

## 건설공사의 확률적 위험도분석 시스템 모형 및 해석방법

Probabilistic Risk Assessment System Model and Methods for Construction Projects

조효남\*                  최현호\*\*                  김운배\*\*\*  
Cho, Hyo-Nam          Choi, Hyun-Ho          Kim, Yun-Bae

### ABSTRACT

This paper presents probabilistic risk assessment system model and methods for general construction projects and demonstrates the applicability of the approach to a specific subway construction project. The proposed system model entitled *Integrated Risk Assessment System(IRAS)* for construction projects is composed of four steps, which is newly reorganized and improved in order to be easily adjusted for a systematic PRA of construction projects. Based on the proposed model, and integrated prototype software is then developing for computer-aided PRA of construction projects under the environment of the graphic-user interface, which will be successfully applied to construction projects.

### 1. 서론

최근 각종 건설사고의 발생에도 불구하고 계속되고 있는 건설공사 시 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지하기 위해서 구조물의 시공간 합리적이고 체계적인 위험도분석 및 관리를 통한 공사의 안전관리가 무엇보다도 필요하다. 그러나 국내·외, 특히 국내에서는 주요 건설프로젝트의 시공간 시설물 및 구조물의 정밀 안전시공을 위한 위험도 분석 및 관리 기법이 거의 정립되어 있지 않거나 있다 해도 초대형 건설프로젝트의 경우 형식적인 선에서 이루어지고 있으며 다분히 정성적인 평가에 그치고 있어 체계적이며 과학적인 건설공사 안전관리가 이루어지지 않고 있다. 이런 우리의 건설안전 환경에 비추어 볼 때 각종 건설공사에 내재되어 있는 여러 가지 발생 가능한 위험사건에 대한 위험도를 확률적이며 과학적인 기법에 의해 평가하는 확률적 위험도분석모형 및 분석평가기법에 대한 연구가 절실하게 필요하다.

이에 본 연구에서는 실제 건설공사의 총체적인 위험도 분석에 실용적으로 적용할 수 있는 합리적인 모형 및 기법을 제시하였는데, 이는 건설공사의 종합적인 위험도분석을 객관적인 자료만을 통해 시도한 기존연구[Al-Bahar, 1988]와 달리 객관적 자료에 대해서는 데이터 특성에 적합한 일반 확률적 기법을 적용하고 객관적인 자료에 의해 분석할 수 없을 경우의 위험사건에 대해서는 주관적인 판단을 하고 이를 정량적으로 분석 가능한 퍼지집합이론에 기초한 FETA기법을 통해 그 위험도를 결정하였다. 현재까지 퍼지기법을 이용한 위험도분석평가 연구 사례는 다수 이루어졌지만[Blockley 1978, Hadipriono 1987, Fujino 1994, Gupta & Chakraborty 1998], 건설공사 전반에 걸친 위험도분석에 적용된 사례는 없다. 한편 실제 건설공사에 있어서 위험도분석에 필요한 객관적인 데이터가 무척 부족한 국내의 실정을 감안하면 인간의 많은 경험에 의한 주관적인 판단자료에 의한 위험도 분석평가가 불가피하다고 할 수 있다. 이때 퍼지사건수기법은 매우 유용한 기법이라 할 수 있다.

### 2. 확률적 위험도분석평가 System 모형

본 연구에서 수행하고자 하는 건설공사의 위험도분석평가에 적합하도록 위험도분석 평가 절차

\* 한양대학교 토목·환경공학과 교수  
\*\* 한양대학교 토목·환경공학과 박사과정  
\*\*\* 한양대학교 토목·환경공학과 석사과정

은 그림 1과 같이 체계적으로 정립하여 제시한 통합적인 위험도분석평가 시스템(Integrated Risk Assessment System: IRAS) 모형은 실제 건설공사의 확률적 위험도분석을 수행함에 있어 합리적이고 총이하도록 크게 위험사건 수집단계, 위험사건규명단계, 위험도 해석 및 평가단계 그리고, 마지막으로 위험관리 단계로 구성되어 있다. 특히 Hadipriono[1986]가 가시설구조물에 적용한 FETA기법에 적용한 램프곡선을 토대로 새로이 제안한 개선된 퍼지램프곡선[조효남 외, 1998]을 통해 언어학적 변량의 선택의 폭을 좀더 넓게 하였고 아울러 현장전문가의 경험에 의한 주관적 판단을 통해 작성되어지는 Checklist의 불확실성을 고려하기 위하여 공사의 복잡성(complexity of duties), 작업에 대한 교육수준(education), 작성자의 신체적 상태(physical condition) 및 과거유사 공사에 대한 경험(experiences) 네 가지로 크게 구분하여 전문가의 판단에 대한 불확실성의 범위를 정하여 각기 다른 전문가 및 상태에 따라 달라지는 문제점을 고려할 수 있는 방법을 제시하였다. <그림 1>은 본 논문에서 제안한 건설공사의 통합적 위험도분석평가 시스템 모형을 나타낸 것으로 각 절차에 대한 간단한 설명을 하면 다음과 같다.

### 2.1.1 위험사건 수집 (Risk-related information Survey)

위험사건수집단계는 위험도분석평가의 첫 번째 단계로서 공사의 종류, 규모, 시공방법(신공법 적용여부 등), 공사기간, 시공업체 및 업체의 공사에 대한 경험, 안전관리 실태 등을 전반적으로 조사하게 된다. 위험도분석평가대상이 되는 건설공사현장의 특성에 따라 내재한 전반적인 위험사건들을 현장전문가들의 도움을 통해 빠짐없이 수집한다.

### 2.1.2 위험사건규명(Risk Identification)

앞서 수집된 위험사건에 대한 자료는 위험사건분류과정을 거쳐 위험도를 분석할 수 있는 객관적인 자료와 현장전문가의 주관적인 판단에 의해 위험 분석이 이루어지는 자료로 나눌 수 있다. 전자에 대해서는 위험사건의 특성에 맞는 적절한 일반 확률적 방법을 적용하기 위한 기초자료가 되고 후자에 대해서는 퍼지기법을 적용하기 위해 현장전문가가 Checklist를 통해 직접 검토를 하고 시나리오를 작성하게 된다. 특히, Checklist 는 주관적 판단 자료로서 바로 퍼지사건수분석기법의 입력데이터가 되므로 건설공사현장에 맞게 세밀히 구성되고 현장전문가에 의해 빠짐없이 모든 항목이 꼼꼼히 작성되어야 한다.

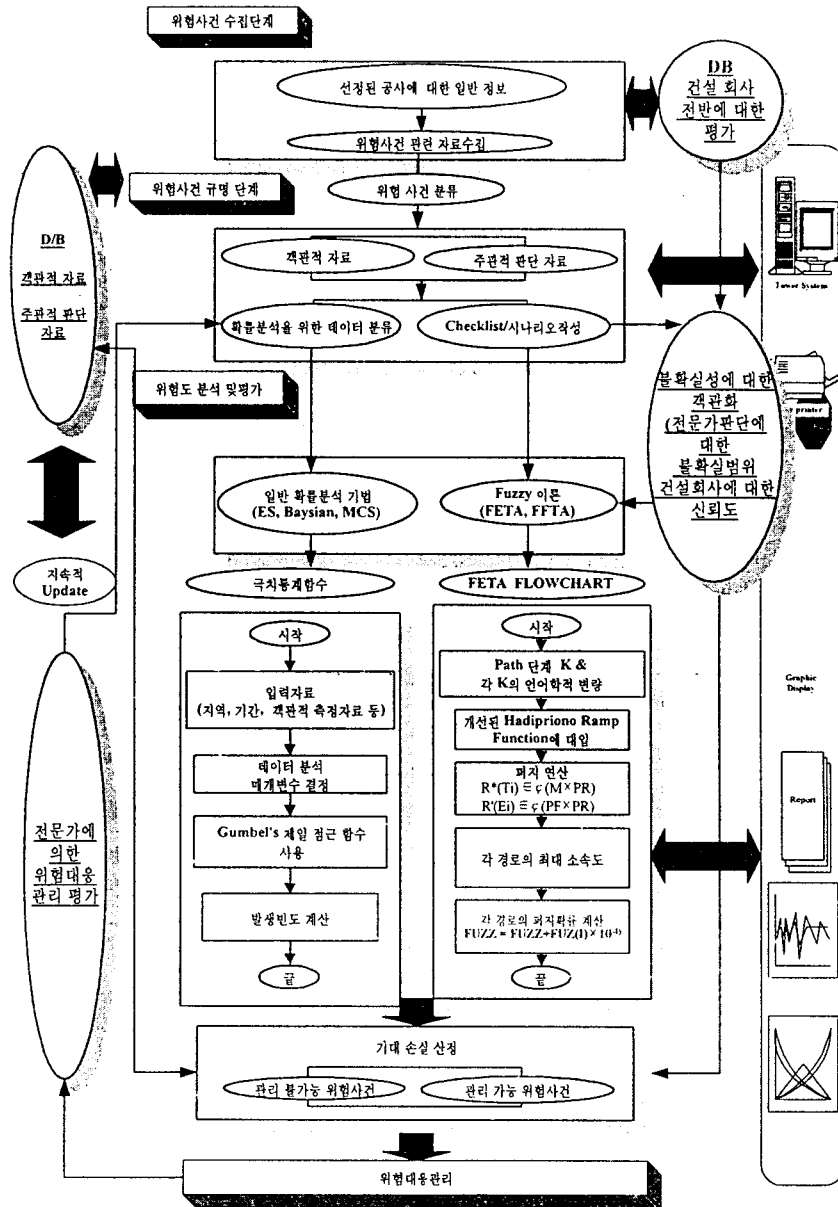
### 2.1.3 위험도해석 및 평가 단계

위험사건규명과정을 거쳐 준비된 위험사건에 대한 실제적인 위험도를 정량적으로 분석하는 단계로서 크게 일반확률방법과 퍼지집합이론방법으로 나누어 발생확률을 산출한다. 본 연구에서는 우선 일반확률방법으로는 자연재해(지진, 홍수에 국한)의 발생확률 산정 시 많이 사용되고 있는 극치통계분석기법을 시범적으로 적용하였고, 후자에 대해서는 FETA 기법을 사용하여 현장전문가가 조사한 Checklist 및 시나리오에 따라서 분석을 하였다. 특히, 일반확률방법과는 달리 퍼지사건수분석에 의한 결과에는 각기 다른 전문가의 경험 및 상태 등에 따라 다르게 판단되는 점을 고려하기 위해 크게 공사의 복잡성, 교육수준, 신체적 상태, 그리고 경험의 네 가지로 크게 나누어 각각에 대해 전문가를 평가하여 본 연구에서 제안한 인간판단에 대한 불확실범위 직선을 통해 그 오차를 고려 하였다. 즉 불확실량이 클수록 그 판단에 따른 오차의 범위가 커지는 것이다. <그림 3>은 각각의 직선을 나타낸 것이다. 그러나 이 직선은 다분히 주관적인 면이 많이 포함되어 있어 앞으로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이런 과정을 통해 산정된 위험사건에 대한 확률에 위험사건이 발생함으로써 소요되는 기대 비용을 곱함으로써 기대 손실이 산출된다. 아울러 인명피해에 대한 사항도 현장 전문가의 설문조사를 통해 개략적으로 산출하였다.

### 2.1.4 위험관리단계

앞선 과정에서 산출된 기대손실을 바탕으로 Critical 한 위험사건요소를 결정하고 이러한 위험사건들에 대해 현장 감독자나 관리자가 대처나 통제(감소) 가능한지 아닌지를 결정하고 그에 대한 적절한 대처방안을 강구하게 된다. 대개 대형건설공사는 공사기간이 장기간 소요되므로 통제나 개선이 가능한 위험요소에 대해서는 적절한 위험관리를 수행하고 나서 일정기간 후에 다시 위험도를 분석함으로써

위험요소들의 개선여부와 새로이 달라진 상태의 위험도를 주기적으로 검토하게 된다. 이 과정에서 여러 명의 전문가의 판단에 의한 전체건설공사 전기간에 걸쳐 위험사건에 대한 인지와 대처를 강구하게 되어 효과적인 위험관리를 통한 위험 감소에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.



<그림 1> 제안된 IRAS 모델

## 2.2 위험도분석 평가 모델링 기법

본 논문에 있어 실제적인 위험도 분석평가를 위해 사용된 기법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 그 하나는 과거자료가 적을 경우 효과적인 확률분석기법인 베이지안 기법이나 MCS, 지진이나 홍수 등에 의한 자연재해 데이터 분석 시 많이 사용하는 극치통계기법 등 과거 객관적인 자료의 다소 및

특성에 따라 분석하는 일반적인 확률기법이고 다른 하나는 과거자료가 거의 없는 경우 전문가나 경험자의 주관적인 판단을 정량적으로 분석하는 퍼지집합이론에 기초한 기법들을 이용하는 방법이다. 본 연구에서는 그 중 대표적인 극치통계기법과 퍼지사건수분석기법에 대해 시범적으로 적용 하였는데 그에 대한 간단한 설명은 다음과 같다.

### 2.2.1 극치통계분석기법 : Gumbel's Type I Asymptotic Form

본 연구에서는 극치통계 기법으로 Gumbel의 세 가지 극치함수형태 중 제일 함수를 사용하였는데 이는 지진이나 강수량 등 극치에 관심이 있는 자연재해의 발생확률 산정 시 많이 사용되는 함수이다. 특히 지진에 대해서는 기존에 이루어진 연구내용을 토대로 좀더 적합한 수정제1함수를 적용하였다. Gumbel의 제일 점근함수의 최대치의 분포에 대한 누적분포함수는 식(1)과 같다[Gumbel, 1958].

$$F_{X_n}(x) = \exp[-e^{\alpha_n(x-u_n)}] \quad (1)$$

여기서,  $u_n$  과  $\alpha_n$  은 각기 위치와 크기에 대한 상수이인데 다음과 같다.

$u_n$  : 초기 변량 X의 특성 최대치

$\alpha_n$  :  $X_n$  분산의 역함수 척도

그러므로 확률밀도 함수는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

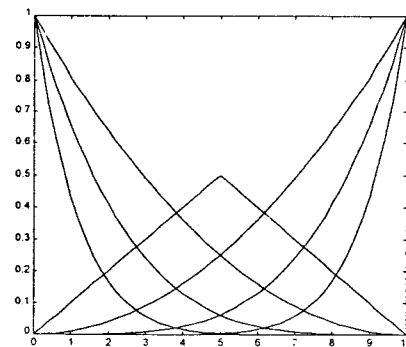
$$f_{X_n}(x) = \alpha_n e^{-\alpha_n(x-u_n)} \exp[-e^{-\alpha_n(x-u_n)}] \quad (2)$$

### 2.2.2 퍼지사건수분석(FETA) 기법

퍼지사건수분석기법(FETA : Fuzzy Event Tree Analysis)[Hadipriono, 1986]은 분석된 구성요소의 입·출력자료를 언어학적 변량으로 사용한다. 그러므로 기존 데이터가 부족하고 공사과정에 다양한 불확실성이 내재한 실제 건설공사에서는 전문가의 판단에 의존할 수 밖에 없는 경우가 거의 대부분이기 때문에 이러한 전문가의 판단을 언어학적 변량을 사용하여 모델링하는 퍼지사건수분석기법은 매우 실용적인 모델이라 할 수 있다. 언어학적 변량들(Linguistic Values)로 표현되는 주관적 판단자료는 7가지 언어학적 변량을 가지는 개선된 Ramp함수[조효남 외, 1998]의 퍼지소속도(Fuzzy membership)에 의해 퍼지집합으로 전환되며 일련의 계산과정을 거쳐 최종적으로 식(3)의 비퍼지화(defuzzification) 방법을 거쳐 정량적인 퍼지확률이 산정된다. 본 연구에서 사용한 언어학적 변량들은 <표 1>에서와 같이 촉발가능사건에 대한 발생규모, 발생가능사건에 대한 요소성능 그리고 그 결과에 따른 발생규모이다.

<표 1> 언어학적 변량에 대한 퍼지집합의 소속도

변호	요소성능 (PF)	발생규모 정도(M)	발생가능성 (PR)	소속도 $\mu(x)$
1	극히불량	극히작다	극히높음	$(1 - \frac{x}{10})^6 ; 0 < x < 10$
2	매우불량	매우작다	매우높음	$(1 - \frac{x}{10})^4 ; 0 < x < 10$
3	불량	작다	높음	$(1 - \frac{x}{10})^2 ; 0 < x < 10$
4	적절	중간	보통	$\begin{cases} \frac{x}{10} ; 0 < x < 5 \\ 1 - \frac{x}{10} ; 5 < x < 10 \end{cases}$
5	양호	크다	낮음	$(\frac{x}{10})^2 ; 0 < x < 10$
6	매우양호	매우크다	매우낮음	$(\frac{x}{10})^4 ; 0 < x < 10$
7	극히양호	극히크다	극히낮음	$(\frac{x}{10})^6 ; 0 < x < 10$

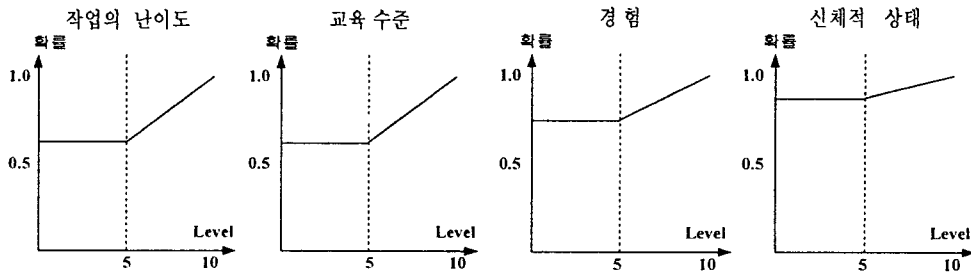


<그림 2> 개선된 Ramp 함수

$$PR(\text{경로 } i) = \frac{\sum_{i=0}^{10} \mu(x_i)}{\sum_{j=0}^{10} \mu(x_j)} (x_j) \quad (3)$$

### 주관적 판단의 불확실범위 곡선

퍼지사건수분석기법을 통해 산정된 확률은 현장 전문가의 주관적인 판단자료인 Checklist를 바탕으로 정량적으로 계산된 것이다. 그러나 각 입력데이터는 각 개인의 경험이나 교육수준, 작업의 난이도, 검토 당시 신체적 상태 등에 따라 달리 작성될 수 있기 때문에 그러한 불확실성을 고려해 줄 필요가 있다. 본 연구에서는 다음과 같은 인간의 판단에 대한 불확실성의 범위를 <그림 3>과 같이 제안해 보았다. 이 직선은 다분히 직관적인 면이 없지는 않지만 각각에 대한 중요도를 달리 하여 전문가의 각 상태에 따라 등급을 주어 판단하고, 그 결과를 각각에 대한 중요도에 따라 취합하여 앞서 구한 퍼지확률에 적용하여 각 확률에 대한 불확실성의 상한치와 하한치를 결정한다는 점에서 각기 다른 전문가의 판단에 따른 불확실성에 대한 오차의 범위를 고려함으로써 좀더 합리적인 판단 근거를 제시한다고 볼 수 있다.



<그림 3> 전문가판단의 불확실범위 직선

<그림 3>에서 보는 바와 같이 level은 5이하는 일정한 확률범위를 적용하게 되는데 이는 실제 상황에서 Level 5 이하 상태는 발생되지 않는다고 판단이 되기 때문이다. 또한 <표 2>는 전문가 판단의 불확실성에 대한 가중치와 등급을 나타낸 것이다. 결국 최종 전문가판단의 불확실 범위는 식(4)와 같이 간단히 결정된다.

$$\frac{\sum_{i=1}^n w_i \times Level_i}{\sum_{i=1}^n w_i} < U_{range} < 1 + (1 - \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times Level_i}{\sum_{i=1}^n w_i}) \quad (4)$$

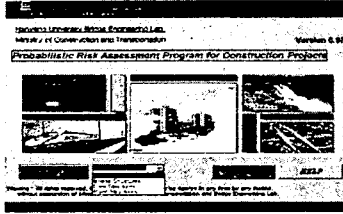
<표 2> 전문가판단의 가중치와 등급화

구분	작업의 난이도	교육수준	경험	신체적 상태/환경	
항목					
가중치(w) : 10기준	3.5	3.5	2.5	0.5	
등급화	(9~10)	(±)간단하다	(±)높다	(±)많다	(±)매우 좋다
	(7~8)	(±)보통	(±)보통	(±)적다	(±)좋다
	(5~6)	(±)복잡하다	(±)낮다	(±)거의 없다	(±)좋지 않다

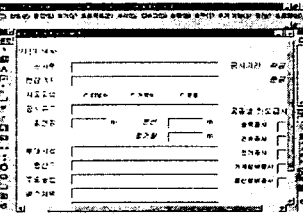
### 2.3 확률적 위험도분석평가를 위한 종합 응용 S/W

한편 본 연구에서 이루어진 퍼지사건수분석기법 및 확률적 위험도분석기법들을 통해 실제 건설공사의 위험도분석 시 사용자들이 용이하도록 하기 위한 응용S/W 구축 작업을 현재 진행하고 있다. 우선 적용 가능한 단위 S/W 개발을 수행한 후 앞서 제시한 건설공사의 위험도분석평가모형에 따라 종합적인 응용 S/W 시스템을 Windows 98 환경 하에서 Visual Basic 프로그램을 이용하여 시범적으로 구축하는 작업을 하고 있다. <그림 4>는 응용 S/W시스템의 시작화면을 나타내고<그

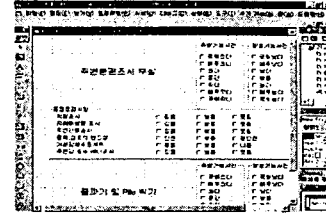
림 5>와 <그림 6>은 건설공사의 일반사항을 입력하는 단계와 건설공사의 확률적 위험도분석평가를 위해 우선 선행되어야 하는 위험사건규명을 위한 입력화면이다.



<그림 4> 시작화면



<그림 5> 위험사건수집  
데이터 입력 화면



<그림 6> Checklist 데이터  
입력화면

### 3. 적용예

본 논문의 수치 예는 공사기간 5년인 서울지역의 개착식 지하철 건설공사를 적용 대상으로 하여 앞서 제시한 일련의 과정을 거쳐 위험도분석평가를 수행하였다. 객관적인 자료를 통해 산정된 일반확률은 그대로 사용하고 주관적 판단에 의한 확률에 대해서는 인간판단의 불확실성의 범위를 정하여 그 상하한치를 결정 한 후 최종적으로 Critical 한 위험사건경로를 결정하였다. 그런 후 선정된 Critical 사건 중 현장감독자나 관리자가 통제나 위험경감이 가능한 사건과 그렇지 못한 사건으로 나누어 위험대응관리를 수행하면 된다.

#### 3.1 위험도분석 및 평가(Risk Analysis and Evaluation)

개착식 지하철 건설공사의 위험사건수집단계에서 수집된 위험사건에 대해서 위험사건규명단계를 거쳐 객관적으로 분석 가능한 자료와 주관적 판단자료로 구분하여 각각 위험도분석평가를 실시하였다. 선정된 위험사건들을 아래 <표 3>과 <표 4>에 각각 정리하였는데 이는 전형적인 개착식 지하철 건설공사의 주요 위험사건을 하나의 예로 제시한 것이지 모든 중요한 위험사건을 열거한 것은 아니며 모든 개착식 지하철 건설공사에 그대로 적용된다고 할 수 없다.

<표 3> 객관적 분석을 위한 자료

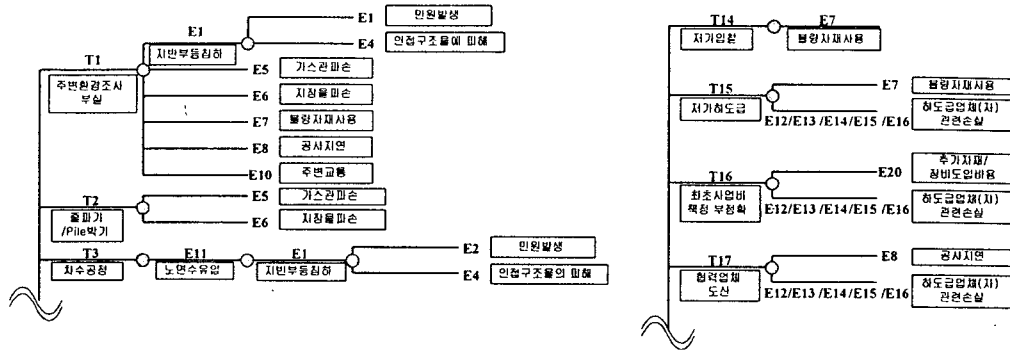
위험사건	지역/공종	이용 자료
지진	서울 지역	1986~1994(기상청)
홍수	경기 강원 지역	AD2~1995(김소구, 1995)
인명피해	지하철건설공사	현장전문가 설문조사 (산업안전관리공단 자료로 갱신 예정)

<표 4> 주관적 판단에 의한 사건

축발가능사건(Ti)	발생규모 정도(M)	발생가능성 (PR)	발생가능사건(Ei)	요소성능 (PF)	발생가능성 (PR)
T1 주변환경조사 부실	매우크다	보통	E1 지반부등침하	매우불량	매우높음
T2 굴파기 및 Pile 박기	크다	높음	E2 민원발생	적절	극히높음
T3 차수공정	크다	높음	E3 토사유출	매우불량	매우높음
T4 굴착	매우크다	높음	E4 인접구조물의 피해	불량	극히높음
T5 화약관리 및 발파관리	극히크다	낮음	E5 도시가스관의 파손	매우불량	높음
T6 가설장재 설치공	크다	매우높음	E6 상하수도관, 전기매설물 파손	매우불량	매우높음
중략			E7 불량자재 사용	매우불량	매우높음
T20 관리법규의 변별	중간	낮음	E8 공사지역에 따른 손실	불량	매우높음
T21 관리감독 소홀	매우크다	높음	E9 인명손실에 따른 보상	불량	매우높음
T22 이익극대화를 위한 시공사 의 위지부족	크다	높음	중략		
T23 설계계획	작다	보통	E19 제설계에 따른 손실	불량	낮음
T24 공법결정	매우크다	보통	E20 추가 자재 및 장비 도입에 따른 손실	불량	매우낮음
T25 실시계획	매우크다	낮음	E21 공법변화에 따른 시공 손실	불량	매우낮음

특히 <표 4>는 퍼지사건수분석기법 적용시 시나리오를 구성하기 위한 축발가능사건과 발생가

능사건으로 정리된 주요 위험사건으로 이를 통해 <그림 7>과 같은 Tree를 구성하고 퍼지확률을 계산하였고 산출된 결과치에 인간판단의 불확실 범위를 고려하여 주요위험사건경로를 결정한 후 최종적으로 기대손실을 산출하여 <표 6>에 나타내었다.



<그림 7> 간단한 Tree 예

퍼지사건수분석기법에 대한 연구에서 Hadipriono [1986]는 0.05이상의 퍼지확률을 주요위험사건의 기준으로 규정하였으며, 본 연구에서도 0.05이상으로 규정하였다. 아울러 객관적 자료분석 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 객관적 자료분석 결과

	발생확률(공사기간내)/수량	비고
홍수	0.0437	200mm초과/일
지진	0.254(5년)	규모 7.0 초과
인명피해	사망2명, 상해 5명	현장 감독자 설문조사

<표 6> 주관적 판단의 주요 위험사건 발생확률 및 기대손실

주요 위험경로 (주관적판단자료)	퍼지확률(판단 불확실범위고려)	평균손실비용 (단위: 천원)	위험사건의 퍼지기대손실범위 (단위: 천원)	비고	
T2	E5	0.2174(0.8~1.2)	750	130.44~195.66	1m 기준
	E6	0.3316(0.75~1.25)	700	174.09~290.15	
T3	E11	0.4627(0.9~1.1)	350	145.75~178.14	1m 기준
	E4	0.5256(0.85~1.15)	800	357.41~483.55	
T4	E1	0.3316(0.95~1.05)	1,500	472.53~522.27	1m 기준
	E3	0.4627(0.9~1.1)	350	145.75~178.14	
	E4	0.5256(0.95~1.05)	800	399.46~441.50	
중략					
T21	E8	0.3755(0.75~1.25)	9,000	2534.625~4224.38	1m 기준
	E9	0.3755(0.7~1.3)	150,000	39427.5~73222.5	1인 기준
T22	E7	0.3316(0.7~1.3)	4,500	1044.54~1939.86	1m 기준
	E8	0.3755(0.65~1.35)	9,000	2196.68~4562.33	
주요 위험사건 (객관적분석자료)	발생확률/수량	평균손실비용 (단위: 천원)	위험사건의 기대손실 (단위: 천원)	비고	
홍수에 대한 위험	0.0437	3,000,000	131,100	전체 공사구간	
지진에 대한 위험	0.254	30,000,000	7,620,000	전체 공사구간	
인명피해	사망2, 상해 5	150,000(사망) 50,000(상해)	550,000	전체 공사구간	

### 3.5 위험사건의 기대손실

본 연구에서 적용한 개착식 지하철 건설공사 현장의 설계예산서와 기타 설문 및 인터뷰 등을 통해서 위험사건의 비용을 추정하여 앞서 구한 주요 위험사건 경로에 대한 일반확률과 퍼지확률을 이용해 위험사건의 기대손실을 도출해 보았는데 그 과정에서 퍼지확률에 대해서는 전문가의 판단에 따른 불확실 범위를 고려하여 상하한치를 결정하였다.

여기서 퍼지확률은 전문가의 주관적인 판단을 기초로 산정되었기 때문에 일반확률과 달리 많은 불확실성을 내포하고 있는 것은 사실이다. 하지만 실제 시공간 위험도분석평가지 복잡하고 다양한 불확실성이 내재하고 있기 때문에 위험요소들의 언어학적 변량을 정량적으로 해석함으로써 어느 정도 위험도를 예측하며 위험도를 비교평가할 수 있는 매우 유용한 방법이라 판단된다.

## 4. 결론

본 논문에서는 건설공사의 통합적이며 체계적인 확률적 위험도평가 시스템(IRAS) 모형을 제시하고 응용 S/W시스템을 시범적으로 구축하고 있으며 제안된 시스템 모형을 실제 사고발생빈도가 높은 지하철 건설공사의 위험도분석평가에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구에서 제시한 통합적이고 체계적인 확률적 위험도분석 평가 시스템 모델은 건설공사의 확률적 위험도분석평가 및 위험도관리(Risk Management)를 위한 모형으로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 국내 건설공사의 위험도분석평가 연구의 수준은 아직까지 기본적인 현장조사를 바탕으로 한 형식적인 평가수준에 그치고 있는 실정이다. 그러므로 기존의 연구와는 달리 객관적인 자료가 없는 경우에도 유용한 실질적인 Checklist 작성, 퍼지기법을 이용한 전문가의 주관적인 판단의 불확실성 범위 산정 등과 같은 합리적이며 과학적인 방법을 이용한 위험도분석평가 모형 및 기법들은 무척 유용한 방법이며 본 연구에서 새롭게 제시하는 통합적이고 체계적인 모형의 제시는 국내 위험도분석평가 연구에 많은 발전을 가져올 수 있다고 사료된다.
- 3) 제안된 위험도분석평가 시스템 모형을 토대로 종합응용 S/W가 구축된다면 시공사 및 감리사에서는 주요 건설공사의 안전관리를 위한 위험도분석평가 S/W로 활용할 수 있을 것이며, 보험사에서도 보험요율 산정시 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

## 5. 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 1996년도 건설교통기술연구개발사업 과제인 "건설공사의 확률적 위험도분석 평가기법 개발"에 대한 제 2차년도 연구의 결과를 바탕으로 수행되었으며, 연구비 지원에 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

## 6. 참고문헌

1. Al-Bahar, J. F.(1988), *Risk Management Approach for Construction Projects: A Systematic Analytical Approach for Contractors*, Ph. D. Thesis.
2. Ang, A. H-S. and Tang, W. H.(1975), *Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. I, II*, John Wiley & Sons Inc.
3. Blockley, D.(1980), *The Nature of Structural Design and Safety*. New York, John Wiley & Sons.
4. Fujino, T.(1994), *The Development of a Method for Investigation Construction Site Accidents Using Fuzzy Fault Tree Analysis*, Ph. D. Thesis.
5. Hadipriono, F. C., Lim, C. L., and Wong, K. H.(1986). "Event Tree Analysis to prevent Failures in Temporary Structures," *J. of Construction Eng. and Manage.*, Vol. 112, No. 4, pp. 500~513.
6. Sandipan Gupta, M. Chakraborty.(1998), "Job evaluation in fuzzy environment," *J. Fuzzy sets and systems*, 100, pp. 71~76.
7. Sundararajan (1994), *Probabilistic Structural Mechanics handbook*, Chapman & Hall.
8. Zadeh, L. A.(1968), "Probability Measures of Fuzzy Events". *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, Vol. 23, pp. 421~427.
9. 조효남, 신재철, 이승재, 최현호(1998), "개선된 퍼지랩프함수를 이용한 지하철 건설공사의 확률적 위험도 분석평가", *한국토목학회 학술발표회 논문집*, 제 1권, pp. 331~334.