대형건설공사의 리스크분석에 관한 사례적용연구

A Case Study on Risk Analysis of Large Construction Projects

강 인 석* · 김 창 학** · 손 창 백*** · 박 홍 태****
Kang, In-Seok Kim · Chang-Hak Son · Chang-Baek Park · Hong-Tae

요 약

본 연구에서는 프로젝트의 성공적 이행을 보장하기 위하여 리스크분석모델을 제안하였다. 리스크분석 모델은 CRAS라 칭하였으며, 시공자가 RBS를 통해서 리스크를 체계적으로 확인하고 분석하고 관리하는데 도움을 줄 수 있도록 설계되었다. 제안된 CRAS모델은 크게 3단계의 분석과정으로 이루어진다. 첫 단계는 시공자가 프로젝트와 관련된 리스크를 확인하고 분석해서 입찰여부를 판단하는 것이다. 두 번째 단계는 영향도, 의사결정나무, Monte Carlo 시뮬레이션을 이용하여 리스크를 정량적으로 평가하여 예비비를 산정하는 것이며, 세 번째단계는 확률 노드, 확률 칼렌다 등의 일정관리기법과 시뮬레이션을 통해 공사일정상의 리스크를 파악하여 프로젝트의 성공여부를 판단하는 것이다. 결과적으로 본 모델은 시공자로 하여금 프로젝트에 내재된 리스크가 프로젝트의 공기와 공사비에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있도록 함으로서 시공자가 이들 리스크를 제거하는데 필요한 여러 대안을 고려할 수 있도록 하였다.

키워드 : 리스크관리, 영향도, 예비비

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

리스크관리를 위해서는 프로젝트의 올바른 이해와 적절한 분석도구, 분석방법, 관리절차, 해결방안, 해결주체 등에 대해 사전에 정확히 정의되어 있어야 하며, 리스크 분석절차 또한 간단하고 명료하게 구성되야 할 것이다. 최초의 리스크관리를 위해서는 공사단계별로 사전에 그 계획수립이 용이하게 이루어 질 수 있도록 시스템화 되어 있어야 할 것이며, 또한 확인된 리스크를 차후 프로젝트에 이용할 수 있는 자료로 구성되어야 할 것이다. 리스크의 확인은 리스크를 관리하기 위한 가장 중요한 과정중의 하나이다. 즉 일단 리스크인자가 발견되면 더 이상 불확실요인이 아닌 관리상의 문제가 되기 때문이다.

또한 확인된 리스크를 적절하게 정량화 하는 과정 또한 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 프로젝트의 기획단계에서 시공자가 건설공사의 이행 중 발생할 수 있는 리스크 를 사전에 평가하고 분석하기 위한 리스크분석모델을 제시하고, 이 모델의 타당성을 검증하기 위해 교량공사를 토대로 사례분석을 실시하였다. 리스크분석모델CRAS(Construction Risk Analysis System)은 프로젝트 자체에 내재된 리스크인자 뿐만아니라 시공외적인 리스크인자의 영향을 분석하기 위해 절차화된 프로세스와 분석방법을 제시하게 될 것이다.

* 정회원, 경상대학교 토목공학과 부교수, 생산기술연구소, 공학박사
** 정회원, 진주산업대학교 토목공학과 조교수, 공학박사
*** 정회원, 세명대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
**** 정회원, 천안공업대학 토목학과 조교수, 공학박사

2. 리스크분석모델 구축

2.1 CRAS구축

본 연구에서는 리스크분석모형인 CRAS를 그림 1과 같이 제시하였으며, 이 모형은 입찰참가판단모형, 예비비산정모형, 공사일정평가모형의 3단계로 구성 되어 있다. CRAS의 1단계 작업은 리스크분류체계(Risk Breakdown Structure;RBS)에 따라 설정된 리스크인자를 바탕으로 프로젝트의 어느 한 특정단계 보다는 전체 프로젝트의 공사환경에 미치는 영향을 파악함으로서 입찰의 참가여부를 판단하도록 하는 것이다. 따라서 이 단계에서의 리스크분석작업은 주로 시공자의 직접적인 통제가 불가능한 리스크인자들에 중점을 두게됨과 동시에 이들이 미치는 영향을 정량화함으로서 시공자의 입찰참가여부의 판단에 대한 의사

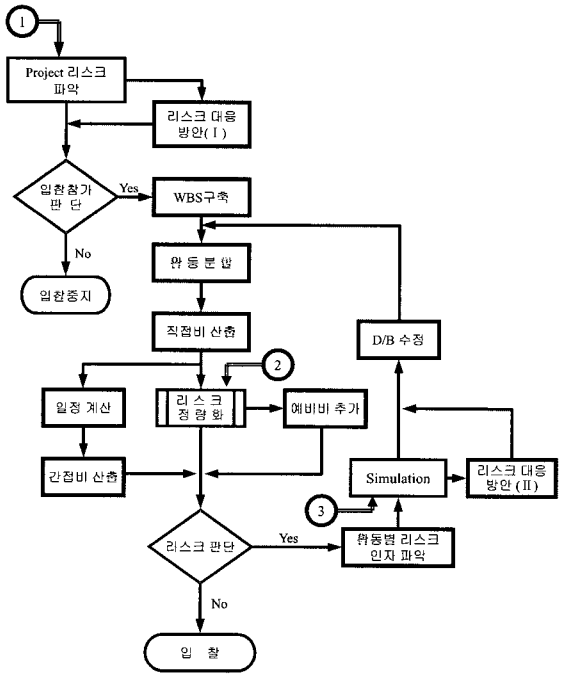

그림 1 리스크분석모형(CRAS)의 구성

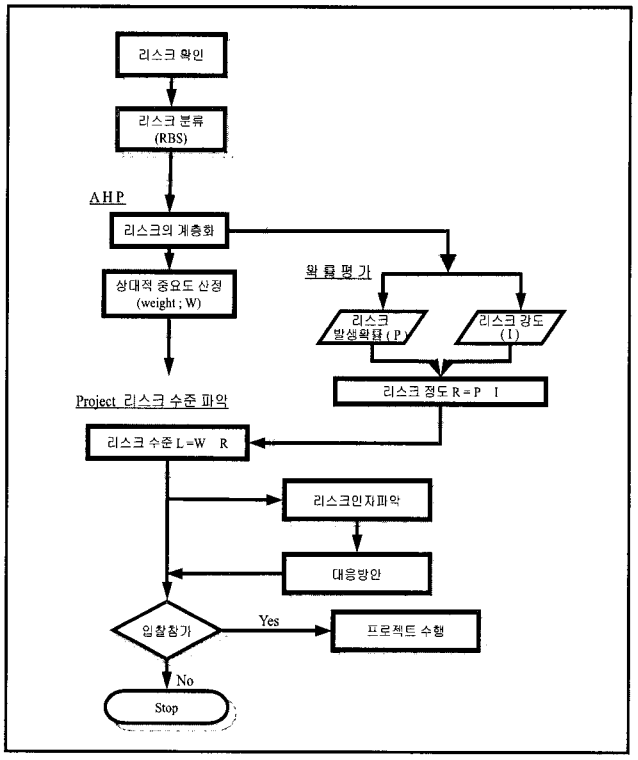

그림 2 리스크지수 산정모형

결정의 질을 높이고자 하는 것이다. 이 분석을 통해 전체 프로젝트의 리스크수준을 정량화된 수치로 파악함과 동시에 각 리스크인자의 중요도에 따라서 리스크인자별로 순위를 매김으로서 리스크대응전략의 우선순위를 설정하고, 이 결과를 토대로 입찰의 참가여부를 판단하게 된다.

입찰에 참가하기로 결정하게 되면 리스크분석 2단계 작업이 이루어 지게 된다. 2단계 분석을 위해서는 해당 프로젝트의 네트워크를 구축하고, 직접비와 간접비를 산출하면서 리스크분석을 위한 기본자료를 구축하게 된다. 이러한 일련의 작업이 이루어지고 나면 각 리스크인자들간의 상관관계를 살피고, 이들이 프로젝트에 미치는 영향을 정량화하기 위한 작업을 실시하며, 여기에서 산정된 리스크값은 프로젝트의 예비비로서 추가되어 입찰금액에 추가되게 된다. 이렇게 직 간접비가 산출되고 예비비가 산정되면 3단계작업으로 활동별 리스크인자를 살피게 된다.

3단계 작업에서는 설정된 WBS와 네트워크를 기본으로 각 활동(Activity)에 리스크인자가 미치는 영향을 파악하기 위해 활동별 리스크인자를 인지하고 이 인자가 미치는 영향을 파악한다. 이 영향을 파악하기 위해서 활동별 확률분포를 이용해서 공기를 산정함으로서 불확실요인을 포함하고, 이들 인자가 전체 공기에 미치는 영향을 파악하기 위해서 확률적 개념을 도입한 대안의 일정계획을 수립해서 네트워크에 삽입한 다음 Monte Carlo Simulation을 실시하여 누적확률분포곡선을 계산한다. 이렇게 함으로서 공사일정분석에 필요한 전체 활동공기의 평균값, 분산값, 표준편차 등의 정보를 습득하며, 이를 이용해서 적절한 사전조치를 취할 수 있도록 한다.

2.2 입찰참가판단모형

2.2.1 모형구축

본 연구에서는 입찰단계의 리스크지수산정을 위한 모형을 그림 2와 같이 구축하였다. 입찰단계의 리스크분석모형은 먼저 리스크의 확인을 위해서 리스크분류체계인 RBS(Risk Breakdown Structure)를 구축하고, AHP모형 평가를 통해 각 리스크인자에 대한 중요도를 산정한후 각 리스크인자의 확률평가치와 결합하여 전체 프로젝트의 리스크수준을 평가하기 위한 리스크지수를 산정하게 된다. 여기에서 분석된 리스크지수는 전체 프로젝트의 리스크수준과 대응방안을 기준으로 최종 입찰참가여부의 판단을 위한 기준으로 활용된다.

건설공사의 리스크인자는 구조화된 형식의 틀이 아니라 시간과 환경에 따라 다양하게 변화하는 비구조화된 양식을 따르고 정량화된 수치로서 리스크를 분석하고 평가하는 것이 쉽지 않기 때문에 전문가의 주관적 판단을 토대로 이루어지게 된다.

특히 건설공사는 매우 많은 리스크인자가 존재하기 때문에 리스크인자를 계층구조로 구성하여 AHP분석을 위한 쌍별비교과정을 거쳐 가중치를 계산하게 되며, 상대적 중요도인 가중치의 합계는 1이 되게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 분석절차를 위해 AHP방법을 변형시켜 건설공사의 리스크분석에 적합하도록

표 1 리스크발생확률 판정

레벨	확률	판단
a	0.1	매우낮음(Very Low)
b	0.3	낮음(Low)
c	0.5	보통(Medium)
d	0.7	높음(High)
e	0.9	매우높음(Very High)

확률평가개념과 리스크관리개념을 도입하여 재 구성하였으며, 사례분석의 AHP모델을 계산하기 위해 Saaty에 의해서 개발된 Expert Choice와 EXCEL 프로그램을 계산에 적용하였다.

2.2.2 리스크정도파악

각 리스크범주에 대한 중요도가 산정되고 나면 범주별 최 하위 요소에 대한 확률평가를 실시한다. 이 확률평가작업은 과거 공사 이행자료와 각 분야별 전문가의 주관적판단을 기준으로 할 수 있고, 최하위 수준의 리스크인자에 대한 확률평가 과정에서 리스크 발생확률(Probability;P)과 리스크강도(Impact;I)가 산정되게 되며 리스크의 발생확률과 리스크강도의 계산은 표 1과 같이 리스크인자에 대한 언어적표현을 바탕으로 해서 기록한 다음 미리 설정된 값을 적용한다.

또한 리스크 강도(I)를 측정할 수 있는 스케일은 발생한 리스크 사건의 비용, 일정, 품질 등에 미치는 영향을 평가하여 결정하게 된다. 리스크 강도의 평가기준은 표 2와 같다.

표 1의 발생확률판정 기준과 표 2의 리스크 강도 판정기준을 이용한 리스크정도(Risk Degree; R)는 리스크의 발생확률과 강도가 낮을수록 0에 가까운 값을 갖게되고, 1에 가까울수록 매우 높음을 의미하게 되며, 리스크정도를 계산하기 위해 본 논문에서는 식 1을 적용하였다.

$$R = P \times I \quad (1)$$

R : 리스크 정도
P : 리스크 발생확률
I : 리스크 강도

2.2.3 리스크지수 평가

리스크수준을 나타내는 리스크지수는 공사관리팀의 리스크분석회의와 공사범위, 일정, 비용의 정의를 기준으로 low, medium, high로 구분할 수 있으며, 리스크수준이 low, medium, high인지를 결정하기 위한 방법은 리스크발생확률(P)과 리스크 강도(I)에 대한 정보를 가지고 판단한다.

표 3 리스크지수(수준) 평가

리스크지수(L)	리스크 판단
0~0.3	Low Risk
0.3~0.7	Medium Risk
0.7~1.0	High Risk

즉, 리스크지수는 식 1의 계산식을 적용하여 최종 리스크 정도(R)값을 계산한 후 리스크인자를 단계별로 계층구조화한다음 각 레벨의 가중치(Weight;W)와 곱하게 되면 최종 프로젝트의 리스크지수를을 파악할 수 있다. 프로젝트의 전체 리스크지수를 파악하기 위한 방법은 식 2와 같이 할 수 있으며, 식 2에 의한 리스크지수(Risk Level; L)의 판단기준은 표 3과 같다.

$$L = W \times R \quad (2)$$

L : 리스크지수(수준)
W : 상대적 가중치
R : 리스크정도

여기에서 파악된 리스크지수값을 기준으로 해서 전체 프로젝트의 리스크수준을 파악할 수 있으며, 이것은 입찰참가여부의 판단기준으로 이용되게 된다. 이 단계까지 거치게 되면 전체 프로젝트에 미치게 되는 중요도별로 리스크인자에 대한 순위를 매길 수 있게 된다. 따라서 입찰참가여부의 판단에 의해서 입찰참가를 결정하게 되면 각 리스크인자의 순위에 따라서 대응방안이 수립되게 된다.

2.3 예비비 평가모형

입찰참가여부에 대한 판단이 이루어지고 나면 2단계 작업으로서 리스크에 대한 정량화 작업이 이루어지게 된다. 이때 이용되는 기법은 영향도(Influence Diagram), 의사결정나무(Decision tree) 그리고 Monte Carlo Simulation기법이 이용

표 2 리스크 강도판정기준

결과	판 단	기술적 이행성	일 정	비 용	기타 팀에 미치는 영향
0.1	매우미약(Very Little)	최소 또는 영향이 없다.	최소 또는 영향이 없다.	최소 또는 영향이 없다.	없다.
0.3	미약(Little)	이익이 다소 감소되지만 받아들일만 하다.	필요한 자원의 추가투입이 필요하다; 일정기준은 맞출 수 있다.	〈5%	약간 있다.
0.5	중간(Moderare)	이익이 상당량 감소되지만 받아들일만 하다.	핵심 마일스톤에 약간 영향을 미친다; 일정기준을 맞출 수 없다.	5-7%	보통이다.
0.7	심각(Severe)	이익은 없지만 받아들일만 하다.	핵심 마일스톤이나 CP선에 큰 영향을 미친다.	〉7-10%	큰 영향이 있다.
0.9	매우심각 (Very Severe)	받아들일 수 없다.	핵심팀이나 중요 프로그램 마일스톤 기준을 맞출수 없다.	〉10%	받아들일 수 없다.

자료 : DoD "Risk Management", DSMC Risk Mgmt Workshop, pp.43,1998.

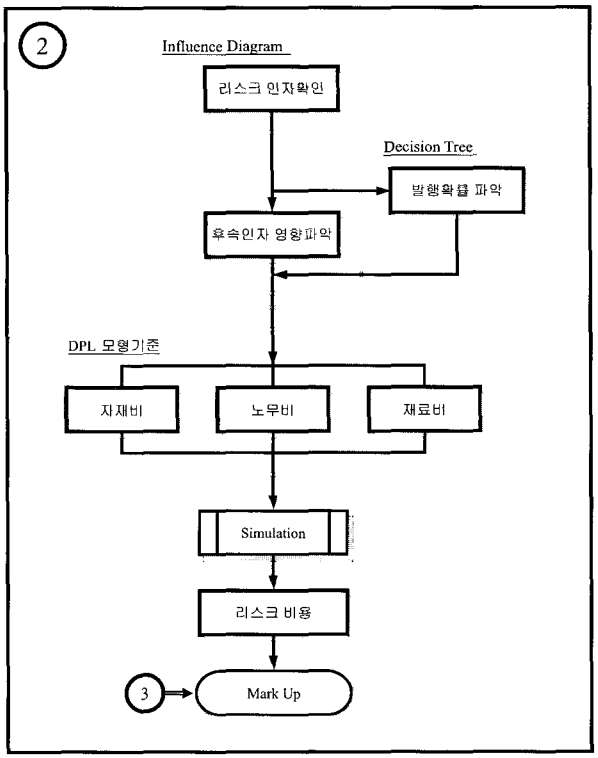

그림 3 예비비산정 모델

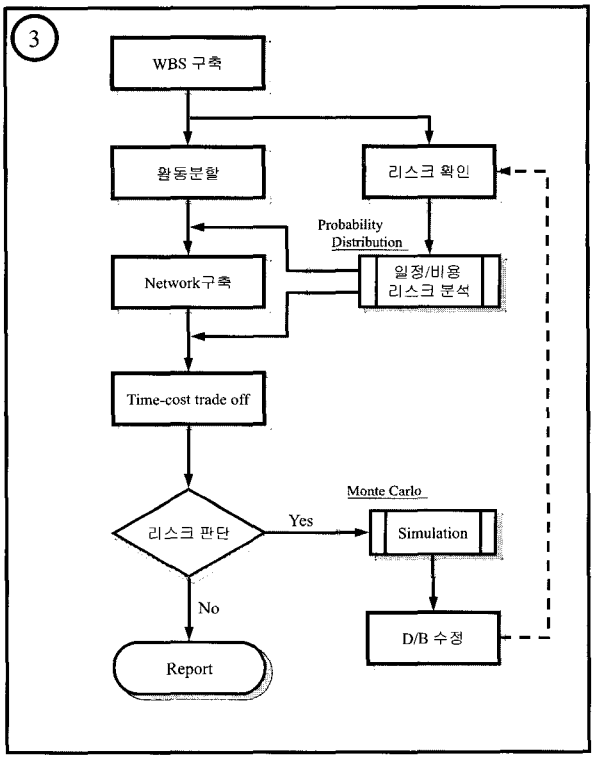

그림 4 공사일정상의 리스크분석 모형

된다. 영향도기법은 미리 약속된 도형기호를 사용함으로서 한 리스크인자가 다른 인자에 미치는 영향을 시각적으로 쉽게 나타내고 파악할 수 있는 큰 장점을 지닌다.

본 연구에서는 각 리스크인자가 전체 프로젝트에 미치는 영향을 파악하고 이들의 상관관계를 시각적으로 구분하기 위해서 영향도를 이용하였다. 그러나 영향도만을 통해서는 각 리스크인자의 발생확률값을 적용하여 계산을 할 수 없는 단점을 갖게 된다.

따라서 이들 리스크요소가 후속 인자에 미치는 영향을 확률적으로 평가하기 위해서 의사결정나무(Decision Tree)기법을 도입하였다. 이렇게 리스크를 정량화하기 위한 모형이 구축되면 최종적으로 시뮬레이션을 통해 리스크비용을 산정하게 되며, 본 모형의 분석을 위해 DPLTM 프로그램이 활용된다.

1단계의 분석결과에 의해 입찰에 참가하기로 결정하게 되면 그림 3과 같은 분석절차를 거쳐 프로젝트의 예비비를 산정하게 된다. 리스크인자를 정량화하기 위해 입력되는 리스크비용을 산정하기 위해서는 일관된 리스크산정기준이 존재해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 리스크인자의 발생시 이 리스크인자가 자재비, 노무비, 장비비에 미치게 되는 영향을 파악해서 최종적인 리스크분석을 위한 입력값으로 취하였다. 여기에서 산정된 리스크비용은 프로젝트 이행을 위한 예비비로서 입찰금액에 포함하게 되며, 리스크발생 요소가 많고 발생확률이 높을수록 입찰금액은 상승하게 될 것이다. 예비비는 건설공사 이행중 발생하는 리스크처리 비용으로 활용할 수 있다.

본 연구에서 제시되는 이 예비비 산정모델은 시공자가 프로젝트 뿐만 아니라 프로젝트의 환경적인 요소까지 파악하여 예비비를 산정하고, 좀더 과학적인 판단근거를 제시하게 되므로 좀더 합리적인 입찰금액이 산정될 수 있다.

2.4 공사일정평가모형

2.4.1 모형구축

성공적인 프로젝트를 수행하기 위해서는 철저한 공사계획을 수립하여 입찰단계에서부터 고려하는 것이 중요하다. 사전에 파악된 리스크를 고려해서 일정관리와 원가관리계획을 수립하게 되면 프로젝트 성공률이 훨씬 높아지게 될 것이다.

본 연구에서는 공사일정평가를 위한 리스크관리모형은 그림 4와 같이 구성하였다. 본 모형의 첫단계는 WBS를 구축하는 것이다. WBS자체만으로도 리스크분석을 위한 매우 유용한 자료가 될 수 있다. WBS가 구축되면 활동을 분할하고 네트워크를 구축하게 된다. 이 작업은 2단계 리스크 정량화 작업과 거의 동시에 진행되게 된다. 네트워크를 구축하고 나면 각 활동과 관련된 리스크요인을 인지하고 이 리스크가 활동(activity)에 미치는 영향을 파악하게 된다. 이때 리스크를 고려한 추가 일정과 자원을 배당한 다음 시뮬레이션을 수행하게 되면 프로젝트를 위한 최종 일정과 공사비가 산출되게 된다.

3. 사례분석

3.1 현장개요

사례분석을 위해 적용한 공사는 고속도로 건설공사(△ 공구)에 포함된 턴키수행방식으로 진행되는 한 교량공사를 대상으로 실시하였다. 사례분석을 위해 적용된 대상공사는 6차선 총 연장 555m의 Steel Box Gider교량으로 2개의 교대와 10개의 피어로 구성되어 있다. 본 연구에서는 사례분석의 효율성을 증가시키고 단순화를 위해 3차선 상행선만을 대상으로 하여 내역서를 재 작성하여 리스크의 정량화 분석을 실시하였다. 또한 일정분석의 경우에는 2개 교대와 5개의 피어만을 고려하여 분석을 실시하였다.

3.2 리스크지수산정

3.2.1 리스크분류체계(RBS)의 구축

본 사례연구에서 제안서 작성단계의 리스크분석을 위한 첫번째 작업은 리스크인자를 확인하는 것이며, 리스크의 확인은 미리 작성된 체크리스크를 활용하거나, 리스크분류체계에 따라 각 그룹별 중요인자를 찾으면 된다. 본 연구에서는 그림 5와 같이 리스크를 분류하였다. 제안서작성 단계에서 먼저 고려해야할 리스크평가인자는 (1) 국가현황(Nation/Region) (2) 건설산업(Construction Industry) (3) 회사내부환경(Company) (4) 프로젝트(Project) (5) 기술(Technique)을 포함해서 5섯가지 요소로 크게 구분하였으며, 이것은 그림 6의 리스크구분 레벨 2단계가 된다. 레벨 1은 리스크분석의 목적이 되므로 리스크인자의 그룹화는 레벨 2단계부터 구성된다.

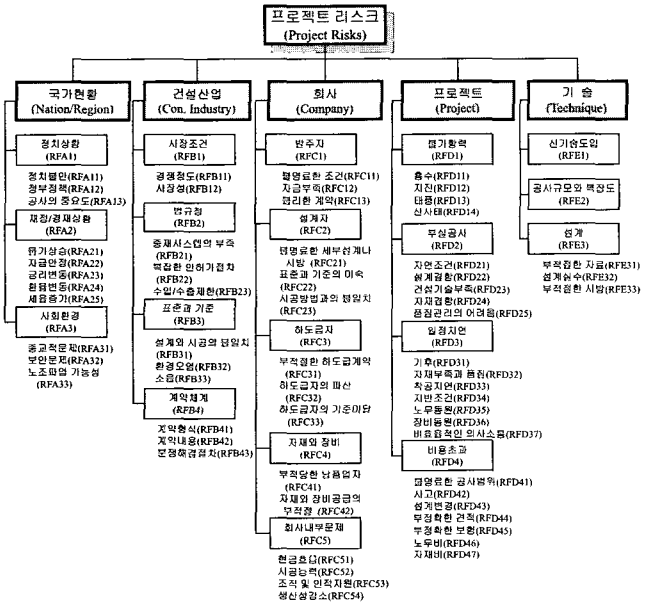

그림 5 리스크평가 인자의 구성

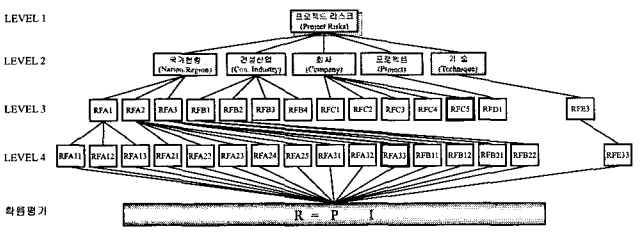

그림 6 리스크평가모델의 구축

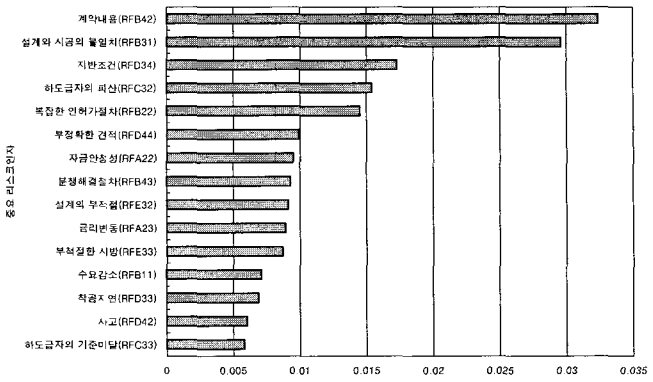

그림 7 상위 15개 리스크요인

그림 6의 레벨 2에 대한 리스크인자의 분류가 이루어지면 각 그룹의 특징을 나타내는 세부적인 리스크요소를 찾게된다. 이것은 2단계요소의 특징을 반영한 3단계 리스크인자가 된다. 이와 같이 레벨 3의 리스크인자가 구분되면, 다시 레벨 3의 각 리스크인자별로 보다 세부적인 리스크요소의 특징을 나타낼 수 있는 레벨 4의 리스크인자를 찾게 된다.

3.2.2 각 계층별인자의 비교

그림 5에서 결정된 리스크인자를 바탕으로 그림 6과 같이 계층도를 작성한다음 Saaty의 9점척도를 이용해서 레벨 2 , 3, 4의 각 리스크인자에 대한 쌍별비교를 실시하여 계층별 중요도를 산정한다. 본 논문에서는 그 과정의 수록을 생략한다.

3.2.3 리스크인자의 확률평가

각 레벨별로 리스크인자에 대한 가중치의 계산이 완료되면 마지막 레벨의 리스크인자(레벨 4)에 대한 발생확률(P)과 충격강도(I)를 계산하게 된다. 본 사례조사에서는 프로젝트 관계자의 여러 전문가가 모여 주관적 판단을 기초로 토론을 한뒤 합일점을 도출하는 방식을 채택하였다. 먼저 리스크 정도값(R)의 계산을 위해서 마지막 레벨인 4단계의 각 리스크인자에 대한 발생확률(P)과 이것이 전체 프로젝트에 미치게 되는 리스크강도(I)를 평가하여 수치화한 후 식 1을 적용하여 최종 리스크정도 값을 계산하였다. 리스크정도값이 결정되면 앞에서 산정한 레벨 2,3,4단계의 각 리스크그룹별 가중치(W)와 곱한 후 최종 리스크 상대가중치가 계산되게 된다. 이 상대가중치의 전체 합계는 프로젝트의 리스크지수(L)를 나타내게 되고, 각 리스크인자별 상대가중치의 비교를 통해서 각 리스크인자가 전체 프로젝트에 미치게 되는 정도를 파악할 수 있다. 또한 이 값을 기준으로 각 리스크인자를 등급별로 구분할 수 있으며, 높은 리스크값을 갖는 인자

에 대해서는 중점 관리계획이 별도로 수립되게 된다.

3.2.4 리스크지수산정

레벨 Ⅳ의 리스크인자에 대한 확률평가가 이루어진 후 앞에서 산정한 각 레벨의 가중치와 곱하게 되면 프로젝트 전체에 대한 각 리스크인자의 상대적 가중치를 계산할 수 있으며, 최종 계산결과는 표 4, 5, 6과 같다. 이 상대적 가중치를 모두 더하게 되면 전체 프로젝트의 리스크수준을 파악할 수 있으며, 본 사례조사의 경우 전체 리스크지수(수준)가 0.29로 계산되었다. 따라서 전체 프로젝트 환경의 리스크지수(수준)가 Low 리스크로 판정되므로 입찰에 참가하는 것이 적절한 것으로 판단되었다. 전체 리스크값의 위험수준에 대한 판단 기준은 표 3을 적용하였다. 본 모형의 적용결과 계산된 상대가중치를 토대로 사례프로젝트의 상위 15개 리스크인자를 살펴보면 그림 7과 같다. 그림 7을 보면 본 프로젝트의 가장 중요한 리스크인자는 계약내용, 설계와 시공의 불일치, 지반조건, 하도급자의 파산, 그리고 복잡한 인허가 절차 등의 순서로 파악되었다. 분석결과 현재 국내정세의 불안정과 설계관련문제가 프로젝트에 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판단되었다. 이와 같은 분석결과를 토대로 전체 프로젝트의 위험수준과 핵심 리스크요소를 손쉽게 파악할 수 있으며, 위의 모델적용결과를 토대로 개략적인 리스크관리방안과 프로젝트 관리계획을 수립할 수 있는 기본 골격을 제공할 수 있다.

3.3 예비비산정

3.3.1 영향도구축

정량적인 리스크분석을 위한 첫 번째 작업은 영향도(Influence Diagraming method)를 구축하는 것이다. 영향도

표 4 리스크인자의 등급평가(1)

Level II	NATION											CONSTRUCTION INDUSTRY										
	0.078											0.396										
Level III	RFA1			RFA2					RFA3			RFB1		RFB2			RFB3			RFB4		
	0.117			0.683					0.2			0.096		0.16			0.277			0.467		
Level Ⅳ	RFA11	RFA12	RFA13	RFA21	RFA22	RFA23	RFA24	RFA25	RFA31	RFA32	RFA33	RFB11	RFB12	RFB21	RFB22	RFB23	RFB31	RFB32	RFB33	RFB41	RFB42	RFB43
	0.238	0.625	0.136	0.102	0.364	0.341	0.134	0.06	0.117	0.268	0.614	0.75	0.25	0.25	0.655	0.095	0.6	0.2	0.2	0.097	0.701	0.202
확률 평가치	0.35	0.35	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.25	0.09	0.09	0.15	0.25	0.09	0.35	0.35	0.15	0.45	0.21	0.21	0.15	0.25	0.25
상대 가중치	0.0007	0.002	0.0006	0.0027	0.0095	0.0089	0.0035	0.0008	0.0002	0.0004	0.0014	0.0071	0.0009	0.0055	0.0145	0.0009	0.0296	0.0046	0.0046	0.0027	0.0324	0.0093
Rank	54	33	56	31	7	10	27	53	63	59	38	12	51	18	5	49	2	21	22	30	1	8

표 5 리스크인자의 등급평가(2)

Level II	COMPANY															PROJECT						
	0.11															0.261						
Level III	RFC1			RFC2			RFC3			RFC4		RFC5				RFD1				RFD2		
	0.069			0.196			0.49			0.144		0.101				0.071				0.139		
Level Ⅳ	RFC11	RFC12	RFC13	RFC21	RFC22	RFC23	RFC31	RFC32	RFC33	RFC41	RFC42	RFC51	RFC52	RFC53	RFC54	RFD11	RFD12	RFD13	RFD14	RFD21	RFD22	RFD23
	0.582	0.109	0.309	0.627	0.28	0.0094	0.109	0.582	0.309	0.25	0.75	0.572	0.209	0.109	0.109	0.306	0.065	0.502	0.127	0.098	0.184	0.349
확률 평가치	0.21	0.45	0.45	0.35	0.21	0.25	0.15	0.49	0.35	0.25	0.25	0.63	0.25	0.25	0.21	0.35	0.07	0.35	0.05	0.21	0.35	0.35
상대 가중치	0.0009	0.0004	0.0011	0.0047	0.0013	0.0005	0.0009	0.0154	0.0058	0.001	0.003	0.004	0.0006	0.0003	0.0002	0.002	0.0001	0.0033	0.0001	0.0007	0.0023	0.0044
Rank	46	60	42	20	40	58	50	4	15	45	29	25	57	61	62	35	65	28	64	55	32	23

표 6 리스크인자의 등급평가(3)

Level II	PROJECT																PROJECT				
	0.261																0.261				
Level III	RFD2		RFD3							RFD4							RFD1	RFD2	RFD3		
	0.139		0.487							0.303							0.071	0.139	0.5		
Level Ⅳ	RFD24	RFD25	RFD31	RFD32	RFD33	RFD34	RFD35	RFD36	RFD37	RFD41	RFD42	RFD43	RFD44	RFD45	RFD46	RFD47			RFE31	RFE32	RFE33
	0.184	0.184	0.122	0.216	0.216	0.216	0.097	0.091	0.043	0.065	0.156	0.197	0.357	0.071	0.077	0.077			0.122	0.558	0.32
확률 평가치	0.15	0.15	0.25	0.15	0.25	0.63	0.15	0.15	0.25	0.21	0.49	0.35	0.35	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.21	0.21	0.35
상대 가중치	0.001	0.001	0.0039	0.0041	0.0069	0.0173	0.0018	0.0017	0.0014	0.0011	0.006	0.0055	0.0099	0.0008	0.0009	0.0009	0.0058	0.0058	0.002	0.0091	0.0087
Rank	43	44	26	24	13	3	36	37	39	41	14	19	6	52	47	48	16	17	34	9	11

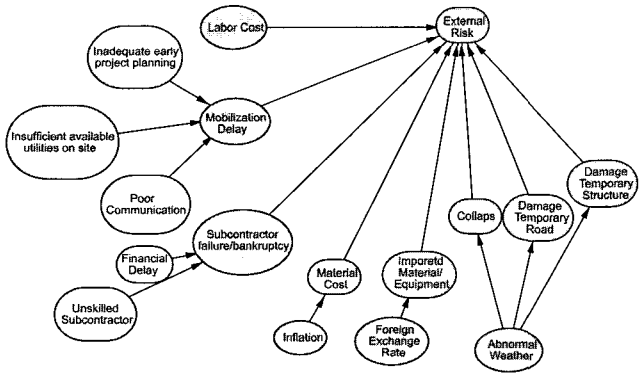

그림 8 외부리스크 영향도

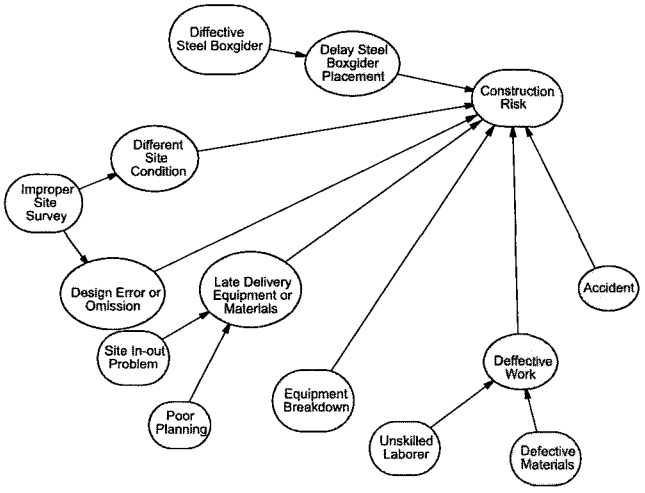

그림 9 시공관련 리스크

의 기본 구조는 의사결정노드(Decision Node), 기회노드(Chance Node), 값노드(Value Node)의 3가지 노드와 노드간의 관계를 나타내는 화살표로 구성된다. 의사결정노드는 사각형으로 표시하게 되며 이것은 의사결정의 전략안(Strategies)을 나타내고, 기회노드인 원은 불확실성, 모서리가 둥근 사각형은 가치척도(또는 계산된 결과)를 의미한다. 그리고 이들간의 영향관계는 화살표로 연결하여 표현하며, 영향관계는 화살표가 시작하는 방향에서 화살표가 끝나는 방향으로 진행된다. 본 사례연구에서는 외부적 리스크와 시공관련 리스크로 구분하였으며, 그 영향도는 그림 8, 9와 같다. 그림 8와 9에서 보는 것과 같이 영향도는 각 리스크인자가 공사에 미치는 영향을 시각적으로 파악하는 것이 매우 용이하다는 것을 알 수 있으며, 공사가 진행되가면서 해당 리스크인자가 해결되면 영향도에서 삭제하거나 새롭게 나타나는 리스크인자를 추가해가면서 리스크관리를 해 나가게 된다.

3.3.2 입력자료의 구축

영향도를 구축한 후에는 분석을 위한 입력자료를 준비해야 하며, 분석에서 이용된 자료는 전문가의 주관적판단과 과거 공사이행자료 및 내역서를 기준으로 할 수 있고, 통계적 기록이나 전

표 7 외부적 리스크인자의 입력값

리 스 크 인 자	변 동 인 자	발생확률	리스크값
Labor Cost	3% 증가	0.2	283,761,490
	5% 증가	0.3	472,935,810
	-5% 감소	0.5	-472,935,810
Mobilization Delay	1개월 지연	0.5	183,618,170
	2개월 지연	0.3	348,855,860
	3개월 지연	0.2	570,967,240
Subcontractor Failure or Bankruptcy		0.25	100,000,000
		0.5	200,000,000
		0.25	300,000,000
Inflation	자재비 3% 증가	0.3	111,511,785
	5% 증가	0.5	185,852,975
	10% 증가	0.2	371,705,950
Foreign Exchange Rate	1,000원	0.2	-375,961,260
	1,300원	0.3	-238,226,310
	1,600원	0.5	0
Damage Temporary Structure	가시설공 10% 증가	0.25	3,184,639
	20% 증가	0.5	6,369,279
	30% 증가	0.25	9,553,918
Damage Temporary Structure	가시설물의 10%	0.25	3,184,639
	20%	0.5	6,369,279
	30%	0.25	9,553,918
Damage Temporary Road	가설도로의 3%	0.25	31,670,968
	5%	0.5	52,784,947
	10%	0.25	105,569,895
Collapse/	붕괴와 침하예상비용	0.25	31,717,130
	158,585,650의 20%,	0.5	47,575,695
	30%, 50%	0.25	79,292,825

표 8 시공관련 리스크인자의 입력값

리 스 크 인 자	변 동 인 자	발생확률	리스크값
Defective Steel Boxgider	강교제작비 :		
	노무비 0.05% 증가		186,118,659
	경 비 0.05% 증가		
Delay Steel Boxgider Placement	강교운반 및 가설비 :		
	노무비, 경비 0.03%증가	0.3	32,196,875
	0.06%증가	0.4	64,393,751
	0.09%증가	0.3	96,590,627
Different Site Condition	토사 5%감소 암반 5%증가	0.3	30,498,890
	10%감소 10%증가	0.6	60,087,740
	15%감소 15%증가	0.1	89,708,880
Design Error or Omission	전체 공사비의 0.01% 변동	0.4	175,629,011
	0.02% 변동	0.5	351,258,022
	0.03% 변동	0.1	526,887,033
Delivery Delay of Equipment or Materials	전체 공사비의 0.005% 변동	0.4	87,814,505
	0.01% 변동	0.4	175,629,001
	0.015% 변동	0.2	263,443,516
Equipment Breakdown	교량공 장비비의 0.05% 증가		54,985,723
Defective Work	전체 공사비의 0.01% 변동	0.5	3,184,639
	0.02% 변동	0.3	6,369,279
	0.03% 변동	0.2	9,553,918
Defective Materials	자재비의 0.05% 변동		51,473,932
Accident	안전관리비의 0.05% 변동	0.6	8,626,590
	0.1% 변동	0.3	17,253,181
	0.15% 변동	0.1	25,879,771

문가의 주관적인 의견도 분석에 이용될 수 있다. 그러나 본 연구에서는 공사가 기획단계에 있고 충분한 현장자료를 이용할 수 없으므로 내역서와 주관적인 자료를 바탕으로 분석을 시도하고 있다. 외부 리스크인자와 시공관련 리스크인자에 대한 리스크의 정량화를 위한 입력값은 표 7, 8과 같다.

3.3.3 시뮬레이션 분석

영향도가 작성되고 각 리스크인자에 대한 입력값이 모두 작성되고 나면 그림 8과 9에서 작성된 영향도에 의사결정나무기법을 이용해서 각각의 확률값과 리스크값을 입력한 다음 Monte Carlo Simulation을 1,000회 실시하게 되면 리스크 기대값을 산출할 수 있다. 그림 8과 9에서 작성된 영향도의 외부리스크와 시공관련리스크에 대해 시뮬레이션을 실시하게 되면 그림 10, 12과 같은 히스토그램을 얻을 수 있다. 이들 발생확률을 모두 누적해서 나타내면 그림 11, 13과 같은 누적분포곡선을 얻을 수 있고, 이들 누적분포 곡선의 50%확률값을 취하게 되면 각각의 기대값을 산출할 수 있다. 외부적 리스크인자의 총 의사결정 나무 가지의 수는 729개의 경우의 수를 갖고 분석되었다.

시뮬레이션 결과 외부 리스크인자의 기대값은 673,894,000원이 산출되었고, 시공관련 리스크인자의 기대값은 954,637,000원이 산출되어 본 사례분석 대상공사의 경우 1,628,531,000원의 예비비가 필요한 것으로 최종 계산되었다. 이 금액은 전체 공사비의 9.27%를 차지하는 금액이다. 그러나

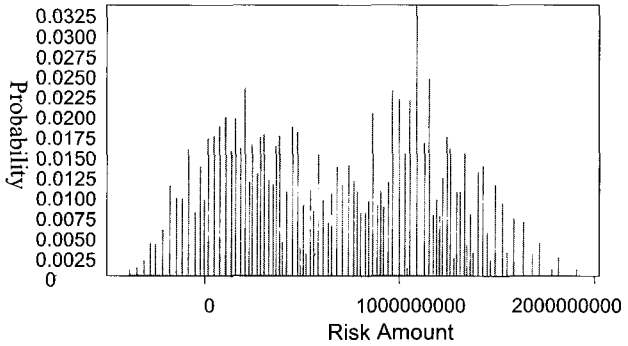

그림 10 외부리스크의 히스토그램

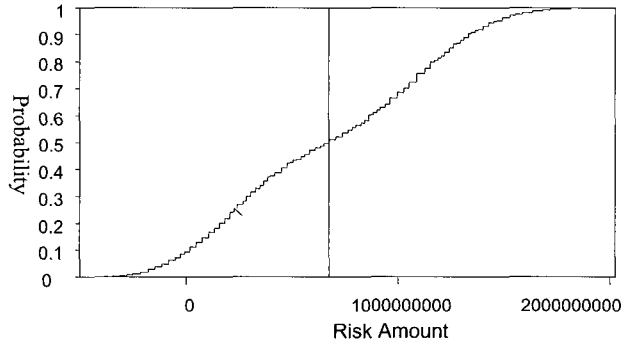

그림 11 외부리스크 금액 누적분포

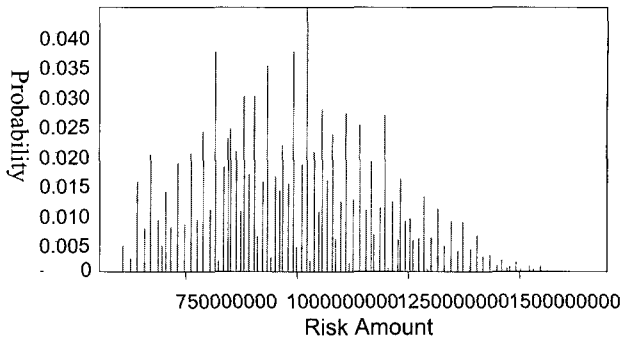

그림 12 시공관련 리스크 히스토그램

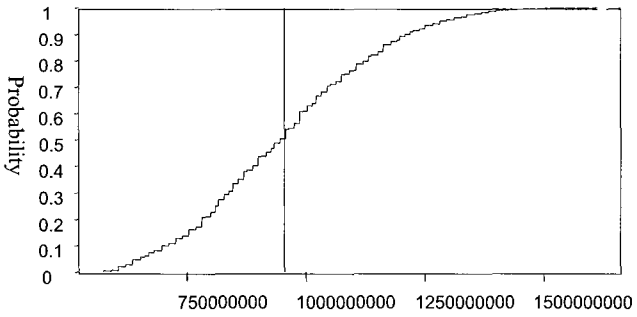

그림 13 시공 리스크금액 누적분포

주의할 점은 이것은 어디까지나 50%의 확률값을 갖고 있기 때문에 언제든지 이 금액을 초과하거나 못 미칠 수 있다는 것에 주의해야 할 것이다. 따라서 입찰금액에 포함시켜야할 예비비는 누적확률분포의 15~50%범위 내에서 입찰환경을 고려하여 추가시키는 것이 바람직할 것이다. 여기에서 확인된 기대값은 보험회사, 발주자, 하도급자 등과 협상을 위한 참고자료로서도 활용될 수 있을 것이다.

3.4 일정분석

3.4.1 네트워크의 구축

본 사례분석을 위한 네트워크의 구축은 PDM(Precedence Diagram Method) 방식을 채택하였으며, PDM 분석 결과 총 소요공기 일수는 946일로 산정되었다. 이 공기는 각 활동의 리스크요인을 전혀 고려하지 않은 확정적인 일정으로서 이 공사일정은 공사의 지연가능성 등에 대한 어떠한 정보도 포함하고 있지 못하다. 또한 이 공기일수와 일자는 일정관리를 위한 목표치(Target Value)로서 기준일이 된다.

공사일정의 리스크분석을 위해 각 활동별 작업일정의 산정이 필요하다. 이 경우 과거 공사의 이행자료가 풍부하면 실적자료를 이용해서 작업소요시간에 대한 확률분포를 이용하면 되나 이러한 자료가 부족한 경우 PERT에서 이용하는 삼점법을 토대로 낙관치, 개연치, 비관치를 산정하여 입력한다.

3.4.2 시뮬레이션 분석

(1) 확률분포를 적용한 일정분석

네트워크를 구축하고 활동별 일정을 산정하고 난 후 시뮬레이션을 1,000회 실시하게 되면 그림 14와 같은 결과를 얻을 수 있다. 그림 14는 공사일자 대신에 공사일수로 표현한 것이다. 확정적 값으로 예측된 목표 공기는 946일이지만 시뮬레이션 결과 최소 831일에서 최대 1039일까지 공사가 지연될 수 있음을 나타내고 있으며, 기대치는 960.94일을 나타내고 있다. 목표공기와 기대치간에는 15일의 편차를 나타내고 있으며, 가장 빠른 준공일과 늦은 준공일 간에는 208일의 차이를 나타내고 있다.

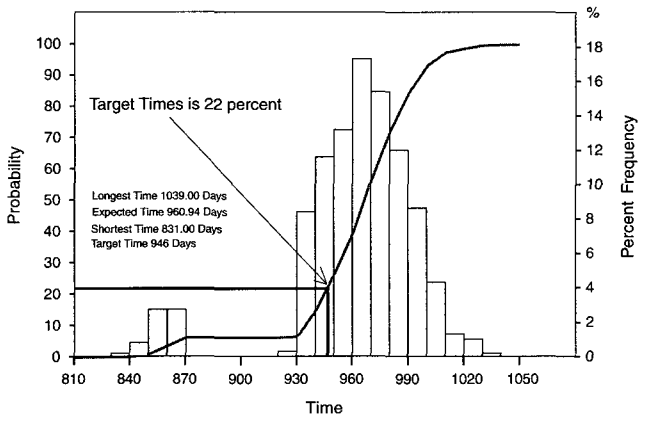

그림 14 예상 총 공기일수

(2) 확률적 후속활동을 고려한 일정분석

공사의 중요한 의사결정이나 불확실요인에 의해서 후속활동이 변화하는 경우 이 후속활동들에 대한 확률적 분기점을 고려해서 일정분석을 실시할 수 있다. 이러한 분기점을 Node라 한다. Node점은 공사에서 중요한 의사결정에 따라 여러 조치가 취해질 수 있는 활동을 말한다. 즉, 구조물의 검수, 시험, 재공사, 자금의 활용성, 생산성, 기타 여러 불확실요인의 발생 등과 같은 문제를 다루기 위한 분기활동이다. 본 사례분석에서는 그림 15와 같이 분기활동을 고려하였으며, 그 개념은 그림 16, 17과 같다.

그림 16은 가설도로공사가 끝나고 나면 바로 A1교대의 터파기 작업으로 진행될 확률이 80%이고, 사면보강을 실시한 다음 굴착작업을 실시하게되는 활동으로 진행될 확률이 20%임을 나타

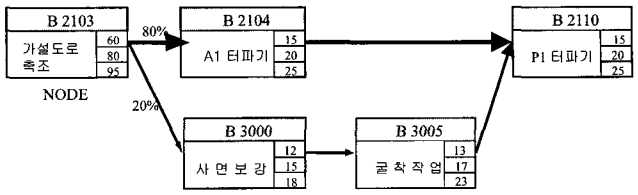

그림 16 확률적 후속활동 고려(1)

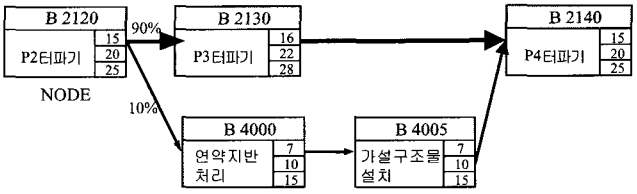

그림 17 확률적 후속활동 고려(2)

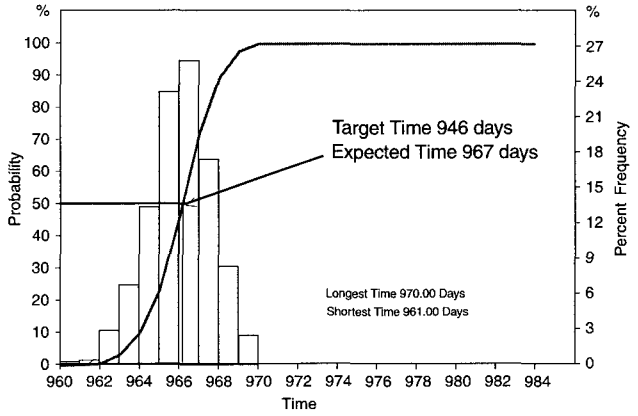

그림 18 분기점을 고려한 예상 총 공기일수

내고 있다. 그림 17은 P2터파기 작업의 후속작업인 P3터파기 작업으로 바로 진행될 확률이 90%이고 연약지반처리 작업을 실시하게 될 확률이 10% 가능성이 있는 경우를 나타내고 있다.

시뮬레이션은 이러한 각 대안의 가능한 활동을 확률적으로 표현해서 이러한 활동이 전체 공사일정에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 이러한 분기점을 고려하여 시뮬레이션을 실시한 결과는 그림 18과 같다. 최초의 목표치는 946일이고, 분기점을 고려한 공사일정의 기대치는 967일로서 21일의 편차를 나타내고 있다. 또한 최소값은 961일이고 최대값은 970일을 나타냄으로서

Activity ID	Activity Description	Orig Dur	Rem Dur	Early Start	Early Finish	OPTD	MOST	PESS	BRCH	CNDL
B2103	가설도로축조	70	70	980930	981208	60	80	80	NODE	
B3000	사면보강	15	15	981209	990223	12	15	15	20	
B2104	A1 터파기	20	20	981209	990228	15	20	25	80	
B2120	P2 터파기	20	20	990402	990421	15	20	25	NODE	
B4000	연약지반처리	10	10	990422	990501	7	10	15	10	
B2130	P3 터파기	20	20	990512	990531	16	22	28	90	

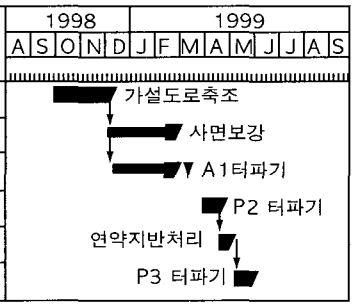

그림 15 확률 Branch Node를 고려한 네트워크

분기점을 고려할 경우 최초 견적일인 946일내에는 공사를 준공할 수 없음을 나타내고 있다.

(3) 확률적 칼렌다를 고려한 일정분석

모든 공정의 작업은 기후적인 영향을 많이 받게 된다. 특히 대형 토목공사의 경우 외부적 환경의 영향에 의해 절대적으로 영향을 받게된다. 따라서 공사일정 산정시 이러한 외부적 환경요인을 반드시 고려해야 한다. 본 사례분석에서는 장마철 10일간 강우에 의해 작업을 실시하지 못하게 될 확률을 70%로 산정한 다음 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과는 그림 19와 같다. 시뮬레이션 결과 최소 962일, 최대 982일로 산정되었으며, 기대값은 975일로 산정되었다. 목표치 946일과는 29일의 편차를 나타내었으며, 목표공기내에 공사를 완료할 확률이 전무한 것을 알 수가 있다. 따라서 이에 따른 공기만회대책을 수립해야 함을 알 수 있다.

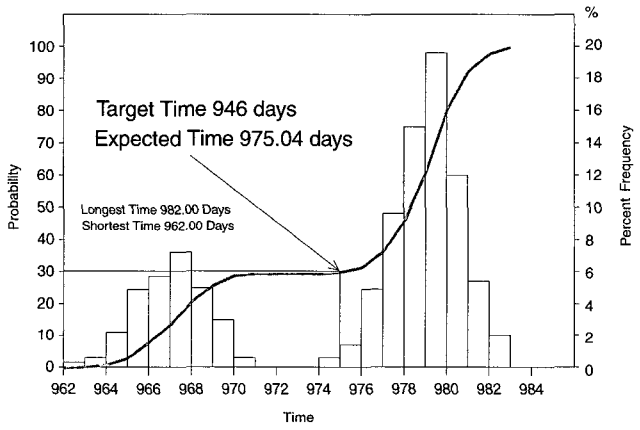

그림 19 확률칼렌다를 고려한 예상 총 공기일수

4. 결 론

본 연구에서는 건설공사 이행중 발생할 수 있는 리스크를 적절히 다루기 위해서 리스크분석 모델인 CRAS모델을 제시하였고, 또한 사례분석을 통해서 이 모델의 타당성을 검증하였다. 본 연구에서는 CRAS의 적용을 위해 먼저 리스크분류체계(RBS)를 구축하였으며, 여기에서 구축된 리스크인자는 주로 시공자의 직접적인 통제가 불가능한 리스크인자로 구성되도록 하여 시공자가 이들 리스크인자를 사전에 쉽게 인지하고 이에 대한 대응방안을 적절히 강구할 수 있도록 하였다. CRAS모델은 입찰단계에서 시공자가 전체 공사환경을 적절히 판단할 수 있도록 리스크인자를 정량화해서 적절한 대응방안을 구축하여 전체 공사의 Life-Cycle동안 공사를 관리해갈 수 있도록 하였다. 다시 말해서 CRAS는 리스크관리절차중 리스크분석단계를 좀더 세분화시킨 모델로서 건설공사 리스크의 정량적 분석을 위한 세부적인 절차와 방법을 제시하였다. 그러나 본 사례분석 결과 본 연구에서 적용한 리스크분석방법인 AHP, 영향도기법을 건설공사에 적용하는데는 몇가지 문제점을 갖는 것으로 나타났으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) AHP 모형은 전문가의 주관적 판단을 하나의 수치로 선정하거나 가중치를 부과하여 대안을 선정하는 경우에는 매우 강력한 도구로서 활용될 수 있다. 그러나 AHP는 비교대상인자가 8개 이상을 초과하게 되면, 판단의 일관성을 유지하기가 어렵게 되고, 분석자체가 불가능해질 수도 있다. 따라서 건설 프로젝트의 경우에는 매우 많은 인자를 동시에 고려해야 하는 경우 그 적용이 불가능해지기 때문에 그 적용에 제한을 받게되므로 이 기법 한가지만을 적용하는데는 무리가 있는 것으로 판단 되었다.

2) 수형도나 영향도기법을 적용하기 위해서는 각 리스크인자의 발생확률과 그 결과로 인한 예상금액을 비교적 정확하게 예측할 수 있어야 한다. 또한 리스크발생 시나리오를 정확하게 설정해야 하며, 시나리오가 틀렸을 경우 수정과 갱신이 쉽지 않아 외부적 환경요인을 많이 받는 건설공사에는 적합지 않은 분석기법으로 사료되었다. 또한 수형도와 영향도기법은 한번에 많은 리스크인자를 동시에 고려할 수 없고, 이들 인자의 상태와 발생순서, 비대칭적인 문제를 나타낼 수 없는 단점을 갖는다. 따라서 건설공사에 적합한 리스크분석방법을 개발하는 것이 필요함을 제시한다.

3) 본 연구에서는 공사일정상의 리스크를 분석하기 위해서 확률분포값, 확률적 후속분기활동, 그리고 확률적 칼렌다 개념을 도입하여 시뮬레이션을 실시하였으며, 이 결과치와 목표공기와의 비교를 통해 대안의 활동을 고려하기 위한 판단근거를 제시하였다. 사례분석을 통해 본 모형의 적용결과 CPM을 이용한 단순 일정관리방법보다 좀더 합리적으로 공사관리를 수행할 수 있다는 것을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(과제번호:1999-2-311-002-5)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Al-Bahar, J. F., Risk Management Approach for Construction Projects: A Systematic Analytical Approach for Contractors, Ph. D. Thesis, 1988.
2. Ahmad, I., Decision-Support System for Modeling Bid/No-Bid Decision Problem, Journal of

Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 116, No. 4, pp.595~608, 1990.
3. Ashley, D. B. and Avotes, I., Influence Diagramming for Analysis of Project Risks, Project Management Journal. XV(1), pp.56~62, 1984.
4. Jaafari, A., Criticism of CPM for Project Planning Analysis, Jounal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 110 No 2, pp 222 - 234, 1984.
5. Rasmussen, B. E. and Skogen, S., Project Modelling and Stochastic Simulation -Managing Project Risks-., 12th INTERNET World Congress on Project Management., Proceedings, Vol. 2, pp.377~388, 1994..
6. Saaty, T. L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, 1980.
7. 김창학, 강인석, 이배호, 건설공사의 리스크요소를 고려한 일정관리모델구축에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회 논문집(Ⅳ), pp.191~194, 1998.
8. 김창학, 강인석, 이배호, 건설공사의 리스크지수 산정에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회 논문집(Ⅱ), PP. 597~600, 1999.

Abstract

This research proposes a new risk analysis model in order to guarantee successful performance of construction projects. The risk analysis model, called Construction Risk Analysis System(CRAS), is introduced to help contractors identify project risks through RBS and through the procedures in risk analysis model. The proposed CRAS model consists of three phases. First step, CRAS model can help contractors decide whether or not they bid for a project by analysing risks involved in the project. Second step, the influence diagraming, decision tree and Monte Carlo simulation are used as tools to analyze and evaluate project risks quantitatively. Third step, Monte Carlo simulation is used to assess risk for groups of activities with probabilistic branching and calendars. Consequently, it will help contractors identify risk elements in their projects and quantify the impact of risk on project time and cost.

Keywords : Risk Management, Influence Diagram, Contingency