

정보기술(IT)의 터널 설계 분야에의 적용사례

Application of Information Technology in Tunnel Design - A case study

유충식¹⁾, Chung Sik Yoo · 김주미²⁾, Joo-Mi Kim · 김진하³⁾, Jin Ha Kim

- ¹⁾ 성균관대학교 공과대학 토목환경공학과 정교수, Professor, Dept. of Civil and Envir. Engineering, Sungkyunkwan Univ.
²⁾ 성균관대학교 공과대학 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil and Envir. Engineering, Sungkyunkwan Univ.
³⁾ (주)에스코 컨설턴트 부장, Principal Engineer, ESCO Engineers & Consultant Co.,Ltd

SYNOPSIS : This study investigated the applicability of the Artificial Neural Network (ANN) technique for prediction of tunnel behavior. For training data collection, a series of finite element analyses were conducted for actual tunnel project site. Using the data, optimized ANNs were developed through a sensitivity study on internal parameters. The developed ANNs can make tunneling related predictions such as tunnel crown settlement, shotcrete lining stress, ground surface settlement, and groundwater inflow rate. The results indicated that the developed ANNs can be used as an effective and efficient tool for tunnelling related prediction in practical tunneling situations.

Key words : Artificial Neural Network, tunnel performance, Sensitivity Analysis, Internal Parameter

1. 서 론

우리 사회는 이제 산업화사회를 거쳐 정보사회로 접어들었으며, 최근에는 고도정보사회 또는 디지털사회라는 말까지 나오고 있다. 즉 현대사회는 고도로 발달한 첨단기술 산업에 힘입어 정보통신 혁명이라고 일컬을 수 있을 만큼 대량의 정보유통과 신속한 정보처리가 가능하게 되었다. 이른바 정보사회로 진입하게 된 것이다. 지난 20여 년간에 걸친 눈부신 과학기술과 정보통신기술의 발전은 200여 년간 지속되어 오던 산업화사회를 정보사회로 탈바꿈시켜 놓았고, 이러한 사회변화는 건설사업분야에 있어 산업화사회에서부터 야기된 사회기반시설 확충 및 지하공간 개발 문제의 대안으로 대두되어지고 있다.

현재 터널 설계분야에서는 사회기반시설 및 지하구조물 확충을 위한 지하공간 건설의 필요성이 증대로 인한 터널 및 지하공간 시공/발주가 많아지고 있으며 앞으로 더 증가할 추세이다. 이러한 터널 시공시 터널굴착에 따른 지반 침하로 지상 구조물 및 지중 매설관에 피해를 주는 경우가 빈번히 발생하고 있어 주변지반의 거동, 구조물 영향 검토의 중요성이 대두된다. 이로서 보다 경제적이고 안전한 지하공간 건설을 위해 효율적인 터널안정성평가와 시공중 지반굴착에 따른 하중분배 및 지지를 위한 지보재의 고품질화가 필수적 요소화되고 있다. 현재 터널안정성평가는 일반적으로 계측 및 수치해석에 의해 수행되어지고 있으며 이는 광역단위의 터널 현장을 고려할 때 계측의 한계성과 주변지반 조건 및 환경에 따른 수치해석단면의 수가 급격히 많아져 시간적·경제적인 측면에서 어려

움이 따른다.

따라서 본 연구에서는 보다 효율적인 터널안정성 평가를 위해 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN)기법 및 지리정보시스템 GIS(Geographic Information System)등과 같은 정보기술(Information Technology, IT)을 접목하여 터널설계분야서의 정보기술 적용성을 확인하고자 한다. 이를 위해 실제 터널현장을 대상으로 FEM(Finite Element Analysis)-ANN 연계 기반의 터널거동 예측 기술을 적용하여 터널거동 평가 연구를 수행하였고 이를 성균관대학교 지반연구실에서 개발한 터널 위험도 평가시스템 IT-TMS(IT-based Tunnel Design/Construction Management System)에 접목하여 가시화함으로써 정보기술기반의 터널안정성 평가의 효율성의 확인하였다.

2. FEM-ANN-GIS 기반의 터널거동 예측

2.1 FEM-ANN-GIS 기본 개요

오늘날 터널거동평가를 위한 방법으로 수치해석기법을 활용하고 있으며 이는 해석 단면의 수가 증가할 경우 시간적·경제적인 측면에서 평가에 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 수치해석기법 활용의 한계를 보완하기 위한 방법으로 FEM-ANN-GIS 연계 기법을 터널 설계/시공에 있어 효율적인 평가를 위한 수단으로 제안하였다. FEM-ANN-GIS 연계 기법이란 반복 학습을 통하여 새로운 상황에 대한 예측이 가능한 ANN 학습 DB 구축을 위해 FEM을 활용하여 대상 현장의 대표단면 해석결과를 ANN으로 일반화 시켜 다양한 시공 조건에 대한 거동 예측을 수행하고 이를 지리정보시스템 GIS에 적용하여 평가결과를 가시화하여 시각적인 효율성을 극대화 한다. 그림 1은 FEM-ANN-GIS 연계기법의 개념도를 보이고 있다.

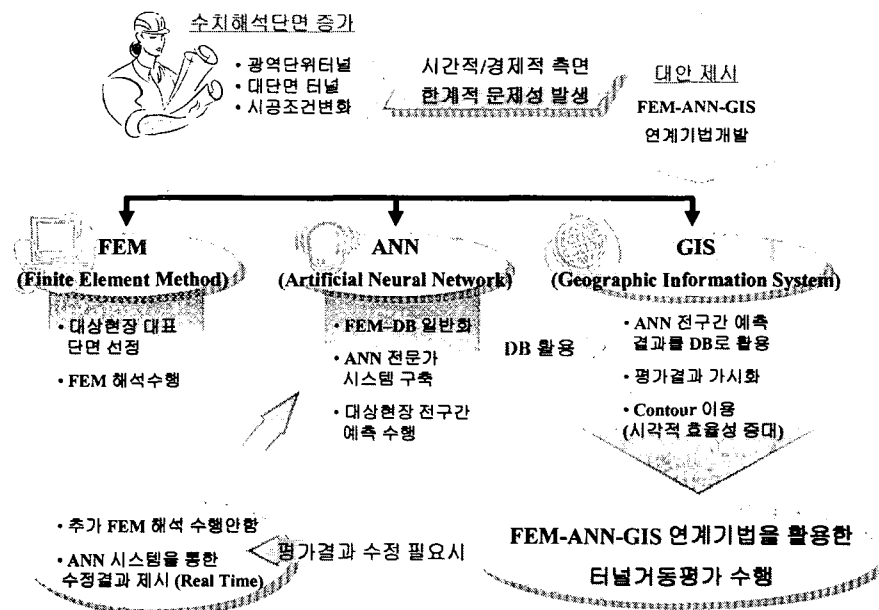


그림 1. FEM-ANN-GIS 연계기법 개념

그림 1에서와 같이 FEM-ANN-GIS 연계 기법은 터널연장이 긴 현장 및 시공 중 현장조건의 변화, 추가 단면에 대한 평가가 요구 될 때 별도의 수치해석 없이 ANN만으로 신속하게 평가 할 수 있는 장점이 있다.

2.2 적용현장 및 터널개요

본 연구에서는 앞서 설명한 FEM-ANN-GIS 연계 기법의 적용성을 검토하기 위해 실제 터널현장인 고속철도 OO-O 현장을 대상으로 일련의 연구를 수행하였으며 다음은 선정된 현장개요를 나타내고 있다. 그림 2는 대상현장의 평면도를 나타내고 있으며, 그림 3은 대상현장 일부구간의 종단면도를 보이고 있다.

적용대상 터널 현장은 고속철도구간에 설계된 터널 구간으로서 터널 직경은 12.2m, 굴착 단면적은 100~120m², 총연장 5.6km로 복잡한 도심지를 관통하고 있다. 또한 적용 현장의 터널은 복선터널로 토피는 10~50m 정도로, 대부분 암반등급 III~IV를 통과하도록 설계되어 있다. 지반조건으로 지표 상부에는 혼합 매립층, 그 아래는 충적층과 화강풍화토가 존재하며 그림 3에서 볼 수 있듯이 적용현장의 Section-B는 시공 중점부로 점토층이 상부 토사 층에 존재한다. 그림 4는 터널개요를 보이고 있으며, 표 1과 2는 각각 터널구간의 지반조사결과를 토대로 나타난 각 지층별 지반 특성치 및 대상 현장에 적용 설계된 지보패턴을 나타내고 있다.



그림 2. 대상현장 평면도

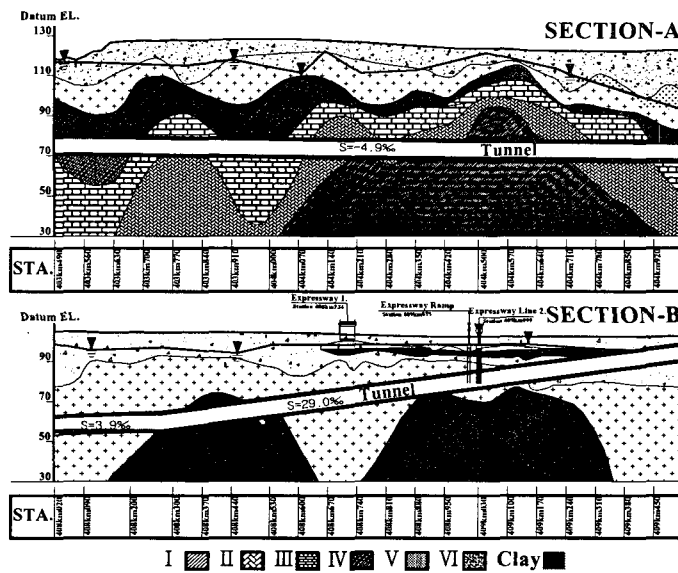


그림 3. 대상현장 종단면도

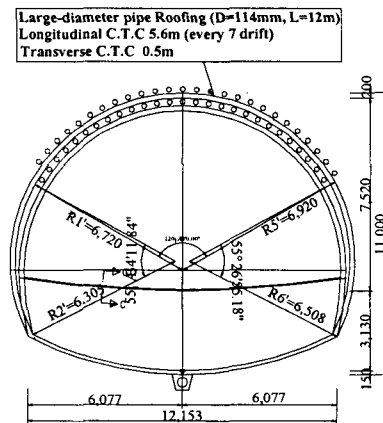


그림 4. 현장 터널 개요

표 1. 각 지층별 지반특성치

암반등급	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (degree)	변형계수 (kPa)	포아송비	투수계수 (cm/sec)
I	26	1000	45	12,000,000	0.20	1.9× 10 ⁻⁶
II	25	500	40	8,000,000	0.22	6.7× 10 ⁻⁶
III	24	200	35	4,000,000	0.25	1.8× 10 ⁻⁵
IV	23	150	33	2,500,000	0.27	5.0× 10 ⁻⁵
V	22	50	30	100,000	0.29	1.0× 10 ⁻⁴
V-1(토사)	19	20	28	20,000	0.35	1.0× 10 ⁻⁴

표 2. 적용 지보패턴

Support pattern	Rock Quality		Shotcrete	Rock bolt		Excavation		Remarks
	RMR ^a	Q ^b	Thickness (mm)	Length (m)	Spacing (m)	Type	Adv. ^c rate (m)	
PD-1	81~100	>40	50	4.0	random	T/B ^d	1.5	Blasting
PD-2	61~800	10~40	80	4.0	1.5/2.0 ^c	T/B ^d	1.5	Blasting
PD-3	41~60	1~10	120	4.0	1.2/2.0 ^c	T/B ^d	1.2	Blasting
PD-4	21~40	0.1~1	160	4.0	1.0/1.5 ^c	T/B ^d	1.0	Forepolling drilling
PD-5	<20	0.01~0.1	200	4.0	0.8/1.2 ^c	T/B ^d	0.8	A-type pipe roofing ^g Drilling
PDS-5	<20	0.01~0.1	200	4.0	0.8/1.2 ^c	R/C ^e	0.8	A-type pipe roofing ^g Drilling
PDS-5-1	<20	0.01~0.1	200	4.0	0.8/1.2 ^c	R/C ^e	0.8	B-type pipe roofing ^h Drilling
PDS-6	<20	0.01~0.1	200	4.0	0.8/1.2 ^c	MD ^f	0.8	B-type pipe roofing ^h Drilling

Note: ^aRMR=Rock mass rating; ^bQ=Q-system; ^cAdv.=advance; ^dL/T=longitudinal/transverse; ^dT/B=top heading and bench excavation; ^eR/C=ring cut excavation; MD^f=multiple drift; ^gA-type pipe roofing=500 mm steel pipes; and ^hB-type pipe roofing=100 mm diameter grouted steel pipes

2.3 유한요소해석

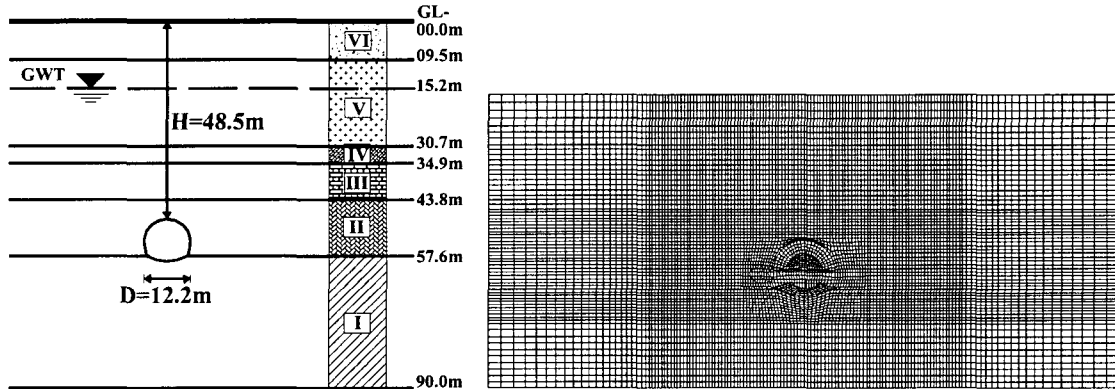
FEM-ANN-GIS 연계 기법의 적용성을 검토하기 위한 과정으로 ANN의 학습 DB를 구축하기 위해 대상 현장의 지반조건 및 터널단면 특성 등을 고려하여 95개의 대표단면을 선정하였다. 선정된 단면을 유한요소법에 근거한 상용프로그램 ABAQUS 6.4-1을 이용하여 터널거동 해석을 수행하였으며 해석 모델링과정은 다음과 같다.

터널시공과정은 하중 분배법을 토대로 2차원으로 모델링하였고 해석영역은 터널중심으로부터 폭 4D(D=터널직경)이상 높이 3D 이상으로 하였다. 또한 응력해석의 경계조건은 변위의 경우 수직 경계면은 X방향 구속, 바닥면은 X,Y방향 구속을 하였고 지하수영향평가를 위한 침투해석을 위해 간극수압에 대한 경계조건으로 수직면 수압은 정수압분포로, 터널 굴착면은 수압을 '0'으로 적용하였다. 지반 및 지보재의 이산화에 있어 응력해석의 경우 지반은 8절점 가감 적분 요소(CPE8R), 록볼트는 3절점 2차원 트러스요소(T2D3), 슛크리트는 3절점 보요소(B22)를 사용하여 해석에 적용하였고, 침투해석에서는 지반을 8절점 쌍일차 간극수압 가감 적분 요소 (CPE8RP)로 모델링 하였다.

이러한 해석을 통해 선정된 대표단면에 대한 평가항목으로 터널 거동 및 지반 거동, 지하수 영향 평가를 수행하였다. 표 3에서는 FEM 평가 항목에 대한 세부사항을 보이고 있으며 그림 5는 해석단면 중 한 구간에 대한 유한요소해석 모델링을 나타내고 있다.

표 3. FEM 평가 항목

평가 항목	세부 사항
터널 거동 평가	터널 천단변위, 터널 내공변위, 슛크리트 휨압축응력
지반 거동 평가	최대 지표 침하, 변곡점
지하수 영향 평가	지하수 유입량, 지하수 지하량



(a) 해석단면

(b) 유한요소해석 모델링

그림 5. 유한요소해석 모델링

3. ANN 엔진구축

3.1 ANN 학습 DB 구축

본 연구에서는 앞서 수행된 유한요소해석에서 얻은 결과를 토대로 ANN 시스템 구축을 위한 DB를 산정하였다. 앞 절에서 설명한 바와 같이 적용현장의 주변 조건 및 단면특성을 토대로 선정된 대표단면에 대해 응력 및 침투해석을 수행하고, 적용 단면 95개 구간에 대한 터널 거동 및 지반 거동, 지하수 영향에 대한 평가 결과를 학습 출력값으로 적용하였으며, 수행된 95단면에 대한 해석결과 DB는 ANN 시스템 구축을 위한 입력파라미터를 변수로 적용하여 학습데이터와 검증데이터를 분리하였다. 여기서 입력데이터란 터널해석에 있어 결과에 영향을 주는 요소를 의미하며 그림 6은 ANN 엔진구축을 위한 데이터 분리과정을 보이고 이고 표 4는 적용 입력데이터를 나타내고 있다.

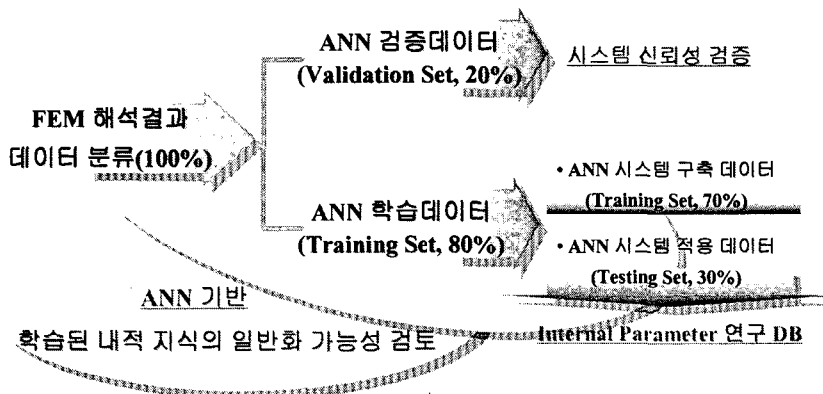


그림 6. ANN 엔진구축을 위한 데이터 분리기법

표 3. ANN 모델 Input Parameter

	Model input variable	Description
	H (m)	Cover Depth
	H_w (m)	Distance from groundwater table to tunnel to crown
	SP	Support pattern
	$GT_{0.5D}$	Ground Type at 0.5D upper part from crown
	GT_f	Ground Type at tunnel face
	GT_i	Ground Type at tunnel invert
	H_{L1} (m)	Layer 1 thickness of fill
	H_{L2} (m)	Layer 2 thickness of alluvium

그림 6의 과정으로 FEM 결과를 바탕으로 구축된 DB를 터널해석에 영향을 주는 요인인 입력변수를 바탕으로하여 정성·정량적 분포가 비슷한 Training set, Testing set, Validation set으로 분류하였다. 데이터분리는 총 해석 단면을 모집합으로 볼 때, 먼저 모집합의 특성을 대표하는 표본집합인 80%의 Training set과 20%의 Validation set으로 분할하고, Training set은 다시 70%의 Training set과 30%의 Testing set으로 구분한다. 데이터의 분류 시 무작위로 데이터를 분류할 경우 ANN 모델이 학습 데이터에 과적합(overfitting)되어 학습 시 사용되지 않은 데이터들에 대한 예측 신뢰도는 오히려 떨어질 수 있으므로 총 해석 데이터를 일반화 할 수 있는 Training set, Testing set, Validation set을 적절히 선정, 분류해야 한다. 이를 고려하여 ANN 구축시 총 학습 DB중 52단면을 학습 DB로 활용하였고, 23단면은 ANN 내적인자 연구를 위한 DB로, 나머지 20단면은 ANN 엔진의 신뢰성 검증을 위해 사용되는 DB로 활용하였다.

이러한 데이터 분리기법 결과를 바탕으로 ANN 모델을 구축하기 위해 본 연구에서는 Math Works Inc.에서 개발한 Matlab 6.1 (MATrix LABORatory) 프로그램을 사용하였다. 행렬과 벡터를 기본으로 작업을 수행하는 Matlab 6.1은 수치해석, 행렬연산, 신호처리 및 간편한 그래픽 기능 등을 통합하여 고성능의 수치계산 및 결과를 보기 쉽게 제공하고 M 파일을 써서 특정한 해를 구하는데 필요한 응용 프로그램을 쉽게 작성할 수 있는 프로그램이다. 또한 본 연구에서는 적용된 인공신경망은 모델을 구축하기 위한 훈련방법의 하나인 역전파 (Back Propagation Neural Network) 알고리즘을 적용하였으며 0~1 범위로 데이터를 변환하는 sigmoid 활성화함수를 기반으로 하였다. 이에 엔진 구축에 사용된 모든 입력 및 출력 데이터는 0~1 값으로 정규화하여 사용하였다.

3.2 ANN 최적화연구

3.2.1 내적인자연구 및 예측결과

ANN 모델 구축에 있어 최적의 연결강도를 찾기 위해 본 연구에서는 ANN 내적인자의 상호 관계를 검토하여 최적의 인자 선정을 위해 ANN 내적인자 연구를 수행하였으며 연구에 필요한 주요 인자로는 모멘텀과 학습률, 초기 가중치가 있다. 이러한 인자의 설정을 위한 연구 방법으로 초기치에 대하여 모멘텀상수와 학습률을 서로 다르게 조합하여 시행착오법을 통해 최적의 연결강도를 찾아낸다. 앞서 거론한 역전파 알고리즘을 적용하여 최적의 연결강도 산정을 위한 ANN 내적인자 연구과정은 다음과 같다.

모멘텀상수와 학습률 및 은닉층의 뉴런수를 변화 시키면서 반복 학습한 ANN 엔진에 23 단면의 Testing set 데이터로 예측을 수행하여 오차제곱평균(RMSE)값의 비교를 통해 최적의 연결강도를 찾기 위한 ANN 내적인자 연구를 수행하였고 그 결과는 그림 7과 같다.

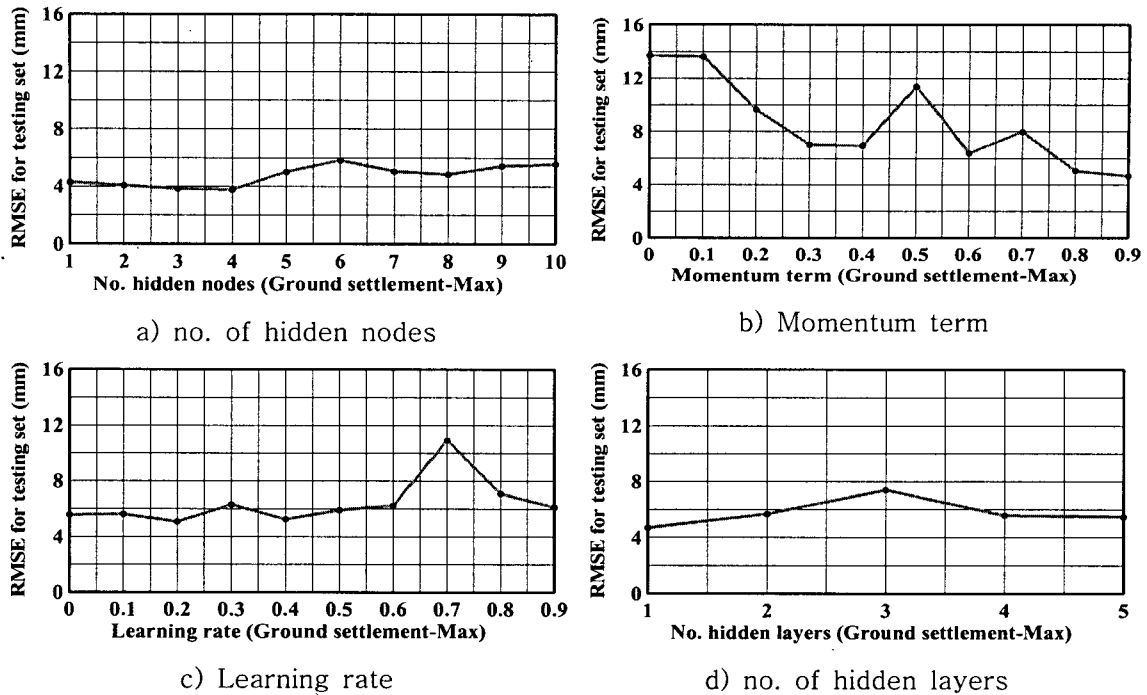


그림 7. ANN 내적인자 연구결과

그림 7에서와 같이 최적의 연결강도를 찾기위한 ANN 내적인자연구는 은닉층 뉴런 수가 4개, 모멘텀상수 0.8 그리고 학습률의 경우 0.2를 사용하는 것이 충분한 것으로 나타났다. 일반적으로 은닉층의 수는 적절한 가중치가 사용될 경우 하나의 은닉층으로도 가능하다고 보고(Hornik et al. 1989)되고 있지만 본 연구에서는 다층 출력구조의 ANN 모델 적용을 위해 학습효과를 고려하여 은닉층의 수를 4개를 사용하였다. 그림 8과 9는 학습된 ANN 모델에 대한 Testing set과 Validation set 단면에 대한 검증결과이다. 표 4는 회귀분석을 통한 결정계수 값과 RMSE, 오차절대값 평균인 MAE와 같이 세가지 방법을 사용하여 ANN 엔진의 신뢰성 확인 결과를 보여주고 있고 표 5는 평가모듈에 따른 신뢰검증에 사용된 데이터의 최대 및 최소 값을 나타내고 있다.

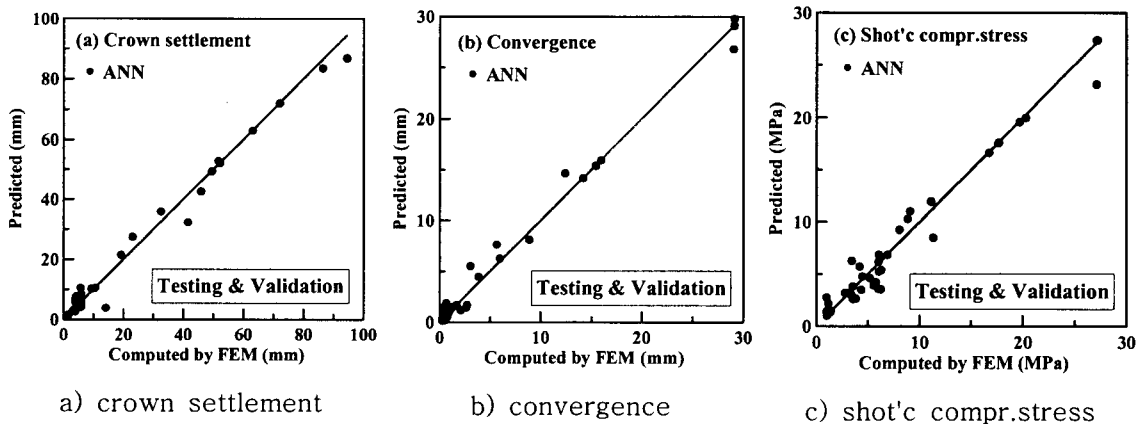
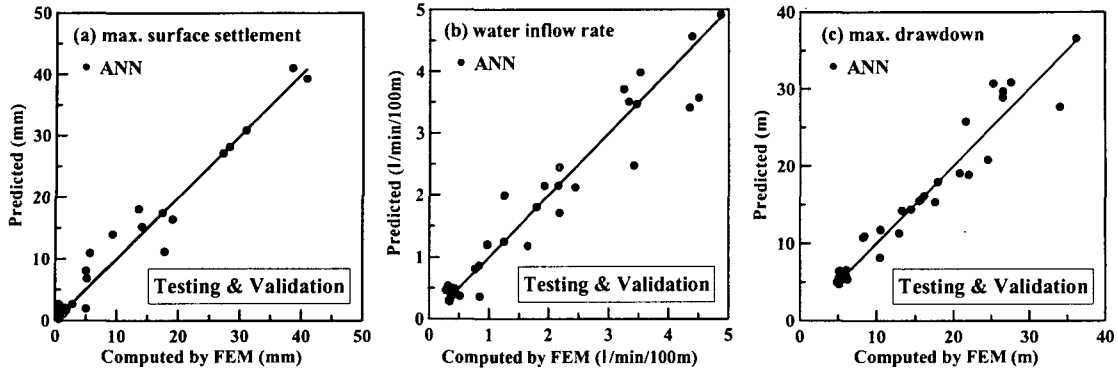


그림 8. 터널거동평가 검증 결과



a) max. surface settlement b) water inflow rate c) maximum drawdown

그림 9. 지반거동 및 지하수 영향평가 검증 결과

표 4. ANN 모델 학습 및 검증 결과

Category		Crown settlement	Convergence	Shot'c compr. stress	Max. surface settlement	Water inflow rate	Max. drawdown
R ²	Training	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
	Testing	0.99	0.97	0.96	0.96	0.90	0.87
	Validation	0.99	0.99	0.96	0.98	0.95	0.93
RMSE	Training	0.68(mm)	0.21(mm)	0.21(MPa)	0.15(mm)	0.04(l/min/100m)	0.28(m)
	Testing	2.54(mm)	0.84(mm)	1.23(MPa)	1.94(mm)	0.38(l/min/100m)	2.06(m)
	Validation	3.45(mm)	0.94(mm)	1.45(MPa)	2.06(mm)	0.46(l/min/100m)	3.27(m)
MAE	Training	0.58(mm)	0.31(mm)	0.37(MPa)	0.33(mm)	0.13(l/min/100m)	0.31(m)
	Testing	1.15(mm)	0.75(mm)	0.93(MPa)	0.99(mm)	0.52(l/min/100m)	1.54(m)
	Validation	1.47(mm)	0.76(mm)	0.99(MPa)	1.13(mm)	0.51(l/min/100m)	1.38(m)

표 5. 평가 데이터 적용범위

Data range	Crown settlement	Convergence	Shot'c compr. stress	Max. surface settlement	Water inflow rate	Max. drawdown
Maximum	115.52(mm)	29.11(mm)	27.37(MPa)	45.1(mm)	4.92 (l/min/100m)	36.59(m)
Minimum	1.06(mm)	0.13(mm)	0.86(MPa)	0.27(mm)	0.28 (l/min/100m)	4.73(m)

3.2.2 민감도 분석 (Sensitivity Analysis)

ANN 기능을 활용하여 터널거동 평가를 위한 영향인자 연구를 Garson(1991)이 제시한 평가 방법을 이용하여 수행하였다. 그 과정으로 인공신경망 학습 데이터를 구축하기 위해 출력값에 영향을 주는 입력 파라메타를 터널 공학적으로 관점에서 주요 요인으로 거론 지층 및 지보패턴을 기준으로 하여 주요요인의 세부항목을 시행착오를 거쳐 선정하였고 입

력변수와 출력변수간의 상호 연결 가중치를 이용한 방법을 통해 학습에 적용된 입력파라미터의 상대적 중요성을 판단하여 최적의 ANN 엔진을 구축하기 위하여 영향인자 평가를 수행하였다. 평가 단면으로 ANN 신뢰성 검증에 적용된 단면 중 신뢰도가 높은 단면을 추출하여 평가에 적용하였다. 이는 영향인자 검토시 정확한 결과 값을 얻기 위해 상대적 신뢰도가 낮은 예측결과의 Noise 작용을 배제하기 위해서이다. 표 6은 각 평가항목에 따른 영향인자 평가 결과를 보이고 있다.

표 6. 영향인자 평가 결과

Category	Relative Importance for Input Variables (%)							
	H	H _w	SP	GT _{0.5D}	GT ₁	GT ₂	H _{L1}	H _{L2}
δ_{CR}	13.97	-	15.43	19.60	18.96	11.56	7.25	13.23
δ_{CO}	12.30	-	13.60	18.93	20.29	10.83	8.29	15.76
σ_{max} & σ_{min}	17.14	-	10.36	19.05	24.37	9.39	4.61	15.08
$S_{v,max}$	14.45	-	6.91	22.82	22.88	7.83	8.34	16.77
q	-	14.16	12.21	17.43	28.27	6.00	8.91	13.02
H _D	-	18.71	10.24	9.37	14.96	9.89	13.99	22.84

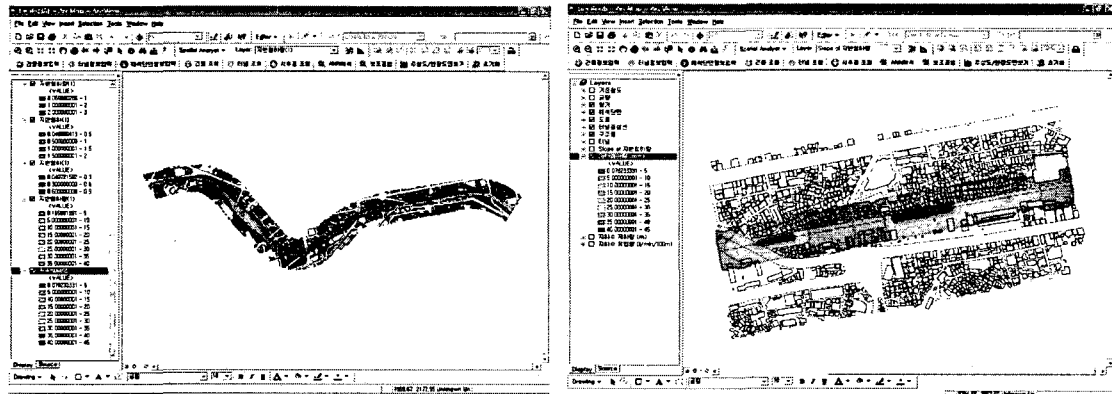
입력데이터와 출력데이터와의 상호 연결 가중치를 통해 산정되는 영향인자 평가 결과는 적용 입력파라미터 전체의 중요도를 100%로 하여 각각의 입력파라미터에 대한 상대적 중요도를 백분율을 이용하여 나타내고 100%에 가까울수록 상대적 중요도가 높은 인자이며 0%에 가까울수록 중요도가 낮은 인자이다. 표 6에서 볼 수 있듯이 응력해석을 바탕으로 한 터널굴착에 따른 터널거동에 있어 천단변위(δ_{CR}) 및 내공변위(δ_{CO})의 경우 터널 관통지층 및 터널천단 상부 0.5D지층의 영향이 큰 것으로 나타났다. 슛크리트 휨 압축응력(σ_{max} & σ_{min})의 경우도 천단변위 및 내공변위와 비슷한 결과를 보이고 있으나 관통부 지층의 중요도가 상대적으로 더 크게 나타났다. 그리고 지표 침하($S_{v,max}$)의 경우 터널 관통지층 및 터널천단 상부 0.5D지층과 더불어 층적층의 지층2의 중요도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 평가 결과의 타당성을 뒷받침 할 수 있는 이유로는 적용현장 터널의 경우 대부분 층적층의 지층 5와 풍화암질의 지층 4를 통과하고 있고 현장 토피고가 작게는 10m에서 크게는 50m임을 고려할 때 층적층의 두께가 두꺼울수록 터널의 관통지층이 층적층에 근접하다는 것을 들 수 있다. 터널거동에 대한 영향인자 평가를 토대로 현장 여건을 고려할 때 터널굴착시 최소 영향 범위를 0.5D로 가정할 경우 터널 관통지층 이외에도 관통지층보다 지반조건이 안 좋은 근접한 상부지층의 고려가 중요 검토사항임을 알 수 있다. 또한, 터널거동에 따른 지반거동 역시 지반 침하가 주된 평가 요인이므로 터널 하부지층보다 상부지층의 영향 큰 것을 알 수 있다. 침투해석을 바탕으로 한 지하수 영향인자평가에서는 터널내 유입량의 경우 터널 막장 관통지층의 종류가 가장 큰 영향을 주었으며 지하수위 저하량의 경우 터널상부 지층 1,2의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 평가 결과의 원인으로 지반에 따른 투수계수비의 차이를 들 수 있고 상부지반인 혼합층 일수록 투수계수가 큰 점을 고려할 때 상부 토사지층이 지하수 저하량에 중요 검토사항이 됨을 알 수 있다.

이러한 민감도 분석을 통한 영향인자 평가결과 주요 인자들은 이미 터널 공학적으로 각 평가시 주요 요인으로 거론되고 있어 그 결과의 타당성을 입증하였고 이러한 결과는 ANN

모델 구축을 위한 중요한 영향 요소인 입력데이터로 적용되지만 그 결과는 실제 터널 현장 에서 설계 및 시공시 중요 검토사항으로 적용될 수 있다는 점을 알 수 있었다.

4. IT-TMS 적용 및 평가 결과

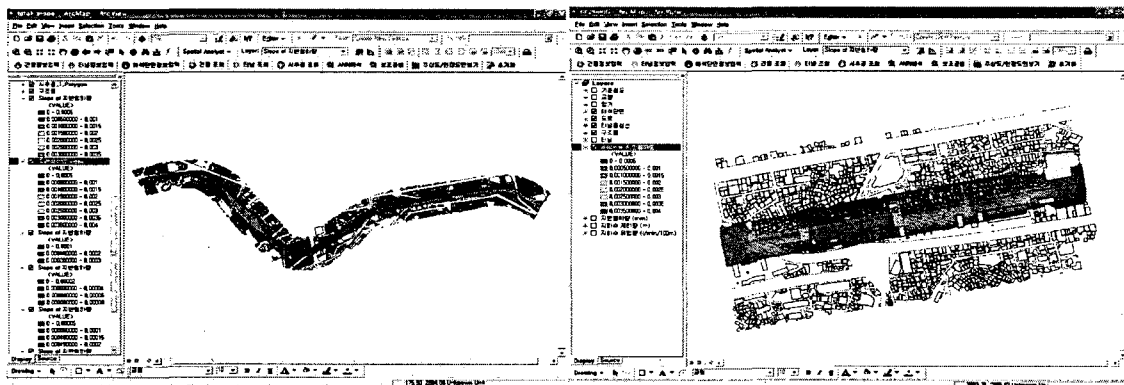
본 연구에서는 인공신경망 기법을 이용하여 고속철도 OO-O 터널현장의 안정성 평가를 수행한 결과 값을 성균관 대학교 지반연구실에서 개발한 도심지 터널 시공위험도 관리 시스템 IT-TMS에 적용하여 가시화 하였다. IT-TMS는 지형정보 시스템(GIS) 소프트웨어인 ArcGIS를 기반으로 하고 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN)을 연계시켜 시스템 상에서 조회 및 연산이 가능하도록 구성하였으며, 각종 데이터베이스 및 공학적 연산모듈이 저장되어 있어 사용자가 개인 컴퓨터를 통해 데이터베이스에 접근하고 공학적 연산을 수행하는 데스크탑 모형으로 구축되어 있다. IT-TMS에 적용하여 가시화함으로써 위험구조를 예측하고 대책을 마련하는데 효과적으로 이용할 수 있다. 그림 10,11,12는 IT-TMS에 적용된 터널 시공위험도 평가를 보이고 있다.



a) 전 연장의 지반침하 등고선

b) 위험구간 지반침하 등고선

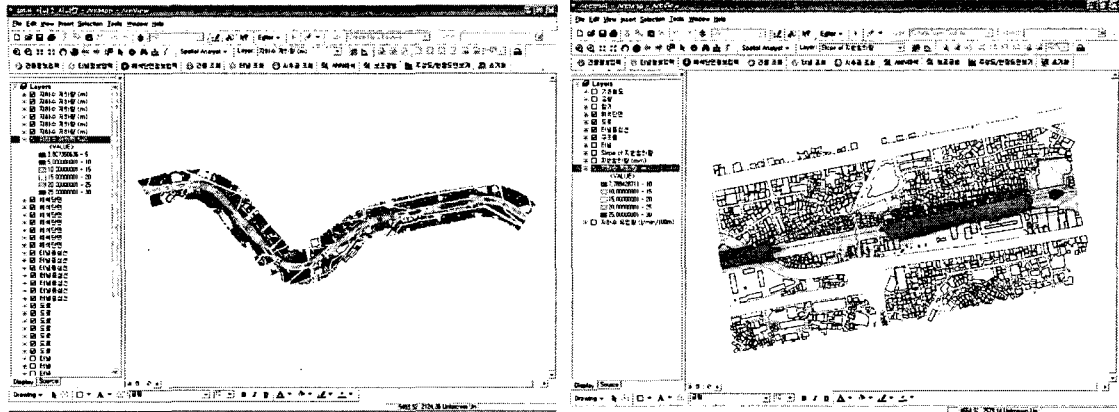
그림 10(a). IT-TMS에 적용된 지반거동평가 결과



c) 전 연장의 지반경사 등고선

d) 위험구간의 지반경사 등고선

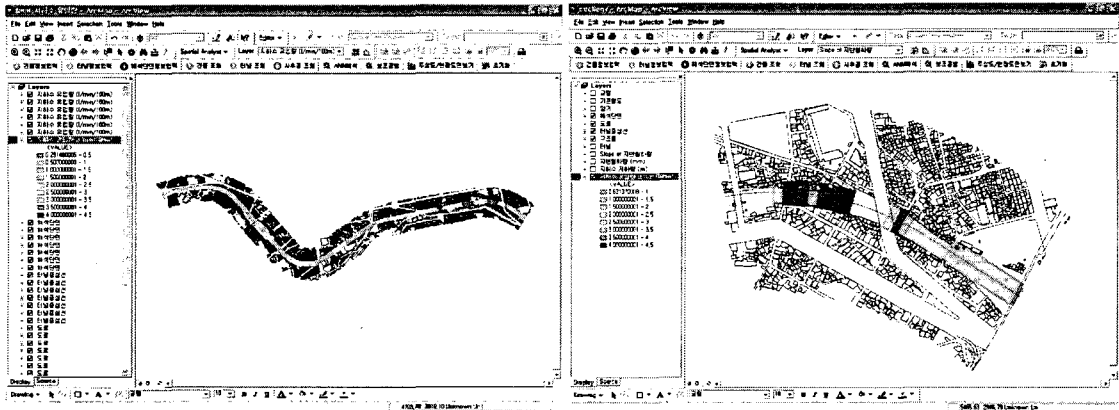
그림 10(b). IT-TMS에 적용된 지반거동평가 결과



a) 전 연장의 지하수 저하량 등고선

b) 위험구간의 지하수 저하량 등고선

그림 11(a). IT-TMS에 적용된 지하수영향평가



c) 전 연장의 지하수 유입량 등고선

d) 위험구간의 지하수 유입량 등고선

그림 11(b). IT-TMS에 적용된 지반거동평가 결과

5. 결론

본 연구에서는 보다 효율적인 터널안정성 평가를 위해 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN)기법 및 지리정보시스템 GIS(Geographic Information System)등과 같은 정보기술(Information Technology, IT)을 접목하여 터널설계분야서의 정보기술 적용성을 확인하고자 실제 터널현장을 대상으로 FEM(Finite Element Analysis)-ANN 연계 기반의 터널거동 예측 기술을 적용하여 터널거동 평가 연구를 수행하였고, 이를 성균관대학교 지반연구실에서 개발한 터널위험도 평가시스템 IT-TMS(IT-based Tunnel Design/Construction Management System)에 접목하여 가시화하였다. 그 결과 FEM-ANN-GIS 연계 기법의 효율성을 검증하였고 이를 통해 터널설계 분야에서의 정보기술 활용의 적용성을 확인하였다.

참고문헌

1. 유충식, 전영우, 김재훈, 박영진, 유정훈(2003), "GIS 기반의 터널 시공에 따른 주변건물/매설관 손상평가시스템-개발 및 적용" 2003 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp.233~240

2. 유충식, 김주미,(2004), “인공신경망 기법을 이용한 터널 설계/시공 위험도 평가 연구”, 2004 대한토목학회 학회지
3. 김홍택, 박성원, 권영호, 김진홍(2000), “인공신경망을 이용한 굴착 단계별 흙막이 벽체의 최대변위 예측 시스템 개발”, 2000 한국지반공학회논문집, pp.83~97
4. 배규진, 김창용, 신휴성, 홍성완(1997), “인공 지능을 이용한 터널 인접 구조물의 안전진단 시스템 개발”, 1997대한토목학회 논문집, pp.141~149
5. Kim, C.Y., Bae, G.J., Hong, S.W., Park, C.H., Moon, H.K., and Shin, H.S.(2001), "Neural network based prediction of ground surface settlement due to tunnelling." *Computers and Geotechnics*, 28(6-7), 517~547
6. Hagan, M.T and Demuth, H.B,(1996), "Neural Network Design", *PWS Publishing Co*, Boston
7. Garson, G.D. (1991). "Interpreting neural-network connection weights." *AI Expert*, 6(7), 47-51
8. Goh, A. T. C (1994). "Neural-network modeling of CPT seismic liquefaction data." *J. of Geotech. Eng.*, 122(1), 70-73
9. Jingsheng Shi, J.A.R. Ortigao and Junli Bai., 1998. Modular Neural Networks for Predicting Settlements during Tunneling, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 389-391.