

# 도심지 대규모 지하공사의 리스크 분석 체계 개발

## Development of Risk Analysis Structure for Large-scale Underground Construction in Urban Areas

서 종 원<sup>1</sup> Seo, Jong-Won                      윤 지 혁<sup>2</sup> Yoon, Ji-Hyeok  
김 정 환<sup>3</sup> Kim, Jeong-Hwan                  지 성 현<sup>4</sup> Jee, Sung-Hyun

### Abstract

Systematic risk management is necessary in grand scaled urban construction because of the existence of complicated and various risk factors. Problems of obstructions, adjacent structures, safety, environment, traffic and geotechnical properties need to be solved because urban construction is progressed in limited space not as general earthwork. Therefore the establishment of special risk management system is necessary to manage not only geotechnical properties but also social and cultural uncertainties. This research presents the technique analysis by the current state of risk management technique. Risk factors were noticed and the importance of each factor was estimated through survey. The systemically categorized database was established. Risk extraction module, matrix and score module were developed based on the database. Expected construction budget and time distribution can be computed by Monte Carlo analysis of probabilities and influences. Construction budgets and time distributions of before and after response can be compared and analyzed so the risks are manageable for entire whole construction time. This system will be the foundation of standardization and integration. Procurement, efficiency improvement, effective time and resource management are available through integrated management technique development and application. Conclusively decrease in cost and time is expected by systemization of project management.

### 요 지

대규모 공간을 대상으로 하는 도심지 공사는 복잡, 다양한 위험요소가 존재하여 체계적인 리스크 관리가 필요하다. 일반적인 토공사와는 달리 제한된 도시공간이라는 특수한 환경에서 공사가 진행되므로 지반 공학적 특성 외에도 사회, 문화적 불확실성을 통합적으로 관리할 수 있는 특화된 리스크 관리체계의 구축이 필요하다. 본 연구는 먼저 대표적인 리스크 관리 기법의 현황 파악을 통해 기술 분석을 하였다. 설문조사를 실시하여 리스크 인자 파악 및 중요도를 평가하고 공법별, 카테고리별 체계적으로 분류된 DB를 구축하였으며 이를 기반으로 리스크 추출 모듈과 매트릭스, 스코어 기능을 개발하였다. 확률 및 영향 분석 데이터를 몬테카를로 분석을 통해 예상되는 총 공사비 및 공사기간 분포를 산출할 수 있으며 대응 전, 후 공사비 및 공사기간 분포의 비교 분석이 가능하여 프로젝트의 전 기간에 걸쳐 리스크 관리가 가능한 분석 체계를 구축하였다. 구축된 리스크 관리 체계는 관리 기술 표준화 및 통합 시스템 구축의 토대가 될 것이며 통합적 리스크 관리기법의 개발 및 실용화를 통해 사업의 예산확보 및 운영상 효율성 증대, 효과적인 공정 및 자원관리가 가능하여 결과적으로 지하공사 사업관리의 체계화 및 효율성 증대를 가져와 전체 공사비, 공사기간 저감의 효과를 기대할 수 있다.

**Keywords :** Risk management, Simulation, Underground construction, Urban area

1 한양대학교 건설환경공학과 부교수 (Associate Prof., Dept. of Civil and Environ. Eng., Hanyang Univ., jseo@hanyang.ac.kr, 교신저자)

2 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil and Environ. Eng., Hanyang Univ.)

3 한양대학교 건설환경공학과 박사과정 (PhD Student, Dept. of Civil and Environ. Eng., Hanyang Univ.)

4 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil and Environ. Eng., Hanyang Univ.)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2010년 9월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

## 1. 서론

최근 주요 선진국들을 중심으로 수도권의 인구 과밀 해소와 노후화된 도시의 지속가능한 성장을 위한 도시 재생 및 복합 개발 사업이 활발히 이루어지고 있다. 국내도 이러한 움직임이 시작되어, 서울과 인천을 중심으로 도시 전체의 균형발전과 경쟁력 강화를 위해 뉴타운, 재개발 사업 등 도심지 공간 창출을 위한 노력이 확대되고 있는 추세다.

이러한 도심지 공사는 대규모 지하공간 확보를 위하여 공사규모가 커지고 공사이행기간이 길어지면서 기존 도심지 공사에 비하여 리스크가 증가하게 되어 리스크 요인을 체계적으로 확인 하고 정량화하는 리스크 관리의 중요성이 강조되고 있으며(김창환 등, 2000; 황지선, 이찬식, 2004), 사업의 성패에 영향을 주는 핵심 영역 중의 하나라고 할 수 있어 리스크 관리가 더욱 필요한 시점이다(신규호, 김재준, 2002).

최근 건설공사 리스크 관리에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 유인근 등(2006)은 지하구조물 공법의 리스크 요인 분석을 실시하여 최적의 공법 선정 과정을 제시하였고, 이민우와 이찬식(2000)은 건설공사의 시설물별, 공종별, 직종별 위험도를 제시하였으며 김재욱 등(2003)과 최병호 등(2003)은 건축공사의 공사기간에 관한 리스크를 식별하여 리스크 지수 및 수준을 제시하였으나 리스크 요인의 범위가 건축공사 공법에 따른 리스크 분석과 리스크 요인에 대한 분석에만 그치고 있다. 또한 도심지 대규모 지하공사에 대한 리스크를 중점적으로 분석하는 연구 및 도구에 대한 개발 실적이 미비하다.

이러한 한계점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 도심지 대규모 지하공사라는 특수한 환경에서 진행되는 공사에 대하여 지반 공학적 특성과 상, 하수도 전력구 등과 같은 지장물, 인접 구조물, 소음 및 진동, 비산 먼지 등 민원, 안전, 환경 등의 리스크를 설계에서 유지보수단계까지 통합적으로 관리할 수 있는 특화된 리스크 관리 체계를 제시하고자 한다.

이를 위하여 본 논문에서는 공법, 단계, 특성별 리스크 인자 분석, 평가를 통한 리스크 인자 DB를 구축하여 리스크 등록부(Risk Register)를 통해 민원, 안전, 환경, 문화적 요인을 포함한 공사 전반을 정성적으로 분석하여 총 공사비 및 공사기간 분포를 획득하는 것을 목표로 한다.

본 논문은 리스크 인자 조사 및 분류체계 연구를 통한 DB구축과 AHP(Analytic Hierarchy Process) 중요도 분석,

이를 활용한 스프레드시트 기반의 리스크 등록부 개발을 통해 리스크 관리 체계를 구축하는 것으로 연구범위를 한정하였다. 본 연구는 그림 1과 같이 먼저 국내외 문헌 및 자료조사를 기본으로 대표적인 리스크 관리기법의 현황 파악을 통해 기술 분석 및 특징, 문제점을 파악 하였다.

기초연구 단계로 도심지 지하공사에서 발생 가능한 리스크 인자 파악 및 수집된 인자들의 중요도를 평가하고 DB를 구축하였다. 구축된 DB에서 맞춤형 리스크 인자를 스프레드시트 리스크 등록부로 추출 할 수 있는 리스크 추출 모듈과 리스크 인자의 확률과 영향을 정성적으로 분석하여 시각적인 그래프로 표시하는 리스크 매트릭스, 확률과 영향을 총점으로 환산하여 리스크 인자별 등급 및 우선순위를 파악할 수 있는 스코어 환산 기능을 개발하였다. 리스크 확률 및 영향 분석 데이터를 몬테카를로 분석 시뮬레이터인 크리스탈 볼(Crystal Ball 7)에 입력 및 구동시켜 예상되는 총 공사비 및 공사기간 분포를 산출 할 수 있으며 리스크 대응 전, 후 공사비 및 공사기간 분포의 비교 분석, 리스크 인자별 민감도 분석이 가능하여, 프로젝트의 전 기간에 걸쳐 리스크 관리 및 제어, 통제가 가능한 분석 체계를 구축하였다.

이러한 대규모 도심지 지하공사의 리스크 관리기법의 개발을 통해 사업 예산확보 및 운영상 효율성 증대, 효과적인 공정 및 자원관리가 가능하여 결과적으로 지하공사 사업관리의 체계화 및 효율성 증대를 가져와 전체 공

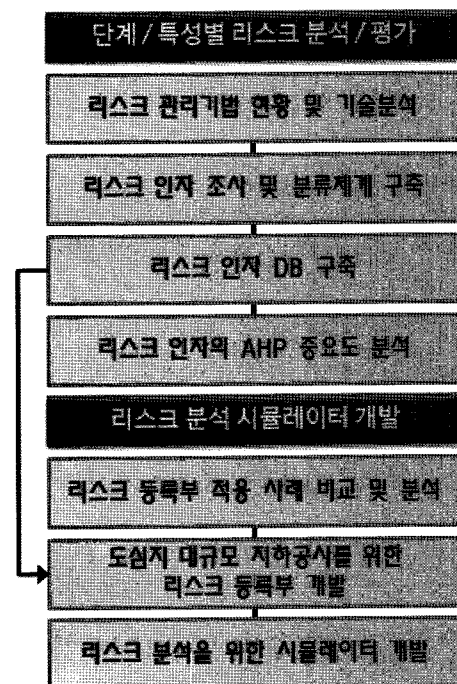


그림 1. 도심지 대규모 지하공사의 리스크 분석 체계

사비, 공사기간 저감의 효과를 기대할 수 있을 것이다.

## 2. 리스크 관리기법 현황 및 기술 분석

리스크 관리기법에 대한 연구는 꾸준히 이루어져 왔으며, 다양한 기법들이 소개되었고 개발되었다. 본 논문에서는 크게 두 가지의 리스크 관리기법에 대하여 분석을 했다.

선행연구 분석은 첫 번째, 지반/지질 공학적 리스크 접근방식과, 두 번째, 전통적인 리스크 분석 기법의 시스템화로 나누어 수행하였다. 지반/지질 공학적 접근 방식으로, 터널의사결정체계(DAT)는 미국 M.I.T 대학 H. H. Einstein 교수에 의해 개발된 프로그램으로 터널의 공사비 및 공사기간의 정량적 산정기법으로 대상터널 주변의 불확실한 지질 및 예측 불가능한 시공법상의 변수를 함께 고려하여 터널의 시공 과정을 수치적으로 시뮬레이션하고 총 공사비 및 공사기간의 분포를 얻을 수 있는 일련의 공정관리 시스템을 의미한다(Einstein et al, 1999). 즉, 터널공사에서 가장 비중이 큰 지반 공학적 리스크를 분석 및 관리하기 위해 지반 특성에 따른 시공 프로세스 및 사이클 단위의 확률분포 생성 및 모형화를 통하여 총 공사비 및 공사기간을 산출하고 이를 활용한 터널 시공 의사결정 시스템을 말한다(Einstein, 2004; Min et al, 2008).

지반 공학적 리스크 관리 체계인 GeoQ는 2000년 Schiphol 국제 공항의 프로젝트 책임자였던 Jacob이 건설 공사 중 지반 침하가 예측한 것 이상으로 발생하는 것을 인식하여 시공 중 발생 가능한 지반 침하의 범위와 확률을 측정함으로써 리스크 관리를 하도록 제안한 개념이다. GeoQ의 리스크 관리 절차는 6단계 과정으로 진행되며 공사의 규모와 지질의 상태에 관련 없이 다양한 건설 프로젝트에 적용이 가능하다. 프로젝트 목표를 명확하게 파악하기 위하여 정보를 수집하고 이 정보를 기반으로 하여, 리스크를 파악하고 구분하게 된다. 무엇이 예측할 수 있는 리스크인지, 리스크들은 프로젝트에 영향을 어느 정도 미칠 것인지를 분석한 다음 리스크 개선 대책을 선택하고 프로그램을 실행시킨 후에 리스크 평가 결과가 도출된다. 마지막으로 이전 단계를 모두 거친 리스크 정보들이 등록부에 저장되어 지속적으로 리스크를 관리하게 된다(Martin, 2006).

또한 전통적인 리스크 분석 기법의 접근 측면에서 RBES 프로그램은 건설 공사 프로젝트에 사용될 목적으로 미

국의 워싱턴 주 교통부(WSDOT)에서 개발하였으며, 정성적·정량적 리스크 분석을 수행함으로써 프로젝트의 비용과 진행 일정을 통합적으로 분석할 수 있도록 설계되었다. 프로그램을 실행하기 전에 프로젝트의 예측된 공사기간 및 비용, 그리고 중요일정 등의 기본 정보가 필요하다. 리스크 분류 방법에 의하여 리스크 등록부에 리스크 요소들을 입력하고 각 리스크 별 특성을 추가적으로 입력하여 실행시키면 프로젝트의 단계별 비용 분포 및 예상 공사 완공일 분포가 산출된다(WSDOT 2008a).

## 3. 리스크 인자 조사 및 DB 구축

도심지 지하공사에서 발생 가능한 복잡, 다양한 위험 요인들을 사전에 효율적으로 관리하기 하기 위해서는 체계를 갖춘 리스크 인자 조사 단계를 거쳐야한다. 본 연구에는 리스크 분석을 위한 예비단계라고 할 수 있는 리스크 인자 도출 및 평가의 구체적인 프로세스를 다음과 같이 제시하였다.

- (1) 리스크 범주 결정을 위한 공법 및 카테고리별 분류 체계 구축
- (2) 문헌조사 및 선행 프로젝트 분석, 현장 실사, 전문가 인터뷰, 워크샵, 설문조사
- (3) Risk Breakdown Structure(RBS) 및 DB구축
- (4) 상위 인자 추출, 중요도 분석 및 영향인자 분석

### 3.1 리스크 인자 조사 및 분류체계 구축

신뢰도 높은 리스크 분석을 위해 프로젝트의 전체 프로세스에서 발생 가능한 모든 리스크를 파악하여 관리해야한다. 이는 프로젝트의 단계 및 공종이 진행되면서 새로운 리스크를 파악하게 되므로 반복적인 프로세스라고 할 수 있다. 따라서 파악된 리스크를 리스크 등록부에 기록하여 지속적으로 관리하는 것이 필요하다. 리스크 등록부를 효율적으로 관리하기 위한 예비단계로써 리스크인자를 발생 근원 및 영향요소까지 파악해야 하며 일정한 범주 및 기준에 따른 체계적인 분류체계를 구축하는 것이 필요하다.

본 연구는 도심지 지하공사를 대상으로 하는 특수성을 고려하여 주요 흠막이 공법인 H-pile 토류판 공법, CIP 공법, SCW 공법, Sheet 공법, 토류벽 공법, NATM 공법, TBM-Sheild 공법 등 7개 공법으로 한정하였으며, 공기 및 공사비에 직·간접적으로 영향을 줄 수 있는 영향요

소를 지반특성, 설계 및 시공, 안전, 환경, 계약, 운영, 허가, 민원 등 6개의 카테고리로 분류체계를 구축하였다. 그리고 각각의 리스크 인자에 대해 공법 및 카테고리에 따른 코드번호를 부여하였다.

문헌조사 및 선행 연구 분석을 통한 기초 연구를 바탕으로 다수의 도심지 지하 흠막이 및 지하철 공사 현장 실사를 실시하여 발생 가능한 공법 및 카테고리별 리스크 인자를 수집하였다. 이와 함께 터널 및 지하 흠막이 공사 설계, 시공 전문가를 대상으로 한 인터뷰와 설문조사 실시로 추가 리스크 인자를 수집, 보완 하였다.

앞서 구축된 분류체계에 따라 도심지 대규모 지하공

사의 카테고리별 RBS(Risk Breakdown Structure)를 다음과 같이 제시하였다(그림 2). RBS를 작성함으로써 지하공사에 내재되어 있는 리스크를 구체적으로 인식할 수 있을 뿐만 아니라 차후 리스크의 분석과 대응방안 구축 및 리스크 관리에도 용이하다.

### 3.2 리스크 인자 DB 구축

수집 및 조사된 모든 위험요인들을 리스크 인자 분류 체계에 따라 부여된 코드번호와 적용 공법, 카테고리, 프로젝트 진행 단계별로 구분된 MS-EXCEL 스프레드

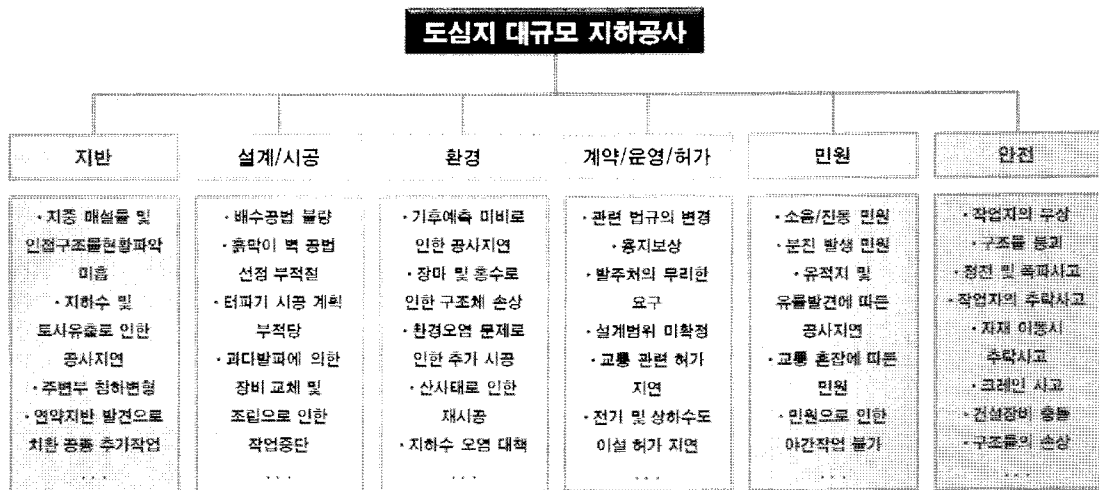


그림 2. 도심지 대규모 지하공사의 Risk Breakdown Structure 구축

코드	공법	카테고리	단계	위험요인	인원구조물	민원	지하수	교통	지하매설물	사유자
BV001	CIP	민원	계약 및 시공	문화재 출토로 인한 공사지연 및 중단		○				
BV002	CIP	민원	계약 및 시공	진동 관련 민원발생		○				
BV003	CIP	민원	계약 및 시공	소음 관련 민원발생		○				
BV004	CIP	민원	계약 및 시공	분진 및 비산먼지 관련 민원 발생		○				
BV005	CIP	민원	계약 및 시공	종교적 민원 발생		○				
BV006	CIP	민원	계약 및 시공	노조파업		○				
BV007	CIP	민원	계약 및 시공	사유지 접촉						○
CI001	SCW	지반	계약 및 시공	총리구간 발생으로 공법 변경						
CI002	SCW	지반	계약 및 시공	새로운 극경험 구간 발생으로 공법변경						
CI003	SCW	지반	계약 및 시공	지하매설물 파손					○	
CI004	SCW	지반	계약 및 시공	지질조사보고서와 실제 지질상태의 차이 과다 발생						
CI005	SCW	지반	계약 및 시공	지반조사 항목 및 수량 부적절						
CI006	SCW	지반	계약 및 시공	새로운 지하수 구간 발생			○			
CI001	SCW	설계/시공	계약 및 시공	가설재 설계 미비로 설계 변경						
CI002	SCW	설계/시공	계약 및 시공	구조적 결함						
CI003	SCW	설계/시공	계약 및 시공	도면/시방 누락으로 추가 설계						
CI004	SCW	설계/시공	계획 및 설계	설계기간 부족으로 인한 설계항목 누락						
CI005	SCW	설계/시공	계획 및 설계	과다설계로 인한 자재수용 상승 및 공사비 증가						
CI006	SCW	설계/시공	계획 및 설계	부적절한 공법 선정으로 시공 불가						
CI007	SCW	설계/시공	계획 및 설계	특수공법적용의 불확실성						
CI008	SCW	설계/시공	계약 및 시공	구조물/자재 등의 손상 및 고장						
CI009	SCW	설계/시공	계약 및 시공	계측기 수량 및 설치위치 부적절						
CI010	SCW	설계/시공	계약 및 시공	사토장 위치 변경						
CI011	SCW	설계/시공	계약 및 시공	가설벽중 부식/누락						
CI012	SCW	설계/시공	계약 및 시공	인접구조물 위치의 설계와 현장간 오차발생	○					
CI013	SCW	설계/시공	계약 및 시공	지하매설물 위치의 설계와 현장간 오차발생					○	
CI014	SCW	설계/시공	계약 및 시공	배수계획 미비로 배수 불량			○			
CI015	SCW	설계/시공	계약 및 시공	강재 이음부 부실시공으로 일부 재시공						
CI016	SCW	설계/시공	계약 및 시공	뒷채움 부실로 인한 지반침하						

그림 3. 리스크 인자DB 구축

시트 기반의 리스크 인자 목록을 구성하였다. 총 670개의 인자가 포함되며 리스크 인자 추출 모듈 적용을 위해 각 위험요인은 공사현장의 여건 및 주변 환경에 따라 영향을 받는지의 여부를 인접구조물 영향, 민원 지역, 지하수 발생 위험, 주변 교통 영향, 지하매설물 존재, 사유지 저촉 등으로 표기하였다. 이는 프로젝트 준비 및 초기단계에서 해당 공사의 기본정보에 따라 적합한 인자를 추출할 수 있는 리스크 인자 추출 모듈의 DB라고 할 수 있다. 구축된 리스크 인자 DB는 다음 그림과 같다 (그림 3).

### 3.3 도심지 지하공사에서의 위험요소 도출 및 중요도 분석

도심지 대규모 지하공사에서 발생 가능한 리스크를 도출하고, 계층적 의사결정방법(AHP)을 활용하여 도출된 요인들 간의 중요도 분석을 실시하였다(그림 4). 먼저 지하공사 설계 및 시공 전문가를 대상으로 한 설문조사를 통해 위험요소들 중에서 가장 영향력이 큰 상위 20개의 요소를 도출하였다(표 2). 설문조사는 각 위험요

인들의 발생확률과 함께 공사비와 공사기간에 영향을 주는 정도를 매우 낮음에서 매우 높음의 5단계로 나누어 기록하는 방식을 택하였으며 각 기준은 다음 표 1과 같다.

도심지의 경우 주변에 건물과 같은 인접 구조물이 많기 때문에 흠막이 공사를 위한 천공 작업이나 발파 작업이 진동과 소음을 유발하여 민원 발생이 자주 일어나며, 지하에 있는 하수관거 및 통신 케이블, 도시가스관 등의 지하 매설물로 인해 지하 굴착이 어려울뿐더러, 도시화 이전에 설치된 매설물의 경우 설계상의 위치와 다른 경우가 많아 공사 기간을 지연시키는 점 때문에 가중치가 높게 평가되었다. 안전관리 측면에서는 안전사고로 인

표 1. 위험요소의 가중치 및 빈도수 판정 기준

기준	발생 확률	영향(공사비)	영향(공사기간)
매우 낮음	0~10%	1천만원 이하	1일 이내
낮음	11~30%	1억원 이하	1주일 이내
보통	31~50%	10억원 이하	1개월 이내
높음	51~85%	100억원 이하	6개월 이내
매우 높음	86%~	100억원 초과	6개월 초과

단계	구분	위험 요인	발생확률	영향(공사비)	영향(공기)	총점(Score)	순위
			평균	평균	평균	평균	
계약 및 시공	외부적 요인	진동 및 소음 관련 민원발생	3.50	3.63	3.50	12.81	1
계약 및 시공	시공적 요인	인접구조물/지하매설물 위치의 설계와 현장간 오차발생	3.25	3.75	3.50	12.50	2
계약 및 시공	지반/환경 요인	기후변화에 따른 공사지연	3.38	3.63	3.13	12.25	3
계약 및 시공	시공적 요인	흠막이 부실시공으로 인한 토사 붕괴	3.13	3.63	3.88	12.00	4
계약 및 시공	외부적 요인	지장을 워치 변경 및 이설 허가 지연	3.38	3.38	3.25	11.81	5
계약 및 시공	안전/운영/유지관리	안전사고로 인한 인명피해	3.00	3.75	4.00	11.75	6
계약 및 시공	안전/운영/유지관리	원자재가 상승으로 자재비 상승	2.88	3.63	3.88	11.00	7
계약 및 시공	시공적 요인	환기구 및 출입구 위치 조정으로 설계변경	2.75	3.25	3.50	10.81	8
계약 및 시공	시공적 요인	조달 지연으로 자재 부족	3.00	3.38	3.50	10.56	9
계약 및 시공	지반/환경 요인	지질조사보고서와 실제 지질상태의 차이 과다 발생	2.75	3.63	3.75	10.25	10
계약 및 시공	시공적 요인	장비의 손상 및 고장	2.75	3.63	3.63	10.00	11
계약 및 시공	지반/환경 요인	지하매설물 파손	2.75	3.50	3.75	9.88	12
계약 및 시공	외부적 요인	분진 및 비산먼지 관련 민원 발생	2.38	3.63	4.25	9.75	13
계약 및 시공	외부적 요인	발주처의 과도한 요구	2.75	3.38	3.50	9.75	14
계약 및 시공	안전/운영/유지관리	화재로 인한 구조체 손상	2.75	3.50	3.38	9.69	15
계약 및 시공	시공적 요인	사토장 위치 변경	2.88	3.38	3.38	9.56	16
계약 및 시공	지반/환경 요인	환경오염문제로 인한 공사 지연 및 중단	2.75	3.38	3.57	9.50	17
계약 및 시공	외부적 요인	문화재 출토로 인한 공사지연 및 중단	2.88	3.25	3.43	9.44	18
계약 및 시공	지반/환경 요인	지진, 태풍 등의 자연 재해에 따른 피해	2.75	3.38	3.13	9.31	19
계약 및 시공	안전/운영/유지관리	회사 내부의 조직 및 인적 자원의 부족	2.50	3.63	3.75	9.19	20
계획 및 설계	시공적 요인	설계기간 부족으로 인한 설계항목 누락	2.88	3.13	2.75	9.13	21
계약 및 시공	시공적 요인	배수계획 미비	2.38	3.25	3.75	8.88	22
계약 및 시공	지반/환경 요인	새로운 극경암 구간 발생	2.50	3.50	3.57	8.81	23
계약 및 시공	시공적 요인	착공지연	2.50	3.25	3.50	8.75	24
계약 및 시공	시공적 요인	노선 단면 확장 및 축소로 설계변경	2.25	3.75	3.88	8.69	25
계획 및 설계	시공적 요인	과다설계로 인한 자재수량 상승 및 공사비 증가	2.75	3.25	2.38	8.56	26
계약 및 시공	지반/환경 요인	뒤틀림을 부실로 인한 지반침하	2.75	3.00	3.00	8.56	27
계약 및 시공	시공적 요인	부적절한 장비 선정	2.75	2.88	3.13	8.56	28
계획 및 타당성 분석	외부적 요인	환율 변동	2.50	3.25	2.88	8.56	29
계획 및 타당성 분석	외부적 요인	물가상승	2.63	3.25	2.75	8.50	30
계약 및 시공	안전/운영/유지관리	가설 흠막이 전도 및 붕괴	2.13	4.00	3.88	8.44	31
계약 및 시공	안전/운영/유지관리	공사사고(전도, 침하)	2.25	3.75	3.63	8.25	32
계약 및 시공	시공적 요인	불명료한 세부설계/시방	2.13	3.75	3.88	8.25	33
계약 및 시공	시공적 요인	부적절한 지반천공방식 선정	2.38	3.13	3.00	8.13	34
계약 및 시공	외부적 요인	자금조달 지연	2.38	2.88	3.63	7.94	35

그림 4. 도심지 대규모 지하공사의 위험요인 분석 결과

표 2. 상위 20개 위험요인의 AHP 중요도 분석결과

카테고리	위험요인	가중치	빈도수(확률)	중요도	순위
외부적 요인 (EF)	문화재 출토로 인한 공사 지연 및 중단	0.125	0.083	0.1038	5
	진동 및 소음 관련 민원발생	0.232	0.279	0.6473	1
	지장물 위치 변경 및 이설 허가 지연	0.308	0.159	0.4897	2
	분진 및 비산먼지 관련 민원 발생	0.192	0.179	0.3437	3
	발주처의 과도한 요구	0.144	0.301	0.4334	4
시공적 요인 (CF)	조달 지연으로 자재 부족	0.111	0.222	0.2464	4
	장비의 손상 및 고장	0.102	0.113	0.1153	5
	사토장 위치 변경	0.05	0.206	0.1030	6
	인접구조물/지하매설물위치의설계와 현장간 오차 발생	0.284	0.204	0.5794	1
	흙막이 부실시공으로 인한 토사 붕괴	0.232	0.132	0.3062	2
	환기구 및 출입구 위치 조정으로 설계변경	0.219	0.123	0.2694	3
안전/운영/유지관리 (SM)	안전사고로 인한 인명피해	0.593	0.228	1.3520	1
	화재로 인한 구조체 손상	0.268	0.047	0.1260	3
	원자재가 상승으로 자재비 상승	0.109	0.407	0.4436	2
	회사 내부의 조직 및 인적 자원 부족	0.03	0.318	0.0954	4
지반/환경 요인 (GE)	지하매설물 파손	0.228	0.185	0.4218	3
	지질조사 보고서와 실제 지질상태의 차이 과다발생	0.188	0.273	0.5132	2
	환경오염문제에 의한 공사 지연 및 중단	0.109	0.296	0.3226	4
	기후변화에 따른 공사 지연	0.436	0.133	0.5799	1
	지진, 태풍 등의 자연재해에 따른 피해	0.04	0.114	0.0456	5

한 인명피해의 중요도가 높게 산정되었다. 3D직종에 속하는 건설 산업의 공사 현장은 건설 장비의 사고와 더불어 작업자들의 안전사고로 인해 작업자들이 항상 위험에 노출되어 있고 사고가 발생할 경우 공사 기간이 지연될 뿐만 아니라 보상 및 재발방지를 위한 추가공사비용에도 영향을 미치기 때문에 중요도가 높게 분석된 것으로 판단된다. 토목 공사의 경우 기후변화에 따라 작업의 유무가 결정되기 때문에 공사기간에 크게 영향을 받기 때문에 중요도가 높게 분석된 것으로 판단된다.

## 4. 리스크 등록부 개발

### 4.1 리스크 등록부

리스크 관리 및 분석 프로세스 중 리스크 식별 단계의 결과물인 리스크 등록부는 프로젝트 특성에 따라 형식이 달라질 수 있으나 일반적으로 카테고리별로 식별된 리스크 목록에 따른 근본 원인 및 세부 시나리오, 책임, 영향, 대응 방안의 내용이 포함되며 체크리스트 형식으로 작성된다. 또 입력된 각 리스크 시나리오에 대한 체계적인 관리를 위해 영향과 발생확률을 산정하고 우선순위를 판단하는 정성적 분석을 통해, 공사 전 단계에

걸쳐 발생할 수 있는 리스크를 제어하기 위한 최적의 틀이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 다양한 프로젝트에 적용되었던 리스크 등록부의 특성 및 장·단점을 분석하여 도심지 대규모 지하공사의 통합적 리스크 분석 및 관리를 위해 특성화된 리스크 등록부를 개발하였다.

### 4.2 리스크 등록부 적용사례 비교·분석

WSSC Bi-County Water Tunnel Project에 적용된 리스크 등록부는 재정, 공기, 평판, 법규, 안전, 환경 등 6개의 카테고리로 분류하였으며 리스크 대응 전·후의 확률 및 영향도와 스코어를 표시하여 리스크의 우선순위를 파악할 수 있고 리스크 대응 후 모니터링이 가능한 장점이 있다. 또한 리스크 대응 방안 입력이 가능하다. 반면에 정성적 분석만 가능하다는 단점이 있다(Goodfellow and Headland, 2009). RBES의 리스크 등록부는 공기 및 공사비의 통합적 관리를 시뮬레이션을 통하여 분석이 가능하다. 또한 리스크 대응 전·후의 공기 및 공사비 분포의 비교 분석이 가능하며 총 기간 뿐 아니라 해당연도의 예산 관리도 가능하다. 또한 정량적 수치를 통해 리스크의 위험수준을 한눈에 알아볼 수 있게 하여 사용자 편의성을 높였다. 단 도로공사 중심으로 제작되어 있고 다물

수 있는 리스크의 수가 제한되어 있다는 단점이 있다 (WSDOT, 2008b). Parsons사의 등록부는 터널시공 프로젝트에 수년간 적용 및 갱신된 양식으로 공기 및 공사비 확률분포 산출과 리스크 대응 전·후 비교, 분석에 적합할 뿐 아니라 도심지 공사에 적용 가능한 카테고리 분류를 구성하였다. 하지만 정성적 분석만 가능하며 구체적인 공기 및 공사비를 입력할 수 없기 때문에 정량적 분석이 불가능하다는 단점이 있다(Parsons, 2008).

### 4.3 도심지 대규모 지하공사를 위한 리스크 등록부 제작

도심지 대규모 지하공사에 적합한 리스크 등록부 작성을 위해 몇 가지 고려사항이 필요하다. 먼저 최종 결과물인 공기 및 공사비 확률분포를 얻기 위해 각 리스크 목록마다 공기 및 공사비에 영향을 준다고 가정해야 하므로 공기 및 공사비의 확률 및 영향을 기재할 수 있도록 해야 하며 리스크 대응을 통해 발생할 수 있는 공기 및 공사비의 확률 및 영향도 산출하여야 한다. 다음 그림 5와 같이 작성된 리스크 등록부를 활용하여 그대로 시뮬레이션 구동이 가능하도록 하기 위해서는 MS-EXCEL 스프레드 시트를 기반으로 사용자의 편의성을 고려하여 간단하면서 입력 및 구동하기 쉽게 작성해야 한다. 이를 바탕으로 도심지 대규모 지하공사의 리스크 등록부를 다음 그림과 같이 개발 하였다. 시트의 좌측은 대응 전, 우측은 대응 후 입력 및 분석이 가능하도록 하였으며 좌측 상단의 리스크 인자 추출, 위험요인 입력, 시뮬레이션 구동 버튼을 VBA(Visual Basic for Applications) 모듈과 연결시켜 사용자 편의성을 높였다.

## 5. 리스크 분석을 위한 시뮬레이터 개발

### 5.1 적합 위험인자 추출 및 입력 모듈

리스크 등록부에 대상 공사 현장의 환경에 따른 리스크 시나리오를 입력하기 위해서는 적합 위험인자 추출 모듈이 필요하다. 이를 위해 다음 그림 6과 같은 EXCEL VBA를 활용한 유저 폼을 제작하였다. 사용 방법은 먼저 적용공법을 선택하고 대상 공사현장의 여건에 따른 영향요소를 클릭하고 리스크 인자 추출 버튼을 누르면 DB로부터 리스트 박스로 적합 위험인자의 목록을 불러들일 수 있으며 등록부 입력 버튼을 누르면 리스크 등록부에 코드와 카테고리, 시나리오의 표제가 등록된다. 또한 리스크 DB에 등록되어 있지 않은 시나리오의 경우에는 위험요인 입력창에 입력하여 등록부에 기록할 수 있는 기능이 포함되어 있다(그림 7).

리스크 등록부 상에서 리스크 인자별 정성적 분석 및 우선순위 판별을 위해 공기 및 공사비의 발생 확률과 공기 및 공사비의 영향을 매우 낮음에서 매우 높음의 5단계로 입력하면 리스크 매트릭스에 리스크 인자의 특성이 자동적으로 표시가 된다(그림 8). 이때 공기 및 공사비의 정성적 수치는 최대, 평균, 최소의 정량적 기간(일)과 금액(천원)으로 환산되어 표시가 되는데 이에 대한 기준은 링크된 시트에서 공사의 규모 및 금액에 맞게 임의의 변경이 가능하다. 확률과 영향의 총점을 1~25점까지의 점수로 표시가 가능하여 리스크의 우선순위 판별에 활용이 가능하며 총점 셀은 점수에 따라 바탕색이 변하게 하여 사용자의 편의성을 높였다.

리스크 등록부 입력 후 시뮬레이션 구동을 위해 각

번호	카테고리	원인	영향	시나리오	원인	위험 요소	영향	발생 확률	영향/시나리오 영향	영향	리스크 매트릭스	총점	발생 확률	영향/시나리오 영향	영향	리스크 매트릭스	총점	CR	
A0010	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타	기타
A0020	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전	안전
A0030	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용	비용

그림 5. 도심지 대규모 지하공사의 리스크 등록부

인자별 정량적 변환 값인 최소, 평균, 최대값을 삼각분포로 변환해 주어야 한다. VBA와 매크로를 활용하여 크리스탈 볼의 입력창에 해당 값이 자동적으로 입력되

어 삼각분포가 생성된다. 시뮬레이션 구동 버튼을 누르면 여러 리스크 인자들의 삼각분포들은 하나의 공기 및 공사비의 확률분포로 생성된다.

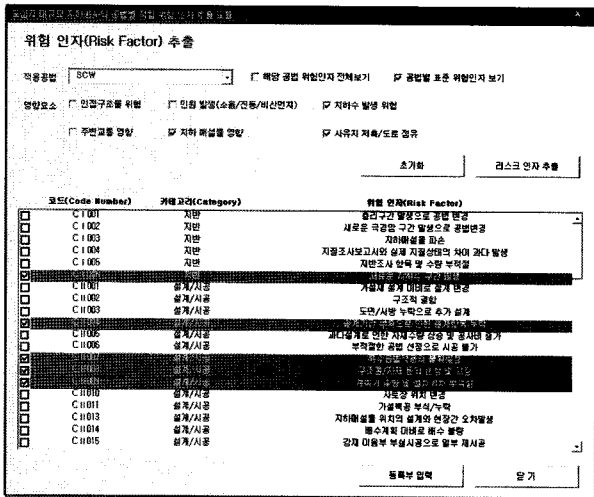


그림 6. 리스크 인자 추출 모듈

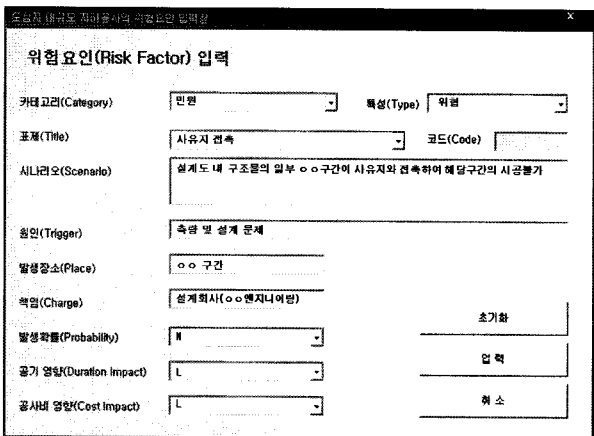


그림 7. 리스크 인자 입력 모듈

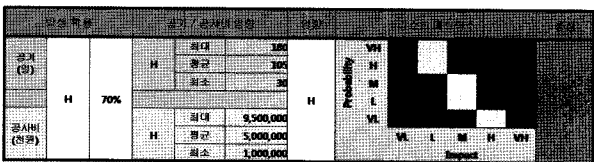


그림 8. 리스크 매트릭스 및 스코어 생성 가능

## 5.2 시뮬레이션 분석

리스크 등록부 상에는 대응 전·후의 확률과 공기 및 공사비 영향의 입력이 가능하다. 따라서 시뮬레이션 분석의 결과인 대응 전, 후의 공기 및 공사비의 확률분포를 오버레이차트와 산포도로 비교 할 수 있다(그림 9). 또한 민감도 분석을 통해 리스크 인자별 우선순위 파악도 가능하다.

## 6. 결론

본 연구에서는 대규모 도심지 지하공사의 통합적 리스크 분석 시스템 개발을 위한 리스크 분석 체계 개발을 위해 공법, 단계, 특성별 리스크 인자 분석, 평가를 통한 리스크 인자 DB를 구축하고 리스크 등록부를 활용하여 민원, 안전, 환경, 문화적 요인을 포함한 공사 전반에 대해 분석 및 평가 할 수 있는 체계를 구축하였다. 도심지 지하공사에 특화된 리스크 카테고리 분류체계를 구축하였고 각 리스크 인자의 정성적 평가를 통해 우선순위를 판단해 보았고, 상위 20개의 인자에 대한 AHP 중요도 분석 결과를 산출하여 향후 리스크 대응을 위한 의사결정의 기초자료로 활용도가 매우 높다. 리스크 등록부는 공사 감독자가 공사의 전 프로세스에 걸쳐 활용할 수 있도록 몬테카를로 시뮬레이션 기능을 통합하여 착공 전 리스크 도출 및 분석에서부터 대응 후 예측까지 공기, 공사비의 비교가 가능하다. 향후 본 논문에서 제안한 내용과 지반 신뢰도 분석 정보를 기반으로 공법, 공종별 시공 리스크를 시공 프로세스에 따라 정량적으로 분석한 확률 데이터를 통합하여 총 공사비 및 공사기간 분포를 획득하는 것이 요구된다.

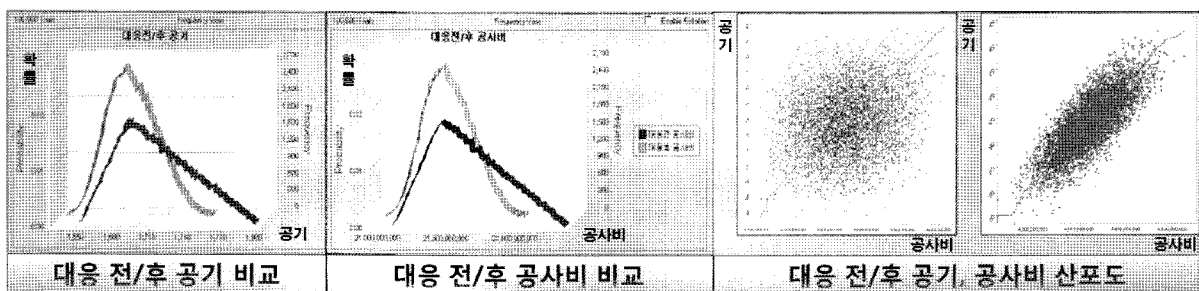


그림 9. 리스크 대응 전, 후 공기 및 공사비 비교



## 참 고 문 헌

1. 김재욱, 우광민, 이학기 (2003), “공동주택공사에서의 공기지연 리스크 분석에 관한 연구”, *한국건설관리학회 학술발표대회 논문집*.
2. 김창학, 강인석, 박홍태 (2000), “대형 건설공사의 기획단계 리스크 크지수 산정에 관한 연구”, *대한토목학회논문집*, 제20권 제5-D호, pp.559-569.
3. 신규호, 김재준 (2002), “국내개발사업 사전기획단계에서의 효율적 리스크 관리를 위한 리스크 인자 중요도에 관한 연구”, *한국건설관리학회논문집*, 제3권 제2호, pp.75-86.
4. 유인근, 최상춘, 조택희, 구분우, 윤여환 (2006), “지하구조물 건축현장의 공법별 리스크 분석”, *한국철도학회 학술발표대회논문집*, pp.20-31.
5. 이민우, 이찬식 (2000), “건설공사의 위험도 산정에 관한 연구”, *대한건축학회논문집-구조계*, 제16권 제5호, pp.105-112.
6. 최병호, 구민경, 박찬식 (2003), “건축 리모델링 프로젝트 리스크 요인 분석을 통한 체크리스트 개발에 관한 연구”, *대한건축학회 학술발표대회 논문집*, 제23권 제1호, pp.347-350.
7. 황지선, 이찬식 (2004), “초기 건설공사 리스크인자의 중요도 산정”, *한국건설관리학회논문집*, 제5권 제2호, pp.115-122.
8. Einstein, H. H., Indermitte, C., Sinfield, J., Descocudres, F. P. and Dudt, J. P. (1999), “Decision Aids for Tunneling”, *Transportation Research Record*, Paper No99-0015, pp.6-13.
9. Einstein, H. H. (2004), “Decision aids for tunneling - Update”, *Transportation Research Record*, No.1892, pp.199-207.
10. Goodfellow, R. J. F. and Headland, P. J. (2009), *Transfer of a Project Risk Register from Design into Construction: Lessons learned from the WSSC Bi-County Water Tunnel Project*, RETC 2009.
11. Martin van Staveren (2006), *UNCERTAINTY AND GROUND CONDITIONS: A RISK MANAGEMENT APPROACH*, Elsevier, pp.127-131.
12. Min, S. Y., Kim, T. K., Lee, J. S. and H. H. Einstein (2008), “Design and construction of a road tunnel in Korea including application of the Decision Aids for Tunneling - A case study”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23(2), pp.91-102.
13. Parsons (2008), Risk Register.
14. Washington State Department of Transportation (2008a), RBES (Risk Based Estimate Self-modeling), (<http://www.wsdot.wa.gov/projects/projectmgmt/riskassessment>).
15. Washington State Department of Transportation (2008b), Risk Management Plan (RMP) User’s Guide, (<http://www.wsdot.wa.gov/publications>).

(접수일자 2010. 2. 26, 심사완료일 2010. 3. 19)

