

확률적 평가에 의한 건설공사 비용 위험도 측정의 적용성에 관한 연구

A Study on the Application of Cost Risk Exposure methods by the Probabilistic Evaluation on the Construction Projects

조 재 호* · 전 재 열**

Cho, Jea-Ho · Chun, Jae-Youl

요 약

건설공사비의 총액을 산정하기 위한 예비 견적은 위험의 정도를 감수하고 있다. 즉 대형 건설공사의 경우 오랜 기간에 걸쳐 수행되어지며 공중에 따른 공사기간별로 초기계획단계보다 실행견적가에 미달하는 위험과 관련하여 발생되어진다. 이는 신뢰성 있는 유사비용데이터 수집의 어려움과 데이터의 수가 절대적으로 부족할 뿐만 아니라 이러한 수집된 비용데이터 조차도 건설공사의 특성을 충분히 반영하지 못하기 때문이다. 또한 통상 비용산정방법에 있어서 기존에 주로 활용되는 확정론적 비용평가는 다수의 불확실성을 띄고 있는 건설공사의 특수성을 반영하지 못하고 있다. 따라서 국내의 비용평가가 다루어지지 않고 있는 비용의 확률적 개념을 도입함으로써 비용의 위험도를 측정하고 비용요인들간의 상관성과 부위별 비용특성을 반영하여 견적시 과대 과소의 오차합계를 최소화하기 위한 방법을 제시하고자 한다. 여기서 위험도는 예비견적비가 실제 발주자 집행 실행견적이 보다 적게 될 확률로서 정의하고 본 방법의 제시에 따른 사례의 적용을 통해 객관적인 검증을 연구의 목적으로 한다.

연구의 방법은 첫 번째, 비용 데이터로부터 직접적으로 위험도를 평가하는 통계학적 방법과 두 번째, 몬테칼로 시뮬레이션 방법을 이용하여 비용데이터로부터 간접적으로 위험도 평가방법을 제안하고자 한다.

몬테칼로 시뮬레이션 방법은 단위 요소비용의 분포특성과 비용상관성으로부터 총비용의 확률분포를 생성하여 신뢰성 있는 비용 데이터의 확장과 해석이 가능한 방법으로 실제상황에 접근된 위험도 평가가 가능할 것이다.

키워드 : 위험분석, 위험도, 비용견적, 몬테칼로 시뮬레이션

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설공사비의 총액을 산정하기 위한 예비 견적은 위험의 정도를 감수하고 있다. 즉 대형 건설공사의 경우 오랜 기간에 걸쳐 수행되어지며 공중에 따른 공사기간별로 초기계획단계보다 실행견적가에 미달하는 위험과 관련하여 발생되어진다. 이는 신뢰성 있는 유사비용데이터 수집의 어려움과 데이터의 수가 절대적으로 부족할 뿐만 아니라 이러한 수집된 비용데이터 조차도 건설공사의 특성을 충분히 반영하지 못하기 때문이다. 또한 통상 비용산

정방법에 있어서 기존에 주로 활용되는 확정론적 비용평가는 다수의 불확실성을 띄고 있는 건설공사의 특수성을 반영하지 못하고 있다. 따라서 국내의 비용평가가 다루어지지 않고 있는 비용의 확률적 개념을 도입함으로써 비용의 위험도를 측정하고 비용요인들간의 상관성과 부위별 비용특성을 반영하여 견적시 과대 과소의 오차합계를 최소화하기 위한 방법을 제시하고자 한다. 여기서 위험도는 예비견적비가 실제 발주자 집행 실행견적이 보다 적게 될 확률로서 정의하고 본 방법의 제시에 따른 사례의 적용을 통해 객관적인 검증을 연구의 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

예가와 실행가 사이의 오차를 최소화하기 위한 위험도 평가방법으로서 첫 번째, 비용 데이터로부터 직접적으로 위험도를 평가하는 통계학적 방법과 두 번째, 몬테칼로 시뮬레이션 방법을 이

* 일반회원, 단국대 대학원 석사과정

** 일반회원, 단국대 건축공학과 교수, 공학박사

본 연구는 1999년 한국과학재단 특정기초연구과제(과제번호98-0602-03-01-3)결과의 일부임

용하여 비용데이터로부터 간접적으로 위험도 평가방법을 제안하고자 한다. 본 연구의 방법은 다음과 같다.

- (1) 현행 공사비 견적방식과 기존 연구의 문제점을 고찰한다.
- (2) 비용견적에 있어서 위험도 평가방법의 필요성을 제시한다.
- (3) 비용견적시 확률적 접근방법을 제시한다.
- (4) 위험도평가방법과 관련된 불확실성에 대한 개념과 위험도를 평가하는 방법을 고찰한다.
- (5) 통계학적 방법을 이용하여 비용 데이터로부터 직접적으로 위험도를 평가하는 방법을 제시한다.
- (6) 몬테카를로 시뮬레이션 방법과 AHP 기법을 이용하여 비용데이터로부터 간접적으로 위험도를 평가하는 방법을 제시한다.
- (7) 위험도 평가방법의 유용성 및 객관적 검증에 위해 사례 적용성 분석을 한다.

2. 공사비 견적체계의 고찰

2.1 현행 공사비 견적체계와 기존 연구의 문제점

공사비의 견적방법은 건축생산단계에 따라 달라진다. 대체적인 공사비 결정은 공사가 대체적으로 정의되고 예산조치를 하는 초기계획단계에서 진행되어야 한다. 이 시기에는 공사의 규모, 내용 및 배지에 관해서 알려진 정보가 적고 사용할 수 있는 공사비 자료는 한정되어 있으므로 활용하는 견적기법도 한정된 정보에 적합한 것이어야 한다¹⁾.

개산견적은 그 목적과 방법에 따라 많은 유형이 있으나 일반적 개산견적의 의미는 건설계획을 할 경우의 예산 편성시 건설기술자가 개략적인 공사비를 추정하기 위하여 작성하는 견적 형식을 말하며, 설계도서가 불완전하거나 정밀산출기간이 부족할 경우 건물의 용도, 구조, 마무리의 정도를 충분히 검토하고, 과거의 비등한 실적통계자료 등을 참조하여 공사비를 산출하는 방법이다. 개산견적은 사용목적, 건축물의 성격 또는 설계변경, 예산수립 등 요구되는 경우에 따라 크게 다음과 같은 방법으로 접근되고 있다.

표 1. 현행 공사비 견적 방식

견적방식	내 용
단위면적법	㎡당(평)의 단가를 기준으로 연건평을 산출하여 같은 종류 및 규모 건물의 평당 통계단가를 곱하여 총공사비를 산출하는 방법
비례기준에 의한 개산견적	공종별 각 공사비 및 재료 수량에 일정비율을 산정하여 개산하는 방법
부위별 단가 비교법	가설, 기초, 골조, 마감 등의 건물부위별의 단위 면적당(평, ㎡) 단가를 동종건물의 실적차와 비교하는 것에 의해 부위별 ㎡당 단가를 추정하고 이들을 합산하여 추정단가를 결정하는 방법

1) 김관영, 실적공사비에 의한 개산견적에 관한 연구(공사이행단계별적산절차) 중앙대학교 건설대학원 1997.6

여기서 부위별 단가 비교법은 어느 정도 설계정보를 바탕으로 이루어지기 때문에 가장 신뢰도가 높으며 전체적으로 유사하지 않은 공사의 실적치에도 부위별로 유사한 것을 모아서 별도의 단가를 구하는 것이 가능하다. 또한 부위별 단가가 구하여지기 때문에 설계단계에서의 비용을 검토할 때 유용하게 이용될 수 있다. 특히 부위별 단가를 가장 최신의 것으로 하기 때문에 현행 실적공사비 적산방식을 적용할 수 있을 것이다.

하지만 기존 건설공사 리스크 비용 산정 방법연구²⁾에서는 다음과 같은 문제점을 가지고 있는 개산견적방법을 그대로 사용하고 있다.

표 2. 현행 공사비 견적 방식의 문제점

견적방식	문 제 점
단위면적법, 비례기준에 의한 개산견적	쉽게 개산할 수 있지만 신뢰도가 높지 않으며 제한된 설계안의 비용요소에 대하여 성능과 물량조정 방법은 비용의 크기와 성능에 1차적 선행관계로 해석하여 비용간의 상관성을 고려하지 않고 있다.
부위별 단가 비교법	부위별 ㎡ 단가를 추정하고 이들을 합산하여 추정하는 과정에서 부위별로 분해하는 것에 의한 총액 합산시 각각의 과대 과소 오차가 이적되어 발생한다.

2.2 위험도 평가방법의 필요성

본 연구에서의 비용견적의 의미는 특정 건축물을 완공하기 위하여 발주자가 요구하는 총예상공사비를 예측하는 예비견적을 의미한다. 이러한 예비견적가는 설계단계에서의 다양한 변경과 시공단계에서의 물가상승이나 여러 가지 다른 요인으로 인하여 상시 변화의 가능성을 가지고 있기 때문에 연속적 예가 변동과 수정에 대한 오차를 허용하기 위하여 보통 예비비를 따로 산정하고 있다.

즉 예비비 비율을 높일수록 공사비용에 대한 예비견적비용이 실행견적 비용보다 좀더 높게 책정되어 질 수 있다. 하지만 예비비 비율을 높이는 것은 바람직한 방법이 아니며 각 프로젝트마다 건물의 종류와 공사 환경이 다르므로 이에 대한 예비비산정은 공사자의 경험과 주관적 판단에 의존해야만 한다. 따라서 예가와 실행가 사이의 차이는 항상 일어날 수 있으며 사업 조직간에도 발주자가 요구하는 공사집행비용(공사비용)과 언제나 같을 수는 없다. 이러한 원인으로서는 인플레이션, 부정확한 공사 설계 및 기술상의 하자, 사업주의 자금조달능력, 완공지연등에 의한 건설기간 중 이자의 증가 및 기대 현금 유입의 지연등 복합적으로 발생할 수 있으며 공사 건설기간이 길면 갈수록 소요자금의 규모가 크면 클수록 증가하게 된다. 또한 공사구성의 하도급 비율이 높을수록 이러한 차이는 더욱 높아진다. 다음 <그림 1>은 건설공사에서의 조직간 예산과 집행비용의 차이를 보여주고 있다.

이러한 현상은 수많은 건설공사에서 발생하는 현상으로 통계학

2) Sydney Newton, Methods of analysing risk exposure in the cost estimates of high quality office, CM&E, Australia, 1992.

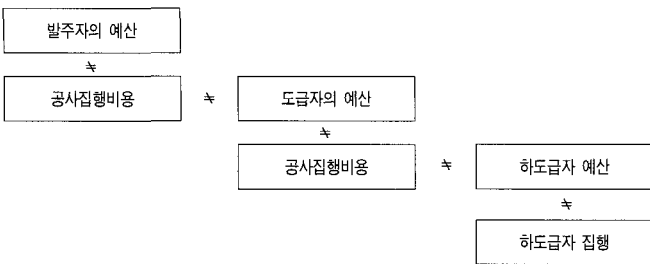


그림 1. 총액계약에서의 조직간 예산과 집행비용 차이

적으로는 이러한 차이를 보통 오차로서 볼 수 있다. 하지만 건설공사 특성상 비용견적과 총실행공사비가 다양한 건물에 대해 실행되어지며 건설 각 단계별 예비견적비는 다시 수정되고 상세화 되기 때문에 이러한 오차라는 용어는 건설공사 비용견적시 부적절하다고 볼 수 있다. 따라서 건설공사비 견적시 발생하는 오차를 예측요류로 기술하는 것이 바람직하며 발주자나 도급자 모두 비용산정에 예측요류의 가능성을 가지고 있다. 규모가 작거나 반복적인 주택공사의 경우와 같이 특정 공사에 한해서 비교적 정확하게 산출할 수 있는 경우 이러한 예측요류값은 예비비산정 범위 안에서 무시될 수 있다. 보통 입찰전 15%~20%정도의 예측요류 범위를 허용하고 있으며 상세설계단계에서 변동계수를 이용하여 약 13%~18%까지 개선할 수 있다. 따라서 약 20% 예비비로 발생 가능한 비용산정의 잠재적 변수값을 부담하고 있다.³⁾ 하지만 규모가 커지고 여러 공정이 복합된 공사인 경우 총비용산정은 상당히 어려워진다. 실제로 도급자의 총실행비용에 대한 예측요류의 정도가 30%, 심지어는 그 이상의 경우도 발생되어진다. 이러한 예측요류에 대하여 단순하게 일반적으로 사용되어지는 총비용에 대한 예비비의 산정으로서 해결되어 질 수 없다. 오히려 이러한 접근방법의 하나로서 각 비용요소의 특성을 고려하여 예비비 산정이 이루어져야 할 것이다. 보통 예비비의 비율이 높을수록 각 비용요소의 변동값을 수정하여 비율을 낮출 수 있다. 현행 관행상 설계변경이나 시공변경에 대비하여 예비비를 산정 하는 것은 확률적 방법에 근거하고 있다.⁴⁾ 이런 접근방법은 공사환경이 매우 안정적일시 유용하게 사용되어 질 수 있지만 공사비용 변수요인이 증가하고 공사 규모가 커짐에 따라 이러한 유용성은 의미를 잃는다. 따라서 확률적 방법이 대안적으로 사용되어 질 수 있다. 확률적 방법은 필요에 따라 완전히 확정론적 방법을 부정하는 것은 아니며 근본적으로 확정론적 방법에 기초하고 있다.

3. 비용의 위험도 평가 과정

본 연구의 사례적용에 있어서 비용의 위험도 평가 방법은 다음 <그림 2>와 같이 진행된다.

3) Ogunlana and Thorpe, Construction and Economic, UK, 1987
 4) Donald, S. Professional Construction Management, Halliday Lithgrath Coporation, 1984

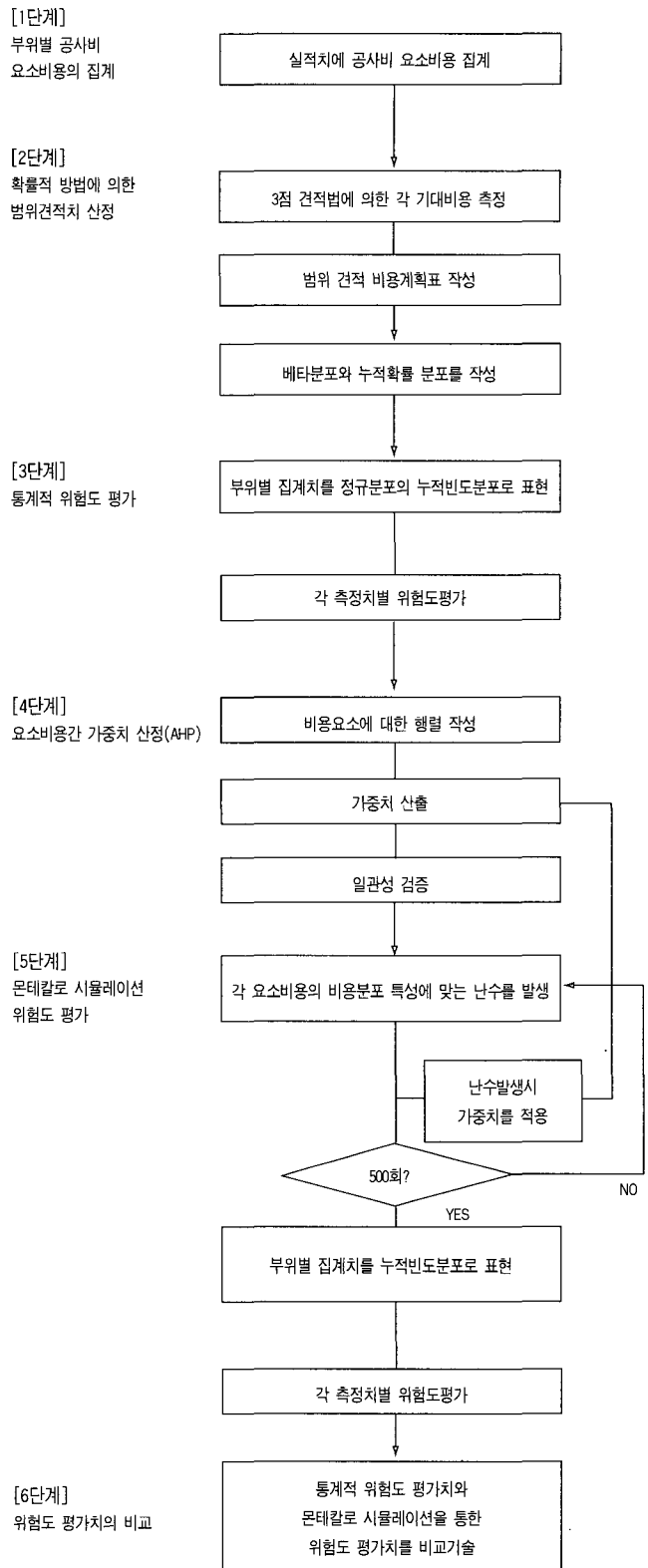


그림 2. 위험도 평가과정

3.1 공사비용견적 확률적 접근 방법

(1) 확률적 접근방법

설계안에 대한 각 비용요소의 수많은 실적 공사비가 축적되어 활용이 가능하다면 비용요소에 대한 단위비용의 산술 평균이 가

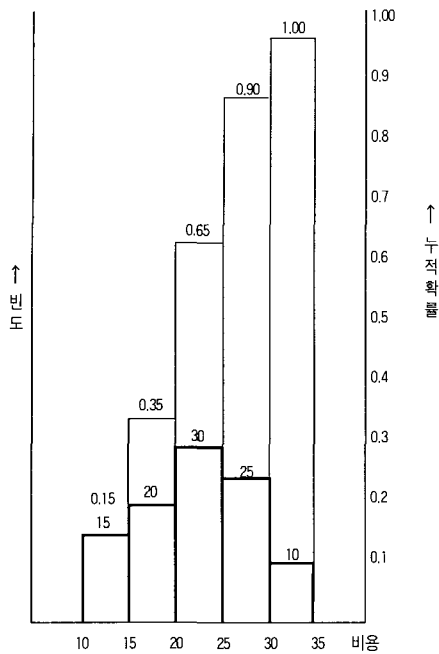


그림 3. 자료의 확률분포와 누적확률분포

능할 것이다. 다음 <그림 3>의 빈도분포로 유용하게 나타낼 수 있다. 이것은 상대빈도분포로 알려져 있으며 확률적 견지에서 모집단에서 추출된 관찰치가 25%의 가능성(확률)을 가지고 있다면 그 비용은 25~30의 범위구간 안에 있는 것으로 추정할 수 있다. 만약 이러한 확률 값들을 연속적으로 누적하여 합산하면 <그림 3>의 2차 Y축과 같은 누적확률분포를 얻을 수 있다.

각 막대구간의 중앙값(또는 그 이하의 값)의 비용은 그 비용의 확률을 의미하게 된다. 만약 충분한 비용데이터를 이용할 수 없을 경우 비용자료의 변동성을 측정하는 정규분포표를 사용할 수 있을 것이다.

만약 견적자가 예상되는 입찰가격에 대한 가장 가능성 있는 가격과 더불어 최저가격과 최고 가격을 계산하여야 한다면 다음 그림 4와 같은 낙관적 견적점(최저 비용)과 비관적 견적점(최고비용), 가능성 높은 견적점(최빈비용)⁵⁾을 이용할 수 있다. 이 견적 방법은 3점 견적방법⁶⁾이라고 하는데 다음 <그림 4>에 있는 베타

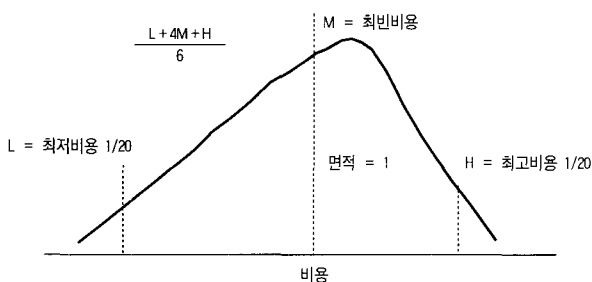


그림 4. 3점 견적법의 베타분포 추정치

분포를 가정한다. 이 분포는 좌측으로 편향되어 있거나, 대칭적이거나, 우편향된 분포 역시 가능하다. 곡선 아래 있는 총면적은 1이다. 베타 확률 밀도의 계산은 복잡하지만, 기대값은 단순한 방정식에 의해 유도된다.

3점 견적법을 수행하면, 비용에 대한 아래와 같은 측정치가 사용될 수 있다.

- ① $E(C_i) = \text{기대비용} = \frac{L+4M+H}{6}$
- ② L = 최저 견적가 : 하위 5%의 비용
- ③ H = 최고 견적가: 상위 5%의 비용
- ④ M = 가장가능성 있는 견적가: 최빈비용
m = 평균, S = 표준편차 (모집단)
- ⑤ 분산 $\text{var}(C_i) = \left(\frac{H-L}{6}\right)^2$

상호 독립적인 여러 비용에 대하여 위의 식을 합산하게 되면, 중심극한정리⁷⁾에 따라 총비용 분포는 정규분포와 근사하게 되며 합의 평균은 평균의 합이고, 합의분산은 분산의 합이 된다. 비용합계의 분포는 비용요소의 개별적인 형태에도 불구하고 정규형태를 가지게 된다.(그림 5. 참조)

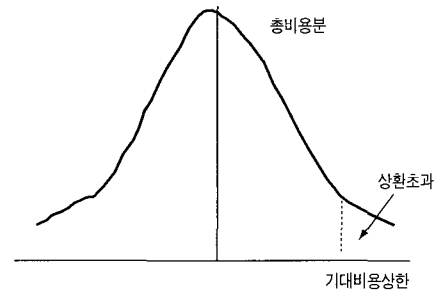


그림 5. 각 베타분포의 합으로 가정되는 정규곡선

정규분포곡선을 이용하면 임의의 어떤 측정비용을 초과할 확률 $P[\text{Cost} > UL]$ 는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$Z = \frac{UL - E(Cr)}{\text{var}(Cr)^{1/2}} \quad (Z = \text{표준정규분포표의 값, } UL = \text{임의로 선택한 상한 비용})$$

총비용의 상한값과 하한값도 이러한 방식에 의하여 구하여 질 수 있다.

따라서 비용계획을 위하여 각 비용요소는 <표 3>과 같이 만들어 질 수 있다.

하지만 상기와 같은 비용의 견적방법은 비용의 상관성을 설명

5) PERT기법을 위해 개발된 방법, 전계서
6) 유일근, 원가측정과 분석, 시그마프레스, 1999

7) 유일근, 원가측정과 분석, 시그마프레스, 1999

$E(C_r) = E(C_1) + E(C_2) + \dots + E(C_n)$
 $\text{var}(C_r) = \text{var}(C_1) + \text{var}(C_2) + \dots + \text{var}(C_n)$
여기서 $E(C_r)$ = 총 기대 비용, $\text{var}(C_r)$ = 총비용의 분산

표 3. 비용계획을 위한 각 비용요소

요 소 비 용	전체바닥면적당 단가			
	최 소 값	가장 가능한 값	최 대 값	기 대 값
대 지 답 사				
상부구조체				
프레임				
에비비				
총 비 용				

하지 못하고 있다. 설명 비용 변동 요인을 설명할 수 있다 하더라도 새로운 프로젝트의 비용에 영향을 주는 모든 요인을 파악하고 정확한 비용예측을 위한 비용의 상관관계를 정의하기는 매우 어려운 것이 현실이다.

(2) 몬테칼로 시뮬레이션과 AHP기법의 도입

현행 건설공사 견적체계에서 실적공사비 데이터수가 적거나 다른 유용한 정보를 활용할 수 없는 경우에는 몬테칼로 시뮬레이션을 이용하여 자료를 가상으로 생성할 수 있다.

건설공사 비용데이터의 가장 주요한 제약은 사용 가능한 비용 데이터 표본수가 작다는데 있다. 통계학적 방법은 표본의 크기나 성격이 모집단을 대표하면 할수록 유용하다. 만약 건설공사비와 같이 비용 데이터를 충분하게 이용할 수 없는 경우에는 대안적으로 데이터를 생성하여 모집단과 같은 정도의 데이터를 만드는 것이다. 이런 데이터는 실제 존재하지 않는 가상적 데이터이다. 하지만 이 가상적 데이터는 같은 데이터 계열에서 추출된 것으로서 통계학적으로 실적공사비 데이터로 간주 될 수 있다. 이러한 요소 비용으로 구성된 확률분포에 근거하여 가상 비용데이터를 만들어 내는 유용한 방법으로 몬테칼로 시뮬레이션이 사용되어 진다. 몬테칼로 시뮬레이션은 누적확률분포로부터 난수를 사용하여 누적확률값에 해당하는 0에서 1의 값을 취하며 요소비용을 하나의 사건으로 예측할 수 있다. 다른 비용요소 또한 각각의 누적확률분포에 근거하여 난수추출 방식으로 구할 수 있으며 이러한 비용의 합은 총비용을 산출하게 한다. 하지만 각 시행마다 다른 난수값이 선택되어 서로 다른 총비용을 산출하게 된다. 이러한 과정을 반복하여 충분한 시행 횟수(보통 500회)를 가지면 총비용의 확률 분포는 실제 비용과 같은 형태의 분포를 얻을 수 있다. 하지만 좀더 실제 총실행비용에 근사한 추정값을 얻기 위해서는 총비용집계시 각 비용요소의 비용특성 뿐만아니라 비용의 상관성을 정량적 가중치로 표현하여 산출하는 것이 필요하다. 예를 들어 벽마감부위의 물량이 많아지면 바닥과 천정 또한 물량이 증가됨으로 서로 어느 일정한 상관성을 보여주고 있다. 이는 비용의 상관관계로 해석될 수 있으며 이러한 평가방법으로 계층분석과정(AHP)⁸⁾이 사용될 수 있다. 계층분석과정(AHP)는 다수의 속성들을 계층적으로

분류하여 요인간의 중요도를 파악함으로써 최적 대안을 선정하는 기법으로 Saaty(1988)에 의해서 개발되었다. AHP는 주관적이고 객관적인 의사결정변수 모두를 객관적 절차를 통해 검증할 수 있는 기법이다. 이는 평가기준이 다수의 요소로 나누어져 있는 건설공사비와 같은 경우 통합적 평가를 위해 몬테칼로 방법의 랜덤변수에 AHP기법의 적용은 적합한 기법이라고 볼 수 있다.⁹⁾

다음은 계층분석을 위한 과정이다.

기준 (i)와 기준(j)를 비교하기 위하여 다음 표로부터 a_{ij} 값을 설정한다.

- ① 만약 $a_{ij} = \gamma$ 이면 $a_{ji} = (1/\gamma)$, ($\gamma \neq 0, i \neq j$)
- ② 만약 $i=j$ 이면 $a_{ij} = a_{ji} = 1$
- ③ 행렬 $A = (a_{ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, m)$

예를 들어 기준1로 기준2를 비교할 때 3의 의미는 적도 3만큼 더 중요하다는 의미이며 반대로 기준2가 기준 1보다 덜 중요하다는 의미로 1/3로 표현한다.

Saaty는 가중치를 구하는 방법으로 고유벡터 방법을 제시하고 있다. 고유벡터 방식은 다음과 같다.

$$A \cdot W = \Phi_{max} \cdot W$$

여기서 Φ_{max} 는 최고 고유벡터에 해당하는 스칼라 양이고 Φ_{max} 에 대응되는 W는 단위 고유벡터로 가중치를 산출하게 된다. 본 연구에서는 AHP기법에 의한 가중치 계산을 수작업으로 하는 것은 번거로운 일이므로 엑셀프로그램을 이용하여 간단하게 산출할 수 있다.

※ Saaty는 중요도에 대한 척도를 다음 <표 4>와 같이 제시하였다.

표 4. saaty의 중요도 척도

척도	정 의
1	같은 정도로 중요
3	약간 중요
5	매우 중요
7	극히 중요
9	절대적으로 중요
2, 4, 6, 8	중간적으로 중요

3.2 개선견적비용의 위험도 평가방법

(1) 통계에 의한 위험도평가 방법

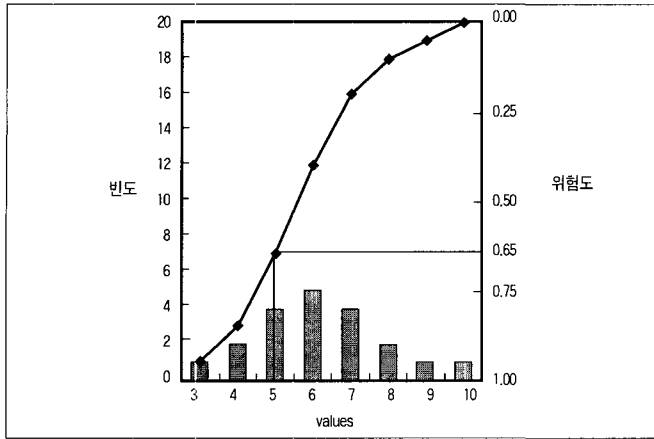
통계학적 접근 방법은 두가지 장점을 가지고 있다. 첫 번째 소수의 표본자료로서 모집단의 분포와 특성을 제공한다. 이는 특히 건설공사원가 측정에 있어서 유용하게 사용할 수 있으며 건설공사의 모든 비용자료를 수집하는 것은 현실적으로 불가능하기 때

8) 이상문, 경영과학개론, 범문사, 1993

9) Edward P. Wiser, Monte Carlo Technique with Correlated Random Variables, ASCE, 1992. 6

문이다. 두 번째 발생 가능한 변수범위 안에서 어떻게 특정 변수 값 (가능성 높은 견적값; 최빈비용)이 발생하는지 알 수 있다.

다음 <그림 6>은 주어진 자료에 대한 빈도분포와 위험도를 보여주는 개념적 도식이다.



값	3	4	5	6	7	8	9	10
빈도	1	2	4	5	4	2	1	1
누적빈도	1	3	7	12	16	18	19	20

그림 6. 위험도 평가 개념도

빈도분포는 막대그래프나 연속적 선으로 표현될 수 있으며 표본의 빈도를 누적하여 가산하면 자료값에 대한 확률을 좀더 쉽게 표현할 수 있는 누적빈도곡선(CDF)을 얻을 수 있다. 여기서 누적빈도곡선의 X축 자료값에 대해 교차하는 Y축 수직값을 역으로 측정하면 위험도의 정도를 수치적으로 평가 할 수 있다. <그림 6>에서 보이듯 자료 5의 값은 위험도 0.65의 측정치를 보여주고 있다.

즉 임의의 선택 자료값이 자료 5의 값을 0.65 초과하는 확률이며 자료값 5의 값이 기존 자료의 65% 적게 측정이 되는 확률을 의미한다. 이러한 방법은 동일하게 건축공사 총공사비용에 대해서 위험도를 측정하는데 사용되어 질 수 있다.

(2) 몬테칼로 시뮬레이션에 의한 위험도 평가 방법

위험평가방법으로 통계학적 방법과 몬테칼로 시뮬레이션의 주요 차이점은 위험도 평가를 위한 최종 분포의 결정과 요소비용에 가중치를 적용여부에 있어서 방법론적 접근이다. 몬테칼로 시뮬레이션은 비용요소들을 3점 견적법의 베타 분포로부터 누적확률 분포표를 작성하고 AHP기법에서 사용된 비용 요인간의 가중치를 적용하여 랜덤변수값을 조정하여 시뮬레이션이 실행되며 이러한 시행은 보통 50~200회(500회까지 : 시행횟수가 이것 보다 많으면 잘못된 표현결과를 가져 올 수 있다)정도 행하여 각 시행 결과가 총비용으로 기록되어 산출된다. 이후 실행에 대한 모든 결과를 집계하여 빈도분포로 나타내어지며 비용예측값에 대한 위험도를 평가하기 위한 누적 빈도 그래프로 표현되어 진다. 위험도는 비용예측값이 실행공사비 보다 초과될 확률로서 0~1사이의 위험의 정도를 표현하고 있다.

(3) 통계학적방법과 몬테칼로 시뮬레이션 방법의 비교평가
몬테칼로 시뮬레이션에 AHP기법을 적용하여 산출한 총비용분포는 3점견적법에 의한 총비용과 비교될 수 있다. 3점 견적법은 요소비용이 모두 독립적으로 발생하고 총비용이 정규분포를 가정하고 있기 때문에 총비용이 불확실성을 띄고 있는 건설공사의 특성을 반영하지 못한다. 하지만 가중치 기법을 적용한 몬테칼로 시뮬레이션은 비용의 상관성을 해석하여 발생확률을 조정함으로써 총비용측정치가 좀더 실제비용과 가깝게 추정할 수 있다. 이는 비용자료의 부족으로 인한 통계적 방법의 활용에 있어서 몬테칼로 시뮬레이션이 좀더 근사한 예측 방법으로 사용될 수 있다.

4. 사례적용성 연구

다음 자료는 1985~1990에 완공된 8개의 사무소건물의 총바닥면적당(㎡) 건축공사 요소비용 데이터¹⁰⁾이다.

(1) 부위별 요소비용 집계

표 5 1985~1990에 완공된 8개의 오피스건물의 총바닥면적당(㎡) 건축공사 요소비용 데이터 (\$)

오피스 건물	1	2	3	4	5	6	7	8
현 장 답 사	48	7	9	25	32	9	2	16
지 하 구 조 체	78	35	43	25	53	29	63	37
상 부 구 조 체								
프 레 임	467	291	278	322	400	528	287	242
계 단	17	10	16	13	9	13	17	9
지 붕	59	51	49	36	60	40	29	67
외 벽	677	316	340	407	578	495	349	245
내 벽	171	213	182	165	181	110	148	140
마 감 재								
벽	23	37	63	122	124	121	29	30
바 닥	158	52	69	90	127	92	58	55
천 정	41	58	56	64	55	77	62	44
불 설								
비	24	18	12	9	25	19	19	8
배 관	104	55	53	66	85	80	50	56
기 계	290	204	214	222	252	207	216	177
화 재	78	55	63	61	38	58	55	58
전 기	151	126	171	205	264	115	130	256
리 프 트	223	149	200	159	174	179	171	167
기 타	160	62	299	19	37	172	91	126
현 장 관 리	87	62	27	2	8	2	45	3
부 분 합 계	2856	1801	2144	2012	2502	2346	1821	1736
에 비 비	522	297	421	339	627	547	399	540
에 비 비 비 율	18.3	16.5	19.6	16.8	25.1	23.3	21.9	31.1
총 계	3378	2098	2565	2351	3129	2893	2220	2276

(이 자료는 단위면적당 개선법에 의해 면적당(㎡) 총공사비용 단가를 산출하였으며 비용요소간 총바닥면적이 증가하면 모든 비용요소가 같은 수준으로 증가하는 것으로 가정하였다)

10) 본 방법의 검증을 위해 아래의 비용데이터를 활용하였다. Sydney Newton, Methods of analysing risk exposure in the cost estimates of high quality office, CM&E, Australia, 1992.

(2) 확률적 방법에 의한 범위 견적치 산정

표 6. 3점 견적법에 의한 견적값

사무소건물	최소값	최빈비용	최대값	평균기대값	표준편차
대 지 답 사	2	12.5	48	16.7	16
지하구조체	25	40	78	43.8	18
상부구조체					
프레임	242	306.5	528	332.7	102
계 단	9	13	17	13.0	3
지 붕	29	50	67	49.3	13
외 벽	245	378	677	405.7	146
내 벽	110	168	218	165.8	31
마 감 재					
벽	23	50	124	57.8	46
바 닷	52	79.5	158	88.0	38
천 장	41	57	77	57.7	11
불 박 이	8	18.5	25	17.8	6
설 비					
배 관	50	61	104	66.3	19
기 계	177	215	290	221.2	34
화 재	38	58	78	58.0	11
전 기	115	161	264	170.5	59
리 프 트	149	172.5	223	177.0	24
기 타	19	108.5	299	125.3	91
현 장 관 리	2	17.5	87	26.5	32
부 분 합 계	1736	2078	2856	2150.7	393
예 비 비	297	471.5	627	468.3	115
총 계	2098	2458	3378	2551.3	468

에도 불구하고 정규형태를 가지게 된다.

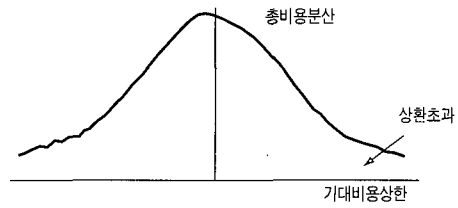


표 7. 3점 견적법에 의한 견적값

사무소 건물	최소값	최빈비용 M	최대값	평균기대값 E(Cr)	평균 m	표준편차 var(Cr)*
총계	2098	2458	3378	2551.3	2614	468

식 $Z = \frac{UL - E(Cr)}{\text{var}(Cr)^{\frac{1}{2}}}$ 에 의한 위험도 측정치수는 다음과 같다.

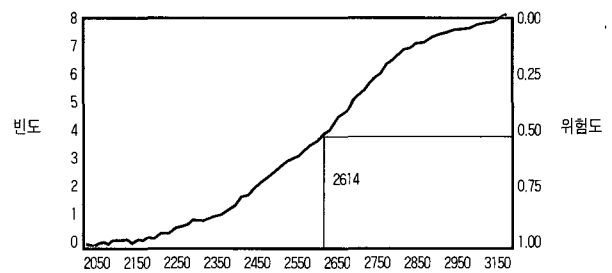


그림 9 오피스 건물의 총비용 정규누적분포도

표 7. 통계적 방법에 의한 위험도 평가(표준정규분포값 이용)

위험도 평가방법	예상견적 비용의 위험도					
	2150	2250	2350	2450	2650	2950
통계적 방법	0.80	0.73	0.66	0.58	0.41	0.19

※ 각 비용요소의 베타분포 예(내벽과 천장 마감재)

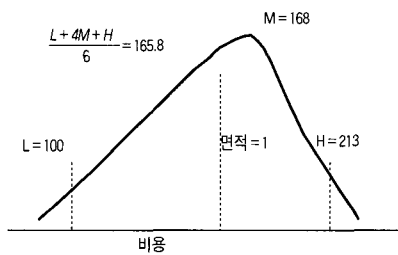


그림 7. 3점 견적법의 내벽의 베타분포 추정치

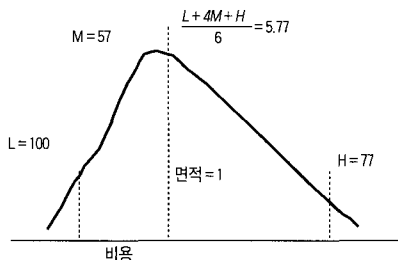


그림 8. 3점 견적법의 마감재 천장 베타분포 추정치

(3) 통계적 위험도 평가

중심극한정리에 따라 총비용 분포는 비용요소의 개별적인 형태

(4) 요소비용간 가중치 산정

본 사례 적용성 고찰에서는 견적자가 총바닥면적 증가에 따른 물량증가와 성능을 고려하여 부위 구성재인 상부 구조체와 마감재의 비용요소간 중요도를 AHP기법에 의해 다음과 같은 가중치가 도출되었다고 가정하였다.

$$\begin{matrix}
 \text{프레임} & \text{계단} & \text{지붕} & \text{외벽} & \text{내벽} \\
 \text{프레임} & \begin{bmatrix} 1.00 & 2.20 & 1.00 & 0.50 & 1.50 \\ 399 & 1.00 & 1.90 & 2.10 & 0.60 \\ 1.00 & 375 & 1.00 & 0.80 & 1.90 \\ 2.00 & 0.48 & 1.25 & 1.00 & 2.10 \\ 371 & 1.67 & 0.53 & 0.48 & 1.00 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} 0.10 \\ 0.27 \\ 0.32 \\ 0.14 \\ 0.16 \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 \text{벽} & \text{바닥} & \text{천장} \\
 \text{벽} & \begin{bmatrix} 1.00 & 3.00 & 0.80 \\ 0.33 & 1.00 & 0.90 \\ 1.25 & 1.11 & 1.00 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} 0.42 \\ 0.22 \\ 0.36 \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

(5) 몬테칼로 시뮬레이션 위험도 평가

본 몬테칼로 시뮬레이션의 알고리즘은 다음과 같다.

① 랜덤 : Randcm(R), 랜덤값 : Random Value(RV), 가중치 : Weight(W), Wmax(최대가중치), 단가 : Rate(R)

② R 이 독립변수인 경우

$$\text{Total Cost} = RV(R1) + RV(R2) + \dots + RV(Rn)$$

③ R 이 종속변수인 경우(상관성이 있는 경우)

$$\text{Total Cost} = (W1/Wmax) \times RV(R1) + (W2/Wmax) \times RV(R2) + \dots + (Wn/Wmax) \times RV(Rn)$$

본 알고리즘에 따른 누적빈도와 시뮬레이션결과는 다음과 같

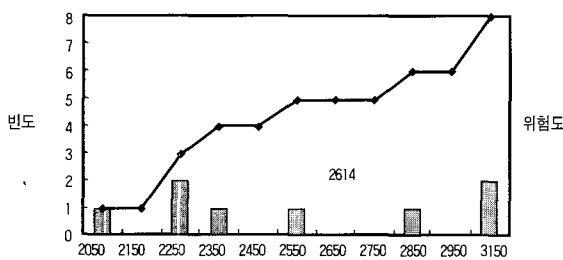


그림 10. 오피스 건물의 총비용 정규누적빈도분포

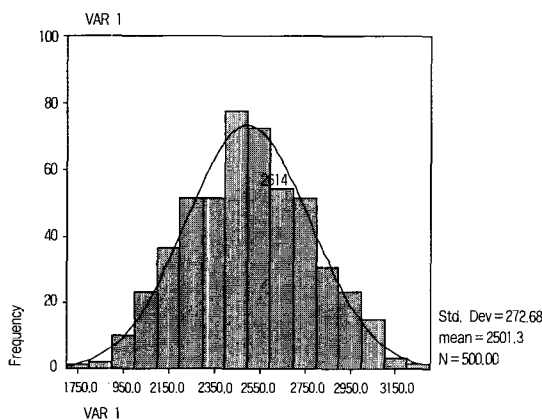


그림 11. 가중치를 적용한 몬테칼로 시뮬레이션 결과

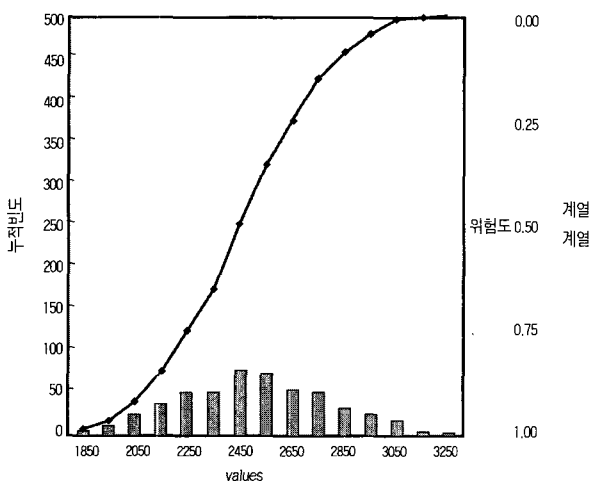


그림 12. 몬테칼로에 의한 위험도 평가

다.(그림 10, 11, 12 참조)

(6) 위험도 평가치의 비교

표 8. 평가방법별 예상건설비용의 위험도

위험도 평가방법	예상건설 비용의 위험도					
	215	2250	2350	2450	2650	2950
통계적 방법	0.80	0.73	0.66	0.58	0.41	0.19
몬테칼로시뮬레이션	0.92	0.85	0.74	0.65	0.36	0.08

① 통계적 방법에 의한 위험도 평가방법은 기획단계나 초기계획단계에서 진행되어야 한다. 이 시기에는 공사의 규모, 내용 및 배치에 관해서 알려진 정보가 적고 비용간의 상관성을 구체적으로 알 수 없기 때문이다. 역으로 충분한 비용정보를 알 수 있는 경우 통계적 방법은 실제 공사비를 추정하는데 있어서 수리적인 예측오류를 범할 수 있다.

평균보다 낮은 비용에서 위험도는 대체적으로 몬테칼로 방법이 통계적방법 보다 높게 평가되고 있다.

② 몬테칼로 시뮬레이션에 의한 위험도 평가 방법은 설계안을 통하여 전적물량과 성능이 견적자에 의해 파악이 가능할 때 이용될 수 있는 방법이며 기존 실적비용자료의 분석을 통하여 비용의 상관성을 추정할 수 있다면 초기계획단계에서도 충분히 활용이 가능하다고 사료된다.

평균보다 높은 비용에서 위험도는 대체적으로 통계적방법이 몬테칼로 방법보다 높게 평가되고 있다.

5. 결론

기존의 확정론적인 방법으로는 불확실한 특성을 가지고 있는 건설공사의 예비비와 원가를 추정하는데는 한계가 있다. 대규모 공사이거나 공사기간이 길어질수록 비용의 불확실성은 더욱 커지므로 비용을 확률적으로 해석해야 할 필요성이 있다. 본 연구에서는 최적 비용 예측값을 구하여 주어진 산정비용에 관련된 위험도의 수치를 측정하고 의사결정의 정보로 활용하는데 의의가 있으며 그 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 기존의 비용평가 방법의 고찰결과 확정론적 비용평가 방법은 건설공사의 불확실성을 충분히 반영하지 못하였다.

(2) 비용데이터 분석을 위해 총비용을 확률분포로 해석하는 통계적 접근방법이 가능하였다.

(3) 몬테칼로 시뮬레이션에 의해 단위 요소비용의 분포특성과 비용상관성으로부터 총비용의 확률분포를 생성하여 신뢰성 있는 비용 데이터의 확장 해석이 가능하였다.

(4) 사례 적용성 결과 건설공사 개산전적시 통계적 방법에 비해 몬테칼로 시뮬레이션에 의한 추정방법이 실제상황에 접근된 위험도 평가가 가능하였다.

건설공사 견적시 비용에 대한 발주자나 공사자의 위험반응의 태도는 이러한 위험도의 판단과 다른 모든 위험 요인들과 관련하여 이루어 져야 할 것이다. 본 연구는 향후 실제 실적 공사비 자료를 근거로 하여 사례연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김관영, 실적공사비에 의한 개선견적에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 1997. 6
2. 서윤록, 건설공사 원가추정 기법에 관한 연구, 고려대학교, 석사학위논문, 1998. 6
3. 유일근, 원가측정과 분석, 시그마 프레스, 1999. 2
4. 이상문, 경영과학개론, 범문사, 1993. 1
5. Donald S. Barrie & Boyd C. Paulson, Jr, Professional Construction Management, Halliday Lithgrath Coporation, 1984
6. Roy Pilcher, Project Cost Control in Construction, University of Manchester, 1985
7. Krishan mathur, Probabilistic Planning Model, Dundee College of Technology, 1982.
8. Peter S. Brandon, Building Cost Modelling and Computers, London E. & F. N. SPON, 1987
9. Sydney Neton, Methods of analysing risk exposure in the cost estimates of high quality offices, CM&E Australia, 1992.
10. Edward P. Wisner, Monte Carlo Technique with Correlated Random Variables, ASCE, 1992. 6.

Abstract

The paper considers two non-deterministic methods of analysing the risk exposure in a cost estimate. The first method(referred to as the 'conventional statistical' method) analyses cost data directly, to describe a probability distribution for total cost. The second method(referred to as the 'Monte Carlo simulation' method) interprets cost data directly, to generate a probability distribution for total costs from the descriptions of elemental cost distribution.

The common practice of allowing for risk through an all-embracing contingency sum or percentage addition is challenged. Rather than excluding conventional, non-deterministic methods, they are here presented as possibly the only effective foundation on which to risk management in cost estimating.

Keywords ; risk analysis, risk exposure, cost estimating, Monte Carlo simulation