	100 ± 10	
survey	precision linear	1 time/week	value	coordinate point ± 2cm	segment assembly edge
ventilation	oxygen concentration	1 time/week	value	21 ± 3%	operating room
excavation	soil volume	1 time/week	value	soil volume in section ± 5%	tunnel entrance
excavation	groundwater salivate in tail seal	1 time/20 amounts	value	above 5cm in hydrophilic waterstop	tail seal region

Table 5 Standard CTQ of Messer-shield Tunnel

work types	standard CTQ	measuring period	data type	evaluation standards	measure position
survey	linear accuracy	1 time/week	value	coordinate point $\pm 2\text{cm}$	messer intrusion
ventilation	oxygen concentration	1 time/week	value	$21 \pm 3\%$	tunnel head part
Survey	surface sinkage	2 time/week	value	specification standard $\pm 5\%$	"
water proof	sleet connection air test	1 time/40m	value	$0.2\text{MPa} \pm 20\%$	span randomly point
excavation	obstruction below face management	1time/buried object	ox	face sprag installation and excavation more than design value	

Table 6 Standard CTQ of Semi-shield TBM Tunnel

working types	standard CTQ	measuring period	record method	evaluation standards	measure position
operator	operator management	1 time/week	value	100 ± 10	
survey	precision linear	1 time/week	value	coordinate point $\pm 2\text{cm}$	tunnel head part
ventilation	oxygen concentration	1 time/week	value	$21 \pm 3\%$	operating room
excavation	slurry pressure of excavation face	1 time/50m	value	natural water pressure + $0.1\sim 0.15\text{kg/cm}^2$	
excavation	soil volume	1 time/10m	value	design amount $\pm 10\%$	

Table 7 Selected risk factors along construction method

excavation method	data	risk analysis parameter
semi-shield TBM	TBM working state report	excavation time, excavation speed (mm), excavation pressure (bar, KN)
	standard CTQ	slurry pressure of excavation face, soil volume, precision linear
shield TBM	shield TBM excavation repor	excavation speed (mm), thrust (kN), excavation time
	standard CTQ	precision linear, soil volum, groundwater salivate in tail seal
NATM	tunnel face observation diary	RMR class
	standard CTQ	precision linear, surface sinkage, underground hole displacement, variation of rockbolt axial force
messer-shield	standard CTQ	precision linear, surface sinkage, obstruction below face management

3.3 AHP 기법을 활용한 위험요소 분석

3.3.1 가중치 산정을 위한 전문가 설문조사

AHP 기법을 통해 가중치를 산정하기 위해서는 각 요소들 간의 상대평가가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 우선 모든 요소들간의 상대적 중요성을 평가하는 설문지를 작성하고 해당 분야에 대한 전문가를 대상으로 설문지를 배포해야 하며 수렴된 설문지 결과를 통해 가중치를 산출하는 과정을 거쳐야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 전력구 관련 근무처에 근무하는 직원 15명을 전력구에 대한 전문가로 선정하여 설문지 작성을 의뢰하였다. 설문지는 각 시공공법 (Semi-shield TBM, Shield TBM, Messer-shield, NATM)별 총 4개로 분할되어 있으며, 결과의 신뢰도 향상을 위해 전문가 중에서도 특정 공법에 대한 지식이나 경험이 전문한 경우에는 해당내용을 작성하지 말 것으로 권장하였다. 최종적으로 15명의 전문가에게서 수렴된 답변을 바탕으로 각 항목에 대한 평균값을 산출하여 결과값을 산출하였다.

3.3.2 계층구조 설정 및 상대비교 분석

공법별 위험요소 평가를 위해 AHP기법에 활용될 최종 목표, 평가기준, 평가항목을 설정하여 위험요소를 계층구조화 하였다. 최종 목표는 전력구 위험도 분석이며 평가 기준은 굴착 공법, 평가항목은 위험요소로 설정되었다. 이와 같은 계층구조에서 전력구의 위험도를 유추할 수 있는 위험요소의 평가기준 중요도를 산정한 다음, 중요도 점수로 순위를 평가하였다. AHP는 항목간의 가법성을 원칙으로 하기 때문에 하위항목 중요도의 합은 상위항목의 중요도이며, 하위항목의 전체 중요도 합은 궁극적으로 1이 된다. 따라서 목표단계에서는 각 항목의 일대일 쌍대비교를 실시하여 중요도를 결정하도록 하였다.

각 평가 항목들간의 비교행렬은 Table 8~11과 같이 바로 위 수준의 요소를 중심으로 행과 열에 그 수준의 요소들을 나열하여 생성하였다. 이렇게 생성된 비교행렬에 주관적으로 $n(n-1)/2$ 회의 비교를 통해 상대적으로 중요도를 평가하였다. 산출된 중요도의 합성을 위해서는 원칙적으로 각 행렬에서

Table 8 Example of pairwise comparison between evaluation items (Semi-shield TBM)

	slurry pressure of excavation face	soil volume	precision linear	excavation speed	excavation time	thrust
slurry pressure of excavation face	1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5
soil volume	3	1	1	0.5	0.3	0.5
precision linear	3	1	1	0.3	0.3	0.3
excavation speed	2	2	3	1	3	2
excavation time	2	3	3	0.3	1	1
thrust	2	2	3	0.5	1	1

Table 9 Example of pairwise comparison between evaluation items (Shield TBM)

	groundwater salivate in tail seal	soil volume	precision linear	excavation speed	excavation time	thrust
groundwater salivate in tail seal	1	1	2	0.5	0.3	0.5
soil volume	1	1	0.5	0.5	0.5	1
precision linear	0.5	2	1	0.3	0.5	1
excavation speed	2	2	3	1	3	2
excavation time	3	2	2	0.3	1	1
thrust	2	1	1	0.5	1	1

Table 10 Example of pairwise comparison between evaluation items (Messer-shield)

	surface sinkage	obstruction below face management	linear accuracy
surface sinkage	1	0.3	0.5
obstruction below face management	3	1	1
linear accuracy	2	1	1

Table 11 Example of pairwise comparison between evaluation items (NATM)

	surface sinkage	Underground hole displacement	precision linear	variation of rockbolt axial force	RMR rating
surface sinkage	1	3	1	2	2
Underground hole displacement	0.3	1	2	1	1
precision linear	1	0.5	1	2	1
variation of rockbolt axial force	0.5	1	0.5	1	0.5
RMR rating	0.5	1	1	2	1

고유치를 계산하고 고유백터를 구하여 주백터로 설정하여야 하지만 이 방법은 계산이 복잡하여 근사방법인 기하평균법 (geometric mean)을 사용하였다. 기하평균법은 각 행에 대하여 n개의 중요도를 곱해서 그 값의 n 제곱근을 구하는 방식으로 각 행에서 구한 값들의 합으로 1에서 구한 값들을 나누어서 정규화하며 이 값들을 주백터로 규정하는 방식이다. 산출결과의 신뢰도 향상을 위해 수행되는 유의성 조사는 행렬의 각 열을 더하고 정규화된 주백터의 첫 성분을 첫열의 합에 곱하고, 둘째 열에 계속하여 n 번째 성분을 n 곱한 후 결과를 모두 더하여 λ_{max} 로 나타내는 방식이다. 여기에는 일관성 지수 (C.I: Consistency Index)와 일관성 비율 (C.R: Consistency Ratio) 산출 방식이 있는데, 본 연구에서는 이중

일관성 지수를 산출하여 검증과정을 수행하였다.

3.3.3 시공공법별 위험요소 가중치 산정

AHP 기법을 통해 각 굴착공법별 평가항목에 대한 가중치를 산정하였으며 여기서 각 가중치의 합은 1, 일관성 지수 (CI: Consistency Index)는 모든 굴착공법에서 0.1 이하로 산출되어 일관성 있는 자료로 판단되었다. 각 공법별로 가중치에 따른 각 항목의 우선순위를 산출한 결과 Semi-shield TBM 공법에서는 굴진속도, 굴진시간, 추력, 배토량, 선형정밀도, 굴착면이수압 순으로 나타났으며 Shield TBM 공법에서는 굴진속도, 굴진시간, 추력, Tail Seal부 지하수고임, 선형정밀도, 배토량 순, Messer shield 공법에서는 지장물하부

막장관리, 선형정밀도, 지표침하량 순, NATM 공법에서는 천단침하량, 선형정밀도, 지중내공변위, RMR등급, 락볼트축력 변화량 순으로 분석되었다.

4. 결 론

국내 전력구 시공현장에서 산출되는 수기식 문서자료와 전력구 CTQ 표준안에서 전력구 위험도를 직/간접적으로 지시하는 요소들을 선별한 후 AHP기법을 도입, 분석함으로써 각 굴착공법별 위험요소들의 가중치와 우선순위를 산정하였으며 결과는 다음과 같다.

- (1) Semi-shield TBM 공법과 Shield TBM 공법이 적용된 현장의 경우 TBM 운전일지와 Shield TBM 굴진일보 등을 통해 굴진속도, 굴진시간, 추력 등의 자료를 확보할 수 있다. 이 자료들은 지반의 암질상태에 따라 큰 변화폭을 보이므로 산출값에 따라 지중구조물의 위험도를 추정할 수 있는 요소로써 활용 가능하다. 표준 CTQ에서는 굴착면이수압, Tail Seal부 지하수고임, 배토량, 선형정밀도가 지반의 상태와 시공 정확도 등을 판단할 수 있는 핵심요소로 선별되었다. 이와 같이, 최종선별된 핵심요소를 대상으로 각각 AHP기법을 적용하여 가중치 및 우선순위를 분석한 결과 Semi-shield TBM 공법에 대해서는 굴진속도, 굴진시간, 추력, 배토량, 선형정밀도, 굴착면이수압 순의 우선순위가 산출되었으며, Shield TBM 공법에서는 굴진속도, 굴진시간, 추력, Tail Seal부 지하수고임, 선형정밀도, 배토량 순의 우선순위가 산출되었다. 두 공법은 모두 큰 범위에서 TBM 공법에 해당하므로 TBM 공법에서는 공통적으로 굴진속도와 굴진시간, 추력이 지반의 위험요소를 추정할 수 있는 대표적요소인 것으로 판단된다.
- (2) NATM 공법이 적용된 현장의 경우 막장 관찰일지와 Face mapping 자료에서 RMR 등급 요소를 통해 암반의 상태를 예측할 수 있다. RMR 등급은 절리, 지하수, 암질, 풍화상태 등의 정보가 모두 평가되어 산출되는 결과이므로 암반의 상태를 평가하기 위한 자료로 RMR 등급 외의 자료는 배제하여도 무방할 것으로 판단된다. 표준 CTQ에서는 선형정밀도, 천단침하량, 락볼트축력변화량, 지중내공변위가 시공 상태를 유추할 수 있는 핵심요소로 선별되었다. 최종 선별된 핵심요소를 대상으로 AHP기법을 적용하여 가중치 및 우선순위를

분석한 결과 NATM 공법에 대해서는 천단침하량, 선형정밀도, 지중내공변위, RMR등급, 락볼트축력 변화량 순의 우선순위가 산출되었다.

- (3) Messer Shield 공법의 경우 시공내역이 많지 않고 현재 시공 중인 현장도 찾아볼 수 없었기 때문에 시공중 산출자료는 획득하지 못하여 표준 CTQ 요소만으로 분석을 수행하였다. 시공 상태와 암반을 유추할 수 있는 요소는 총 3가지로 AHP 분석을 실시한 결과 지장물하부 막장관리, 선형정밀도, 지표침하량 순의 우선순위가 산출되었다.
- (4) AHP기법을 도입하여 우선순위를 산정하는 기법은 다 요소의사결정의 속성을 갖는 문제에 대하여 합리적인 가중치 값을 제시하므로, 지하 전력구조물에 대한 위험도 분석 요소들 간의 중요성을 규정하기 위해서 활용될 경우 활용성이 높다고 판단된다. 본 연구에서는 설문조사를 전력연구원 직원을 대상으로 한정하였으나 이 외에도 전력구조물에 대한 전문지식을 보유한 인원을 대상으로 추가설문조사를 실시한다면 보다 신뢰도가 높은 결과가 나올 수 있을 것으로 판단된다.
- (5) 향후 본 연구에서 선별된 굴착공법별 요소들의 현장에서 산출된 실측값에 대해 각각 범위를 설정하여 배점을 매기고 본 연구에서 산출된 가중치값을 곱하여 합산값을 산출한다면 해당 전력구에 대한 위험도 또는 안전도를 유추할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 한전중장기 연구개발사업 지원하에 이루어진 것으로 이에 감사 드립니다 (과제번호 : R11SA01).

References

1. Craig S. Fleisher & Babette E. Densoussan, "Strategic and Competitive Analysis, 3mEcca", 2003, pp.96-108.
2. Hong, E. S., "A Case Study for Probabilistic Risk Evaluation based on Event Tree Analysis Technique for the Design of Shield TBM", Korean Society of Civil Engineers Conference, Vol. 27, No. 2C, 2007, pp.139-147 (in Korean).
3. Lee, S. W., "A Study on Decision Making for Port Remodelling in Korea Applied on Analytic Hierarchy Process", Korea Planners Association 「Land plan」, Vol. 40, No. 4, 2005, pp.59-71 (in Korean).
4. Pyo, Y. M., "The Study on the Analysis of Factors Decreasing Construction Labor-Productivity Using AHP Method", The Korea Institute of Building Construction Conference, Vol. 5,

-
- No. 1, 2005, pp.141-147 (in Korean).
5. Saaty T. L. and J. P. Bennett, "A Theory of Analytical Hierarchies Applied to Political Candidacy", Behavioral Science, 1977.
6. Saaty T. L. and L. G. Vargas, "Hierarchical Analysis of Behavior in Competition: Prediction in Chess", Behavioral Science, 1980.

Received : 03/07/2013
Revised : 05/10/2013
Accepted : 06/03/2013

요 지

본 연구에서는 전력구조물에 대하여 시공현장에서 일반적으로 산출되는 정보 중 지반의 상태를 지시하는 자료와 시공 상태를 지시하는 자료들을 추출하여 위험도 분석에 사용될 수 있는 요소들을 규정하였고, 전문가 그룹을 대상으로 계층적 의사결정법인 AHP (Analytic Hierarchy Process) 기법을 활용한 가중치 분석을 실시하였다. AHP 기법을 통해 각 위험도 분석요소들의 가중치를 산출한 결과 일관성 지수 0.1 이하의 신뢰도 높은 결과가 산출되었고 각 공법별 요소들의 우선순위가 산정되었다. 향후 본 연구에서 선별한 굴착공법별 요소들을 현장에서 획득된 실측값에 대해 각각 범위를 설정하여 배점을 규정하고 본 연구에서 산출된 가중치값을 곱하여 합산값을 산출한다면 해당 전력구에 대한 시공중 위험도를 제시하는데 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심 용어 : AHP기법, 위험도 분석요소, 일관성지수, 가중치, 우선순위
