

Internet 기반의 터널 시공 위험도 관리 시스템 개발

Development of An Internet-Based Tunnel Construction Risk Management System

유충식¹⁾, Chung-Sik Yoo, 김재훈²⁾, Jae-Hoon Kim, 박영진³⁾, Young-Jin Park
유정훈⁴⁾, Jeong-Hoon Yoo

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

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

³⁾ 코오롱건설(주) 건설기술연구소 부장, General Manager, Institute of Construction Technology,
Kolon Engineering & Construction,

⁴⁾ 코오롱건설(주) 건설기술연구소 대리 Assistant Manager, Institute of Construction Technology,
Kolon Engineering & Construction,

SYNOPSIS : A substantial portion of the cost of a tunnelling project in urban environments is, therefore, devoted to prevent ground movement. Therefore, prediction of ground movements and assessment of risk of damage to adjacent buildings has become an essential part of the planning, design, and construction of a tunnelling project in the urban environments. An internet-based tunnelling-induced ground movements and building damage assessment system (IT-TURIMS) was developed and implemented to Daegu Metro Subway Line tunnel construction project in Korea. This paper describes the concept and implementation of IT-TURIMS. Practical significance of tunnelling risk assessment is also discussed.

Key words : tunnelling, risk management, excavation, internet

1. 서 론

도심지 터널 설계/시공 시에는 터널시공이 주변 구조물에 미치는 영향을 검토하고 이를 토대로 보수/보강대책을 수립하여야 하며, 시공중 계측을 수행하여 터널설계 및 시공방법의 타당성을 확인하는 등 종합적인 안전관리를 수행하여 터널 시공으로 인한 주변 구조물 피해 및 민원 발생 건수를 감소시키려는 노력이 매우 중요하다. 이를 위해서는 터널 시공 중 실시간(real time) 개념의 지반거동평가 및 구조물 손상평가를 수행하고 그 결과를 시공에 반영하는 정보화 개념의 시공관리가 절대적으로 요구된다.

선진외국에서는 이미 정보화 시공개념의 터널시공 위험도 관리 시스템 (Tunnel Construction Risk Management System)을 개발하여 설계/시공단계에 적용함으로써 종합적이고 과학적인 안전관리가 이루어지고 있다. 이러한 사례로서 네덜란드의 GIS-RMS 시스템을 들 수 있는데 본 시스템은 터널 설계/시공단계에서 터널시공에 따른 주변구조물에 대한 영향을 평가하여 보조공법 선정 및 보강 대책 수립에 반영하고 계측관리 및 터널시공관리에 적용하는 시스템으로서 명실상부한 터널 설계/시공 전문가 시스템으로서의 종합적인 안전관리 기능을 보유하고 있다. 특히 GIS-RMS는 터널 설계/시공관리 과정이 GIS기반의 지리정보 및 네트워크 시스템에서 종합적으로 수행되는 통합 안전관리 기

능을 극대화하여 정보화 기술을 터널 설계/시공에 적극적으로 접목시켰다는데 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

이러한 맥락에서 본 연구는 우리나라에 터널 시공위험도 관리 개념을 도입하고 보다 안전하고 경제적인 터널 시공관리기반을 조성하기 위해 GIS-Internet 기반의 터널 시공 위험도 관리시스템 개발을 최종목표로 하고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 Internet 기반의 터널시공에 따른 침하평가 및 주변구조물 손상평가 시스템(InTernet-based TUnnel RIsk Management System: IT-TURIMS)의 개발을 시도하였으며 본 논문에서는 IT-TUIRMS 개발과정에 대하여 다루었다.

2. IT-TURIMS

2.1 IT-TURIMS 개요

인터넷에서 구동이 가능한 터널시공 위험도 관리 시스템(InTernet-based TUnnel RIsk Management System: IT-TURIMS)은 터널 설계/시공중 터널굴착으로 인한 주변침하를 예측하고 이를 토대로 주변 건물의 손상여부를 자동적으로 판단하는 기능을 보유하며 인터넷 웹 서버 환경에서 구축하여 인터넷상에서 사용권한을 가진 사용자가 자유로이 시스템으로의 접속이 가능하게 하였다. Internet Explorer를 실행시킨 후 <http://geoth.skku.ac.kr> 웹에 접속하여 시스템을 사용한다.

2.2 IT-TURIMS 개발환경

본 프로그램의 개발을 위해서 Window 98 운영체제를 기반으로 GUI (Graphic User Interface) 기능을 극대화시킨 Visual Basic 언어를 기본 개발 도구로 사용하였으며, 프로그램을 사용하는데 추천되는 하드웨어 및 소프트웨어의 사양은 다음과 같다.

- Hardware : CPU: Pentium III 500 MHz, RAM 64MB 이상
- Operating System : Window 98 이상
- 개발환경 : Microsoft Visual Basic 언어

2.3 IT-TURIMS 평가기법

본 시스템은 지형 및 터널 정보입력모듈, 구조물 정보입력모듈, 현장정보 보기모듈, 지반거동 및 구조물손상 평가모듈등 다양한 모듈로 구성되어 있으며, 각 모듈의 연결은 SEVER에 접속하여 유기적으로 연결되도록 하였다. 각 모듈의 수행 내용은 대략 다음과 같다.

1) 사용자 컨트롤 모듈

본 모듈은 IT-TURIMS 시스템의 주 사용자(입력자)와 사용자를 구별하기 위한 모듈로 시작모듈로 사용된다.

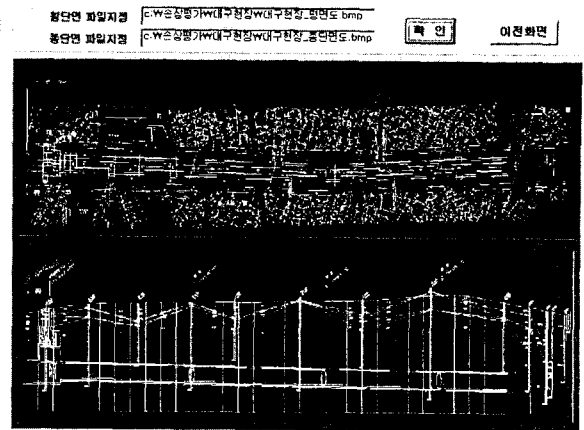
2) 현장정보 입력 모듈

본 모듈에서는 IT-TURIMS를 적용하는 현장에 대한 각종 정보를 입력하는 모듈로서 터널 설계도서 에 기입되는 항목을 중심으로 입력항목을 설정하였다. 본 현장정보 입력 모듈은 다시 •현장위치도 입력 모듈; •현장캐드파일 입력 모듈; •터널노선 정보 입력모듈; •지반정보 입력 모듈; •터널단면정보 입력 모듈; •구조물정보 입력 모듈; 의 여섯 가지 서브 모듈로 구성되어 있다.

그림 1~4는 각각의 현장정보 입력 모듈을 보여주고 있다.

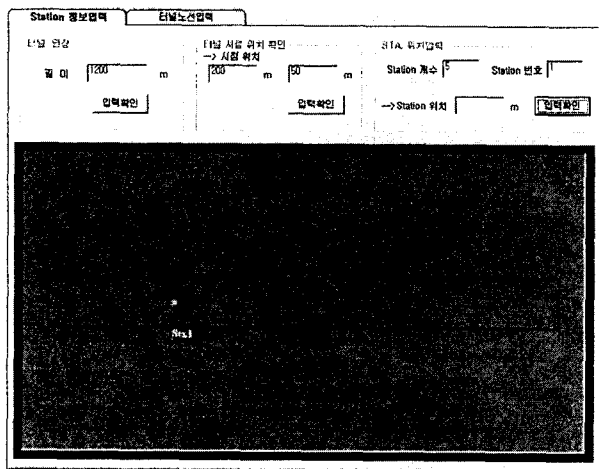


(a) 현장위치도 입력

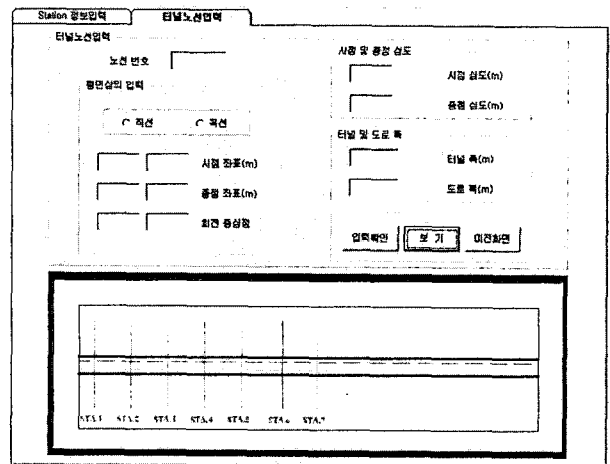


(b) 현장카드파일 입력

그림 1. 현장위치도, 현장카드파일 입력모듈

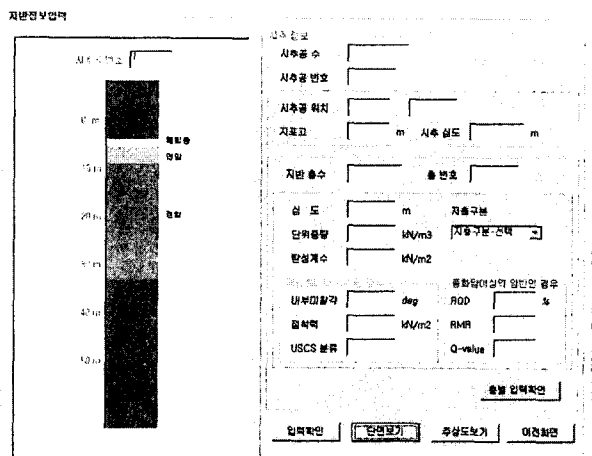


(a) STA 정보입력

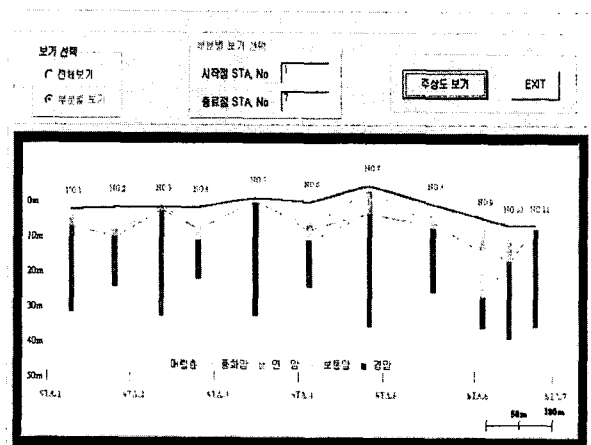


(b) 터널노선입력

그림 2. 터널노선정보 입력모듈



(a) 지반정보입력



(b) 주상도 보기

그림 3. 지반정보 입력모듈

터널단면 정보입력

단면 번호 [PS-4] 단면 형태 [PS-4]
 설계구간 [] 최종 STA No []
 터널형상 및 축방향식 [터널형상] [축방향식]
 터널의 기하조건 [] 터널의 구조면 지반특성 C(원형) [] kN/m²
 터널 높이 [] m 내부마찰각 [] deg
 터널 폭 [] m 도로 폭 [] m
 터널 심도 [] m
 터널단면적 [] m²

굴착 및 지보방안 정보
 지보방안 [] 지보재 설치시기 []
 굴착종류 [] 가압방식 []
 굴 이 [] m 가압방식 시공여부 []
 분 수 [] 분 가압방식 지보방안 []
 용간격 [] m 사면용 []
 발간격 [] m [지압방식] []
 수크리트 [] m/day 굴착속도 []
 두께 [] cm 굴착굴면 []
 굴지보재 [] 보조굴면 []
 종류 [] 보조굴면 []
 용간격 [] mm 라이닝 두께 [] mm

터널단면도파일지름 [] 은강철기둥구간길이터널단면 PS-4.bmp
 입력 확인 단면 보기 대면 확인

(a) 터널단면 정보입력

구조물 정보

구조물 수 [] 구조물 속성 []
 구조물 번호 []
 위치지정 X좌표 Y좌표 Z좌표
 1번 [] [] [] 구조물 높이 [] m
 2번 [] [] [] 구조물 감성비 []
 3번 [] [] [] 구조물 형식 []
 4번 [] [] [] 기초 형식 []

입력 확인 보기 대면 확인

(b) 구조물 정보입력

그림 4. 터널단면, 구조물 정보 입력모듈

3) 침하평가 및 건물 손상평가 모듈

본 모듈에서는 현장정보입력모듈에서 입력된 자료를 토대로 대상현장의 막장위치별 혹은 굴착완료시점에서의 침하 및 주변 건물의 손상정도를 평가하는 모듈로서 등고선, 변위곡선, 손상등급 등에 대한 그래프 출력 및 계산결과의 요약출력이 가능하다.

(1) 침하평가 모듈

본 모듈은 IT-TURIMS의 핵심 모듈로서 Peck (1969)과 Attewell (1979)이 제안한 침하평가 모형을 토대로 대상 현장의 터널시공으로 인한 침하량 및 범위를 정량적으로 평가하는 모듈이다. 터널굴착으로 인한 지반거동을 평가하는데 있어 평가결과에 가장 큰 영향을 미치는 인자인 지반손실량(V_s) 및 변위곡점(i)의 위치는 입력된 자료 및 각종 경험식을 토대로 자동적으로 계산되도록 하였으며 해석 혹은 예측자료를 입력하여 그 자료로부터 산정할 수 있도록 하였다. 본 모듈에서 계산되는 지반거동 평가항목 및 출력내용은 다음과 같다.

- 평가항목: 변위 (u, v, w) 경사 ($\partial w / \partial x, \partial w / \partial y$)
- 출력항목: 항목별 등고선 (빌딩 오버레이)

단면별 최대 침하량, 수평변위량, 최대 경사 및 영향범위

(2) 구조물 손상평가 모듈

본 모듈은 Burland (1995)가 제시한 건물 손상평가기법을 토대로 터널노선 주변의 건물에 대한 손상도를 평가하는 모듈이다. 침하평가 모듈과 마찬가지로 손상평가 또한 구간별 수행이 가능하며, 임의 구간에서 막장의 위치를 변화시키며 검토를 수행할 수 있는 기능을 부여하였다. 한편, 손상평가 수행 중에도 현장에 대한 정보를 확인할 수 있도록 입력정보모듈에서 입력된 현장정보 및 터널정보 등이 인터페이스 되도록 작성하였다. 아울러서 각 평가에서는 건물의 손상도가 막장의 위치에 따라 달라질 수 있는 점을 감안하여 '현 막장위치'에 대한 평가와 '굴착완료시'에 대한 손상도 평가가 가능하도록 하였다. 본 연구에서 채택한 건물손상평가 기법에 대한 상세한 내용은 유충식 & 윤효석 (2000)에 제시되어 있다.

3. IT-TURIMS 적용 예

본 연구에서 개발된 IT-TURIMS의 현장적용성을 평가하기 위해 코오롱건설(주)에서 시공한 대구지하철 2-8공구 현장의 일부구간에 적용하였다.

3.1 지반특성

터널구간 : 터널구간의 암반특성을 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 암반특성

구 분	비 중	흡수율 (%)	일축압축강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	점착력 (kg/cm ²)	변형계수 ($\times 10^5$ kg/cm ²)	포아송비	내부마찰각 (°)
범 위	2.428~2.890	0.36~5.54	500 ~ 1950	10.0~180.0	52.0~310.0	0.103 ~ 8.390	0.073~0.382	42~57
평 균	2.618	2.453	686.5	65.7	143.6	3.538	0.175	50.0

3.2 검토대상구간

본 연구에서는 IT-TURIMS의 적용대상구간으로 터널공법으로 시공되는 STA. 14km589.050~STA.15km090.050 구간을 설정하였다. 표 2는 당구간의 터널단면 및 지반조건 등 시공조건을 나타내고 있다.

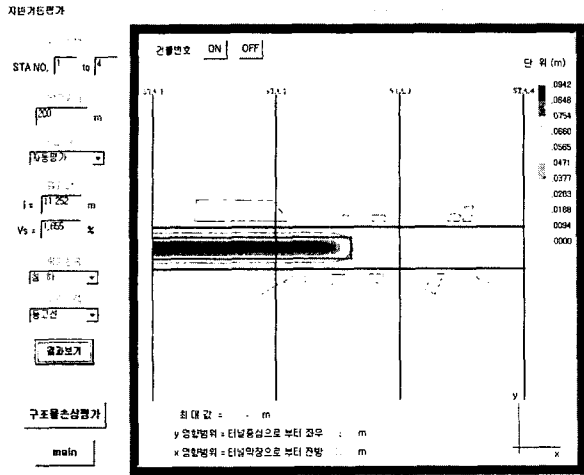
3.3 지반거동 평가

IT-TURIMS를 본 현장에 적용하여 각 STATION구간 별로 지반거동을 평가하였다. 평가하는데 있어서 가장 많은 영향을 미치는 지표지반손실을 $V_s(\%)$ 와 변곡점의 위치 i 는 입력된 지반조건에 따라 Clough와 Schmidt의 경험식(Attewell 등 1986)에 의하여 자동적으로 계산되도록 하였다. 일반적으로 Clough와 Schmidt의 경험식은 타 경험식보다 i 를 크게 평가하므로 본 검토 결과는 보수적이 성향을 나타낸다고 할 수 있다. 계산결과 $V_s=1.855\%$, $i=11.252$ m로 평가되었다.

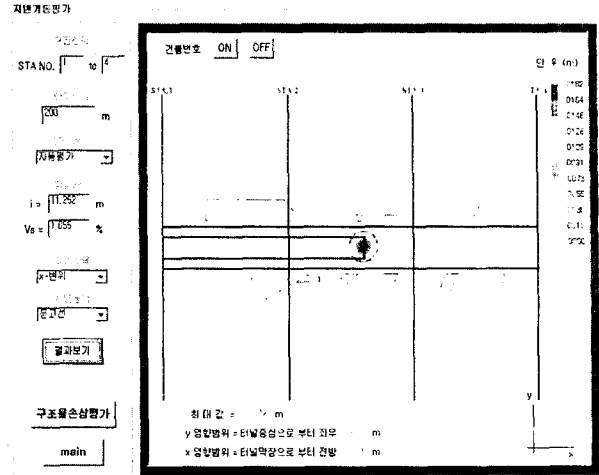
그림 5는 STA. 14km589.050~STA. 14km964.050 구간(시스템 STA. 1~4)에 대하여 터널막장이 STA. 14km589.050으로부터 200m 전방에 위치하는 경우와 터널굴진완료시의 결과를 보여주고 있다.

표 2. 검토대상구간 시공조건

구간(STA)	터널단면	직경(m)	평균심도(m)	지반조건	비 고
14km589.050 ~15km090.050	PS-4	6.75	24.76	경암	단선병렬
15km090.050 ~15km227.950	PS-3B-2	6.75	24.5	경암	단선병렬
15km227.950 ~15km257.050	PS-3B-2	6.75	20.1	경암	단선병렬
15km257.050 ~15km308.000	PS-3B-2	6.75	19.1	경암	단선병렬
15km308.000 ~15km346.000	PS-3B-2	6.75	20.2	경암	단선병렬



(a) 침하등고선



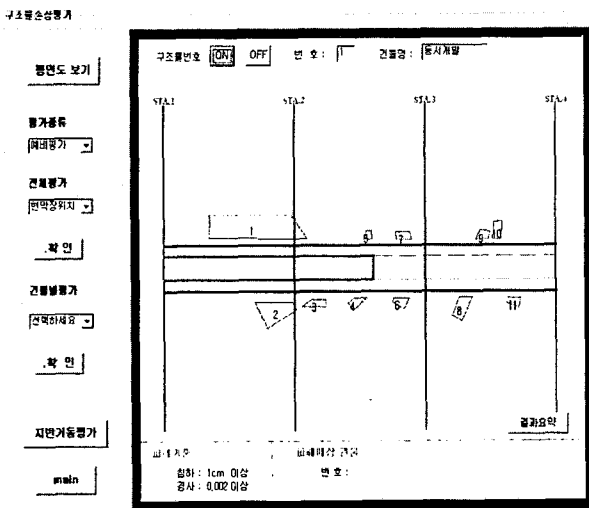
(b) 수평변위등고선

그림 5. 지반침하 및 수평변위 (막장위치 STA. 14km589.050+200)

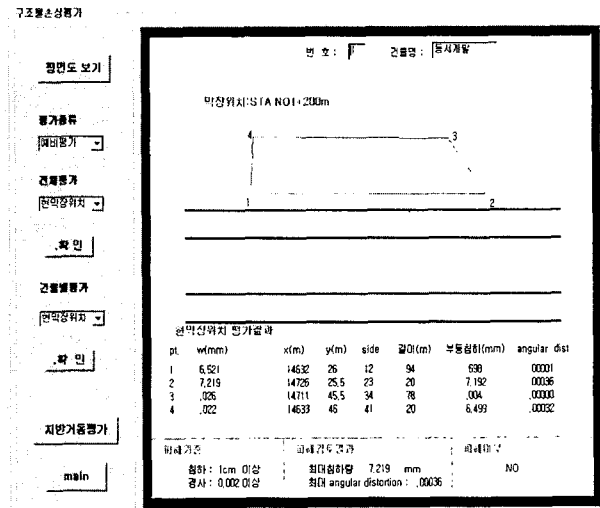
3.4 주변건물 손상평가

앞절의 침하평가 결과를 토대로 검토대상 구간의 건물손상평가를 수행한 결과가 그림 3~6에 나타나 있다. 건물의 손상평가결과는 지반거동정도 뿐만 아니라 건물의 탄성계수와 전단계수의 비(강성비 E/G)에 따라 현저한 차이가 발생하는데 본 검토에서는 현장건물의 대다수가 프레임 건물임을 고려하여 E/G=5정도의 보수적인 수치를 적용하였다.

그림 6과 7은 터널막장이 STA. 14km589.050으로부터 200m 전방에 위치하는 경우에서의 예비 및 상세평가결과를 보여주고 있다.

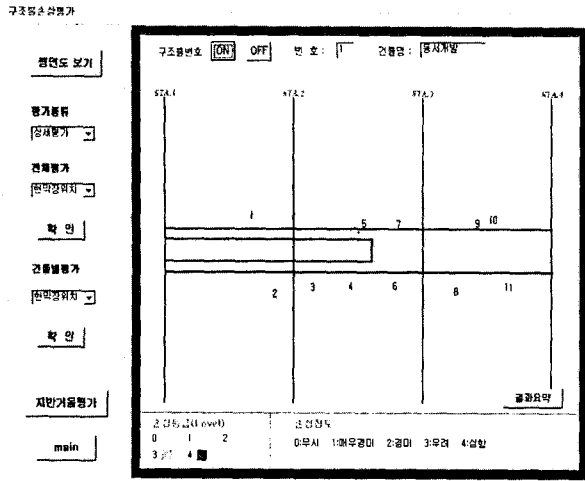


(a) 전체평가

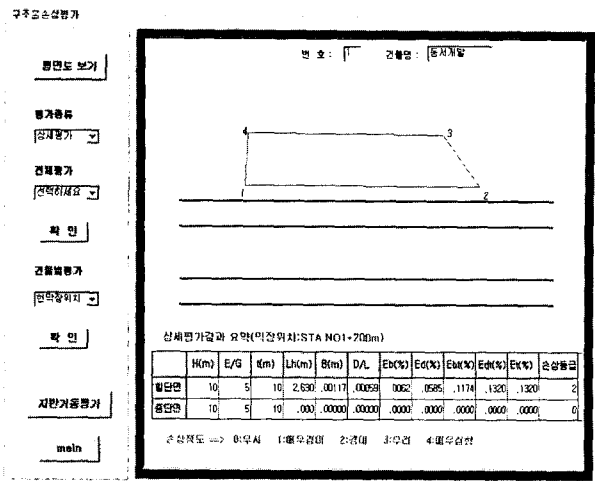


(b) 건물별평가 (건물1)

그림 6. 건물손상도 예비평가(막장위치 STA. 14km589.050+200)



(a) 전체평가



(b) 건물별평가 (건물 1)

그림 7. 건물손상도 상세평가(막장위치 STA. 14km589.050+200)

4. 결 론

본 연구에서 개발된 인터넷에서 구동이 가능한 터널시공 위험도 관리 시스템(InTernet-based TUNnel Construction RiSk Managment System: IT-TURIMS)을 대구지하철 2-8공구에 적용한 결과 지반조건 및 건물강성 등 각종 입력 변수를 다소 보수적인 수치로 적용한 관계로 시공중에 관측된 결과보다는 다소 보수적인 결과를 주는 것으로 나타났으나 IT-TURIMS를 향후 시공현장에 적용할 경우 설계/시공단계에서 터널굴착으로 인한 지반의 거동을 평가하고 주변 건물의 손상 위험도 평가를 통해 시공대책 수립에 매우 효율적으로 적용하는 등 활용도가 매우 높을 것으로 사료된다. 따라서, IT-TURIMS를 앞으로 많은 현장에 적용하여 추가적인 검토후에 향후 시공에 반영함으로써 보다 적극적이고 종합적인 시공 관리 시스템으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 코오롱건설주식회사와 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터(SAFE)의 연구비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 유충식, 윤효석 (2999). "터널굴착에 의한 인접건물의 손상평가". 2000년도 대한토목학회 학술발표회 논문집, 용평, pp.41~44.
2. 김창용(1998), "도심지 터널 굴착에 따른 지반거동 특성 예측과 인접구조물 손상 평가에 관한 연구", 박사학위논문, 한양대학교 대학원.
3. 배규진(1989), "토사터널 굴착에 따른 주변지반의 변위 예측에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원.

4. Attewell, P. B., Farmer, I. W., and Glossop, N. H.(1978), "Ground deformation caused by tunnelling in a silty alluvial clay". *Ground Engineering*, Vol. 11, No. 8, pp.32~41.
5. Attewell, P. B. and Woodman, J. P.(1982), "Predicting the dynamics of ground settlement and its derivatives caused by tunneling in soil". *Ground Engineering*, Vol. 15, No. 8, pp. 13~22.
6. Attewell, P. B., Yeates, J, and Selby, A. R.(1986). *Soil Movements Induced by Tunnelling and their Effects on Pipelines and Structures*. Blackie, New York.
10. Clough, G. W. and Schmidt, B.(1981). "Design and performance of excavations and tunnels in soft clay". In *Soft Clay Engineering*, Elsevier, pp.569~634.
7. Glossop, N. H. and Farmer, I. W.(1977), *Ground deformations during construction of a tunnel in Belfast*. Report to the Dept. of the Environment for Northern Ireland and the Transport and Road Research Laboratory, No. R6/77, October 1977, University of Newcastle upon Tyne.
8. Hong, S. W.(1984), "Ground Movements Around Model Tunnels in Sand", Ph.D thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
9. Kimmance J.P.(1999) "Geographical information system application to construction and geotechnical data management on large projects:", *Proceedings Field Measurements in Geomechanics*, Singapore, pp. 151~156.
10. Burland, J. B.(1995). "Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavations". *Invited Special Lecture to IS-TOKYO '95: 1st Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering*
11. Peck, R. B.(1969), "Deep excavations and tunnelling in soft ground", State of the Art Report, *Proc. 7th Int. Conf. SMFE*, Mexico City, State of the Art Volume, pp.225~290.