

# 수치해석 및 인공신경망 기법을 이용한 도심지 터널 굴착에 의한 침하영향 및 연도변 건물 안정성 평가

## A Study on the Influence of Ground Subsidence and Stability of Buildings by Tunnel Excavation in Urban Area using Numerical Analysis and Neural Network Method

박성룡\*  
Park, Sung-Ryong

김은겸\*\*  
Kim, Eun-Kyum

사공명\*\*\*  
Sa, Gong-Myung

---

### ABSTRACT

This paper presents the methods which estimate the influence of ground subsidence and the stability of buildings by tunnel excavation in urban area. First, we study the behaviour of ground subsidence using neural network and numerical method. And we analyze the characteristic of both methods. Using the both methods, we evaluate the stability of buildings by subway tunnel excavation and we compare the results of the neural network and numerical analysis.

---

### 1. 서론

최근 들어 도심지 사회기간시설 확장의 필요성으로 인해 철도, 지하철 등을 터널로 건설하는 경향이 점차 증가하는 추세에 있다. 도심지 터널은 비교적 천층에 건설되는 경우가 많기 때문에 지반변위가 터널설계를 지배하는 주요 인자로 대두되고 있다. 특히, 도심지 터널 건설에 필수적인 요건중의 하나가 지중 및 지상에 존재하는 각종 인접구조물에 대한 안전성을 확보하는 것이다. 그러나 터널설계, 시공단계에서 예측하지 못한 지반조건 등의 문제로 터널굴착에 따른 인접구조물들의 피해사례가 종종 발생하는 실정이다[1]. 이러한 도심지 천층에 건설되는 터널설계에서 고려되어야 할 필수조건은 첫째, 터널공법이 지반 및 지하수 특성을 충분히 고려한 공법이 되어야 하며, 둘째, 인접구조물들에 과도한 손상을 주지 말아야 하며, 셋째, 완공 후에도 외부적인 영향에 의한 터널 안정성을 확보하도록 하여야 한다[2].

본 논문은 상기 세 가지 주요 문제를 해결하기 위해 도심지구간에 건설되는 지하철 또는 철도를 대상으로 터널굴착에 의한 지상구조물의 침하영향을 평가하는 방법을 연구하고, 연구된 방법을 바탕으로 도심지터널 설계사례에 응용하기 위하여 시도되었다. 우선 터널굴착에 의한 지표침하 거동 분석방법을 인공신경망 기법과 수치해석적 기법을 중심으로 고찰하고 이의 장단점을 평가하였다. 또한 지하철 터널구간을 대상으로 또한 2차원 및 3차원 터널해석 프로그램 및 인공신경망 기법을 이용하여 터널굴착에 따른 지상구조물의 안정성을 검토하였다. 이상의 인공신경망 및 수치해석 결과로부터 도심지 터널굴착에 의한 지상구조물에 대한 안정성 평가를 수행하고 각각의 결과를 비교하였다.

이러한 결과는 종래의 터널굴착에 의한 지상구조물의 침하영향평가를 위해 사용된 수치해석적 방법에 최근 사용되고 있는 인공신경망 기법을 접목함으로써 두가지 해석결과의 상호 보완 및 합리적인 결과를 도출하는데 그 의의가 있다. 향후 도심지터널에 의한 침하거동 분석시 상기 두가지 해석법을 적용할 경우 좀더 합리적인 분석결과가 도출될 것이라 사료된다.

---

\* 현대건설(주), 토목사업본부, 정희원  
E-mail : [srpark@hdec.co.kr](mailto:srpark@hdec.co.kr)  
Tel : (02)746-2562 FAX : (02)746-3118  
\*\* 서울산업대학교  
\*\*\* 한국철도기술연구원

## 2. 터널 굴착에 의한 지표침하 거동 분석방법 고찰

일반적으로 심도가 얇은 터널의 경우, 굴착에 따른 지반내부 지지력의 상실이 토립자 간에 발생하는 전단변형, 배수, 소성 영역의 확대 등을 야기하며, 이러한 영향이 지표면까지 전달되어 지표침하가 발생하게 된다. 일반적으로 굴착 현장에 인접한 구조물의 손상과 관련된 지반거동 예측에 대해서는 경험적 접근, 이론적 해석, 수치해석, 현장계측 등의 방법으로 많은 연구가 수행되어 왔다. 본 연구에서는 지표침하로 인한 구조물의 손상을 평가하기 위해서 최근 사용되고 있는 인공지능망 기법 및 수치해석에 의한 방법론을 고찰하고 각각의 장단점을 평가하고자 한다.

인공지능망이란 인간의 신경조직을 모델로 하여 해석을 통해 얻고자 하는 목표값(target)과 그에 영향을 주는 요소(input)를 연결하는 가중치(weight) 조절을 통한 학습방법으로 학습된 내적 지식을 일반화시켜 실제 해석을 수행하지 않고 사용자가 원하는 새로운 상황에 대해 예측을 가능하게 하는 인공지능 기법이다. 인공지능망의 특성은 다음과 같다. 첫째, 수치해석은 미리 정해진 순서에 따른 프로그램에 의해 작동되지만 인공지능망은 입력값과 출력값만 주어지면 여러 개의 처리기들로 이루어진 네트워크가 평형상태에 도달할 때까지 자체적으로 학습이 진행된다. 둘째, 인공지능망은 병렬 분산 처리된다. 수치해석에서는 대부분 하나의 처리기에 의해서 순차적 처리(sequential processing)가 이루어지는 반면 인공지능망은 다수의 처리기들에 의해 동시에 병렬처리(parallel processing)가 이루어진다. 이러한 고도의 병렬 분산성을 통해 단시간 내에 오차 보정 능력이 높은 정보처리가 가능하다.

본 연구에 사용한 인공지능망의 기본구조는 그림 1과 같으며 입력노드와 출력층 사이에 하나의 은닉층이 존재하는 구조이다. 처리요소의 계층은 수신한 데이터에 대해 독립된 계산을 수행하여 그 결과를 다른 계층으로 전송하고 다음 계층은 다시 독립된 계산을 하고 이를 다른 계층으로 전송하여 마지막으로 출력을 결정한다. 각 처리요소는 그 입력의 가중치합에 근거하여 계산을 하게 된다.

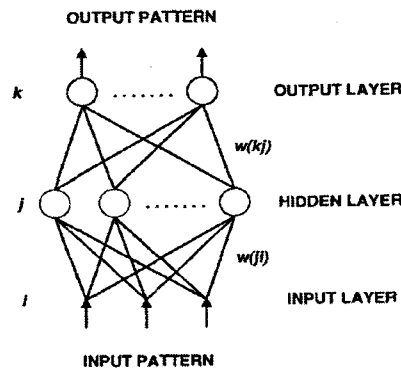


그림 1. 인공지능망 구조

이상의 인공지능망기법으로부터 지반의 침하 및 구조물의 손상영향을 예측할 수 있게 하기 위해서는 여러 도심지 터널현장의 지반조건, 터널 단면 및 지보패턴, 계측자료를 입력자료 및 출력자료로 분류하여 터널굴착시 최대 침하량 및 변곡점을 예측할 수 있는 학습을 수행하고 이를 데이터베이스화하는 작업이 필요하다. 그림 2는 인공지능망 기법을 활용한 터널굴착에 의한 건물손상평가 수행 흐름도를 나타낸다[1].

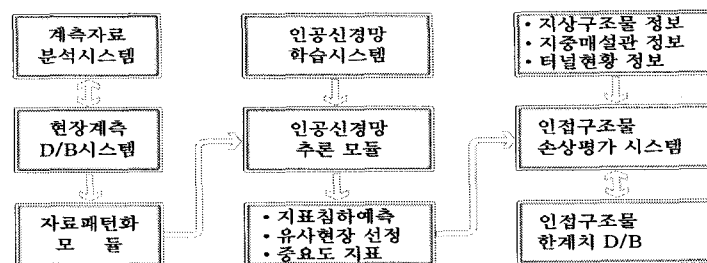


그림 2. 인공지능망을 이용한 건물손상평가 수행 흐름도

### 3. 터널굴착에 의한 침하 및 연도변 건물 안정성 검토

#### 3.1 적용구간 개요

과업구간은 부산지하철 00호선 00공구 구간으로 총연장은 1.76km이며, 정거장 2개소 및 복선티널로 이루어져 있다(그림 3). 노선은 도로를 따라서 이루어져 있으며, 노선 주변에 주로 저층 건물들이 밀집하여 있다. 주요 지장물로는 터널노선을 따라 Sta. 4K+410~과업종점까지 약 720m에 걸쳐서 본선 터널 하부에 한전공동구가 위치하고 있다. 공동구의 심도는 약 GL(-)35m 내외이며 본선터널과의 이격거리는 7.55m~14.9m 이격되어 있다. 표 1은 과업구간 현황을 나타낸다[3].

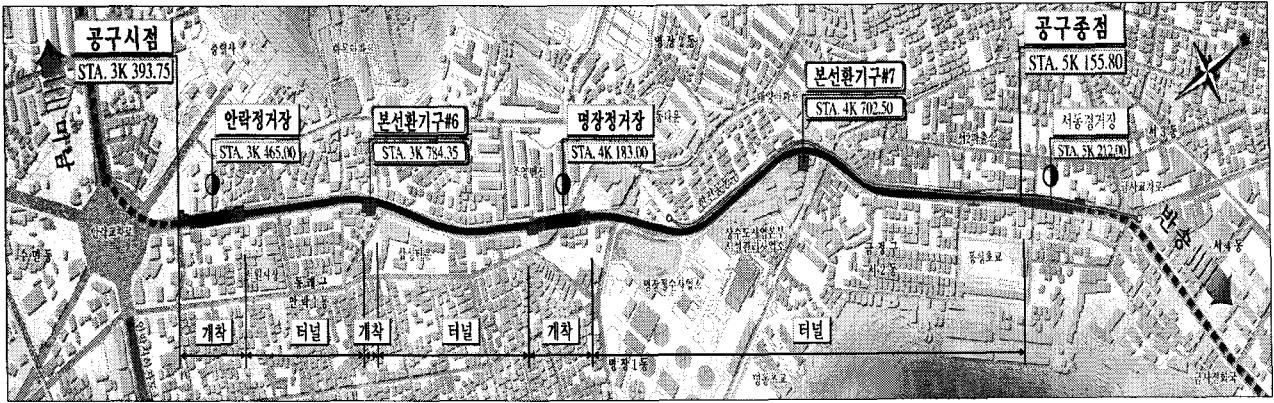


그림 3. 과업구간 개요

표 1. 적용구간 현황

구분	총연장(m)	본선(m)	정거장	집수정	본선환기구	변전실	주요지장물
시설 규모	1,760.9	1,467.55	2개소 (264.95m)	2개소	6개소	1개소	한전공동구(마제형) (6.1(W)x5.0(H))

과업구간의 기반암은 시추조사 결과 주로 안산암질암류(안산암 및 조면안산암)로 구성되며 노선 북측 및 외곽부는 여러 종류의 화산력 응회암이 발견되었다. 선구조분석 및 현장조사 결과 과업구간내에 총 2조의 전단계열 단층이 교차하는 것으로 조사되었으며, 이중 1조는 노선과 평행하게 발달되어 있는 것으로 추정되었으며, 시추조사 결과 과업구간 전반에 걸쳐 파쇄대가 관찰되었다.

#### 3.2 지반특성 및 터널지보패턴

과업구간의 지반특성은 그림 4와 같이 터널 I구간의 경우 매립층, 붕적층, 풍화대, 기반암의 순으로 분포하며, 터널구간의 심도를 고려해 볼 때 비교적 양호한 암반층을 통과하는 것으로 판단되었다. 터널 II구간의 지층은 시점부의 경우 양호한 암반층이나 중앙부 이후는 풍화대 및 파쇄대가 발달하고 있다. 터널 III구간의 경우 시점부 및 중앙부 일부에서 양호한 암반층이 나오나 중앙부 이후에 풍화대 및 단층에 의한 파쇄대가 발달하고 있다(그림 4). 전반적으로 지형적인 영향에 의해 기반암 심도가 GL(-)6.1~27.2m로 다소 불규칙하며, 터널 심도(터널 상부기준 GL(-)13.9~19.0m)를 고려해 볼 때 비교적 불량한 지층을 통과하고 있다.

조사기간중 계속된 지하수위는 GL(-)2.5~34.0m로 지역에 따라서 변화가 심한 것으로 관찰되었으며, 3개월간의 장기지하수위 측정결과 수위변화는 -3.2m~0.7m로 수위변화폭은 크지 않은 것으로 관찰되었다. 투수시험결과 투수계수는  $4 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-5}$  cm/sec의 분포를 보이는 것으로 나타났다. 이는 그림 2와 같이 노선과 평행하게 분포하는 단층대에 의한 영향으로 노선 전반에 걸쳐서 기반암층의 파쇄가 심하여 지층간 투수계수 차가 크지 않는 경향을 보이는 것으로 판단되었다.

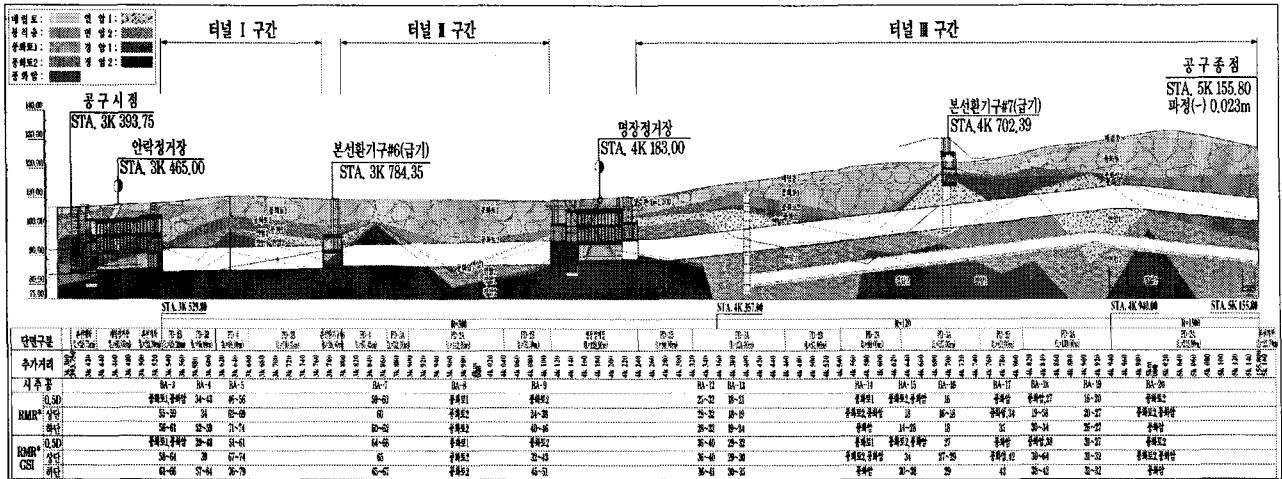


그림 4. 과업구간 지반조사 결과

터널의 단면은 과업구간의 경전철 노선 특성상 기존의 지하철 단면보다는 작게 설계되었다. 터널의 내공단면적은 45.81m<sup>2</sup>, 굴착단면적은 61.31m<sup>2</sup>(PD-3 기준)이며 그림 5는 설계에 적용된 터널단면을 나타내며, 표 2는 과업구간에 적용한 터널지보패턴을 나타낸다.

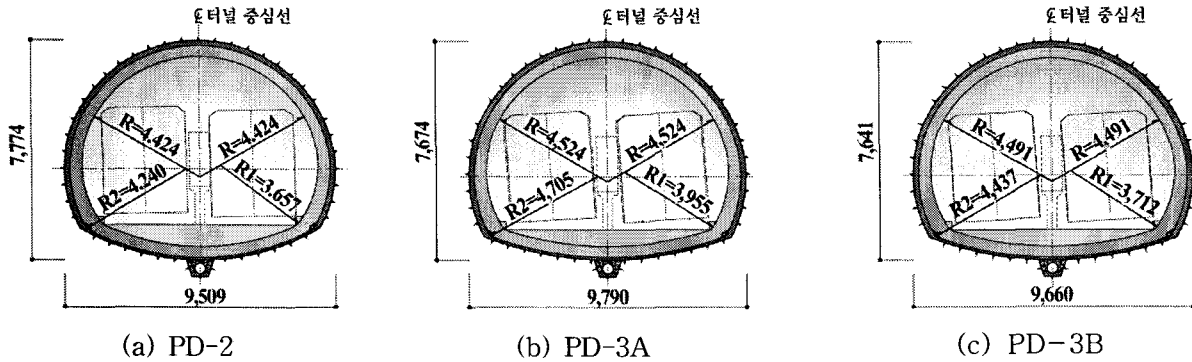


그림 5. 지보패턴별 터널단면

표 2. 터널 표준지보패턴

지보패턴		PD-2A	PD-2B	PD-3A	PD-3B	PD-4	
굴착방법		상하반 링컷굴착	상하반 링컷굴착	상하 반단면굴착	상하 반단면굴착	상하반단면굴착	
굴진장		0.8m	0.8m	1.0m	1.0m	1.2m	
자 보 재	썬크리트	형식	강섬유 보강	강섬유 보강	강섬유 보강	강섬유 보강	
		두께	200mm	200mm	200mm	160mm	120mm
	목 발 트	길이	4m	4m	4m	4m	4m
		중간격	0.8m	0.8m	1.0m	1.0m	1.2m
		횡간격	1.0m	1.0m	1.2m	1.2m	1.5m
	설치 위치	하반측벽부		측벽부	측벽부	진단면	상반 180도
강 지 보	제원	LG 95x22x32	LG 70x20x30	LG 70x20x30	LG 70x20x30	LG 50x20x30	
	중간격	0.8m	0.8m	1.0m	1.0m	1.2m	
콘크리트라이닝		40cm(철근)	40cm(철근)	40cm(철근)	40cm(철근)	40cm(철근)	
보조공법		강관우레탄그라우팅 (L=12m, $\theta=180^\circ$ )	강관우레탄그라우팅 (L=12m, $\theta=120^\circ$ )	강관우레탄 그라우팅 (L=12m, $\theta=120^\circ$ )	포폴링(필요시, L=4m)	-	

### 3.3 검토구간 선정

터널굴착에 따른 침하영향 및 이에 따른 연도변 건물의 안정성을 평가하기 위해 지반조건 및 노선주변의 연도변 건물의 외관손상 상태를 파악하여 공사중 피해 또는 위험이 예상되는 건물을 선정하였다. 건물조사를 통한 건물등급 및 건물규모, 지반조건, 터널과의 이격거리 등을 종합하여 총 19개의 검토구간을 선정하였다. 그림 6 및 표 3은 선정된 검토구간 현황을 나타낸다.

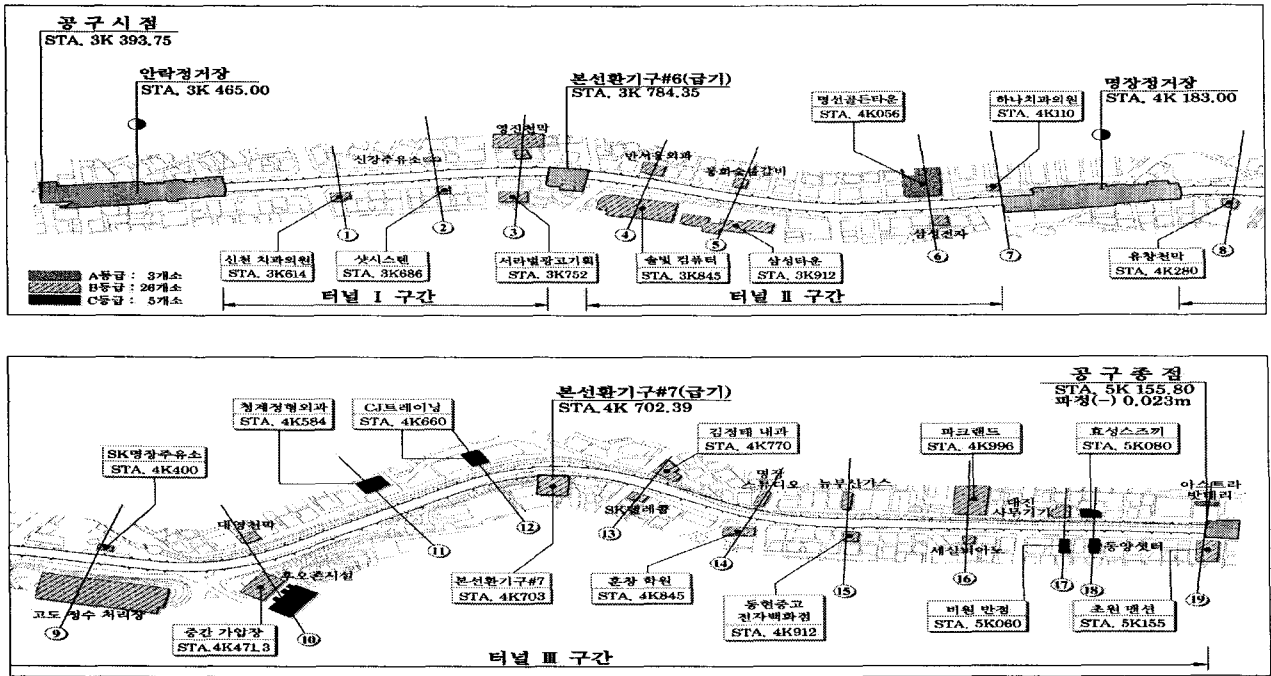


그림 6. 주요 검토구간 선정(총 19개 축선).

표 3. 주요 검토구간 현황

축선 번호	인접건물명	건물 규모	건물 등급	터널 이격거리	지보 패턴	축선 번호	인접건물명	건물 규모	건물 등급	터널 이격거리	지보 패턴
①	신천치과의원	F4/B1	B	15.00m	PD-4	⑪	청계정형외과	F7/B2	A	41.79m	PD-2A
②	현대신강주유소 샷시스템	F2/탱크 F2	B	17.19m 14.51m	PD-3B	⑫	CJ트레이닝	F1	C	18.60m	PD-3B
③	영진천막 서라벌광고기획	F2 F3/B1	B	13.87m 14.79m	PD-3B	⑬	김정태내과 SK텔레콤	F6/B1 F3	B	12.44m 12.30m	PD-2B
④	반서옹외과 솔빛컴퓨터	F4/B1 F5/B1	B	10.31m 20.17m	PD-4	⑭	명장스튜디오 혼창학원	F3 F7/B1	B	9.52m 18.61m	PD-3A
⑤	동화숯불갈비 삼성타운	F2 F25/B2	B	13.70m 27.48m	PD-2A	⑮	뉴부산가스 동원중고백화점	F2 F2	B	16.35m 12.30m	PD-3A
⑥	명선골든타운 삼성전자	F15/B3 F4/B1	A	12.86m 13.10m	PD-2B	⑯	파크랜드 세실피아노	F3/B1 F2	B	15.02m 13.16m	PD-2A
⑦	하나치과의원	F3	B	11.55m	PD-2B	⑰	비원반점 대진사부기기	F2 F1	C	10.50m 14.75m	PD-2A
⑧	유창천막	F2/B1	B	8.81m	PD-3B	⑱	효성스즈끼 동양셋터	F2 F2	C	10.30m 14.36m	PD-2A
⑨	고도정수처리장 SK명장주유소	F3 F2	B	28.15m 22.49m	PD-3A	⑲	아트라스бат데리 초원맨션	F1 F3/B1	A	12.21m 13.41m	PD-2A
⑩	대영천막 중간가압장 후오존시설	F5/B1 F2/B1 F3/B1	B B C	19.02m 15.69m 42.57m	PD-2B	A 등급 : 양호한 상태 B 등급 : 일부 균열발생 C 등급 : 정밀안전진단 및 공사중 주기적인 점검 요망					

#### 4. 터널굴착에 의한 침하 및 연도변 건물 안정성 검토결과

##### 4.1 수치해석에 의한 안정성 검토

선정된 총 19개 구간을 대상으로 터널굴착에 의한 침하영향 평가를 위해 수치해석에 의한 2차원 및 3차원 해석을 수행하였다. 해석방법은 지하수위에 의한 간극수압을 고려한 경우(유효응력해석)와 고려하지 않은 결과(전응력해석)를 수행하여 각각의 결과를 비교 검토하였다. 사용한 프로그램은 PENTAGON-2D, PENTAGON-3D를 사용하였다. 해석에 사용한 물성은 지반조사결과를 토대로 표 4와 같이 결정하였다. 해석에 사용한 경계조건은 no-flow 경계조건과 지하수위 측정결과를 토대로 수두경계조건을 사용하였다. 그림 7, 그림 8은 해석결과의 예를 나타낸다.

표 4. 해석에 사용한 물성치

구 분			단위중량 (tonf/m <sup>3</sup> )	점착력 (tonf/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 (°)	변형계수 (tonf/m <sup>2</sup> )	포이송비
매립토			1.7	-	30	1,000	0.35
풍 화 토	I	N < 50	1.8	1.0	30	1,700	0.35
	II	N ≥ 50	2.0	3.0	35	5,000	0.33
풍 화 암			2.2	5.0	35	10,000	0.30
연 암	I	19 ≤ GSI < 35	2.4	10	35	70,000	0.26
	II	35 ≤ GSI < 52	2.4	20	37	140,000	0.25
경 암	I	52 ≤ GSI < 65	2.5	30	40	300,000	0.24
	II	65 ≤ GSI < 80	2.6	50	44	500,000	0.22

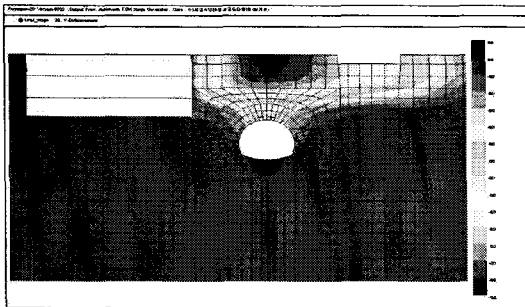


그림 7. 2차원 해석결과 예(측선 ⑥)

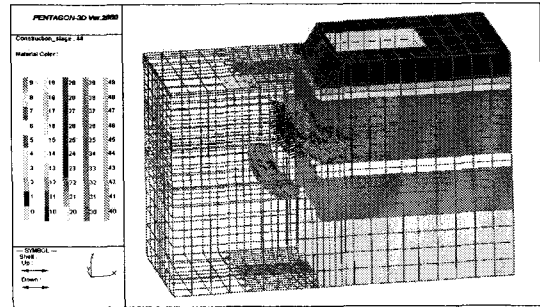


그림 8. 3차원 해석결과 예(측선 ⑫)

총 19개 구간에 대한 해석결과에 대한 침하량 분포는 그림 9와 같다. 그림 9에서 알 수 있듯이 침하량은 전응력해석에 비해 간극수압을 고려한 유효응력해석이 지하수위 조건에 따라서 크게 발생하는 경향을 보임을 알 수 있다. 최대 침하량은 측선 ⑩(초원맨션)에서 22.9mm가 발생하였으며, 최대 각변위 1/1,650가 발생하였다.

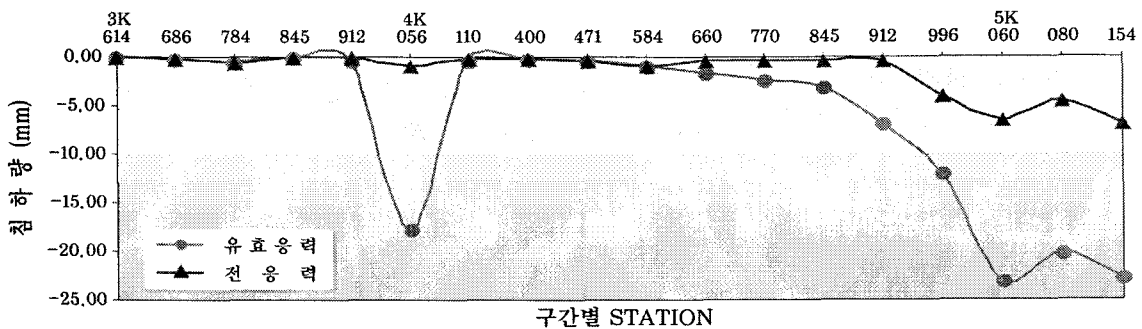


그림 9. 구간별 최대 침하량 분포

각 구간별 해석결과로부터 그림 10과 같이 Boscardin과 Cording이 제안한 각변위와 수평변형율의 관계로부터 건물의 손상정도를 파악하였다[4]. 그림 10에서 각 화살표는 수집된 자료들 중에서 건물자체의

하중에 의한 침하, 개착 및 터널굴착에 의한 침하, 광산굴착에 의한 침하 등 침하의 원인별로 구분을 한 것이다. 각 건물별 손상정도를 파악한 결과는 그림 11과 같다. 그림 11에서 알 수 있듯이 터널굴착에 의한 손상정도는 없거나 일부 건물에서 극히 미미한 손상이 있는 것으로 나타났다.

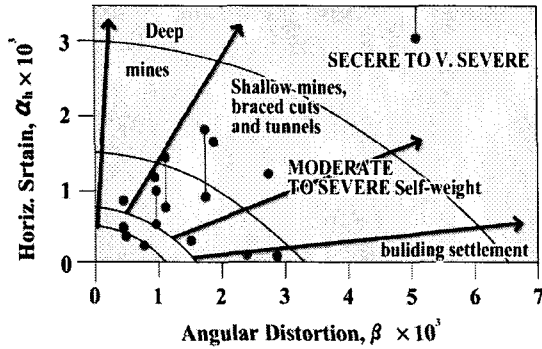


그림 10. 각변위-수평변형을 관계에 의한 손상평가도표.

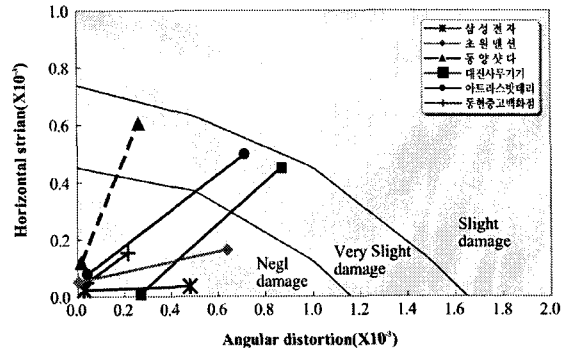


그림 11. 건물별 손상도 분석결과

#### 4.2 인공신경망을 이용한 안정성 검토

터널굴착에 따른 지반침하에 의한 건물의 손상평가를 위해서 터널이 완전히 굴착된 상태의 2차원적 개략평가를 수행하여 잠재적인 손상가능성이 있는 주요 건물군 및 축선을 선정하였다. 또한 선정된 주요 건물군을 대상으로 터널 굴착 단계별로 건물에 가해지는 손상가능성을 평가하였고, 건물에 존재하는 세부 벽체별로 손상가능성을 평가하였다.

표 5는 2차원 개략평가 결과이다. 각 축선별로 터널심도, 토사지반구성, 암피복두께, 지하수위 및 지보 패턴 등의 데이터를 통한 인공신경망 추론결과 최대 침하량은 23mm(축선 ⑥)가 발생하였고 각변위-수평변형을 관계에 의한 건물손상 평가결과 구조물의 손상한계 이내로 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

표 5. 2차원 개략평가 결과

축선 No.	터널심도 (m)	토사지반 (m)	풍화암 (m)	연암 (m)	경암 (m)	지하수위 (GL(-m))	지 보 패턴	건물 최대침하량 (mm)	지반 손실율 (%)	건물 손상 평가
①	16.71	8.79	2.45	0.87	4.6	24.70	PD-4	3.42	0.383	무손상
②	16.93	10.35	1.88	4.7	-	21.91	PD-3B	3.38	0.404	무손상
③	15.77	12.67	0.89	2.21	-	17.14	PD-3B	4.52	0.514	무손상
④	15.14	7.74	-	1.48	5.92	14.37	PD-4	2.80	0.306	무손상
⑤	14.93	14.93	-	-	-	11.74	PD-2A	7.58	0.732	무손상
⑥	14.02	14.02	-	-	-	4.41	PD-2B	23.3	1.348	무손상
⑦	13.91	11.71	-	2.20	-	3.20	PD-2B	7.10	0.885	무손상
⑧	14.99	7.05	-	7.94	-	9.96	PD-3B	3.10	0.280	무손상
⑨	16.37	11.95	0.41	4.01	-	22.27	PD-3A	1.35	0.212	무손상
⑩	15.02	10.75	3.26	1.01	-	23.28	PD-2B	2.58	0.327	무손상
⑪	17.30	17.30	-	-	-	20.77	PD-2A	1.64	0.834	무손상
⑫	16.02	8.39	2.06	5.57	-	20.39	PD-3B	2.65	0.357	무손상
⑬	14.46	7.07	7.39	-	-	4.72	PD-2B	3.90	0.488	무손상
⑭	15.71	9.69	3.79	2.23	-	6.23	PD-3A	12.17	0.926	무손상
⑮	15.89	10.95	-	4.94	-	7.27	PD-3A	22.00	1.780	무손상
⑯	17.94	17.94	-	-	-	11.47	PD-2A	9.59	0.890	무손상
⑰	18.65	18.65	-	-	-	11.40	PD-2A	9.04	0.921	무손상
⑱	18.49	18.49	-	-	-	10.89	PD-2A	11.99	0.937	무손상
⑲	17.23	17.23	-	-	-	20.14	PD-2A	9.09	0.783	무손상

2차원 분석결과를 바탕으로 손상가능성이 있는 총 10가지 축선군(⑤~⑦, ⑪~⑱)에 대하여 각 축선을 중심으로 굴착 전후 150 m 구간을 각 굴착단계별로 굴착했을 때, 대상 축선에 대한 침하트라프

Contour 및 건물 손상가능성을 검토하였다. 검토내용은 건물에 존재하는 각 벽체별 손상평가인자를 예측하고, 각면위-수평변형을 평가도표를 이용하여 굴착단계별 손상등급을 평가하였다.

표 6은 3차원 세부평가결과를 나타낸다. 표 6에서 알 수 있듯이 축선 ⑥의 삼성전자 건물의 경우 터널굴착에 의해 경미한 손상(Slightly Damage)이 발생할 것으로 예측되었고 축선 ⑦, ⑮의 경우 매우 경미한 손상(Very Slightly Damage)이, 나머지 축선의 경우 손상가능성이 없는 것으로 평가되었다. 그림 12 및 13은 손상이 예상되는 축선⑥의 3차원 세부손상평가 결과를 나타낸다.

표 6. 3차원 세부 손상평가 결과

축선 No.	터널심도 (m)	토사지반 (m)	풍화암 (m)	연암 (m)	경암 (m)	지하수위 (GL(-)m)	검토대상 건물	건물손상 평가	비고
⑤	14.93	14.93	-	-	-	11.74	삼성타운	N. D.	N. D.: Negligible Damage S. D.: Slightly Damage V. S. D.: Very Slightly Damage
⑥	14.02	14.02	-	-	-	4.41	삼성전자 명선골든타운	S. D.	
⑦	13.91	11.71	-	2.20	-	3.20	하나치과	V. S. D.	
⑪	17.30	17.30	-	-	-	20.77	청계정형외과	N. D.	
⑭	15.71	9.69	3.79	2.23	-	6.23	명자스튜디오	N. D.	
⑮	15.89	10.95	-	4.94	-	7.27	뉴부산가스	V. S. D.	
⑯	17.94	17.94	-	-	-	11.47	파크랜드	N. D.	
⑰	18.65	18.65	-	-	-	11.40	대진사무기기	N. D.	
⑱	18.49	18.49	-	-	-	10.89	효성스즈끼	N. D.	
⑲	17.23	17.23	-	-	-	20.14	초원맨션	N. D.	

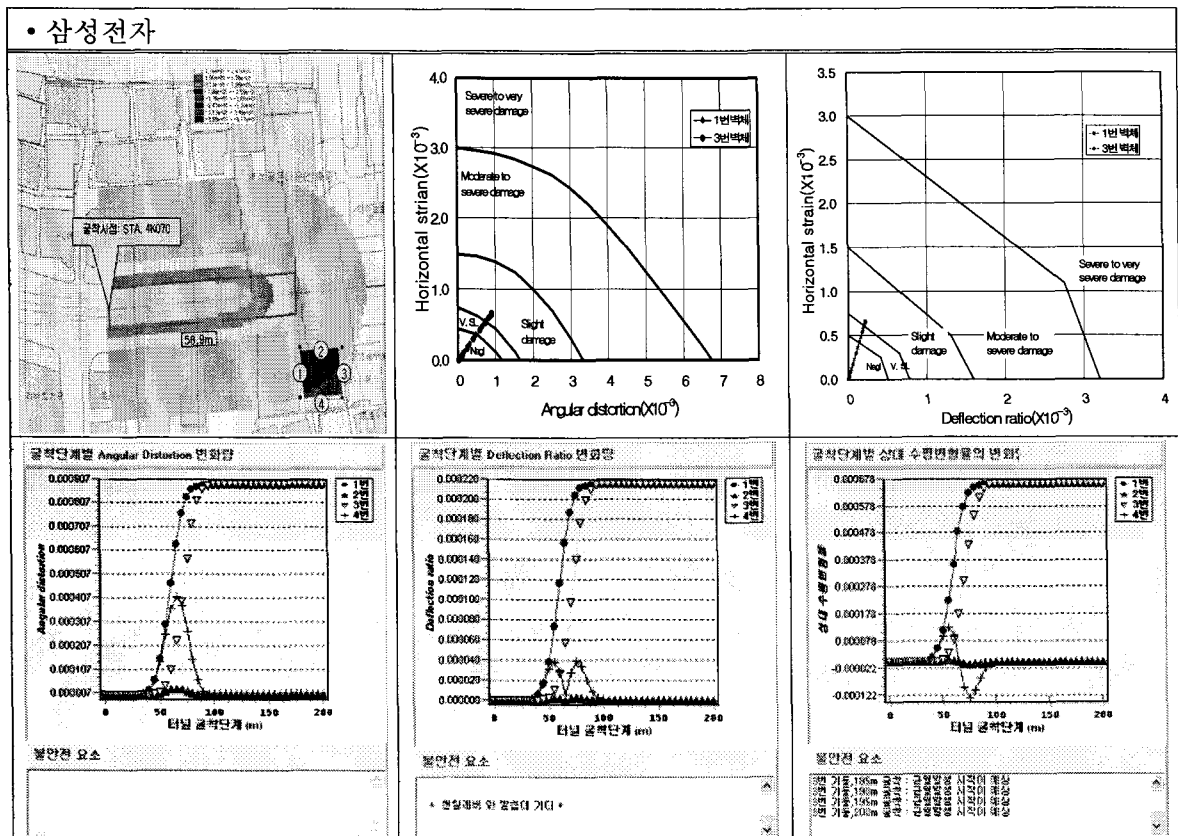


그림 12. 삼성전자 3차원 세부손상 평가결과(축선 ⑥)



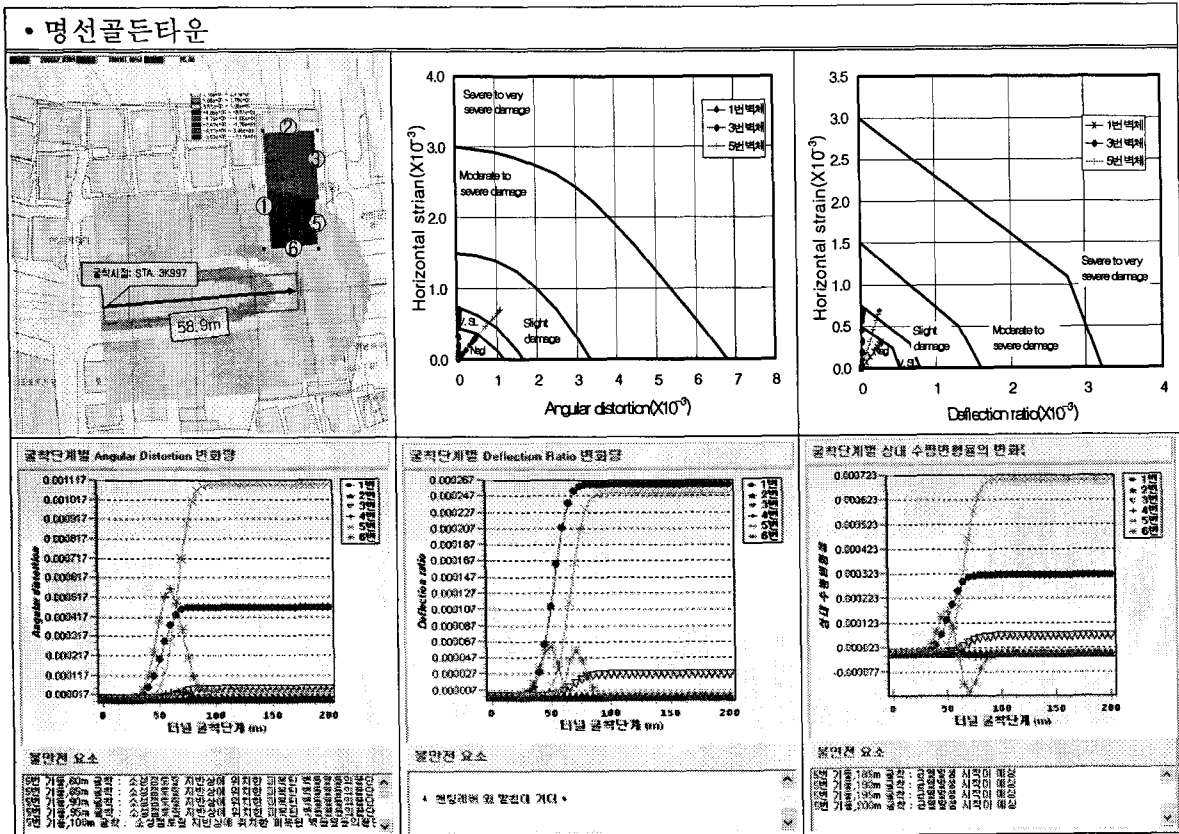


그림 13. 명선골든타운 3차원 세부손상 평가결과(측선 ⑥)

### 4.3 종합분석 및 대책

수치해석(전응력해석, 유효응력해석) 및 인공신경망기법을 이용한 전문가시스템에 의한 침하량 검토 결과 전응력 해석의 경우 침하량이 과소하게 평가되는 경향을 보였으며, 전문가시스템에 의한 결과와 유효응력 해석결과에 의한 침하량은 유사한 경향을 보임을 알 수 있다(그림 14). 그림 14에서 알 수 있듯이 Sta. 4K+996까지는 전반적으로 전문가시스템에 의한 결과에 의한 침하량이 유효응력 해석결과보다 다소 크게 나오는 경향을 보이나, 이후 구간부터 유효응력 해석에 의한 침하량이 다소 크게 나오는 경향을 보인다. 이는 전문가시스템의 알고리즘상 실제 시공시 얻은 자료를 데이터베이스화하기 때문에 제반조건이 상이할 경우, 즉 학습내용과 다소 상이한 조건일 경우 침하량이 과소 또는 과대평가할 가능성이 있기 때문인 것으로 사료된다.

유효응력해석 및 전문가시스템에 의한 터널굴착시 건물손상평가 결과 유효응력해석결과의 경우 일부 건물에서 매우 미미한 손상가능성이 있는 것으로 평가되었고, 전문가시스템의 경우 측선 ⑥의 경우 경미한 손상 가능성이 있는 것으로 예측되었다. 전반적으로 터널굴착에 의한 건물손상은 없는 것으로 판단되었다. 단, 측선 ⑥에 대해서는 보수적 측면에서 터널내 차수보강 그라우팅 공법을 추가하여 건물의 침하를 방지하도록 설계에 반영하였다. 또한 시공시에는 건물외관조사에 의한 건물등급과 유효응력해석, 전문가시스템 결과를 종합하여 관리등급에 따른 계획계획을 수립하였다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 도심지 터널굴착에 의한 건물안정성 평가시 인공신경망 기법 및 수치해석을 각각 기법의 장단점을 고려하여 설계에 반영할 경우 효용성이 증대될 거라고 사료된다. 즉, 3차원 수치해석의 경우 장기간의 해석시간을 요구하는 경우가 많으므로 상세설계시 그 반영 효율이 다소 떨어지는 단점이 있다. 또한 수치해석의 경우 충분한 지반조사가 선행되어야 결과의 신뢰도가 높아지므로 개략적인 평가는 지반조건이 다소 불충분하더라도 인공신경망기법의 학습자료로부터 단시간 내에 결과를 추론하고 이러한 결과를 바탕으로 세부 해석계획을 수립한다면 보다 양질의 설계가 될 수 있을 것으로 기대된다.

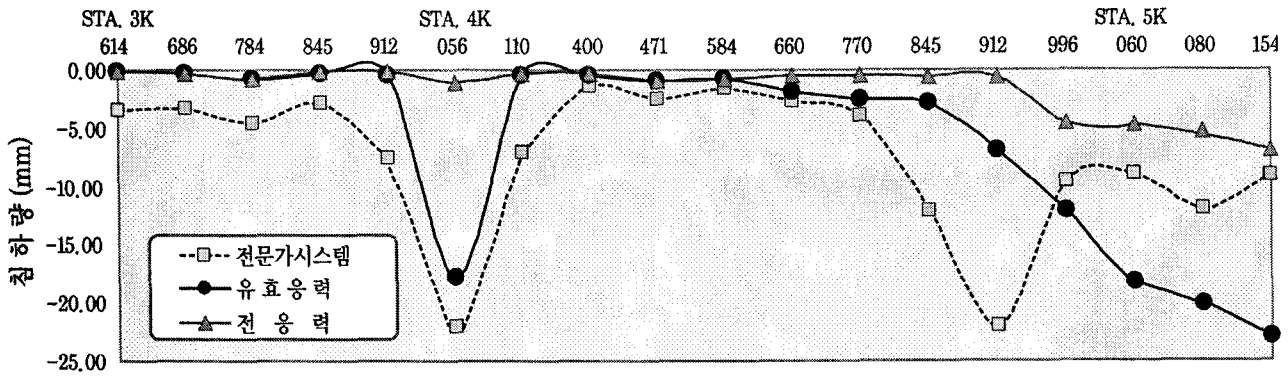


그림 14. 수치해석 및 전문가시스템에 의한 침하량 비교

## 5. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 도심지구간 터널굴착시 지표침하로 인한 구조물의 손상을 평가하기 위해서 최근 사용되고 있는 인공신경망 기법 및 수치해석에 의한 방법론을 고찰하고 각각의 장단점을 평가하였다. 또한 수치해석 및 인공신경망 기법을 실제 도심지 터널설계에 적용하여 그 결과를 분석하였다.
- (2) 총 19개 구간에 대한 수치해석결과 건물의 침하량은 전응력해석에 비해 간극수압을 고려한 유효응력해석이 지하수위 조건에 따라서 크게 발생하는 경향을 보였으며, 최대 22.9mm의 침하가 발생하였다. 각변위-수평변형을 관계에 의한 각 건물별 손상정도를 파악한 결과 터널굴착에 의한 손상정도는 없거나 일부 건물에서 극히 미미한 손상이 있는 것으로 나타났다.
- (3) 인공신경망에 의한 평가결과 최대 침하량은 23mm가 발생하였고 3차원 세부 건물손상 평가결과 유효응력해석결과와 마찬가지로 전반적으로 침하에 의한 건물의 손상 가능성은 거의 없는 것으로 나타났으나, 일부 건물에서 경미한 손상가능성이 있는 것으로 나타났다.
- (4) 수치해석(전응력해석, 유효응력해석) 및 인공신경망에 의한 침하량 검토 결과 전응력해석의 경우 침하량이 과소하게 평가되는 경향을 보였으며, 인공신경망에 의한 결과와 유효응력 해석결과에 의한 침하량은 유사한 경향을 보였다.
- (5) 도심지 터널굴착에 의한 건물안정성 평가시 인공신경망 기법의 적용가능성을 확인하였고 향후 유사 프로젝트 수행시 그 적용성은 높을 것으로 판단된다. 따라서 인공신경망 기법 및 수치해석 기법의 장단점을 고려하여 두 가지 해석기법을 반영할 경우 좀더 합리적인 분석이 될 것이라 사료되며, 이로부터 터널 설계의 효용성이 증대될 것이라 판단된다.

## 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1998), “지하생활공간 개발요소기술 연구 ; 지반굴착 기술분야 (I)~(V)”.
2. Peck, R. B.(1969), “Deep Excavations and Tunnelling in Soft Ground, State of the Art Report”, 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engng., Mexico City, pp. 225~290.
3. 현대건설(2003), “부산지하철 00호선 00공구 토목공사 설계보고서”.
4. Boscardin M. D. and Cording E. J.(1989), “Building Response to Excavation-Induced Settlement”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 115, NO. 1, pp. 1~21.