

건설 프로젝트의 코스트 리스크 분석방법론에 관한 연구

A Study on the Cost Risk Analysis Method for Construction Projects

이 동 운* · 김 영 수**

Lee, Dong-Un · Kim, Yeong-Su

요 약

불확정 요소가 많은 건설 프로젝트에서 코스트 리스크의 분석은 관련 전문가의 통찰력이나 주관적 판단에 의존하는 경우가 많다. 하지만 국내 건설산업의 경우 코스트 리스크 분석시 객관적인 산출근거에 의한 확률만을 고려 할 뿐 계량적 측정이 어려운 주관적 요소를 합리적으로 반영하기 위한 방법이나 절차를 갖고 있지 못하다. 이와 같은 관점에서 본 연구는 보다 신뢰성이 우수한 비용견적을 위해서 전문가의 주관적인 요소까지 종합적으로 평가하고, 리스크로 인한 비용의 변동을 정량적으로 분석할 수 있는 새로운 코스트 리스크 분석모델을 제시하였다. 아울러 실무에서도 간단한 절차에 따라 모델을 체계적으로 수행할 수 있도록 편리한 사용자 인터페이스를 제공해 주는 프로토타입을 구현하였다.

키워드 : 퍼지집합론, 계층적분석기법, 코스트 리스크, 퍼지 계층적분석기법, 퍼지 델파이

1. 서 론

1.1 연구의 목적

건설 프로젝트에서 비용견적의 정확도에 영향을 미치는 리스크에 대한 정량적인 평가는 성공적인 원가관리의 필수적인 요소이다. 코스트 리스크란 "비용견적시 프로젝트에 내재되어 있는 리스크로 인한 비용의 변동"으로 정의되어 지는데¹⁾, 건설 프로젝트에서 이러한 비용의 변동은 정확한 공사비의 예측을 어렵게 하는 또 하나의 원인이 된다. 하지만 국내 건설업체들은 비용견적 단계 자체에서 발생할 수 있는 코스트 리스크는 무시하고, 프로젝트를 진행함에 있어서 발생될 수 있는 리스크만을 고려하여 비용견적 자체에 많은 오류를 내포하고 있다. 그러므로 프로젝트 초기단계에서 비용견적의 신뢰수준을 향상시키기 위해서는 코스트 리스크에 대한 체계적이고 정형화된 분석방법이 필요하다.

본 연구에서는 다양한 건설환경에서 보다 신뢰성이 우수한 비용견적을 위해서 전문가의 주관적인 요소까지 종합적으로 평가하고, 리스크로 인한 비용의 변동을 정량적으로 평가할 수 있는

새로운 코스트 리스크 분석방법을 제시하고자 한다. 아울러 실무에서도 간단한 절차에 따라 코스트 리스크 분석을 체계적으로 수행할 수 있도록 편리한 사용자 인터페이스를 제공하는 프로토타입을 구현하고자 한다. 이를 위해 리스크 인자의 결정과 가중치 산정시 논리적 일관성을 향상시킬 수 있도록 퍼지한 스케일을 도입하고, 전문가의 주관적 판단을 합리적으로 반영할 수 있는 퍼지 리스크 분석방법과 절차를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위와 방법

본 연구에서는 코스트 리스크 분석방법의 원형을 제시하기 위하여 프로젝트와 직접적으로 관련된 리스크에 따른 비용의 변동만을 대상으로 하였고, 코스트 엔지니어의 자질에 따른 일반적인 비용의 변동 등은 그 범위가 불명확하므로 연구의 범위에서 제외하였다. 모델적용에서는 효율적인 사례분석을 위해서 해당 프로젝트와 관련된 코스트 리스크 인자 중 객관적인 선정절차를 통해 추출된 상위 리스크 인자 4개를 대상으로 그 범위를 한정하였다. 또한 코스트 리스크 분석방법의 적용시점은 건설회사가

* 일반회원, 부산대 건축공학과 시간강사, 공학박사

** 일반회원, 부산대 건축공학과 교수, 공학박사

1) Graham D.R., Cost Risk and CAIV, SCEA CAIV conference, 1998.

입찰에 참여하기 위하여 완성된 설계도면을 토대로 비용견적을 작성하는 시점으로 하였다. 본 연구를 진행순서에 따라 요약하면 다음과 같다.¹⁾

- 1) 코스트 리스크 분석에 관련된 기존 연구들의 문제점을 도출하고, 이에 대한 개선방향을 설정하기 해서 정성적 평가수단인 Fuzzy기법과 Fuzzy AHP기법의 적용성에 대하여 고찰한다.
- 2) 리스크 수준의 퍼지 분석방법을 개발하고 국내에서 사용되어지는 확정론적 비용견적을 코스트 리스크를 포함한 삼각 확률분포로 변환시키는 절차를 제시한다.
- 3) 정량적·정성적 인자를 종합적으로 고려한 코스트 리스크 분석방법을 제시하고 모델을 구현한다. 또한 이 모델의 효율적인 실무적용을 위해 가중치 산정 프로그램(FA-Choice)과 다양한 건설환경에서 코스트 리스크 분석의 체계적 수행을 위한 프로그램(FA-CRAM)을 구현한다.
- 4) 상기의 코스트 리스크 분석모델의 적용가능성을 확인하고 타당성을 검증하기 위하여 사례분석을 실시하고, 그 결과를 분석 및 평가한다.

2. 코스트 리스크 분석을 위한 이론적 배경

2.1 코스트 리스트에 대한 고찰

2.1.1 코스트 리스크의 정의와 구성항목

코스트 리스크는 비용견적의 정확도에 영향을 미치는 불확실성으로 건설 프로젝트에서 코스트 리스크를 고려한 정확한 공사비의 예측은 성공적인 원가관리의 기본적인 요소이다. 하지만 국내 건설산업의 경우 코스트 리스크 분석시 객관적인 산출근거에 의한 확률만을 고려 할 뿐 계량적 측정이 어려운 주관적 요소를 합리적으로 반영하기 위한 방법이나 절차를 갖고 있지 못하다.

건설 프로젝트에서 코스트 리스크 인자는 시공단계에서 발생되는 리스크 보다는 해당 프로젝트의 특성과 관련된 포괄적 개념의 리스크를 중심으로 선정되어진다. 왜냐하면 코스트 리스크의 분석은 리스크 분류체계에 따라 세분화 되어진 리스크 인자별로 수행되는 것이 아니라 모든 작업공종에 공통적으로 관련된 리스크 인자들을 중심으로 이루어지기 때문이다²⁾.

모든 프로젝트마다 초기 단계의 비용견적에서는 코스트 리스크가 필연적으로 포함되어 있으며, 이러한 코스트 리스크의 항목은 해당 프로젝트의 규모나 특성에 따라 다르게 적용되어야 한다. 기존의 연구에서 일반적으로 적용되었던 코스트 리스크의

인자별 정의는 표 1과 같고, 본 연구에서는 해당 프로젝트와 관련된 인자를 추출하여 적용하게 된다.

표 1. 코스트 리스크 인자별 정의

Risk Category	Definition
Cost	Uncertainty from the estimating method
Technology	Uncertainty of system performance due to reliance on the availability and promise of technology.
Design & Engineering	Uncertainty of the ultimate success of the design effort to execute a fully compliant component design.
Manufacturing	Uncertainty as to the ability of the production process to deliver the required component quantities, meeting all quality and performance requirements, consuming only the intended resources.
Schedule	Uncertainty as to whether the specified acquisition time period is adequate compared to schedules for similar systems.
Supportability	Uncertainty as to the ability to support the system during its planned lifetime and assure it can meet all availability and performance requirements.
Threat	Uncertainty caused by the volatility of the threat which could require more system performance than planned.

자료) D. R. Graham, "Cost Risk Tools for Risk Management : CRIMS", SCEA CAIV conference, 1998.

2.1.2 코스트 리스트 분석기법

불확실성하의 코스트 리스크 분석을 위해서는 기존의 리스크 분석기법들이 주로 활용되어진다.

1) 민감도 분석

민감도 분석은 리스크의 영향정도를 계량함에 있어 주요변수의 민감도를 고려함으로써 전체 결과 값의 변동효과를 파악하기 위하여 효과적으로 사용될 수 있다. 민감도 분석은 단순하고 각 변수의 상대적 중요도를 빠르고 쉽게 파악할 수 있어 매우 유용한 방법이지만, 한 번에 한가지 변수만을 다룰 수밖에 없기 때문에 각 변수가 독립적으로 고려되어야 하는 단점을 가지고 있다.

2) 확률분석

확률분석은 리스크에 영향을 주는 모든 변수의 변화를 다양한 형태의 확률분포로 동시에 표현하여 리스크에 대한 노출정도를 전반적으로 평가할 수 있는 명확한 장점을 가지고 있다. 하지만 건설산업의 단편적인 특수성을 감안해 볼 때, 경험이 없거나 과거 상황과 본질적으로 상이한 특정 공사에서 정확한 발생확률을 결정한다는 것은 사실상 불가능하다. 이러한 점 때문에 통계적 자료가 부족하거나 없는 경우에는 단순한 삼각분포를 이용하기도 한다.

2) Graham D.R., Implementing CAIV with the Cost-Risk Identification and Management System, Colorado University, 1996

3) 시뮬레이션

시뮬레이션은 문제가 너무 복잡하여 수학적인 모델을 구축하여 문제를 해결할 수 없는 경우에 사용된다. 이는 각 리스크 변수에 대한 무작위 값을 취하여 수많은 횟수의 반복적 분석을 시행하는 방법이다. 가장 광범위 하게 활용되는 시뮬레이션기법으로는 몬테카를로 시뮬레이션 방식이 있는데 그 사용방법은 비교적 단순하면서도 의사결정과정에 매우 강력한 도구로 이용된다.

이러한 기법들은 리스크 분석에 광범위하게 사용되고 있지만 계량화 가능한 정량적 리스크 인자들만을 대상으로 하고 있다. 하지만 코스트 리스크와 관련된 불확실한 요인들은 객관적 자료도 부족하고 확률적 판단도 불가능한 경우가 많아 이들 기법의 적용은 실무에서는 매우 제한적이다. 따라서 의사결정의 질을 향상시키기 위해서는 리스크 분석시 불가피하게 개입되는 주관적 판단의 체계적 반영을 위한 정형화된 틀이 요구된다.

2.2 정성적 평가수단에 대한 고찰

2.2.1 Fuzzy와 AHP기법

1) Fuzzy 기법

1965년 Zadeh에 의해 시작된 퍼지이론은 퍼지집합론의 사고방식을 기초로 모호성이 포함된 불확실성의 분석에 사용되어지는 수학적 모델로서 많은 분야에서 응용되어 오고 있다. 특히, 확률적으로 취급할 수 없는 인간의 주관적 인식에 따른 애매성을 취급하고자 할 때나 명확한 경계가 없는 원소들의 불확정한 집합에서의 리스크 분석에 유용하게 사용되어 진다.

2) AHP 기법

AHP는 1970년대 중반 Saaty에 의해 개발된 의사결정의 계층적 분석기법이다. 이 기법은 목표값들 사이의 중요도를 계층적으로 나누어 파악함으로써 각 대안의 중요도를 산출하는 방법으로서 다수의 목표, 평가기준, 의사결정 주체가 포함되어 있는 의사결정문제를 계층화하여 해결하는데 적합하다. 특히 AHP는 정량적인 요소뿐만 아니라 정성적인 요소까지 고려할 수 있고, 평가의 일관성을 추론할 수 있는 것이 장점이다.

2.2.2 Fuzzy AHP기법의 적용성 고찰

리스크 분석에 있어서 상충되는 평가요소들 사이에서 최적의 가중치를 산정하는 것은 리스크 분석결과에 많은 영향을 미칠 수 있으므로 모델의 적용에 앞서 매우 신중하게 고려되어야 한다. 리스크 분석시 사용되는 가중치 산정방법으로는 다양한 방법들이 있으며, 특히 AHP기법은 전문가의 경험과 직관적 판단을 보다 객관적으로 의사결정에 반영하기 위한 수단으로서 널리 사용되고 있는 기법이다. 하지만 AHP기법에서 사용하는 규격화된 9점 평가스케일은 의사결정자의 선호도가 두 평가요소의

상대적 중요도를 정확하게 비교할 만큼 명확하지 않을 때는 적당하지 않다. 또한 AHP기법은 대안평가, 성능평가, 리스크평가 등과 같은 의사결정상황에서 가중치 산정시 우선순위 역전현상을 유발함으로써 의사결정의 신뢰성을 저하시키는 문제가 있다³⁾. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 전문가의 성향에 상관없이 적용되는 규격화된 스케일 대신에 탄력성이 있는 퍼지한 스케일을 사용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 최적의 가중치를 산정하기 위해서 기존의 AHP기법에 퍼지집합론의 이론적 특성을 결합시킨 Fuzzy AHP기법을 도입하고자 하며 이러한 방법은 평가요소간의 쌍대비교에 보다 친숙하게 적용할 수 있다. 표 2에서 AHP기법은 여러 측면에서 성능이 우수한 가중치 산정 방법으로 나타나지만, 논리적 일관성을 향상시키고 전문가의 언어적 표현에 담긴 의미를 보다 적극적으로 수치화하기 위해서는 리스크 분석시 Fuzzy AHP기법을 적용하는 것이 가장 적당한 것으로 사료된다.

표 2. 가중치 산정방법의 비교

종 류	서열법 (척도법)	엔트로피 방법	AHP 기법	Fuzzy AHP기법
속 성				
순위 역전현상 방지	√			√
언어적 변수	√		√	√
상대적 가중치		√	√	√
계층구조			√	√
일관성 검증			√	√
모호성 반영				√

주) √표는 가중치 산정방법이 해당 속성을 포함하고 있음을 나타냄

3. 코스트 리스크의 분석요소

3.1 리스크 인자의 결정 프로세스

코스트 리스크를 평가함에 있어서 중요한 것은 주어진 정보를 체계적으로 분석하여 합리적인 리스크 인자를 결정하는 것이다. 본 연구에서는 코스트 리스크 인자를 효과적으로 파악하기 위하여 그림 1과 같은 Fuzzy Delphi기법을 응용한 리스크 결정 프로세스를 제안한다.

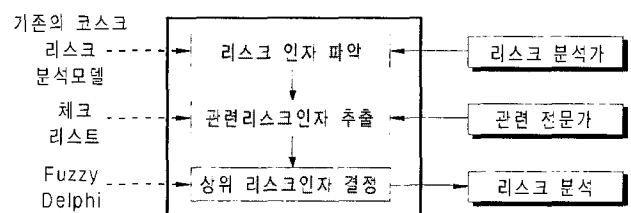


그림 1. 코스트 리스크 인자의 결정 프로세스

3) 정병호, 조권익, 「대형공사의 최적입찰자 선정을 위한 계층분석과정(AHP) 모형의 개발」, 경영과학지, 제16권 제1호, pp. 75~88, 1999.

일반적으로 전문가들의 의견을 취합하는데 사용되는 Delphi 기법은 정보의 반복적인 피드백을 통해 객관적인 의견을 수렴할 수 있으며, 익명성을 제공하므로 독립적인 사고를 가능하게 한다. 하지만 Delphi 기법에서는 전문가의 모호한 언어적 표현을 나타낼 수 없고, 각 단계에서 전문가의 의견차이를 조정할 수 있는 특별한 방법이 없다⁴⁾. 따라서 본 연구에서는 그림 2와 같은 절차를 통하여 리스크 인자를 결정하고자 한다. 이러한 방법은 리스크 인자결정시 각각의 언어적 변수에 퍼지 멤버쉽함수를 대응시켜 전문가의 퍼지한 의사표현이 가능하고, 각 단계에서의 전문가의 의견차이는 퍼지 확장원리에 의하여 근사적인 평균값으로 조정할 수 있는 특징이 있어 리스크 인자의 결정을 위해 매우 유용하게 사용될 수 있다.

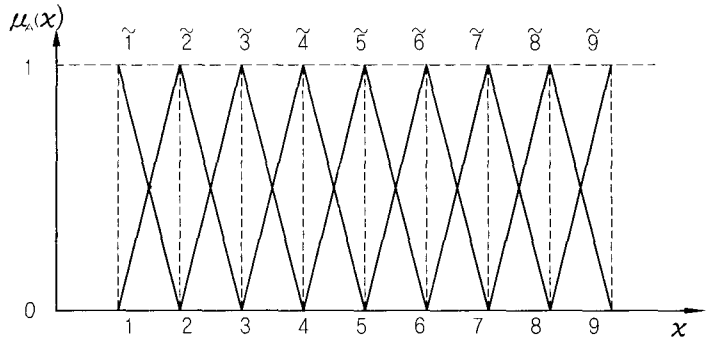


그림 3. 퍼지 리스크 수준의 멤버십 함수

퍼지분석을 위한 멤버쉽함수들은 경험적인 데이터를 바탕으로 전문가의 주관에 의해 자유롭게 결정되지만, 개인의 주관적 차이를 해소하기 위해서는 관련전문가들의 합의를 통하여 정의하는 것이 바람직하다. 만약 결과가 생각과 같지 않을 때는 멤버쉽함수의 값을 적당히 변경하여 시행착오를 거치면서 단계적으로 명확하게 접근하게 된다. 퍼지 리스크수준은 평가요소별로 지정한 언어적 변수로 구성된 매트릭스를 이용하여 결정되며, 매트릭스의 구성절차는 그림 4와 같다. 이러한 퍼지 리스크수준은 상황이 모호하며 정량적으로 표현하기가 어려운 경우에 매우 유용하게 사용되어질 수 있다.

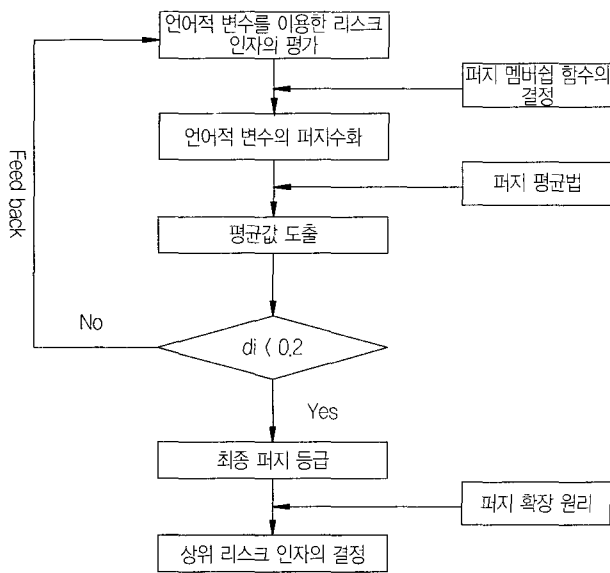


그림 2. Fuzzy Delphi의 적용절차
(단, d_i 는 각 삼각퍼지함수와 평균 삼각퍼지함수의 차)

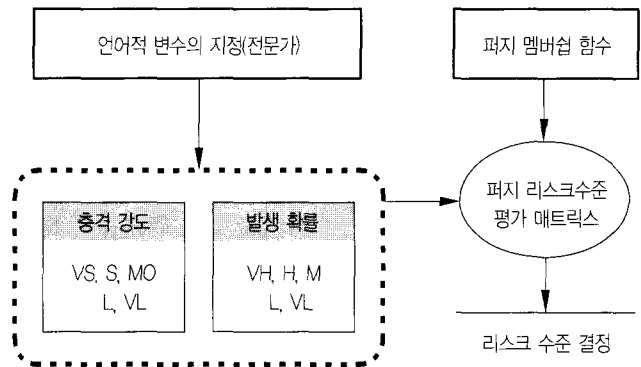


그림 4. 퍼지 리스크 수준 매트릭스 구성절차

3.2 퍼지 리스크 수준

기존의 리스크 수준 매트릭스는 리스크의 정량적 평가를 위해서 전문가의 판단과 경험을 바탕으로 몇 가지 리스크 수준에 대한 근사적 수치대응을 실시하였다. 하지만 모호성이 내포된 상황에서 주관적인 판단을 하나의 수치로 대응시켜 표현하는 것 자체가 어렵고 모순점이 많다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 퍼지 집합론의 이론적 특성을 적용한 9단계(∼)의 퍼지한 리스크 수준을 사용하며 각 단계에 대응하는 퍼지 멤버쉽함수는 그림 3과 같이 선정하였다.

3.3 리스크 프로파일의 점수산정 매트릭스

코스트 리스크의 분석은 각 작업공종과 관련된 리스크 인자들의 수준을 바탕으로 하며, 리스크 인자들의 수준은 3가지의 리스크 프로파일(Pessimistic Profile, Most likely Profile, Optimistic Profile)에 대해서 각각 평가되어진다. 본 연구에서는 퍼지 리스크수준의 개념을 도입하여 리스크 프로파일의 점수산정을 위한 매트릭스를 제안한다. 매트릭스에서는 각 프로파일의 리스크 수준과 리스크 인자간의 가중치를 곱하여 합산하는 방식으로 최종 리스크 프로파일의 점수를 계산한다. 산출된 각 리스크 프로파일의 점수는 불확실한 요인을 고려한 코스트 리스크의 영향

4) 이동운, 김영수, 「Fuzzy-AHP와 Fuzzy-Delphi기법을 이용한 건설 프로젝트의 의사결정보매에 관한 연구」, 한국건설관리학회 논문집, 제4권, 제1호, pp. 81~89, 2003.

정도를 파악하는 데 적용되며 그 절차는 다음 그림 5와 같다.

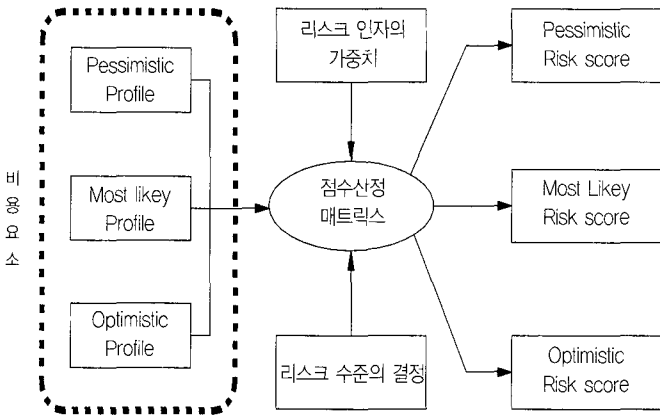


그림 5. 리스크 프로파일의 점수산정 절차

3.4 비용견적의 삼각확률분포

확정론적 견적방법은 최빈값에 기초한 점견적(Point Estimate)이므로 코스트 리스크에 따른 비용오차의 가능범위를 상한과 하한을 가진 신뢰구간으로 표현할 수 없다. 코스트 리스크를 고려한 비용견적값은 어떤 신뢰구간 안에서 값을 가지는 확률론적 범위견적(Range Estimate)으로 해석할 수 있다. 본 연구에서는 수학적으로 단순하며 최소, 최빈, 최대의 3가지 변수로 간단하게 표현할 수 있는 삼각분포를 비용요소의 확률분포 형태로 선택하였다.

점견적으로 이루어지는 초기 비용견적을 삼각확률분포로 변환하기 위해서 리스크 프로파일간의 상대적 비율을 이용한다. 리스크 프로파일간의 상대적 비율(PP/MP, MP/MP, OP/MP)은 비관적, 정상적, 낙관적인 경우의 3가지 리스크 프로파일 점수를 정상적인 경우의 리스크 점수로 나누어 결정한다. 이 값들을 단일 값으로 주어진 초기 비용견적 값에 곱하면 코스트 리스크를 포함한 작업공종별 Optimistic Cost, Most likely Cost, Pessimistic Cost 등으로 변환되어진다. 이 값들은 삼각 분포형태의 확률론적 범위견적을 가능하게 하며 확률분석과 시뮬레이션을 통해 코스트 리스크의 비용영향을 정량화 시켜준다. 그림 6은 코스트 리스크를 포함한 삼각확률분포의 생성절차를 나타낸 것이다.

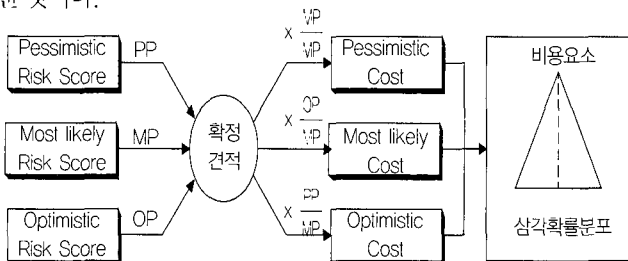


그림 6. 삼각확률분포의 생성절차

초기 비용견적시 단일 값을 삼각확률분포로 변환시킬 수 있는 이러한 방법은 비용견적의 불확실성을 일정한 신뢰구간으로 표현할 수 있어 보다 현실적이고 신뢰성있는 공사비 산정이 가능하게 한다.

4. 코스트 리스크 분석방법의 개발

4.1 개요

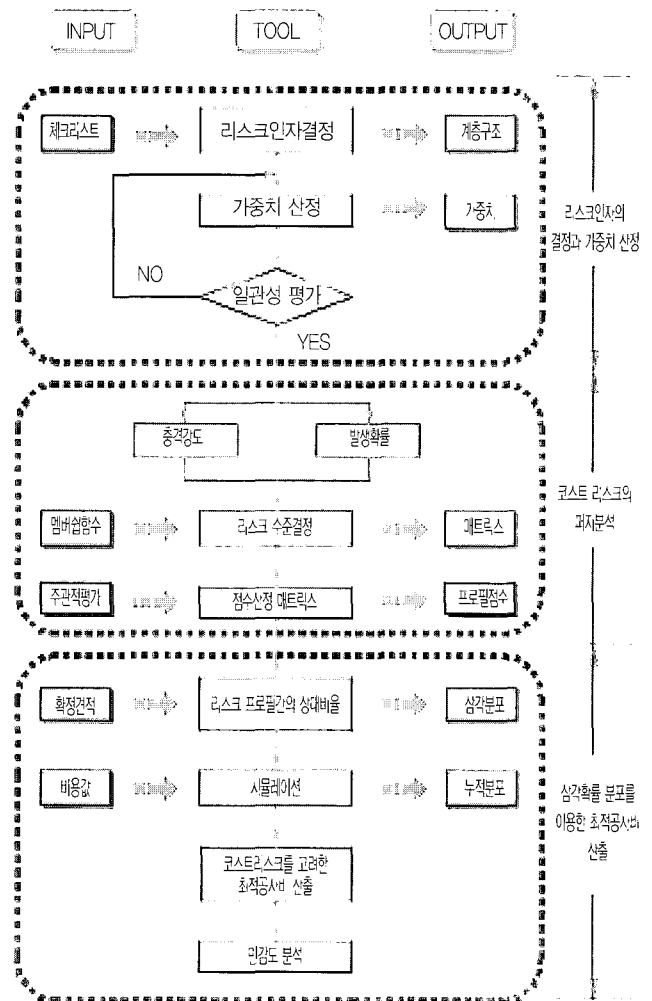


그림 7. 전체 모델의 구성

본 장에서는 3장에서 제시한 코스트 리스크의 분석요소를 토대로 기존의 분석방법들의 문제점을 개선시킨 새로운 코스트 리스크 분석방법을 제안하고자 한다. 또한 다양한 의사결정 상황에서 최적의 가중치 산정을 위한 FA-Choice와 제한된 분석방법을 체계적으로 수행할 수 있는 FA-CRAM(Fuzzy AHP-Cost Risk Analysis Model)을 개발하도록 한다. 코스트 리스크 분석 방법은 앞의 그림 7과 같이 3단계로 구성되어 있다.

4.2 코스트 리스크 분석절차

4.2.1 리스크 인자의 가중치 산정

코스트 리스크 인자의 결정 프로세스를 통해 최종적으로 결정된 리스크 인자는 가중치를 결정하기 위하여 쌍대비교를 실시한다. 쌍대비교는 삼각퍼지함수로서 이루어지며, 산정된 가중치는 도식 비퍼지화 방법에 의하여 일관성을 평가한다. 이러한 과정은 Fuzzy AHP기법을 적용한 가중치 산정 프로그램인 FA-Choice에 의해 수행되어지며 프로젝트와 관련된 코스트 리스크 인자의 가중치를 결정하기 위한 일련의 절차는 그림 8과 같다.

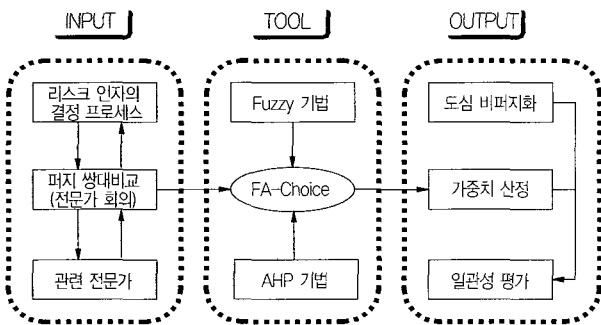


그림 8. 리스크 인자의 결정과 가중치 산정

4.2.2 코스트 리스크의 퍼지분석

퍼지 리스크 분석은 여러 단계의 언어적 변수로 지정된 충격강도와 발생확률을 기초로 이루어진다. 여기에서 리스크 충격강도는 해당 리스크가 초래할 심각도를 의미하며⁵⁾, 표 3

표 3. 리스크 충격강도 판정기준

언어적 변수	리스크 인자			
	비용 리스크	일정 리스크	기술적 리스크	설계리스크
매우 미약 (Very Little : VL)	최소 또는 영향이 없음	최소 또는 영향이 없음	최소 또는 영향이 없음	모든 요구사항이 충족
미약 (Little : L)	< 5%	일정기준은 맞출수 있으나 필요한 자원의 추가 투입이 요구된다.	이익이 다소 감소되지만 받아들일만 함.	설계상의 노력이 요구됨
중간 (Moderate : Mo)	5~7%	핵심 마일스톤에 약간 영향을 미친다. 일정기준을 맞출수 없다.	이익이 상당량 감소되지만 받아들일만 함.	기존설계 지식을 이용한 적당한 개발이 요구됨
심각 (Severe : S)	> 7~10%	핵심 마일스톤이나 CP선에 큰 영향을 미친다.	이익은 없지만 받아들일만 함	기존설계 지식을 사용하는 주요한 개발이 요구됨
매우 심각 (Very Severe : VS)	> 10%	핵심팀이나 중요 프로그램 마일스톤 기준을 맞출수 없다.	받아들일수 없음.	적절한 대안이 없으며 설계에 있어 새롭거나 기존의 것을 깨뜨리는 진전이 요구됨

자료) Space and Missile Systems Center "CRIMS", pp. 32, 1994. & DoD "Risk Management", DSMC Risk Management Workshop, pp. 43, 1998.

5) 김창학 외 2인, 「건설공사의 리스크분석을 통한 예비비산정모형구축에 관한 연구」, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 1999.

은 본 연구에서 적용된 리스크 충격강도의 판정기준이다. 또한 해당 리스크 인자의 발생확률을 정의하게 되는 데 이러한 발생확률의 개념은 전문가의 판단을 토대로 한 주관적 확률로 구성된다. 불확정요소가 많은 건설 프로젝트에서는 통계에 기초한 객관적 확률보다는 주관적 확률을 많이 이용하게 된다⁶⁾. 이에 본 연구에서는 확률의 주관적 관점을 채택하였으며 언어적 표현에 대응하는 전문가의 주관적인 확률 값을 표 4와 같이 가정한다.

표 4. 리스크 발생확률 판정기준

언어적 변수	주관적 확률 값
매우 낮음(Very Low : VL)	0.1
낮음(Low : L)	0.3
보통(Medium : M)	0.5
높음(High : H)	0.7
매우 높음(Very High : VH)	0.9

자료) Space and Missile Systems Center "CRIMS", pp. 32, 1994.

여기에서 리스크 평가요소인 충격강도와 발생확률에 대한 언어적 변수는 전문가의 주관에 따라 결정되며 프로젝트 특성에 따라 합리적으로 조정될 수 있다.

퍼지 리스크수준 매트릭스는 평가요소별로 지정된 언어적 변수를 이용하여 표 5와 같이 구성된다.

표 5. 퍼지 리스크수준 매트릭스

리스크 충격강도(RI)	리스크 발생확률 (RP)				
	Very High (VH)	High (H)	Medium (M)	Low (L)	Very Low (VL)
Very Serious (VS)	9	8	7	6	5
Serious (S)	8	7	6	5	4
Moderate (Mo)	7	6	5	4	3
Low (L)	6	5	4	3	2
Very Low (VL)	5	4	3	2	1

각 비용요소에 대한 리스크 프로파일 점수산정을 위해서는 비관적, 정상적, 낙관적인 경우의 리스크 수준이 결정되어야 한다. 리스크 수준은 충격강도와 발생확률에 대한 정보를 바탕으로 표 5의 퍼지 리스크수준 매트릭스를 이용하여 결정되어진다. 3가지 리스크 프로파일의 점수는 퍼지 리스크수준과 리스크 인자간의 가중치와 곱하여 합산되어 산정된다. 이러한 과정은 본 연구에서 제안한 표 6의 리스크 프로파일 점수산정 매트릭스에 표현된다.

6) 김인호, 「건설계획과 의사결정」, 기문당, 1998.

표 6. 리스크 프로파일 점수산정 매트릭스의 예

작업공종	리스크 인자	리스크 인자 1			...	리스크 인자 n			리스크 점수
		가중치 1				가중치 n			
		RI	RP	결과		RI	RP	결과	
작업공종1	PP	S	M	8	...	MO	M	5	6.63
	MP	MO	L	4		L	L	3	4.18
	OP	L	VL	2		VL	VL	1	2.18
작업공종2	PP	S	H	7	...	VS	H	8	7.03
	MP	MO	M	5		MO	M	5	4.88
	OP	L	L	3		L	L	3	2.43
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
작업공종n	PP	MO	M	3	...	MO	M	5	5
	MP	L	L	3		L	L	3	3
	OP	VL	VL	1		VL	VL	1	1.3

주) PP : Pessimistic Profile, MP : Most likely Profile, OP : Optimistic Profile, RI : 리스크 충격강도, RP : 리스크 발생확률,

표 6에서 계산된 3가지 리스크 프로파일에 대한 점수는 정상적인 경우의 리스크 프로파일 점수로 나누어 리스크 프로파일간의 상대비율을 결정한다. 이 값에 프로젝트 초기 비용견적 값을 곱해 주면 표 7과 같이 코스트 리스크를 고려한 각 작업공종의 Optimistic Cost, Most likely Cost, Pessimistic Cost 가 산출된다.

표 7. 코스트 리스크를 고려한 비용견적의 예 (단위 : 천원)

작업공종	초기 비용 견적	리스크 프로파일간 상대비율			코스트 리스크를 고려한 비용견적		
		OP/MP	MP/MP	PP/MP	Optimistic Cost	Most likely Cost	Pessimistic Cost
작업공종1	34,022	2.18/4.18	4.18/4.18	6.63/4.18	17,691	34,022	54,095
작업공종2	90,053	2.43/4.88	4.88/4.88	7.03/4.88	45,026	90,053	129,676
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
작업공종n	20,360	1.3/3	3/3	5/3	6,694	20,285	32,456

각 작업공종의 Optimistic Cost, Most likely Cost, Pessimistic Cost 등은 비용견적의 무작위적인 성질 때문에 코스트 리스크를 포함한 삼각확률분포를 가진 산술모델로 해석되어 진다. 시뮬레이션 방법은 모든 비용견적값이 무작위 변수(난수)로써 모델링 되어지므로 이를 통해 코스트 리스크의 영향정도를 확인할 수 있다.

시뮬레이션에 의해서 발생하는 랜덤난수는 건설 프로젝트에서 발생할 수 있는 무작위 값이 되지만 이렇게 반복계산된 결과는 매우 현실적인 값을 반영한다고 볼 수 있다.

그림 9는 이러한 시뮬레이션 과정을 나타낸 것이다.

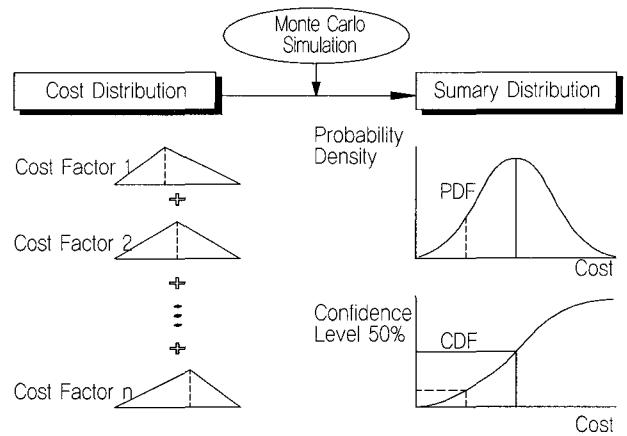


그림 9. 코스트 리스크 정량화를 위한 시뮬레이션

4.3 코스트 리스크 분석모델의 구현

4.3.1 FA-Choice를 이용한 가중치 산정

Fuzzy AHP기법을 이용한 프로그램은 전문가가 가중치를 산정함에 있어 보다 친숙한 그래픽 환경을 제공하여야 하며, 전문가의 수와 평가요소의 수에 따른 우선순위를 검토할 수 있어야 한다. 또한 전문가의 주관적 판단의 착오를 측정할 수 있는 일관성 평가와 함께 견해가 다른 전문가들의 의견이 종합적으로 반영되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 사항들을 만족시킬 수 있도록 프로그래밍 언어인 Delphi를 이용하여 가중치 산정프로그램인 FA-Choice를 개발하였다.

FA-Choice는 평가요소 상호간의 쌍대비교시 주관적 판단의 애매함을 합리적으로 가중치 산정에 반영할 수 있는 의사결정지원 프로그램으로 전문가는 그림 10과 같이 의사결정의 최종목표와 전문가 수, 평가요소 수와 명칭을 입력해야 한다. 다음은 그림 11과 같이 평가요소간의 가중치 산정을 위해서 중요도에 대한 쌍대비교를 하게 된다.

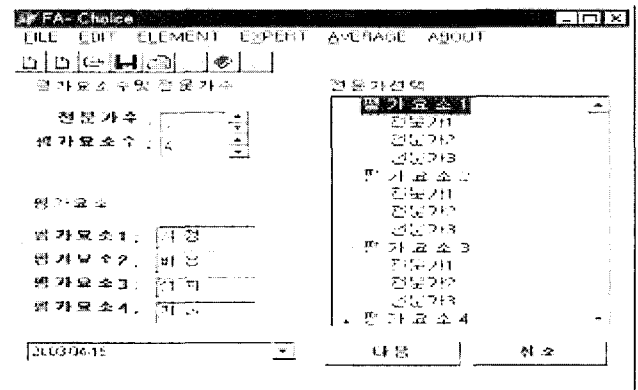


그림 10. 기본요소 입력

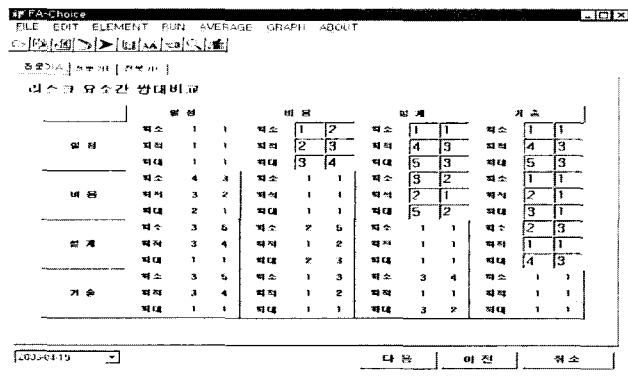


그림 11. 전문가 A의 쌍대비교 입력

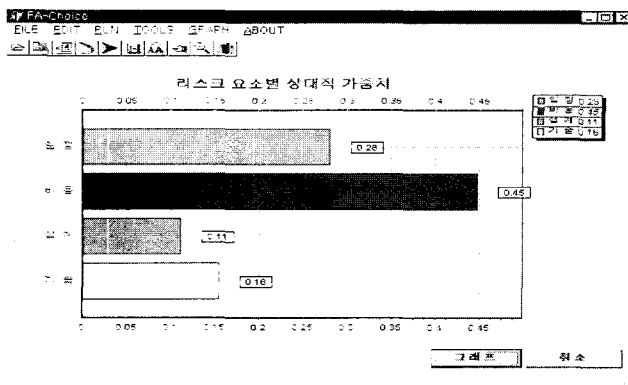


그림 12. 최종 가중치 산출

시뮬레이션 회수를 입력하여 실행하면 코스트 리스크를 포함한 최적 공사비, 표준편차가 계산되어진다. FA-CRAM에서 가능한 출력형태는 각 입력자료와 최적공사비에 대한 정보를 제공해주는 리포트와 그림 15와 같은 형태의 시뮬레이션 결과에 따른 그래프이다. 그래프의 수직축은 발생빈도수와 누적빈도수로 자유롭게 변환이 가능하며, 또한 원하는 신뢰수준에 따른 예측 공사비를 추정할 수 있게 하였다. 본 연구에서는 시뮬레이션 분석을 위한 확률변수 값의 생성법으로 역변환법을 사용하였으며 생성된 확률변수는 모두 독립적인 것으로 해석하였다.

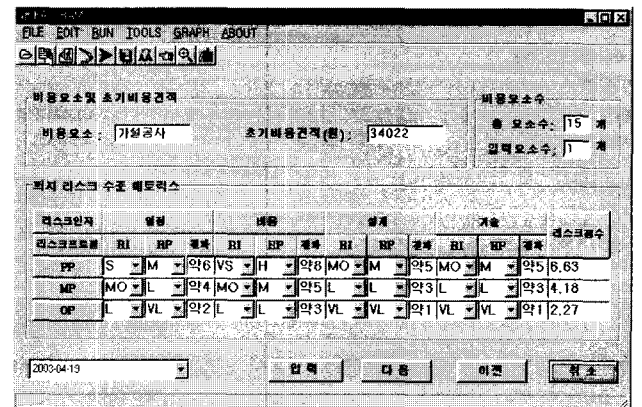


그림 13. 비용요소별 리스크 수준의 지정

쌍대비교는 입력된 전문가의 수만큼 실행되어지는데, 입력 후 일관성 평가 지수 값을 보여줌으로써 전문가로 하여금 자신의 판단에 대한 검토과정을 거치도록 하며, 모든 일출력 값들은 데이터 베이스에 저장된다. 마지막으로 그림 12는 평가요소간의 우선순위와 중요도를 그래프로 출력한 화면이다. 이상과 같이 FA-Choice는 사용하기에 편리한 사용자 인터페이스를 제공함으로써 다요소 의사결정문제의 해결과정에서 일반인이라도 쉽게 이용할 수 있도록 하였다.

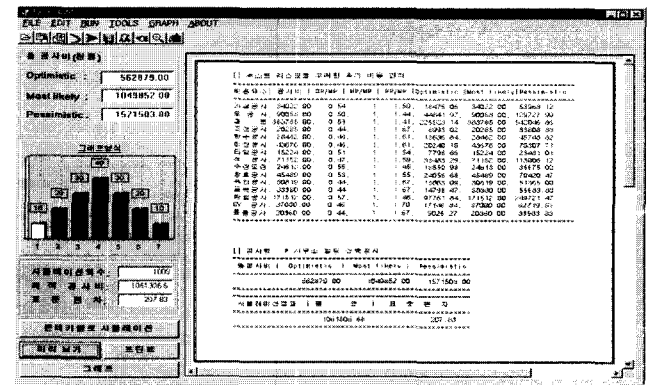


그림 14. FA-CRAM의 출력형태

4.3.2 FA-CRAM을 이용한 코스트 리스크 분석

본 연구에서는 제안된 방법을 바탕으로 실무에서도 간단한 절차에 따라 코스트 리스크 분석을 수행할 수 있도록 프로그래밍 언어인 Delphi를 이용하여 FA-CRAM을 구현하였다. 그림 13은 비용요소별로 초기 비용전결과 리스크 프로필에 따른 리스크 수준을 입력하는 화면이다. 전문가가 해당 리스크 인자에 대한 충격강도와 발생확률을 언어적 변수로 지정하면 이에 대응하는 리스크 수준과 리스크 프로필에 따른 점수가 자동으로 생성되어 저장된다. 각 비용요소와 관련된 입력 데이터는 자동으로 집계되고, 그림 14는 계산모듈에서 시뮬레이션을 통해 산출된 전체 결과를 보여준다. 여기에서 총 공사비의 Optimistic Cost, Most likely Cost, Pessimistic Cost가 나타나게 되며 원하는

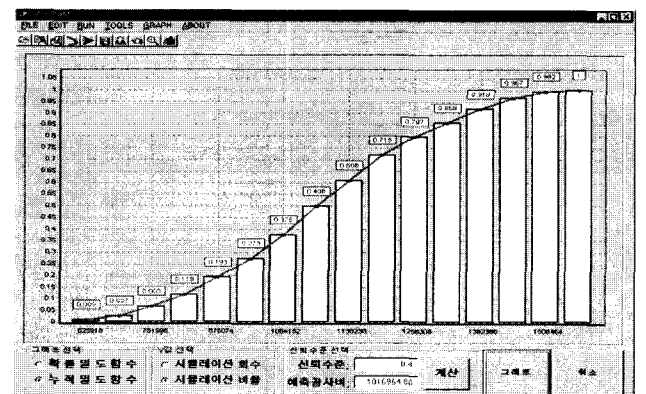


그림 15. 누적밀도함수

5. 사례적용 및 평가

5.1 사례적용

FA-CRAM의 유효성을 검증하기 위해 선정된 대상 프로젝트는 "H"사에 의해 2002년 4월에 착공하여 2003년 1월에 준공된 P빌딩 신축공사이다. 사례적용에 사용된 비용요소는 실제 입찰 참여를 위한 초기 비용견적 데이터이며, 코스트 리스크에 대한 평가는 전문가 3인의 경험에 따른 주관적 판단을 활용하되 충분한 토의를 통해서 객관적인 의견수렴이 되도록 하였다.

표 8. 각 언어적 변수에 대응하는 퍼지 멤버십함수

언어적 변수	기 호	퍼지 멤버십함수
Very High	VH	(0.83, 1.0, 1.0)
High	H	(0.67, 0.83, 1.0)
Medium High	MH	(0.5, 0.67, 0.83)
Medium	M	(0.33, 0.5, 0.67)
Medium Low	ML	(0.17, 0.33, 0.5)
Low	L	(0, 0.17, 0.33)
Very Low	VL	(0, 0, 0.17)

주) 퍼지 멤버십함수는 0에서 1까지를 7단계로 구분하여 도출한 값이며, 그 좌우 경계 폭은 전문가들의 합의에 따라 결정되어 진다.

Fuzzy Delphi기법에 의한 설문조사를 위해 코스트 리스크 인자의 중요도는 모두 7단계로 구분하였으며, 각 단계의 퍼지 멤버십함수 값은 표 8과 같이 선정하였다. 3차례의 설문조사를 통해 수렴된 코스트 리스크 인자의 최종등급은 표 9와 같고 본 연구에서는 코스트 리스크 분석을 위해서 MH (Medium High)등급 이상의 중요도를 가진 일정, 비용, 설계, 기술 등의 4개의 인자를 결정하였다.

표 9. Fuzzy Delphi기법에 의한 리스크 인자의 결정

리스크 인자	전문가			퍼지 평균	퍼지 확장 원리에 의한 최종등급	비 고
	A	B	C			
일정	VH	VH	VH	(0.78, 0.94, 1.0)	VH	√
비용	VH	H	VH	(0.78, 0.94, 1.0)	VH	√
설계	H	MH	MH	(0.56, 0.72, 0.89)	MH	√
복잡	ML	M	ML	(0.22, 0.39, 0.56)	ML	
기술	H	H	VH	(0.67, 0.83, 0.94)	H	√
통합	M	ML	ML	(0.22, 0.39, 0.56)	ML	

FA-Choice를 이용하여 가중치를 계산한 결과 일정 리스크 0.28, 비용 리스크 0.45, 설계 리스크 0.11, 기술 리스크 0.16으로 나타났으며, FA-Choice에서 확인된 일관성 평가지수는 0.12로 Robert Csutora가 제시한 1.0보다 매우 작아 더 이상의

수정은 불필요한 것으로 보인다.

표 10. 코스트 리스크를 고려한 비용견적

(단위:천원)

작업 공종	초기 비용견적	리스크 프로필간 상대비율			코스트 리스크를 고려한 비용견적		
		OP/MP	MP/MP	PP/MP	Op. Cost	Mo. Cost	Pe. Cost
가설공사	34,022	0.54	1	1.59	18,469	34,022	53,963
토공사	90,053	0.50	1	1.44	44,842	90,053	129,728
철근콘크리트	383,785	0.59	1	1.41	225,523	383,785	542,047
조적공사	20,285	0.44	1	1.67	8,993	20,285	33,808
방수공사	28,482	0.48	1	1.61	13,641	28,482	45,744
미장공사	43,676	0.46	1	1.61	20,208	43,676	70,308
타일공사	15,224	0.51	1	1.54	7,789	15,224	23,431
석공사	71,152	0.47	1	1.59	33,441	71,152	113,006
수장, 도장	24,613	0.55	1	1.45	13,551	24,613	35,675
창호공사	45,489	0.53	1	1.55	24,052	45,489	70,420
유리공사	30,819	0.44	1	1.67	13,663	30,819	51,365
금속공사	33,380	0.44	1	1.67	14,798	33,380	55,633
패널공사	171,512	0.57	1	1.46	97,762	171,512	249,721
엘레베이터	37,000	0.46	1	1.70	17,119	37,000	62,720
부대공사	20,360	0.44	1	1.67	9,026	20,360	33,933
초기비용의 합계	1,049,852	코스트 리스크를 고려한 비용합계			562,879	1,049,852	1,571,503

본 적용사례에서 각 작업공종별로 리스크 프로필간의 상대비율을 통해 도출된 삼각분포 형태의 범위견적값은 표 10과 같다. 또한 FA-CRAM을 통해 각 비용견적의 삼각분포로부터 총 공사비의 확률분포를 생성하여 몬테카를로 시뮬레이션을 실시하였다. 삼각분포의 누적밀도함수는 역변환법으로 구하고 100×100 type의 난수를 발행시켜 총 1,000회의 시뮬레이션을 수행한 결과 50%의 신뢰수준을 갖는 최적 공사비는 1,061,474,000원으로 산출되었으며 이는 확률적 견지에서 실제 공사비가 최적 공사비를 초과할 확률이 50%라는 것을 의미한다. 이 최적 공사비는 단일 값으로 추정된 초기 비용견적을 기준으로 할 때 1.1%에 해당하는 11,622,000원의 비용오차가 존재하며, 이 비용오차는 현실적으로 발생할 수 있는 코스트 리스크의 영향정도를 의미한다. 결론적으로 코스트 리스크로 인해 초기 비용견적의 1.1%에 해당하는 만큼의 기대수익이 감소할 수 있으므로 예측된 기대수익을 창출하기 위해서는 이 금액만큼이 입찰금액에 반영되어야 한다.

5.2 적용결과 및 평가

본 연구에서는 각 작업공종의 비용견적이 모두 삼각분포라고 가정하여 적용하였으나, 만약 과거의 공사자료가 충분히 활용될 수 있다면 정규분포나 베타분포 등의 다른 확률분포를 적용하는 것도 가능하다고 사료된다. 또한 FA-CRAM의 출력결과를 보다

정밀하게 평가하기 위하여 가중치 산정방법으로 AHP기법을 적용한 경우와 베타분포를 확률분포로 가정한 경우에 있어서 도출되어지는 최적공사비의 변화를 비교 검토하였다. AHP기법의 가중치 산정을 위해서는 본 연구에서 제시한 도심 비퍼지화 방법을 사용하였으며, 각 비용견적의 확률분포가 베타분포일 때 최적 공사비의 산출을 위해서는 PERT기법의 3점 견적법을 적용한 정규분포로 가정하여 해석하였다. 이와 같이 객관적인 타당성을 가진 가정을 수립하여 가중치 산정방법과 확률분포의 변화에 따른 4가지 경우의 수에 대해서 시뮬레이션을 실시한 결과는 다음 표 11과 같다.

표 11. 시뮬레이션 결과 (단위:천원)

산출방법	시뮬레이션	초기 비용견적	실제 정산금액	
확률분포	가중치	(1,049,852)과의 오차	(1,064,719)과의 오차	
삼각분포	AHP	1,061,117	+1.07%	-0.34%
	Fuzzy AHP	1,061,474	+1.10%	-0.30%
베타분포	AHP	1,055,103	+0.50%	-0.90%
	Fuzzy AHP	1,055,283	+0.52%	-0.89%

시뮬레이션 결과 값은 초기 비용견적을 기준하여 +0.50%~+1.10, 실제 정산금액을 기준하여 -0.90%~-0.34%의 근소한 오차 범위 이내에 존재하는것을 확인할 수 있었다. 또한 실제 정산금액과 비교하였을 때는 삼각확률분포와 Fuzzy AHP기법에 의한 가중치 산정방법이 비용견적의 정확도에 있어서 가장 우수한 것으로 나타났다.

본 모델에서 비용견적 변화에 따른 총 공사비의 반응수준을 살펴보기 위하여 공사금액이 큰 작업공종 3가지에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 3가지 비용요소의 리스크 수준변화에 따른 총 공사비의 시뮬레이션 결과는 그림 16과 같다.

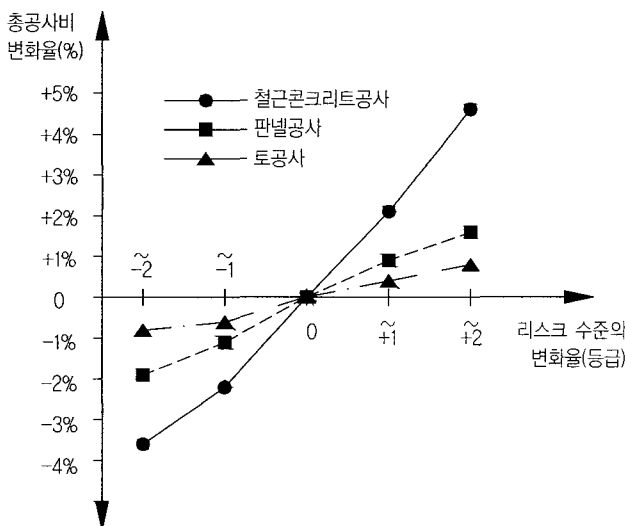


그림 16. 스파이더 다이어그램에 의한 민감도 분석

그림 16에서 리스크 수준의 절대 변화율과 작업공종의 공사금액이 클수록 총 공사비의 변화율도 이에 비례하여 크게 나타나고 있다. 이러한 결과로 보아 본 모델은 작업공종의 리스크 수준에 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있으며, 그 타당성 또한 적합하다고 사료된다.

6. 결론

본 연구는 비용견적단계에서 발생할 수 있는 코스트 리스크를 체계적으로 분석하기 위한 정형화된 방법을 제시할 목적으로 수행되었다. 이를 위하여 퍼지 리스크 분석방법과 비용요소의 삼각확률분포 생성절차를 제시하였으며, 제안된 방법을 체계적으로 수행할 수 있는 그래픽 환경의 입출력 모듈을 개발하고 사례 분석을 실시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 프로젝트에 내재되어 있는 코스트 리스크를 체계적으로 분석하고 비용견적단계에서 불가피하게 개입되는 주관적인 요소까지 종합적으로 평가할 수 있는 코스트 리스크 분석방법과 절차를 제시하였다. 이를 통해 비용견적의 정확도를 향상시켜 건설회사의 성공적인 원가관리에 기여할 수 있도록 하였다.
- 2) 코스트 리스크 인자의 중요도를 평가하기 위하여 Fuzzy AHP기법을 이용한 가중치 산정방법을 제안하였고, 본 모델에 적용한 결과 전문가의 언어적 표현에 내재되어 있는 모호성을 보다 합리적으로 반영할 수 있었다.
- 3) 전문가의 주관적 판단정도를 코스트 리스크 분석과정에 반영하기 위하여 리스크 수준에 대한 언어적 표현을 퍼지집합으로 대응시켜 해석하였고, 평가된 리스크 수준을 리스크 프로파일 점수산정 매트릭스에 적용한 결과 각 작업공종에 대한 코스트 리스크의 영향정도를 파악할 수 있었다.
- 4) 본 연구에서는 제안된 모델을 체계적으로 수행할 수 있는 FA-CRAM을 개발하였다. FA-CRAM은 가중치 산정 프로그램과 연계시켜 운영할 수 있도록 하였으며, 또한 사용자 편의를 위한 친숙한 그래픽 환경을 제공함으로써 실무에서도 간단한 절차에 따라 최적 공사비의 산출과 신뢰수준에 따른 분석이 가능하도록 하였다.
- 5) 모델의 타당성을 검증하기 위해 사례연구를 실시한 결과 도출된 예측 공사비는 가중치 산정을 위해 AHP기법을 적용한 경우와 비용요소를 베타확률분포로 가정한 경우보다도 비용견적의 정확도가 우수한 것으로 나타나 그 유용성이 입증되었다.

참고문헌

1. 강인석, 「퍼지이론을 이용한 건설공사의 리스크수준 평가 모형」, 대한토목학회 학술발표 논문집, 2001.
2. 김인호, 『건설계획과 의사결정』, 기문당, 1998.
3. 김창학 외 2인, 「건설공사의 리스크분석을 통한 예비비산 정모형구축에 관한 연구」, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 1999.
4. 이동운, 김영수, 「Fuzzy-AHP와 Fuzzy-Delphi기법을 이용한 건설 프로젝트의 의사결정모델에 관한 연구」, 한국건설관리학회 논문집, 제4권, 제1호, pp. 81~89, 2003.
5. 정병호, 조권익, 「대형공사의 최적입찰자 선정을 위한 계층 분석과정(AHP) 모형의 개발」, 경영과학지, 제16권 제1호, pp. 75~88, 1999.
6. Graham D.R., Cost Risk and CAIV, SCEA CAIV conference, 1998.
7. Graham D.R., Cost Risk Tools for Risk Management : CRIMS, SCEA CAIV conference, 1998.
8. Chang D. Y., Applications of the extent analysis method of fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, 95, pp. 649~655, 1996.1.

Abstract

Considering about construction projects characteristics, there is an existing uncertainty which causes inaccuracy or invalidity under decision making situation. Therefore, cost risk analysis of numerous construction projects are inclined to depend on expert's experiences and subjective judgements. In Korean domestic construction works, however, there is no reasonable method or process for applying subjective elements. Only probabilistic analysis using objective calculation are being used now. This research suggests a cost risk analysis method to analyze quantitatively Cost Impact by risk, and it appraises expert's subjective elements for the purpose of enhancing validity of cost estimation. Moreover, a new cost risk analysis method is introduced for providing convenient user interface in practical business.

Keywords : Fuzzy Set Theory, AHP, Cost Risk, Risk Management, Fuzzy AHP, Fuzzy Delphi