

GIS기반의 터널시공에 따른 주변건물/매설관 손상평가 시스템-개발 및 적용 GIS-based Tunnelling-induced Building/Utility Damage Assessment System-Development and Application

유충식¹⁾, Chung-Sik Yoo, 전영우²⁾, Young-Woo Jeon, 김재훈³⁾, Jae-Hoon Kim,
박영진⁴⁾, Young-Jin Park, 유정훈⁵⁾, Jeong-Hoon Yoo

¹⁾ 성균관대학교 토목공학과 부교수, Prof. Dept. of Civil Engrg. Sungkyunkwan, Univ.

²⁾ 성균관대학교 토목공학과 석사, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg. Sungkyunkwan, Univ.

³⁾ 경동기술공사(주) 지반공학부, Geotechnical Engineering Dept. Kyong Dong Engineering. Co.

⁴⁾ 코오롱건설(주) 건설기술연구소 부장, General Manager, Institute of Construction Technology,
Kolon Engineering & Construction.

⁵⁾ 코오롱건설(주) 건설기술연구소 대리 Assistant Manager, Institute of Construction Technology,
Kolon Engineering & Construction.

SYNOPSIS : A GIS-based tunnelling risk management system (GIS-TURIMS) has been developed in this study. The developed system uses ArcView 8.2 as a basic platform and the built-in interface(VBA) has been used to perform first-order simplified analyses for prediction of tunnelling-induced ground movements and building damage assessment. The main emphasis in this study was to develop a working framework that can be used in the perspective of tunnelling risk management. The developed system is capable of carrying out computationally intensive first-order analyses for ground movement prediction as well as buildings/utilities damage assessment with fully taking advantage of the GIS technologies. This paper describes the concept and details of the GIS-TURIMS development and implementation.

Key words : GIS, tunnelling, ground movements, buildings/utilities damage assessment

1. 서 론

도시의 고도성장과 도심지 인구증가에 따라 개발가능한 공간은 점차 협소해지고 있다. 따라서 지하철과 같은 지하 교통수단 및 지하 시설물들을 위해 새로운 터널공사가 필요 되어지고 있다. 도심지에서의 터널 시공은 시공으로 인한 인접구조물의 피해로 경제적 손실, 민원발생으로 그 여건이 매우 열악하다고 할 수 있다. 따라서 터널시공으로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 터널시공시 인접구조물 및 지하 시설물의 영향을 검토하여 보강대책 수립을 설계에 충분히 반영하여야 하고 계측을 통해 설계 및 시공의 타당성을 검증하는 체계적인 노력이 필요하다고 할 수 있다.

외국의 경우 도심지 터널시공에 따른 피해 및 보강대책에 대한 체계적인 관리를 위해 GIS를 이용한 시공관리 시스템이 이미 활용되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내 정보화 시공관리기반의 조성의 일환으로 최근 여러 분야에서 그 활용도가 높은 GIS를 기반으로 하여 터널시공에 따른 지반거동 평가 및 건물/매설관 손상평가가 가능한 위험도관리 시스템 (GIS-TURIMS)을 개발하였다. 본 시스템은 시스템 개발 연구에서 개발된 각종 알고리즘을 GIS기반에서 적용될 수 있도록 VBA(Visual Basic

Application)을 활용하여 시스템을 개발하였다. 본 논문에서는 시스템의 개념과 개발과정을 상세히 다루었다.

3. GIS-TURIMS 개발

3.1 시스템 기반과 개요

GIS-TURIMS는 ESRI에서 개발한 ArcView8.2기반으로 개발되었다. ArcView는 데스크탑 GIS로 지질학적 데이터를 만들고 편집하는 통합능력과 데이터의 시각화, 질의, 분석을 수행하는 지도제작 소프트웨어이다. GIS Software의 종류를 살펴보면 다음과 같다.

- ArcInfo : ArcEditor, ArcView의 기능 이외에 ArcInfo가 GIS의 실질적인 표준이 되게 하는 고급 지오프로세싱 및 데이터 변환 기능을 제공.
- ArcEditor : ArcView의 모든 기능 이외에 다중 사용자 지오 데이터베이스에서의 Feature 편집 기능을 추가로 제공.
- ArcView : 지리정보 데이터의 분석 및 편집이외에 데이터 시각화, 질의, 분석, 통합 기능을 제공.
- ArcGIS Spatial Analyst: 강력한 공간 모델링과 분석 기능을 제공.

GIS-TURIMS의 뚜렷한 장점은 터널시공 중에 더욱 효과적으로 데이터를 관리할 수 있으며, ArcView사용자가 원하는 모듈을 개발할 수 있도록 도와주는 VBA를 이용하여 지반거동의 예측과 건물/매설관 손상평가를 수행할 수 있다. GIS-TURIMS의 세가지 모듈은 1) 정보조화; 2)지반거동 분석; 3) 건물/매설관 손상평가 등으로 나누어진다. 각각의 모듈은 독립적인 기능을 가지지만 다른 모듈과 함께 연동된다. GIS기반은 지반거동의 예측과 손상평가를 수행하는데 있어 외부모듈을 연결하는데 사용할 수 있다. 그림1은 GIS-TURIMS의 초기 화면을 보여주고 있다.

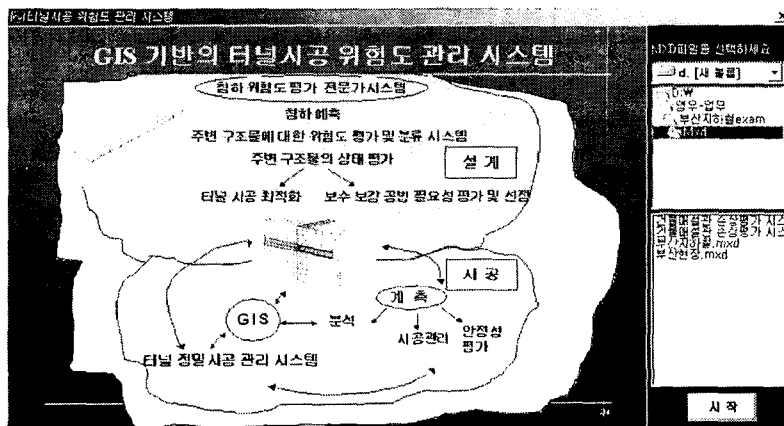


그림 1. GIS-TURIMS의 초기화면

3.2 현장정보모듈

이 모듈은 건물/매설관 정보, 지반정보, 터널설계/시공 정보 등 다양한 정보를 사용자에게 보여준다. 이 정보들은 ArcView 내에 존재하는 VBA(Visual Basic Application)로 만들어진 폼에 의해 보여지게 된다. 그림 2는 각 모듈에서 이용된 주요 데이터베이스 항목을 나타내고 있다.

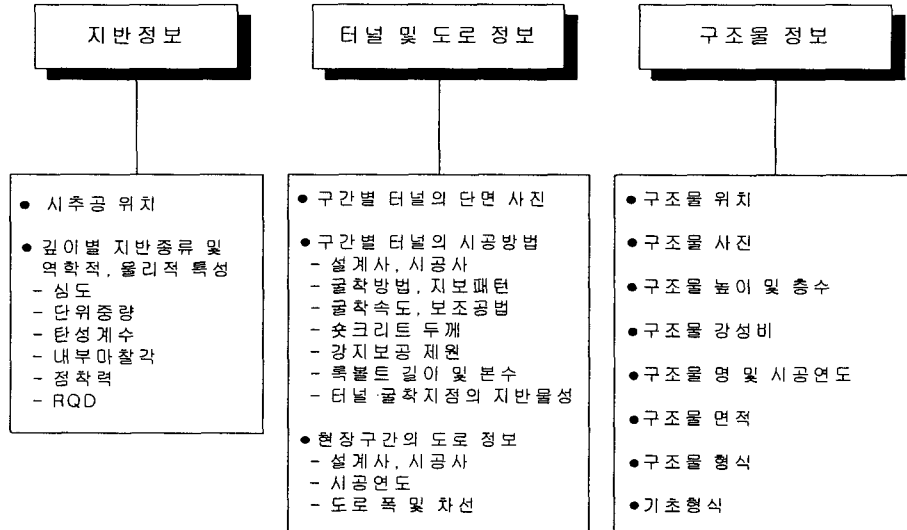
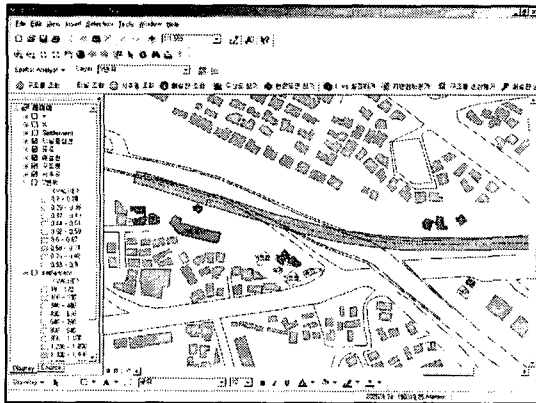
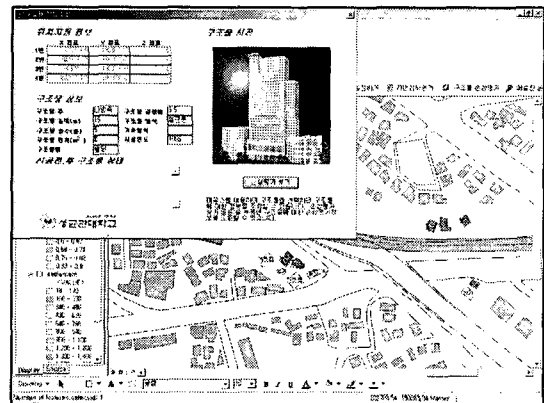


그림 2. GIS-TURIMS 주요 데이터베이스 항목

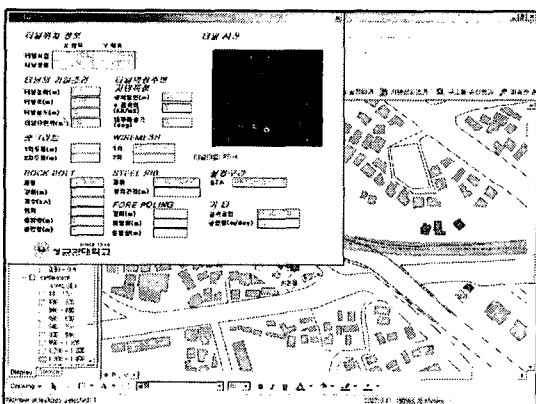
그림 3은 현장정보 모듈을 보여주고 있다. 각각의 모듈을 통해 현장의 구조물, 터널, 시추공, 매설관에 대한 정보 및 시공현장의 주상도 및 현장 도면을 조회할 수 있다. 구조물과 매설관의 경우 손상평가 후 결과의 조회도 가능하도록 하였다.



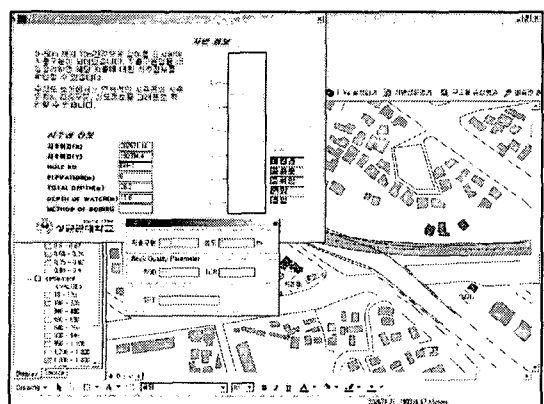
a) 현장정보 모듈(현장)



b) 현장정보 모듈(구조물 정보)



c) 현장정보 모듈(터널 정보)



d) 현장정보 모듈(시추공 정보)

그림 3. 현장 정보 모듈 (현장(a), 구조물(b), 터널(c), 시추공(d))

3.3 지반침하 분석 모듈

지반 침하 모듈은 현 막장 및 굴착완료시로 구분하여 지반 침하량 및 변위량을 계산하도록 되어 있으며 자세한 내용은 (유충식 등 2002)의 논문에 제시되어 있다. 계산과정을 통하여 얻어진 지반 변위, 경사, 변형 등의 데이터를 래스터 데이터 파일 형식으로 만들어 ArcView의 확장 프로그램인 ArcView Spatial Analyst를 사용하여 사용자가 보다 입체적으로 결과를 볼 수 있도록 하였다. 그림 4는 지반변위 평가 데이터를 Spatial Analyst를 이용하여 분석한 결과를 보여준다. 분석결과는 사용자가 한눈에 위험지역을 확인할 수 있도록 등고선 형태로 그래픽 처리를 하였고 등고선을 통해 정량적인 판단 또한 가능하다.

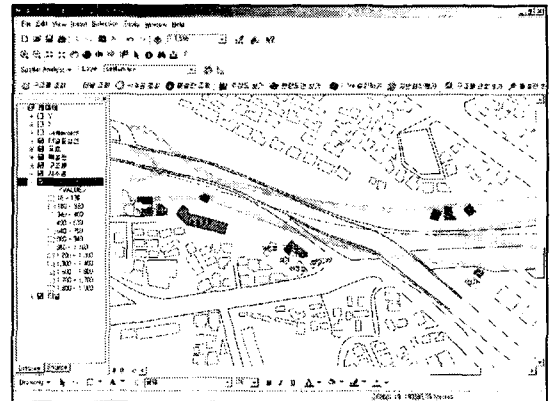


그림 4. 지반변위 분석 결과(침하)

3.4 건물/매설관 손상평가 모듈

본 모듈은 손상이 가능한 건물(터널중심으로부터 2.5i 이내의 건물)을 미리 선정하여 Burland(1995)가 제시한 건물손상평가 기법을 토대로 변형과 비틀림을 계산하여, 침하와 경사가 1cm, 1/500보다 큰 지역안의 건물에 대해서는 상세한 검토가 수행되도록 되어있다. 구체적인 내용은 유충식 등(2002)의 논문에 제시되어 있다. 건물의 코너 아래의 지반변위는 건물의 변형과 비틀림을 계산하는데 사용되었고 이 결과들은 건물의 손상등급을 결정하는데 사용된다. 각 건물들은 계산된 손상등급에 의해 특정한 색깔로 지도상에 표시된다. 조회하고자하는 건물을 정보조회 모듈을 이용함으로써 상세한 계산 결과를 다른 윈도창에 나타내는 것이 가능하고 또한 각 구조물에 대한 평가 결과를 출력하는 것이 가능하도록 하였다. 매설관 역시 같은 평가 방법으로 수행했다. 그림 5와 그림 6은 건물/매설관 평가 모듈을 보여주고 있다.

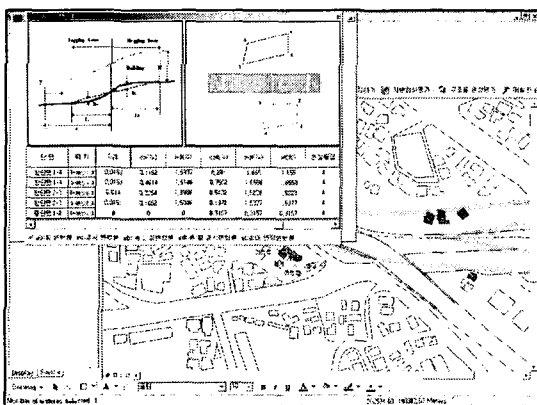


그림 5. 건물/매설관 손상평가 모듈(건물)

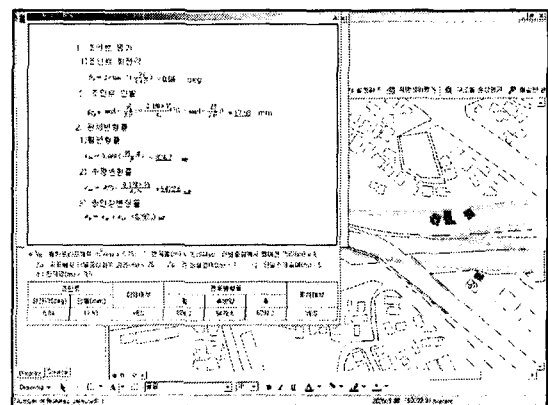


그림 6. 건물/매설관 손상평가 모듈(매설관)

3.5 시스템 구축 과정

본 시스템은 GIS를 기반으로 하고 있기 때문에 현장에 대한 여러 유용한 데이터를 쉽게 얻을 수 있는 반면 시스템 사용을 위한 데이터를 구축하기 위해서는 많은 노력과 시간이 필요하다. 또, 어느 정도 정확한 데이터를 사용하는가에 따라 손상평가가 달라진다. 본 시스템에 사용될 데이터를 구축하는 방법은 다음과 같다. 그림 7은 데이터 구축 흐름도를 보여주고 있다.

1) 레이어의 추출

수치지도로부터 현장지도를 제작하는데 필요한 건물, 도로의 Layer를 추출하고 정확한 좌표를 고려하여 터널, 터널 중심선 및 시추공을 CAD 파일로 만든 후 추출.

2) Shape File변환

추출한 Layer(건물, 도로, 터널, 터널중심선, 시추공, 매설관)를 GIS Software에 필요한 SHP 파일로 변환시켜주어야 한다.

3) Polygon으로의 변환

GIS의 장점인 GUI 기능을 극대화시키기 위해 Arc View의 Script를 이용하여 PolyLine Layer를 Polygon Layer로 변환시켜 준다.

4) 현장 데이터 작성

완성된 현장지도를 이용하여 사용자에게 제공, 평가수행에 필요한 각 Layer정보를 ArcView를 이용하여 필요한 Field를 생성하고 데이터를 작성한다.

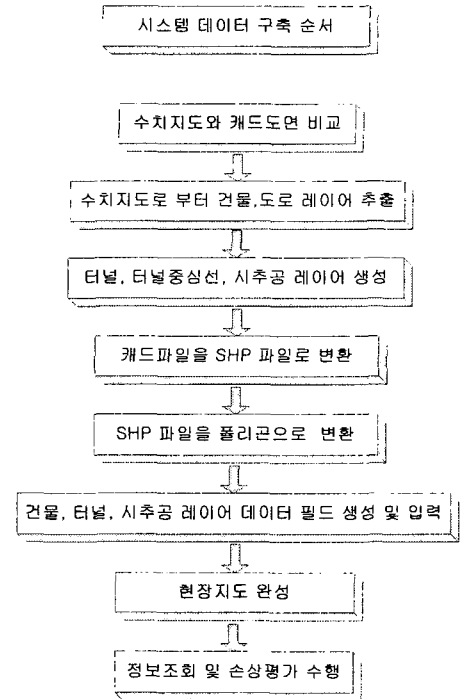


그림 7. 데이터 구축 흐름도

4. GIS-TURIMS의 적용

GIS-TURIMS를 부산 지하철 터널 현장에 적용하여 터널 구간에 대하여 지반거동 평가 및 구조물 손상 평가를 실시하였다. 표 1은 적용현장의 터널구간 현황을 보여주고 있다. 적용대상 구간으로는 터널 구간인 309공구 구간으로 STA. 12K260.0~STA. 12K463.7구간으로 평가범위를 설정하였으며 터널 구간의 종단면은 그림 8에 나타나 있다. 표 2는 터널 굴착 구간의 암반특성을 보여주고 있다.

표 1. 터널구간 현황

공구별	구 분	STATION	연 장	비 고
308	본선부	STA. 11K 584.798 ~ 11K 882.812	298.014m	터널(단선병렬)
	본선부	STA. 11K 882.812 ~ 12K 003.020	120.208m	터널 대단면
	본선부	STA. 12K 000.000 ~ 12K 260.000	260.0m	터널(복선) 678.222m
309	본선부	STA. 12K 260.000 ~ 12K 576.500	316.5m	터널 (복선)
	정차장부	STA. 12K 576.500 ~ 12K 745.500	169.0m	개착
	본선부	STA. 12K 745.500 ~ 13K 576.500	831.0m	개착
	정차장부	STA. 13K 576.500 ~ 13K 725.500	149.0m	개착
	본선부 및 공공보도	STA. 13K 725.500 ~ 13K 805.000	79.5m	개착 1,545m

표 2. 굴착 구간의 암반특성

비 중	흡수율 (%)	일축압축강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (×10 ⁵ kg/cm ²)	포 아 송 비	지 층 상 태	인장 강도 (kg/cm ²)	점착력 (kg/cm ²)	내부마찰각 (°)
2.63	0.204	1,790	7.61	0.21	경 압	145	270	57.9

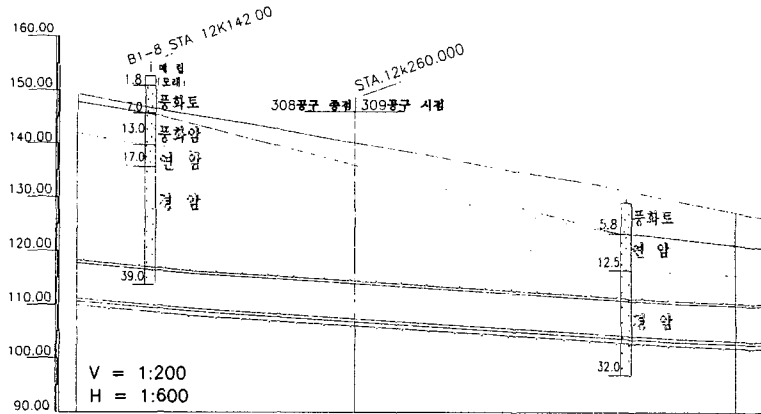


그림 8. 터널의 종단면도

4.1 지반거동 평가

지반 거동 평가시 가장 큰 영향인자인 지반손실을 $V_s(\%)$ 와 변곡점의 위치 i 는 데이터 구축에서 이미 입력된 데이터를 토대로 Peck(1969)의 제안식을 적용하여 0.5m간격의 종단면에 대해 자동으로 계산되도록 하였다. 이는 일반적으로 터널의 심도가 일정하지 않기 때문에 0.5m간격으로 V_s 와 i 를 계산하기 위해서이다. 그림 9와 그림 10은 시공완료 후의 지반거동 평가를 보여주고 있다.

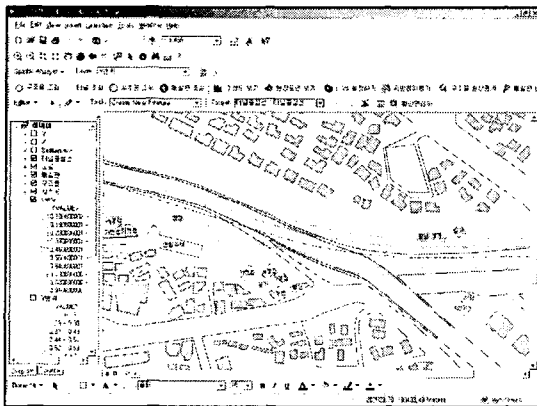


그림 9. 지반거동 분석(침하)

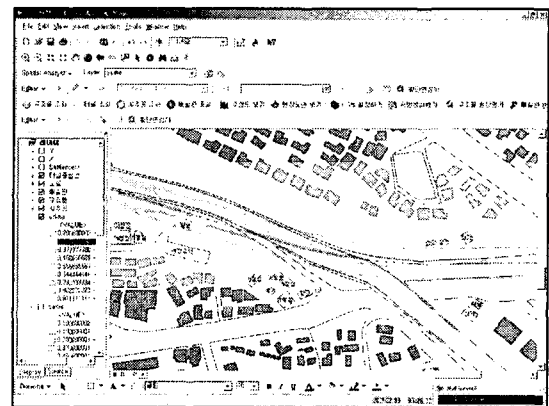


그림 10. 지반거동 분석(Y변위)

4.2 구조물 손상평가

앞 절의 지반거동 평가를 토대로 검토구간의 구조물 손상평가를 터널굴착 완료시에 대해 수행한 결과가 그림 11과 그림 12에 나타나있다. 구조물 손상평가는 지반거동 뿐만 아니라 구조물의 강성비 (E/G , E :탄성계수, G :전단탄성계수), 건물의 높이에 따라 현저한 차이가 발생한다. 본 평가에서 대다수의 건물이 콘크리트 구조물임을 고려해 강성비는 3~4정도의 보수적인 수치를 적용하였다. 표 3은 손상평가 결과를 요약하여 나타내고 있다. 결과에서 알 수 있듯이 굴착 완료시 손상평가 결과 터널 굴착구간에 상당히 근접한 건물을 제외하면 대부분의 건물이 '경미' 이하의 평가결과를 보이고 있다.

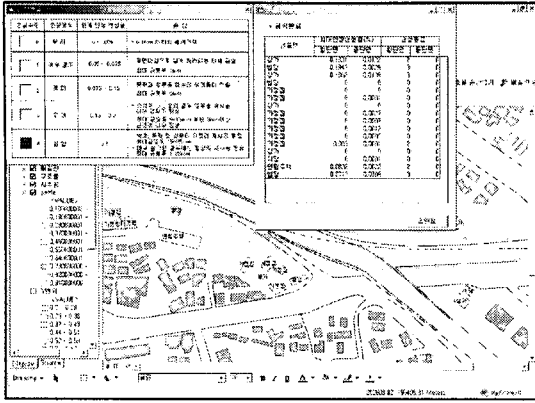


그림 11. 전체 손상평가

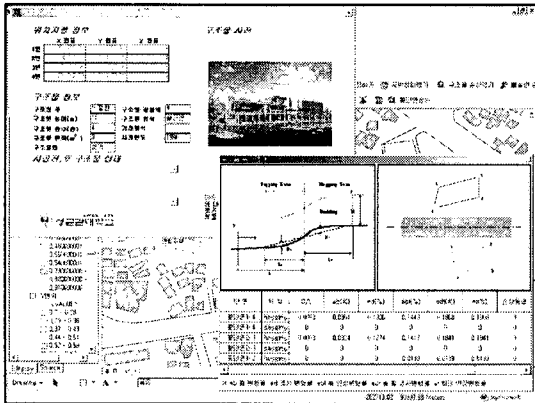


그림 12. 건물별 손상평가

표 3. 구조물 손상평가 결과

건물명	최대인장변형률(%)		손상등급	
	횡단면	종단면	횡단면	종단면
상가	0.1331	0.0122	2	0
빌딩	0.1943	0.0029	3	0
상가	0.1868	0.0139	3	0
빌딩	0	0	0	0
가정집	0	0	0	0
가정집	0	0.0001	0	0
상가	0	0	0	0
가정집	0	0.0027	0	0
가정집	0	0.0007	0	0
가정집	0	0.0012	0	0
가정집	0	0.0005	0	0
가정집	0.083	0.0001	2	0
상가	0	0	0	0
식당	0	0.0001	0	0
연립주택	0.0832	0.0022	2	0
빌딩	0.2713	0.0389	3	0

5. 향후개발

유용한 데이터를 제공하기 위해 개발한 GIS기반의 시스템은 터널시공시 위험도를 광역단위로 관리 하는데 사용될 수 있다. 본 시스템은 사용자가 인터넷을 이용하여 사용할 수 있는 웹기반의 시스템으로 확장 시키고, 보조공법의 선정에 위한 국내 보조공법 적용현황을 파악·데이터베이스화하여 인공신경망(Artificial Neural Network) 기반의 모듈을 추가 할 계획이다. 이러한 인공신경망을 이용한 전문가 시스템은 지반조건 및 터널시공 조건을 토대로 하여 적당한 보조공법을 자동으로 선정하는 기능을 갖출 것이다.

지반변위분석과 손상평가에 적용한 간소화 분석의 한도를 더욱 정교한 분석 과정을 통하여 정확한 위험 평가를 수행하고자 하는 노력이 구체화 될 것이며 터널굴착 시 지반 변위를 능률적으로 예측하고자 인공신경망 모듈 도구를 개발하는데 노력 할 것이다. 최근에 생겨난 GIS 기술사용을 향후에는 더욱 발전시켜 건물/매설관의 위험 평가를 가능성에 근거한 구조 틀 안에서 수행 할 것 이다. 이러한 노력들을 토대로 웹기반의 터널 시공 관리 시스템의 개발을 추진할 계획이다.

5. 결론

이 논문은 GIS기반의 터널굴착 시 건물/매설관 손상평가 시스템(GIS-TURIMS)의 개발 및 적용에 관한 내용을 다루었다. 이 시스템은 사용자가 간단히 사용할 수 있고, 터널굴착 시 지반거동 예측과 건물, 매설관의 손상평가를 유용하게 할 수 있도록 GIS기술을 토대로 개발되었다. GIS-TURIMS는 모든 유용한 방법 안에서 방대한 양의 데이터 조작을 가능하게 하는 GIS의 장점을 이용하여 지반거동 예측과 건물/매설관 손상평가를 사용자가 수행하도록 하였다. 이 시스템은 GIS에 대한 상세한 내

용에 대한 이해가 부족하더라도 터널 기술자들이 터널굴착 시 지반거동과 건물/매설관의 손상 여부를 1차적으로 검토할 수 있게 함으로써 위험도를 사전에 평가하고 이에 대비하는데 적용될 수 있다.

현재 GIS-TURIMS는 데스크탑에서 구동되는 시스템으로 ArcView8.1이상의 버전을 개인 컴퓨터에 설치를 하여야만 사용을 할 수 있으나, 향후 웹기반 시스템을 개발하여 인터넷이 사용되어 지는 모든 곳에서 사용자가 원하는 현장의 지반거동과 건물/매설관의 손상평가를 수행할 수 있도록 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 코오롱 건설 주식회사와 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터(SAFE)의 연구비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 유충식, 김재훈, 박영진, 유정훈(2002), "GIS 기반의 터널굴착시 건물/매설관 손상평가 시스템 개발", 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, pp.311~318.
2. Attewell, P.B. et al.(1986). *Soil Movements Induced by Tunnelling and their Effects on Pipelines and Structures*. Blackie, New York.
3. Boscardin, M.D. & Cording, E.G.(1987), "Building response to excavation-induced settlement", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE. 115(1), pp.1~21.
4. Bracegirdle, A., et al.(1996), "A methodology for evaluating potential damage to cast iron pipes induced by tunnelling", *Proc. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London*, pp. 659~664.
5. Burland, J. B.(1995), "Assessment of risk of damage to buildings 연 새 tunnelling and excavations". Invited Special Lecture to IS-TOKYO '95: 1st Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering.
6. Netzel, H. &Kallberg, F.J.(1999), "Numerical damage risk assessment studies on masonry structures due to TBM-tunnelling in Amsterdam", *Proceedings Geotechnical Aspects on*
7. O'Reilly, M.P. & New, B.M.(1982), "Settlements above tunnels in the United Kingdom-their magnitude and prediction". *Proc. Tunnelling '82*, Inst. Mining & Metallurgy, London, pp.173~188.