

터널 정보관리 시스템과 터널 붕락 예측 시스템 적용성 연구

Application of Tunnel Information Management System and Tunnel Collapse Inference System in Tunnel

마상준¹, 서경원²

Sang-Joon Ma, Kyong-Won Seo

Keywords : 터널, 지반정보시스템, 붕락, 인공신경망

Abstract

For an efficient management and analysis of geological/geotechnical data obtained during site investigations or tunnel construction, Tunnel Information System(TIS) was developed in this study. TIS is running in GIS(Geographical Information System) which has a spatial data. TIS consists of two parts, the Tunnel Face Mapping System(FaceMap), to record a geological features by observations and measurements at the surface of the excavation, the Borehole Data Management System(BDMS), to store the different types of rock data related to boreholes. Using the database of collapsed tunnels, 20 in Korea and 84 in Europe and with an artificial neural network, an expert system was developed for inferring the tunnel collapse pattern and its volume. And by applying Geo-predict, the system developed, in tunnels under construction, observed data from the ○○tunnel site was compared and analyzed.

1. 서론

산업의 급속한 발달로 지하철, 도로터널, 철도터널 및 고속전철 터널 등과 같은 지하구조물의 건설이 급속히 증가하고 있으며, 향후 보다 많은 사회간접자본 시설들이 지하에 건설될 예정이다. 급증하는 각종 지하시설물들은 교차되거나 인접구간에 분포하고 있는 경우가 많음에도 불구하고, 먼저 시공되었던 구조물들의 각종 정보가 제대로 활용되지 못하고 대부분이 해당 현장에 국한되어 사용되고 있는 실정이다. 이러한 각종 정보들은 터널의 안정성 확보 및 유지·관리를 위한 기본자료로 반드시 활용되어야만 한다.

최근, 인공지능을 이용한 전문가 시스템을 도입하여 불확실한 지반의 조건을 예측하는 연구 및 지반조

사 단계에서 얻어지는 시추자료를 위치정보와 연계하여 관리, 분석되는 시도 등 전산기술의 급속한 발달로 토목분야에서도 구조물 건설 시 얻어지는 지반정보, 시공정보를 전산화하는 노력이 활발히 진행 중이다. 그러나 터널 지반조사, 시공과정에서 얻어지는 지반조사 자료(시추조사, 지표지질 조사)와 터널 시공 중 얻어지는 지반정보 및 계측 자료 등이 서로 유기적으로 활용되지 못하기 때문에 막대한 경제적 손실이 뒤따르고 있는 실정이다.

이런 주된 이유는 유관기관과의 불협조, 전 국토의 지반조사 자료에 대한 체계적인 관리·감독의 소홀, 그리고 무엇보다도 각 지반조사 자료의 위치별 전산화 관리가 부실하기 때문인 것으로 판단된다. 다만 최근에 일부지역을 대상으로 폐광산 관련 문제와 관련하여 GIS를 운영체제로 폐광 주변의 시추자료나 지반자료를 전산 관리하는 시스템이 구축되었다. 또한 시추조사 자료를 위치정보와 결합하여 관리할 수 있

¹ 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원

² 비회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원

는 시스템이 개발되고 있으나(양형식 et al 1999), 이러한 시스템들은 NGIS 사업과 연관되어 지반조사정보 및 관련자료를 전산운영 할 수 있는 시스템과는 약간 거리가 있으며, 터널분야와는 직접적인 관련이 없는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 ○○ 터널 일부 구간에 대하여 지반조사 자료인 시추공 자료와 터널 시공과정에서 얻어지는 터널 막장 관찰자료 등 터널현장에서 얻어지는 다양한 정보에 위치정보를 부여한 터널 정보관리 시스템인 Tunnel Information System(TIS)을 구축하여 ○○터널에 적용을 하였다. 또한 한국과 유럽에서 각각 조사된 20개소, 84개소 터널 붕락 자료에 대한 데이터베이스를 통해 인공지능망을 이용한 전문가 시스템인 Geo-predict system을 개발하였고, 붕락 가능성이 있는 구간에 적용하여 터널 붕락 형태와 규모의 조사값과 추론값에 대한 분석을 실시하였다. 본 논문에서는 TIS, Geo-Predict의 구성과 개발과정, 현장적용에 대하여 논하고자 한다.

2. 시스템 구성

개발된 시스템은 터널 정보관리 시스템(TIS)과 터널 붕락 추론 시스템(Geo-predict)으로 구성되어 있다. 터널 정보관리 시스템은 GIS 시스템을 기본 운영체제로 시추정보 관리 프로그램인 Borehole Data Management System(BDMS)과 터널 막장 관리 입력 시스템인 Tunnel Face Mapping System(FaceMap)으로 구성되어 있다. 또한 인공지능망을 이용한 터널 붕락 추론 시스템인 Geo-predict는 유럽터널 자료를 이용한 터널붕락 형태 추론 모듈인 Geo-predict I 과 한국 터널붕락 자료를 이용한 터널붕락 형태와 규모를 추론 할 수 있는 모듈인 Geo-predict II로 구성되어 있다. 상기 두 시스템은 서로 연계되어 있지 않고 각기 독립된 모듈로 제작되었으며 향후 연구를 통하여 GIS 환경하에서 지반정보를 이용한 터널막장의 위험성을 분석할 수 있는 도구를 개발할 예정이다. Fig. 1은 터널정보관리 시스템과 터널붕락 추론 시스템 구성을 나타내고 있다(Ma, 2000).

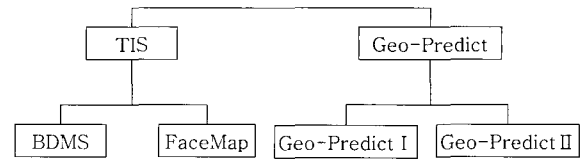


Fig. 1 TIS and Geo-predict System Structure

3. 터널 정보관리 시스템 (Tunnel Information System)

TIS에서 운영 체제로 설정한 GIS(Geographic Information System)는 공간상에 존재하는 지리정보를 전산화하여 위치정보와 속성정보로 나누어 데이터베이스화하고 이를 서로 연계 처리함으로써 통합된 DBMS(Data Base Management System)환경을 제공하는 시스템이다. GIS를 터널에 적용할 경우, 지반조사, 설계 및 시공과정에서 얻어지는 수많은 조사 및 계측정보를 GIS 자체의 지형 및 지질정보와 연계된 분석이 가능하므로 이를 통해, 터널현장에서 얻어지는 정보의 질을 높이고, 정보를 효율적으로 운영할 수 있다. TIS를 구성하고 있는 BDMS와 FaceMap은 다음과 같은 구성과 기능을 가지고 있다.

본 연구에서 개발된 시스템들의 제한 사항은 다음과 같다.

- 국내외에서 얻어진 터널 붕락자료는 자료 특성상 쉽게 얻을 수 없으므로 국내자료의 경우는 주로 1990년대 이후 발생된 터널 붕락보고서를 참고하였으며, 외국자료는 Cecil(1964)에 의해 조사된 유럽지역의 터널 굴착시 발생된 붕락자료를 이용하였다.
- Fig. 1의 시스템들은 현재 각기 독립된 모듈로 제작되었으며 향후 연구를 통하여 GIS의 운영체제를 바탕으로 통합시스템을 구축할 것이다.

3-1. Borehole Data Management System(BDMS)

터널설계를 위한 지반조사 항목 중 대표적으로 실시되는 조사는 시추조사이다. 비록 비용은 많이 소요되지만, 이는 시추공과 시추코어를 이용한 실내시험 및 현장시험 등을 통하여 지반 공학적 정보를 얻기 위해 대부분의 지하구조물 건설 공사에서 필수적으로 실시되고 있다.

시추장비의 발달, 시료채취 기술의 발달 및 시추공

의 영상화 분석기술 등의 발달로 시추자료를 평가, 분석하는 기술과 장비는 급속히 발달하고 있으나, 자료의 보관 및 통합적 관리 부족 등으로 인하여 자료 관리의 효율성이나 자료의 재활용 등은 극히 부진한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 GIS의 위치정보를 이용하여 시추주상도를 관리할 수 있는 BDMS를 개발하였다.

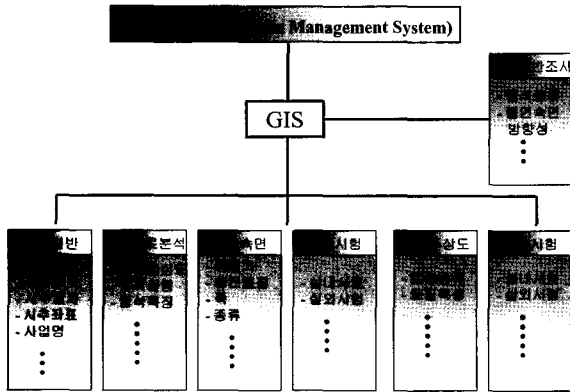


Fig. 2 Data Structure of BDMS

BDMS에 입력되는 시추자료의 데이터 구조는 Fig. 2와 같으며, 하나의 시추공에 대하여 토질/암석의 주상도와 실내의 시험 자료 및 불연속면의 특성 등에 관한 세부적인 지반 공학적 정보와 시추좌표(위치)정보, 지표지반조사의 입력 및 관리 등으로 구성되어 있다. Fig. 3은 수치지도와 연계한 BDMS 출력화면을 보여주고 있다.

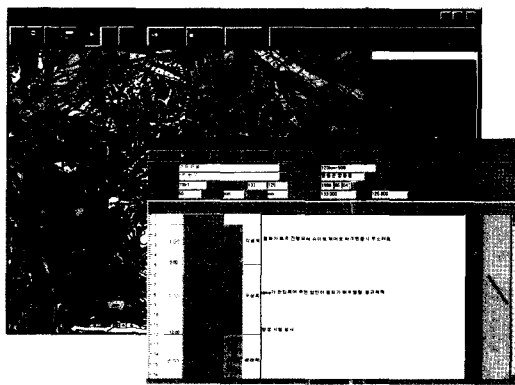


Fig. 3 BDMS and Spatial data of GIS applied to OO Tunnel

3.2. Tunnel Face Mapping System(FaceMap)

터널 굴착공정에서 막장 상태를 평가하고 지보재 결정에 중요한 역할을 하는 터널 막장관찰은 서지 형식으로 관리되고 있다. 따라서, 공사 완료 이후에는 자료의 소실 및 관리 부실로 대부분 사장되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 자료들을 전산 관리하여, 향후 터널의 보수, 보강이나 시공후, 유지관리 시 참고자료로 활용하고 터널 현장에서 관측되는 지반정보를 터널 시공에 적극 활용하기 위한 지반정보 데이터베이스를 구축하였다. 기존 터널 막장 기록용 야장에 기록하는 것을 컴퓨터 그래픽을 이용함으로써, 터널의 일반 속성정보 뿐만 아니라 지질구조선인 절리, 파쇄대, 단층대 등의 위치정보와 그 물리적인 특성 등을 부여 할 수 있는 장점이 있다.

기존의 터널공사에서 사용하던 각기 다른 형식의 문서를 수집하여, 단면 정보를 공통된 형식의 단면기록 일지로 작성하였다. 화면 구성상 모든 정보를 나타낼 수 없으므로, 암종과 암상변화 버튼을 클릭하게 되면 하부 실행창이 활성화되어 자세한 지반 정보를 입력할 수 있게 하였다. 그리고 단면정보에서는 향후, 지반특성 예측 시스템에서 터널의 안정성 분석시 활용될 터널의 굴착정보, 보강방법 및 보강패턴 등과 같은 정보를 입력할 수 있도록 설계되어 있다. Fig. 4는 실제로 터널단면에 나타나는 불연속면들을 그래픽으로 구현하기 위한 과정이다

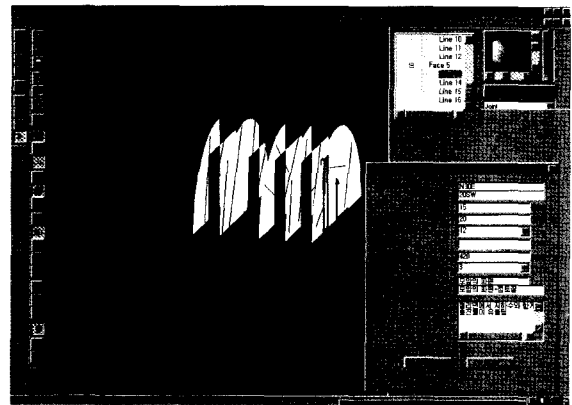


Fig. 4 Applying the FaceMap in OO Tunnel

터널 막장을 상·하반 분할, 좌우 측벽부 및 천장 부분으로 나누어서 구현하게 함으로써, 실제 대부분의 터널 현장에서 적용되는 분할 굴착 방식을 반영할

Table 1. Geotechnical analysis on tunnel collapse sites in Korea

Number of discontinuity							Direction of discontinuity				
Mas sive	One set	Two set	Three set	Three set 이상	Shatter ed	Earthlik e	Very unfavoura ble	Favour able	Fair	Unfavo urable	Very unfavourable
-	3	5	2	6	3	1	-	-	1	14	5
Classification							A type of rock				
Res. soil	Com. weat hered	High. weat hered	Mod. weath ered	Sli. weathe red	Fresh	Schist	Gneiss	Other metamo rphosed rock	Volca nic rock	Plutoni c rock	Sedimentary rock
1	-	7	6	2	3	5	7	1	-	5	1
Discontinuity							Tunnel depth(m)				
I	II	III	IV	V	0-14	14-28	28-42	42-54	Over 54		
-	-	4	3	13		15	1	1	1		
Joint spaces							Underground water conditions				
I	II	III	IV	V	Com. dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
1	-	2	11	7	-	1	6	11	2		
RQD(%)											
0-50	50-100	100-150	150-200	Over 200	<25	25-50	50-75	75-90	>90		
15	2	-	1	7	16	4	-	-	1		
Collapse type(ISE 1996)											
Bench failure		Crown failure		Face failure		Weakness failure		Surface failure			
-		4		6		7		3			

수 있다.

사용자는 먼저 불연속면들을 구분하기 위하여 단층은 녹색, 절리는 파란색, 암맥은 빨간색 등으로 구분하여 마우스를 이용, 단면에 그린다. 전체 화면의 축척은 모두 1:100이며 화면 하단에 Y, Z 방향의 좌 Table.가 나타나므로 이를 이용하여 불연속면의 위치를 확인할 수 있다. 그래픽으로 처리된 불연속면을 클릭하게 되면 각 불연속면들의 방향성, 폭, 거칠기 등 불연속면의 물성정보를 입력할 수 있도록 설계되어 있다. 그리고 향후, 이러한 지반물성 정보는 지반 특성 예측시스템에서 터널 전방지역의 특성을 파악하는데 참고자료로 활용되어질 수 있다.

4. 터널붕락 예측 시스템(Geo-predict)

터널 붕락 예측 시스템, Geo-predict는 NATM 개념의 터널 굴착시 불리한 지반조건으로 인하여 발생하는 터널붕락을 사전 예측을 할 수 있는 시스템이다.

이는 국내 및 유럽에서 과거 터널 건설시 붕락이 발생되었던 현장의 지반관련 자료를 데이터베이스화

하고, 이것을 인공신경망을 이용하여 지반조건에 따른 터널 붕락형태 및 붕락규모를 추론할 수 있다. 개발된 시스템을 시공 중 붕락이 발생된 터널에 적용함으로써, 터널 붕락의 형태와 규모에 대한 실제 조사값과 추론값을 상호 비교·분석하였다.

4.1 터널붕락 현황 및 분석

본 연구를 위하여 국외터널 붕락 사례(Cecil, 1964)와 국내터널 붕락 사례를 수집하였다. 국외터널 자료는 1960년대에 Cecil에 의해 수집된 스웨덴과 노르웨이의 13개 대형 프로젝트 건설에 따른 터널굴착과 지보와의 관계 연구에 사용된 현장자료이다.

국내터널 자료는 1980년대 이후에 지하철, 도로터널, 철도터널, 전력구 건설시 터널의 붕락 및 붕괴 사고시 조사되었던 지반조사 자료이다(대한토목학회, 1992, 삼부토건, 1996, 천병식 et al. 1996, 지반공학회, 1993, 박광준 et al. 1993). 수집된 자료는 유럽터널 92개 현장과 국내터널 52개 현장으로 총 144개 현장자료이며 이중 자료의 신뢰성, 정확성 등을 분석하여

Table 2. Geotechnical analysis on the tunnel collapse sites in Europe

Massive	One set	Two set	Three set	random	crushed	Earth like	<5cm	5-30cm	30-100cm	100-300cm	>300cm	
7	26	38	9	26	3	6	9	46	14	18	4	
Joint	Bedding plane	cleavage	fault	none	None softening clay	softening clay	Other low friction material	Sandy or gravelly material	Alteration along joint			
61	10	15	39	39	32	14	3	11	20			
0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	schist	gneiss	Other metamorphosed rock	Volcanic rock	Plutonic rock	Sedimentary rock	
34	33	66	51	36	39	14	1	32	-	36	1	
<25	25-50	50-75	75-90	>90	A	B	C	D	E	F	G	H
15	20	17	21	11	10	7	6	12	21	17	5	6
No water	Minor water	Minor flow	flow	Large water	sound	Altered or weathered						
22	18	26	10	7	76	16						
overbreak	Wall fall	Wedge fall	Block fall	collapse	0-42	42-84	84-168	>168	<30	30-60	60-90	>90
54	11	11	38	2	19	31	28	7	19	13	21	22

유럽터널 84개 현장, 국내터널 20개 현장 등 총 104개 현장자료를 대상으로 지반조건과 터널 붕락 형태만의 관계를 비교 분석하였다(마상준 et al. 2000).

유럽의 조사대상 터널은 지하 양수발전소, 철도터널, 지하철, 지하저장소, 하수처리장 등이며 지하 양수발전소의 도수터널이 2/3이상을 차지하고 있다. 터널이 위치한 지역의 암석 종류는 심성암류와 변성암류가 대부분을 차지하고 있으며, 터널막장에서의 지하수 상태는 "no water"에서 "large water"사이의 분류범위에 균등하게 분포해 있다. 터널 막장의 절리군 분포는 1~2개의 주절리군과 불규칙 절리가 발달하며 RQD는 50% 이상이 전체의 절반이상을 차지하고 있다.

조사가 실시된 터널심도는 50~200m의 대심도가 70%이상을 차지하고 있다. 또한 터널 붕락형태는 여굴을 포함하여 Wedge fall, Block fall 등이 주로 발생되었다. 이는 조사 대상터널이 대심도에 위치하며, 암반의 풍화에 의한 막장면의 붕락보다는 막장면 주변의 절리군에 의해 형성된 블록이 터널 굴착에 따른 주변 응력의 재배치로 인한 미끄러짐과 회전으로 붕락되는 경향을 보였다.

국내 터널 붕락 자료는 굴착심도 30m 이하가 전체의 80%이상을 차지하고 있는데 이것은 조사터널이 주로 지하철과 같이 천심도에서 굴착된 터널이 많기 때문이다.

30m이하의 천심도 터널이 관통하는 구간의 지반은 주로 풍화암층과 연암층이 분포한다. 붕락 현장의 절리군 상태 및 절리간격은 RMR 분류 기준의 4~5 등급의 열악한 상태이므로 절리면의 전단강도 등을 기대할 수 없는 형편이다. 국내 조사자료의 터널붕락 형태를 분석해 보면 벤치파괴를 제외하고 고른 붕락 형태를 보였다. 종합해 보면 국내터널 붕락 형태는 유럽터널 붕락 경향과는 달리 절리면의 조합에 의한 낙반(fall) 보다는 파쇄대 및 연암층에서의 붕락이 주로 발생하는 것으로 분석되었다(마상준 et al. 1999). 이는 국내 터널의 대부분이 천심도 터널이기 때문일 것으로 분석되며, Table 1과 2는 유럽과 국내터널에서 붕락이 발생한 지반의 특성을 분석·정리하였다.

4.2 시스템 구성 및 개발

인공 지능 시스템을 기반으로 터널 붕락 패턴과 규모를 예측할 수 있는 터널 붕락 예측 시스템인 Geo-predict의 구성은 Fig. 5와 같다.

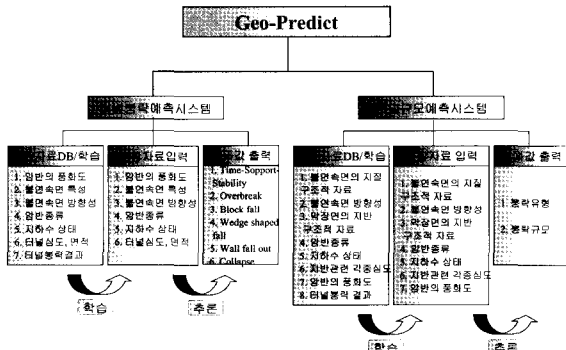


Fig. 5 Tunnel collapse inference system design

Geo-predict는 유럽터널 자료를 이용한 터널 붕락 형태 추론 모듈만 있는 Geo-Predict I과 국내 터널 붕

락 자료를 이용한 터널 붕락 형태와 규모 추론모듈로 구성되어 있는 Geo-Predict II 로 구성되어 있다.

Table 1과 2에서 보듯이 유럽터널의 자료는 대부분 대심도의 신선한 암반에서 절리균에 의한 블록 형태로 붕락이 발생한 반면, 한국터널 자료는 천심도 구간의 풍화암층 또는 파쇄대 등 진단강도가 매우 낮은 구간에서 붕락이 발생되었다.

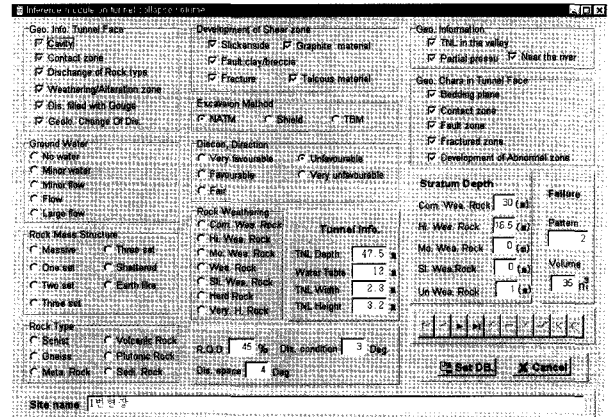


Fig. 6 Input module for tunnel collapse pattern inference in the Geo-predict I

Table 3 Artificial neural network input and output at Geo-predict I and II

Input		Output		Geo-predict II			
				Input		Output	
Intact rock strength				Geotechnical information of tunnel face		Collapse pattern	
Discontinuity set		Overbreak		Development of shear zone		Collapse magnitude	
Average discontinuity set		Block fall		Geographical information			
Discontinuity tightness		Wall fall		Geotechnical characteristic in tunnel face, Ground eater			
Joint continuity		collapse		Excavation method			
Discontinuity type				Discontinuity direction			
Discontinuity filling				Discontinuity			
Degree and roughness of discontinuity planes				Rock weathering, stratum depth			
Dip and strike of discontinuity				Rock type			
Rock type				Tunnel depth, width, height			
Ground water				RQD, discontinuity condition, discontinuity spacing			
RQD, Depth, Area							
Input mode	54	Output node	6	Input node	64	Output node	2

인공신경망을 이용하기 위해서는 학습자료로 이용할 데이터베이스가 필요하데, 이를 위해, 앞서 언급한 한국과 유럽의 터널 붕락 자료를 바탕으로 터널 붕락에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 추출하여, Table 3과 같은 학습자료를 데이터베이스 하였다. Geo-predict I은 입력층과 출력층이 각각 54개, 6개 항목이며, Geo-Predict II는 입력층과 출력층의 입력항목이 64개, 2개 항목으로 설정하였다.

Geo-predict I과 II를 다른 입력체계로 설정한 이유는 Geo-predict I의 입력자료가 얻어진 시기는 현재 일반적으로 쓰고 있는 지반분류법인 RMR, Q-System이 나오기 전에 얻어진 자료로서, 조사 입력자료가 RMR에 바탕을 둔 Geo-Predict II의 입력자료와는 성격이 다르기 때문이다. 인공신경망을 이용하기 위해서는 기존의 터널붕락자료를 DB하여야 하지만 자료의 특성상 얻기 곤란하므로 국내자료의 Cecil(1964)의 논문자료를 이용하였다.

세부적인 입·출력 항목들은 Table 3과 같으며, 출력값(추론시스템)은 Geo-predict I인 경우, Cecil의 분류에 의해 Roof fall, Wall fall, Overbreak, Full-face collapse, 4가지 붕락형태로 분류하였으며, Geo-predict II는 HSE의 붕락형태 분류법에 의한 5가지의 터널 붕락 형태(1:bench failure, 2:Crown failure, 3:Face failure, 4:Weakness strata failure, 5:Surface failure)와 붕락규모(m^3)로 설정하였다.

설정된 HSE의 터널 붕락형태는 Bench failure, Crown failure, Face failure, Weakness strata failure, Surface failure로 분류하였다(HSE, 1996). Fig. 6은 터널붕락 형태 추론(Geo-predict I)을 위한 데이터 입력 모듈이며 Fig. 7은 터널 붕락 형태 및 규모 추론(Geo-predict II)을 위한 데이터 입력모듈이다.

5. 개발 시스템의 붕락 현장 적용성 평가

5.1. 적용현장의 지반 및 붕락 현황

적용대상 현장은 고속전철 OO터널현장의 본터널 접속을 위한 사갱으로 폭 7.4m, 높이 7.48m의 터널로 1차 숏크리트 타설 후 붕락이 발생되었다. 대상터널은 계곡부에 위치하며 지반은 편마암이 분포하고 있다. 붕락지점에서 10m 떨어진 지점에서의 지반상태는 비교적 양호하였으나, 붕락지점에 접근할수록 활석과 흑연대가 발달한 2개의 단층대가 발달하고 있다. Fig.

8은 붕락지점 1.2m 이격된 지점의 터널막장 조사도이다. 붕락 현황은 STA 1k-117.5 지점에서 막장전면 천단으로부터 좌측 측벽 상단까지 $35m^3$ 정도가 붕괴되었으며, STA 1k- 107~117.5까지 붕괴시점에 막장의 붕괴로 인해 숏크리트 타설면에 천단측 종방향으로 폭8cm 가량의 큰 규모의 균열이 발달하고 있다. 그리고 STA 1k-090.5~107.5 구간 약 16m 구간에는 강지보재가 터널 안쪽으로 약 20cm 가량 밀리는등 대규모 내공변위가 발생하였다.

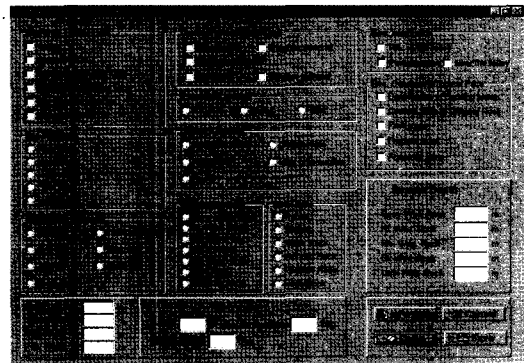


Fig. 7 Input module for tunnel collapse pattern and volume inference in the Geo-predict II

막장조사 자료에서 RMR값을 보면 붕락 10m 전에는 RMR값이 60~70점으로 상당히 양호한 지반상태를 보이고 있다가 붕락 1.2m전에서는 RMR값이 10~20점으로 급격히 떨어지는 것으로 조사되었다. 붕락 주변의 내공변위도 15~32cm 정도의 큰 변위가 발생하였는데, 이는 활석과 흑연을 포함한 단층대가 터널막장 좌우에 발달하여 지반의 전단강도가 저하되어, 큰 내공변위를 유발시키면서 터널 붕락이 발생된 것으로 분석된다

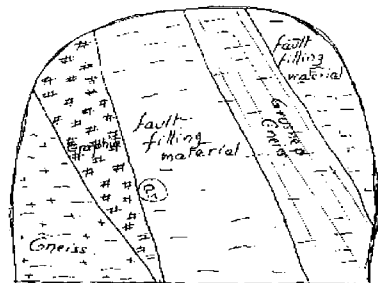


Fig. 8 Geological face map at 1.2m away from the collapse location

5.2 시스템 적용 및 결과 분석

5.1절의 적용 대상 현장에 대하여 붕락 현황을 Table.3의 입력기준으로 붕락 지반의 특징을 전문가 시스템에 입력하여 추론된 값과의 차이를 분석하였다.

개발된 시스템의 적용결과는 다음 Table. 4와 같으며(4.2의 붕락형태 분류 참조) Fig. 9는 Geo-predict II에 의한 터널 붕락 형태 및 규모추론의 출력화면을 보여주고 있는데 본 현장의 경우는 Fig. 9의 상단에 나타났듯이 Block fall에 가까운 붕락과 105m³의 붕락 규모를 보이는 것으로 나타났다.

○○터널의 붕락 지점의 조사 결과는 앞서 언급한 바와 같이, 큰 내공변위의 발생과 막장 천단부에서 파쇄대에 의한 붕락으로 약 35m³규모의 낙석이 발생하였다. Geo-predict I의 분석 결과에서 붕락형태가 조사값의 경우는 wedge fall이었으나, 추론결과는 block fall이 발생된 결과를 얻었다.

Table 4 현장적용 결과

결과값	Geo-predict I					Geo-predict II	
	Over break	Block fall	Wall fall	Wedge fall	Collap se	Pattern	Volume (m ³)
조사값				1		4	35
추론값	2	1				4.6	105

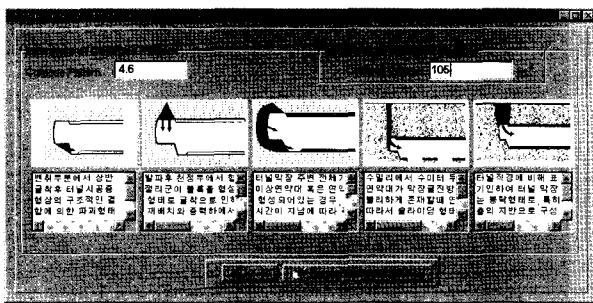


Fig. 9 Geo-predict II inference result output screen

○○터널의 붕락형태와 붕락규모의 조사값과 추론값에 차이를 보이는 것은 Geo-predict I의 터널붕락 형태 추론모듈에 사용된 학습자료로 인용한 자료들이 대부분 심도 50m 이상의 대심도 산악터널자료로서 풍화정도가 대부분 "Sound"에 속하는 지반조건이었기

때문으로 사료된다. 또한 인공신경망 학습에 사용된 자료들의 터널붕락이 대부분 불연속면을 따라 블록형태로 발생하는 자료를 학습하였기 때문인 것으로 판단된다.

HSE분류에 의한 터널 붕락형태의 현장 조사값은 Weakness failure이며 Geo-predict II의 추론결과는 Weakness failure와 Surface failure의 중간형태로 추론되었다. 이는 현장 조사와 추론에 적용된 학습 현장들의 지반조건과 유사한 조건이었으므로 붕락 메카니즘도 유사한 결과를 얻은 것으로 분석된다. 반면, 붕락 규모의 현장 조사값은 35m³으로 조사되었으나 추론값은 105m³으로 다소 과장되게 추론되었다. 즉 Geo-predict II에서는 붕락 형태의 조사값은 추론값과 유사하지만, 붕락 규모 추론은 다소 과장되었다. 이는, 붕락규모 추론 모듈에서는 지반조건에 대해서만 고려되었을 뿐, 실제 붕락 전 큰 규모의 변위가 발생하여 임시 보강조치를 취하는 등 지반강성을 증대시키어 붕락규모를 최소화시키는 사전 보강작업에 대한 고려가 반영되지 않았기 때문으로 분석된다.

6. 결론

터널의 지반조사와 시공과정에서 얻어지는 각종 지반정보에 대한 효율적 관리를 위해서 시추정보 관리 프로그램인 BDMS와 터널막장 관리입력시스템인 FaceMap을 GIS개념에서 터널정보관리 시스템인 TIS를 구축하였다. 또한 한국과 유럽에서 각각 조사된 20개소, 84개소 터널 붕락 자료에 대한 데이터베이스를 통해 인공신경망을 이용한 Geo-predict System을 개발하였는데, 각기의 시스템은 현재 독립된 모듈로 제작되었다. 그리고 개발된 Geo-predict를 붕락이 발생된 ○○터널구간에 적용하여 터널 붕락 형태와 규모에 대한 조사값과 개발된 모듈을 이용해 추론값에 대해 비교·분석을 실시하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) GIS를 기본 운영체제로 한 터널정보관리 시스템(TIS)의 구성요소인 FaceMap과 BDMS는 지반조사와 터널 시공과정에서 얻어지는 지반정보를 효율적으로 관리할 수 있는 가능성을 보여 주었다.
- 2) 지반정보에 대해서 위치정보와 속성정보를 부여하는 GIS 개념을 적용하여 수집된 정보를 주변에 신규 구조물 시공시 활용할 수 있도록 하였다.

3) 터널 붕락이 일어난 현장에서 붕락 형태에 대한 조사값과 추론값을 비교한 결과, Geo-Predict I과 II는 상이한 결과를 얻었다. 이는 본 붕락 조사현장의 지반조건이 Geo-predict II가 학습한 열악한 암반 내에 굴착한 친심도 터널 자료와 유사하였기 때문으로 판단된다. 따라서 향후 다양한 지반조건을 갖는 현장 자료를 추가로 DB를 구축하고 인공신경망 학습자료로 이용하여야 하겠다.

4) Geo-predict II에서 붕락 규모에 대한 추론결과와 조사결과가 많은 차이를 보이는데, 이는 본 시스템의 추론모듈에서는 단순히 터널붕락과 지반상태와의 상관관계에 대해서만 입력과 추론시 고려하기 때문이다. 그러나, 실제 터널 굴착시 터널안정성에 영향을 미치는 인자는 지반조건뿐만 아니라 보강방법, 현장 기술자의 기술수준, 굴착 방법 등 수많은 영향인자가 존재한다. 따라서, 향후 본 시스템이 보다 신뢰성을 확보하기 위해서는, 터널 안정성에 영향을 미치는 다양한 인자에 대한 정량적 분석을 통한 적용 방법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

5) 본 연구에서 개발된 TIS와 Geo-predict는 현재 독립된 모듈로 제작되었으며 향후 연구를 통하여 GIS개념을 바탕으로 터널의 계획, 조사, 시공, 유지관리를 일원화시킨 통합시스템을 구축하고자 한다.

7. 참고문헌

1. 마상준, 서경원, 배규진.(2000), "지질공학적 특성을 고려한 터널붕락 분석과 합리적인 터널붕락 추론에 관한 기본 연구", 지반공학회, 제16권 5호, pp117-127
2. 대한토목학회(1992), "지하철5호선 5-14공구 터널사고원인 및 복구대책 연구용역", pp. 7~36
3. 삼부토건주식회사(1996), "서울지하철 5호선 5-18공구 건설공사 한강하저터널 지반분석 및 보강공법"
4. 천병식, 정덕교(1999), "국도3호선 터널공사 공사 중 붕락 구간에 대한 지반보강, '99학술발표.회", pp 14~22
5. 한국지반공학회(1993), "345KV 당인리-중계 펌프장간 지중 T/L 전력구 건설공사 붕락지역 사고원인 및 보강방안 연구 검토", pp 2~61
6. 양형식, 김재철(1999), "인공신경망을 이용한 한국형 터널 암반분류", 터널과 지하공간, 제9권, 제3호, pp. 214~220
7. 마상준, 서경원(1999), "NATM 개념 터널에서의 붕락 패턴에 관한 국내외 사고사례 조사 및 분석", 터널기술, 제1권 제2호 pp. 81~91
8. 박광준, 이인근(1993), "도심지 지하철 터널의 붕괴 유형과 원인", KGS Spring '93 National Conference/Geotechnical

Engineering and Tunnelling Technology, Seoul Korea, pp. 41~48

9. "HSE(Health and Safety Executive, 1996), Safety of New Austrain Tunnelling Method(NATM) Tunnels", pp. 14~21
10. Owen Sinclair Cecil(1964), "Correlations of Rock Bolt-Shotcrete Support and Rock Quality Parameters in Scandinavian Tunnels", Ph D Thesis, Univ. Illinois
11. Ma. S. J., Bae K. J., Seo. K. W.,(2000) "Die Forschung ber Die Anwendung des Tunnel-Information-Systems bei Tunnel-Bau", EUROCK 2000 Symposium 14th National Symposium on Rock Mechanics and Tunnelling, pp 513~519