

생애 위험도기반 건축물의 설계단계 생애주기비용 분석 방법

백병훈¹ · 조중연^{*}
¹세명대학교 건축공학과

Life Cycle Cost Analysis for Design of Buildings based on the Lifetime Risk

Baek, Byung-Hoon¹, Cho, Choong-Yeon^{*}
¹Department of Architectural Engineering, Semyung University.

Abstract: Recently, the demand on the practical application of life-cycle cost effectiveness for design and rehabilitation of structure is rapidly growing unprecedently in engineering practice. Accordingly, in the 21st century, it is almost obvious that life-cycle cost together with value engineering will become a new paradigm for all engineering decision problems in practice. However, in spite of impressive progress in the researches on the LCC, the most researches have only focused on the Deterministic or Probabilistic LCC analysis approach (Level-1 LCC Model) at design stage. Thus, the goal of this study is to develop a practical and realistic methodology for the Lifetime risk based Life-Cycle Cost (LCC)-effective optimum decision-making at design stage.

Keyword: Life cycle cost at design stage, Risk assessment, Lifetime risk based LCC

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축 프로젝트의 계획/설계단계를 위한 의사결정자, 또는 엔지니어는 의사결정시 서로 목적이 상충하는 여러 가지 평가기준에 대하여 최적대안을 선택해야만 하는 상황에 처할 때가 있다. 특히 가치기준에 의한 설계 대안 분석과 비용 측면의 경제성 분석은 최적의사결정을 수행하기 위해 중요한 점으로 부각된다. 이러한 비용 측면의 경제성 분석은 총 LCC(Life Cycle Cost; 이하 LCC) 측면의 경제성 비교 분석을 통해 궁극적 최적 설계 대안 선택을 위한 공사비 절감과 매우 밀접한 항목으로서 의사결정과정에 적용되고 있다. 현재 국내에서 건설기술관리법 시행령 제38조의 13(2011. 9. 개정)에 의거 총 공사비 100억 원 이상인 공공발주공사에 대하여 LCC 분석을 시행하도록 의무화 하고 있다. 하지만 이러한 LCC의 실무적 적용 수준은 설계 결정사항의 테커레이션 수준으로 이용되어 정확한 의사결정 수준의 기술적 방법 단계에 이르지 못했다. 또한, 기본적인 LCC 이외에 생애 위험도 차원의 검토가 제대로 이루어지지 못하고 있다. 건축물 시공중, 사용중 구조물 위험도는 위험사건에 의해 그 기능과 사용을 못하는 상황에 처할 수 있음에도 불구하고 그 중요도가 고려되지 못하고 있는 것

이다. 따라서 본 연구의 목적은 생애 위험도 기반 LCC분석을 통한 설계단계 건축물 형식 결정의 의사결정방법을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 기존의 LCC분석 연구의 비용분류체계 및 정식화를 업데이트 하여 생애 위험도 기반 LCC분석을 위한 새로운 비용분류체계 및 정식화를 제안하였으며, 생애주기 발생될 위험사건을 규명하고 이를 생애위험도 확률로 계산하기 위한 사건수분석과 퍼지기법을 적용하였다. 이 결과 얻어지는 파괴확률을 LCC정식화에 포함하여 기대복구비용의 항목으로 LCC에 포함시키는 건축물 대안별 생애 위험도기반 LCC분석 방법을 나타내었다.

2. 기존연구의 고찰

2.1 LCC관련 주요 연구 현황

LCC와 관련한 기존의 연구는 건물의 유지관리 측면에서 건물의 유지보수비 산정에 관한 연구를 시작으로 건축물의 수명주기, 유지보수비용에 관한 연구들이 수행되어 왔다. [1, 2, 3, 7, 8] LCC개념이 도입된 이후 15년이 경과되어 이론적인 체계와 용어의 정확한 개념은 어느 정도 확립되어 실용화가 이루어지고 있는 실정이다. 하지만 본 연구에서 제안하는 생애위험도 기반의 LCC분석 방법은 그 연구가 미흡한 실정으로, 기존의 LCC분석 방법을 개선하여 건축물 LCC분석의 실용성 및 효율성을 높일 수 있는 연구를 진행 하고자 한다.

* Corresponding author: Cho, Choong-Yuen, Unicons, Corp., Seoul, Korea
E-mail: uniconsccy@hanmail.net
Received May 9, 2013; revised November 22, 2013
accepted April 10, 2014

3. 설계단계 LCC분석 방법

3.1 LCC분석 수준

설계 및 유지관리단계에서 LCC분석 방법에 따른 분석 수준은 크게 3가지로 구분할 수 있다. 우선, 확정적 분석 방법인 DLCCA(Deterministic Life Cycle Cost Analysis)는 단순 확정값만을 이용하여 설계단계 최적의 대안형식 선정, 내구성재료 선택, 유지관리단계에서는 유지관리 전략, 현 단계의 유지관리 공법 선정 문제에 적용 될 수 있다. 하지만 DLCCA는 입력변수의 불확실성을 고려하지 않으므로 최적화대치만을 가지고 분석을 수행하기 때문에 그 결과도 최적화대치 값을 얻게 되어 분석의 신뢰도가 무척 낮아 민감도 분석을 수행하여야 한다. 확률적 분석 방법인 PLCCA(Probabilistic Life Cycle Cost Analysis)는 입력 변수의 확률적 특성치(분포형태, 최확 기대치, 변동성)를 확률 모델에 대한 시뮬레이션이 가능한 시스템에 입력치로 고려함으로써 LCC분석을 수행하는 방법이다. 이는 DLCCA방법 보다 합리적이며 과학적인 방법이지만, LCC분석모델과 관련된 많은 변수에 대한 확률모델 및 특성치에 대한 조사 및 처리가 필요하므로 많은 시간과 노력이 필요하다는 단점을 갖고 있다.

마지막으로 본 논문에서 적용하고자 하는 위험도기반 분석 방법은 건축물의 생애주기동안 구조적인 거동과 관련하여 초기비용뿐만 아니라 발생 가능한 모든 한계상태에 대한 기대복구확률과 그에 상응하는 비용이 고려되어야 한다. 이러한 기대복구확률 및 기대비용을 산정하기 위해서는 별도의 위험도 분석 개념이 고려되어야 한다. 이에 본 논문에서 위험도 기반 건축물의 설계단계 LCC분석 방법을 제시하고자 한다.

3.2 생애 위험도 기반 생애주기비용 분석

본 논문에서는 관련 연구 분석, 데이터 수집, 전문가 자문 등을 통하여 건축물의 LCC분석을 위해 보다 구체화되고

개선된 비용분류체계를 위의 Fig. 1과 같이 제시하였다.

이러한 비용분류체계 안에는 생애 위험도에 따른 비용을 포함하고 있다. 첫 번째 단계인 비용 부담주체별 분류는 관리주체비용과 건축물의 손상이나 파괴, 유지보수 공사로 인해 제 기능을 발휘하지 못하는 경우 발생하는 간접비용으로 나누었다. 간접비용은 건축물 손상에 따른 인명, 재물에 대하여 손해비나 상해비, 업무 처리 지연에 따른 손상비, 이용자의 불편합비, 사회경제적 손실비용으로 분류될 수 있다. 하지만 이러한 부분의 비용 산출은 건축물의 용도와 규모 등에 따라 상이점이 많아 본 논문에서 상세히 다루지는 않았고, 비용분류체계상에 포함 시켜 일부 비용에 관련해서만 분석에 포함하였다.

생애위험도 기반 LCC분석의 절차는 다음 Fig. 2와 같다. 기존의 LCC분석 방법과 더불어 위험도 비용을 고려하는 절차를 포함한다. 위험도 비용은 지진, 풍수해, 화재 등에 의한 건축물 손상 및 파괴확률을 산정하고 이를 건축물 사용 수명간 발생할 확률로 고려하여 건축물의 손상 복구에 관한 기대복구비용, 이용자 손실로 인해 발생하는 기대간접비용으로 위험도 비용을 산정한다.

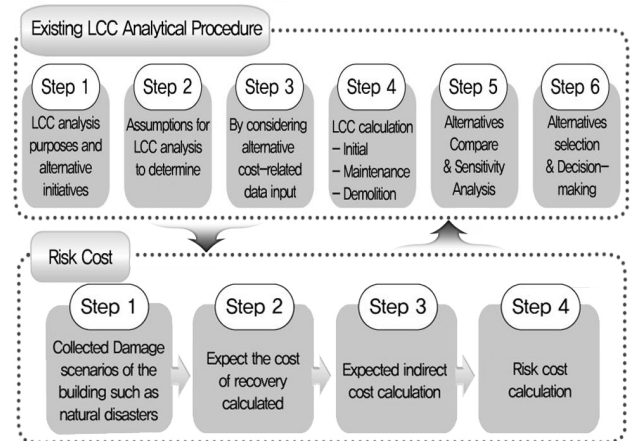


Fig. 2. Lifetime risk based LCC analysis

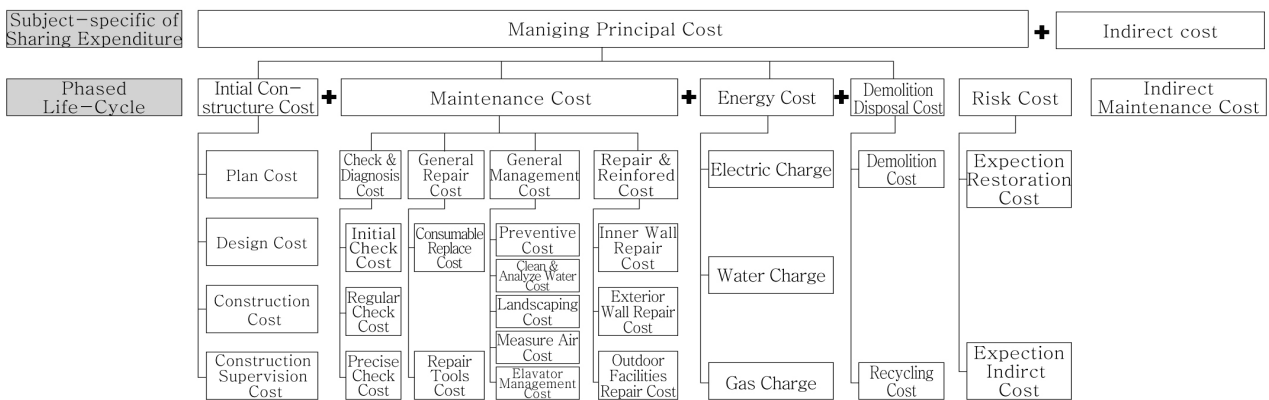


Fig. 1. Cost classification system

3.3 설계단계 LCC 정식화

총 LCC는 기대수명(설계수명 혹은 내구연한)동안 기대되는 초기공사비용, 유지관리비용과 해체·폐기비용의 합으로 다음 식 (1)과 같이 정식화할 수 있다. 초기공사비용은 계획비용, 설계비용, 공사비용 및 감리비용의 합으로 나타낼 수 있다. 유지관리비용은 관리주체에 의해 부담되는 비용으로 관리비용, 점검 및 진단비용, 손상에 따른 보수, 보강 및 교체에 소요되는 비용, 에너지사용 비용의 합으로 나타내어진다. 마지막으로 해체·폐기비용은 건축물 구성요소의 철거비용, 재활용비용의 합으로 구성된다.

$$E[C_{TOT}(X, T)] = C_{INI}(X, t) + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+q)^t} \{E[C_{MAI}(X, t)] + E[C_{DIS}(X, t)]\} \quad (1)$$

$$C_{INI}(X, t) = C_{INI}^{agency}(X) + C_{INI}^{direct}(t) \quad (2)$$

$$C_{MAI}(X, t) = C_{MAI}^{agency}(X, t) + C_{MAI}^{direct}(X, t) \quad (3)$$

C_{TOT} : 총 생애주기비용

C_{INI} , C_{MAI} , C_{DIS} : 기대수명동안의 임의 시간 t 와 사용재료, 제원, 사용환경 등의 설계변수 X 의 함수로 구성된 초기공사비용, 유지관리비용, 해체폐기비용

C_{INI}^{agency} , C_{MAI}^{agency} : 관리주체가 부담하는 초기공사비용, 유지관리비용

$C_{INI}^{indirect}$, $C_{MAI}^{indirect}$: 간접 초기공사비용 및 유지관리비용

q : 할인율

T : LCC분석에 고려된 기대수명(내구수명, 공용수명)

식 (1)에 나타난 바와 같이 건축물의 총 생애주기비용은 사용재료, 제원, 사용 환경과 시간의 함수로서 고려되어야 한다. 본 논문에서 설계단계 LCC분석의 경우는 건축물의 해체·폐기단계까지 고려되는 것으로 하였고, 보통 건축물 설계수명은 수십 년 이상으로 할인율이 적용되어 현재의 가치로 환산되는 경우 해체·폐기비용과 관련된 간접비용은 매우 작을 것이며, 각 대안간의 간접해체·폐기비용의 차이까지 고려된다면 그 비용은 최적 대안선정에 큰 영향을 주지 않을 것이므로, 고려하지 않았다.

3.4 기대복구비용의 정식화

생애 위험도 비용은 건축물의 생애주기 동안에 발생 가능한 위험 사건으로 인해 건축물의 손상이나 파괴로 인해 발생하는 기대복구비용과 건축물을 사용할 수 없으므로 인해 발생하는 기대간접비용의 합으로 구성된다.

위험도 발생 확률의 산정은 이후 언급할 퍼지사건수분석 기법을 통해 시공중, 사용중 파괴확률을 산정한다. 건축물의 지진, 수해, 풍해, 화재 등의 자연재해나 사용 중 다양한

위험도에 대한 손상 및 파괴확률이 산정되고 이를 정식화에 적용하여 생애주기비용 분석에서 위험도에 대한 상세한 분석이 가능하다. 위험도에 따른 기대복구비용과 기대간접비용의 정식화는 다음과 같다.

3.4.1 기대복구비용

기대복구비용은 천재지변이나 인재 등과 같이 예상치 못한 사고에 의해 건축물이 손상, 붕괴되어 사용이 불가능 할 때 이를 복구하기 위한 기대 발생비용을 의미한다. 기대복구비용은 태풍, 홍수, 차량충돌, 테러, 등 각각의 사건이 발생할 확률, 위험사건이 발생하였을 때 손상 및 파괴가 발생할 확률, 그리고 그 때의 긴급복구비용을 곱하여 추정할 수 있다. 여기서 건축물에 손상 및 파괴가 일어날 확률은 위험사건의 발생에 따른 각각의 손상확률을 전확률 정리를 이용해 계산할 수 있다.

$$C_{EREC} = \sum_{i=1}^n \nu L \times P(Failure_i | Hazard_i) \times C_i^{recovery} \quad (4)$$

νL : 설계수명 L 동안 위험사건 i 의 발생횟수

$P(Failure_i | Hazard_i)$: 위험사건 i 발생 시 손상(파괴)확률

$C_i^{recovery}$: 위험사건 i 에 의한 복구비용

3.4.2 기대간접비용

기대간접비용은 기대복구비용과 마찬가지로 위험사건에 대하여 건축물 손상, 붕괴시 발생하는 간접비용을 의미한다. 건축물 사용 중단으로 인한 간접비용은 앞서 언급한 간접비용과 마찬가지로 항목을 구성할 수 있다. 또한 본 정식화에서 사용되어지는 건축물의 손상 및 파괴확률은 기대복구비용에서 구해진 확률을 동등하게 사용한다.

$$C_{EIND} = \sum_{i=1}^n \nu L \times P(Failure_i | Hazard_i) \times C_i^{Indirect} \quad (5)$$

$$C_i^{Indirect} = C_i^{Delay} + C_i^{Inconvenience} + C_i^{Socio-EconomicLosses} \quad (6)$$

νL : 설계수명 L 동안 위험사건 i 의 발생횟수

$P(Failure_i | Hazard_i)$: 위험사건 i 발생 시 손상(파괴)확률

$C_i^{Indirect}$: 위험사건 i 에 의한 간접비용

C_i^{Delay} : 업무지연비용

$C_i^{Inconvenience}$: 이용자 불편함 비용

$C_i^{Socio-EconomicLosses}$: 사회경제 손실비용

4. 확률적 위험도 분석

4.1 건축물 공사의 위험도

건축물은 내적으로는 준공 직후 노후화에 따른 열화로 인

한 사용수명의 문제로 성능을 발휘하지 못하는 것뿐만 아니라 외적으로는 시공중, 사용중 발생 가능한 여러 가지 위험사건에 노출되어 있다. 이러한 위험사건들의 발생은 건축물 사업의 기본적인 비용 차원을 넘어서 사용성 차원의 문제로 막대한 직접, 간접비용이 발생된다. 따라서 설계단계에 이러한 위험도를 고려함이 최적의사결정에 수반되어야 하며 이를 포함하는 건축물 성능, 보수, 유지관리비용등이 고려되어야 한다.

위험도평가(Risk Assessment)는 건축물 공사에 내재되어 있는 위험요소의 분류 및 파괴경로 규명, 위험요소들 간의 인과관계 분석, 위험요소들의 발생확률, 경제적 손실비용의 산정 등을 수행하여 각각의 위험요소들의 발생경로와 발생확률, 그리고 그에 따른 경제적 손실 등을 체계적이고 합리적인 방법으로 평가하는 과정으로 위험도분석(Risk Analysis) 및 위험관리(Risk Management)를 통합적으로 지칭한다.

이러한 위험도분석기법은 과거 핵발전소의 위험도분석을 위하여 발달하기 시작하여 잠재적 위험사건 규명 및 효과 분석방법인 파괴모드 및 효과해석기법이 발전되었고, 이와 비슷한 방법인 Hazard Operability Method, 모든 건설공사의 위험도분석 평가에 적용 가능한 사건수분석(ETA ; Event Tree Analysis)기법, 시스템의 파괴의 원인이 되는 파괴모드에 대한 분석을 위한 결함수분석(FTA ; Fault Tree Analysis)기법 [4, 5, 6, 7] 등 여러 기법들이 위험도분석방법으로 사용되어 왔다.

건축물 공사에서의 위험도평가는 대상구조물의 형식, 가설공법, 기후·환경적 영향, 시공여건, 주변 제약조건 뿐만 아니라 구조물 이용자, 구조물 관련 시설, 구조물 운영·제어, 유지보수 등 공사의 특수성이 내재된 기술적 요소와 같은 복합적인 요소들에 대한 위험도분석을 통하여 주요 위험요소 및 경로를 선정하고, 각 위험요소 및 경로에 따른 위험도를 평가하여 지배적인 위험요소에 대한 집중관리를 통해 위험관리를 수행하게 된다.

위험도 분석의 수행절차는 Fig. 3의 위험도평가 체계의 절차와 같이 우선 위험요소를 분류하고 위험요소를 규명하여 이에 대한 예비조사를 실시한다. 위험요소 규명 후 해당 프로젝트에 관련된 유발/발생 가능사건을 분류하여 ETA(Event Tree Analysis)나 FTA(Fault Tree Analysis)와 같은 모형을 토대로 위험요소를 모델링 한다. 이러한 모델링 방법은 다음절에서 상세히 설명하겠다. 그 후 다음 4.1.2 절에 나타난 퍼지기법과 같은 전문가 평가 데이터 기반 위험도 분석을 실시하여 파괴모드(경로)를 해석하고 파괴확률을 산정한다. 마지막으로 파괴확률에 초기건설비와 간접비용을 곱하여 이에 따라 발생하는 복구비용을 평가한다.

그 결과 얻어지는 의사결정 내용을 설계 및 시공관리에 반영하고 나아가 유지관리시에도 이러한 위험도 평가 자료

를 기반으로 유지관리를 실시한다.

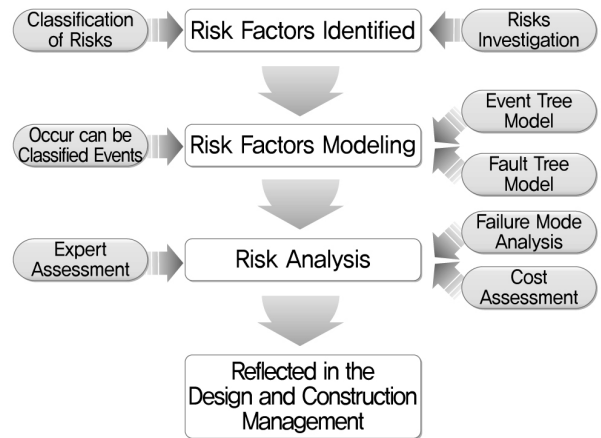


Fig. 3. Risk assessment of structure

4.1.1 사건수 분석(ETA) 기법

사건수분석의 주요 목적은 시스템의 파손사고에 영향을 주는 초기 사건(구성요소의 파손)에 뒤따르는 사건들의 원인과 결과를 규명하고 모형화하는데 있다.

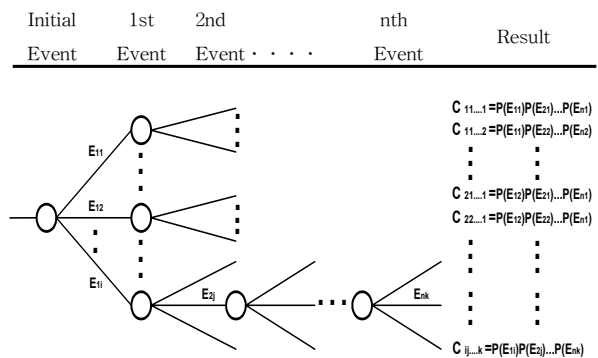


Fig. 4. Event tree analysis

시스템의 설계나 시공의 초기단계에서 사건수 분석은 가정한 초기 사건들로부터 야기되는 내재 사건들을 평가하는데 사용될 수 있다. 일반적인 사건수의 구성은 위의 Fig. 4에서 나타낸 초기사건(촉발가능사건)과 이어지는 하위의 발생가능사건, 그리고 이로부터 발생하는 최종 결과들로 이루어져 있다. 특정결과는 초기사건에 연이어 발생하는 하위사건(발생가능사건)에 의존함을 볼 수 있다. 초기사건이 주어진 경우, 그 뒤에 이어지는 몇 개의 “첫 번째 하위 사건들”이 있을 것이다. 이러한 하위 사건들은 서로 통계적으로 독립적이라고 가정된다. 즉, 상관관계(Correlation)가 전혀 없다고 가정되는 것이다.

사건수에서 각각의 경로들은 어떤 사건이 발생하였을 경우 연이어 발생할 수 있는 하위 사건으로 구성되는 것이다. 특정 경로의 발생확률은 다음 식 (7)과 같이 그 경로에

존재하는 촉발가능사건과 이어지는 모든 하위사건의 확률들을 곱함으로써 간단히 구할 수 있다.

$$P(C_{i,j,k}|E) = P(E_{1i}|E)P(E_{2j}|E_{1i}E) \cdots P(E_{nk}|E_{1i}E_{2j} \cdots E) \quad (7)$$

4.1.2 퍼지사건수 분석(FETA) 기법

사건수 분석기법은 상위·하위 사건과의 상관관계, 파손 경로상의 기본 위험사건들의 조건부 파괴확률을 계산하기가 매우 어렵기 때문에 매우 단순한 시스템문제에서나 사용할 수 있으나, 복잡한 시스템으로 구성된 건축물 공사에 적용하기에는 제약이 많다. 특히, 계획단계인 설계단계에서는 건축물의 상세 설계가 이루어지기 이전이므로 어려움이 더하다. 그래서 이러한 문제를 어느 정도 과학적으로 해결할 수 있는 퍼지집합이론을 이용한 위험도분석기법이 소위 퍼지사건수 분석기법(FETA : Fuzzy Event Tree Analysis)이다. 이 방법은 분석된 구성요소의 입·출력자료를 언어학적 변량으로 사용한다. 실질적인 건축물 공사 위험사건들이 데이터의 부족, 공사과정의 다양한 불확실성으로 인하여 전문가의 판단 등에 의존할 수밖에 없는 경우가 거의 대부분이기 때문에 이러한 전문가의 판단을 언어학적 변량을 사용하여 모델링하는 매우 실용적인 모델이라 할 수 있다. 퍼지집합이론은 현상의 불확실한 상태를 그대로 표현해주는 방법으로서 건축물 구조시스템에 대해 발생할 수 있는 위험사건들에 대해서 전문가의 경험과 직관에 의한 주관적인 판단을 정량적으로 평가할 수 있는 퍼지집합개념이 도입한 퍼지사건수분석 기법을 적용하였다.

주관적인 판단자료는 “그렇다”, “아니다”, “좋다”, “나쁘다”와 같이 단순히 표현되지 않고 “다소”, “아주”, “매우”, “상당히”와 같은 수식어와 연관된 복잡하고 애매하게 표현되는 언어변량(Linguistic values)으로 이루어진다. 가령, 어떤 위험사건에 대해 발생가능성이 “매우높다”, “높다”, “중간”, “낮다”, “매우낮다” 등과 같이 주관적인 평가를 할 수 있으며, 이와 같은 언어학적 변량들은 등급 분류를 통해 수정된 Baldwin의 Ramp함수모형에 의해서 퍼지소속도(Fuzzy membership)로 정량적인 값으로 전환될 수 있다.

이러한 퍼지 기대 확률의 산정 예는 기존 연구[3]에 상세히 기술되어 있다. 이와 같이 퍼지사건수분석에 의한 확률적 위험도분석은 해석과정상에 내재되어 있는 모호함과 주관적인 평가를 정량적으로 변환하는데 유용하다. 본 논문에서 퍼지기법은 언어적으로 표현되는 위험요소에 대해 정량적이며 확률적인 표현으로 전환하는데 이용된다.

5. 적용예

5.1 대안 설정

본 절에서는 정부 마산지방 합동 청사 신축공사와 관련

해 건축물 건축물 계획에 대하여 본 연구에서 제안하는 LCC분석을 실시하였다. 목적 구조물인 정부 청사의 경우, 대지면적 18,575.00m²에 건축면적 8,261.45m², 연면적 23,172.70c의 지하 1층, 지상 8층 규모로 외부마감은 나노세라믹코팅강관, 목재패널, 알루미늄쉬트, 칼라 로이 복층 유리, 강화유리를 사용하고, 조경면적 45.35%에 승강기 7대 주차대수 156대 이다. 이러한 건축물의 대안별 특성을 Table 1에 나타내었다.

5.2 건축물 공사의 위험도분석

대안별 내재된 특성을 통해 Fig 5와 같은 위험사건 시나리오를 가정하였다. 이러한 위험도 시나리오는 건축물 건설중, 사용중 발생 가능한 위험사건을 나열한 뒤 해당 프로젝트에 관련이 있거나 영향을 미칠 수 있는 중요 위험사건 요소를 선별하였고, 이를 통해 구조물에 손상을 미치거나 비용 손실, 인명 손실 등이 가능한 시나리오로 구성하여 가정하였다. 그 후 퍼지사건수분석기법에서 설명한 방법을 토대로 전문가 설문문을 통해 시공중, 사용중 파괴확률을 산정하였다.

시공중 위험사건은 장비 숙련도 부족, 부등침하에 의한 건축물 침하 또는 경사, 공사중 주변 민원, 인접시설물 영향을 고려하였으며, 이러한 위험사건 발생 결과 사건수를 통해 시나리오를 구성하였으며, 사용중 위험사건은 사용재료의 품질불량 및 불량 자재, 재해(폭우, 홍수, 강풍, 지진, 화재 등), 하중의 과다 편심재하, 인접건축물/주변지반 파괴에 의한 위험도를 고려하여 사용중 위험사건 시나리오를 구성하였다.

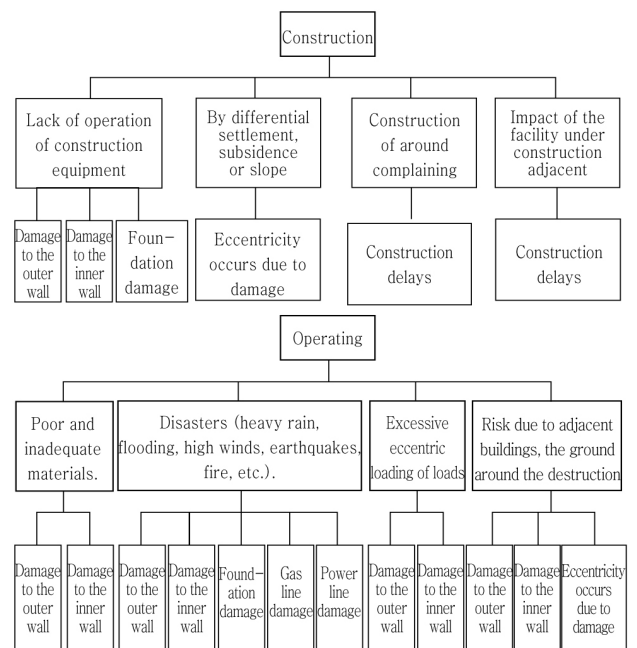


Fig. 5. Risk scenario

이러한 위험사건 시나리오를 대안별로 적용하여 4.1.2절에 언급한 퍼지사건수 분석기법을 이용하여 전문가 설문에 근거한 퍼지사건수 분석을 실시하였고, 그 결과 산정된 파괴 확률은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Alternative of building structure

Alternative. 1 RC Frame	Alternative. 2 Steel Structure Frame	Alternative. 3 PC Composite Frame
<ul style="list-style-type: none"> ·Fire-resistance, durability & corrosion resistance excellence ·Constructability & maintenance excellence ·Monolithic lateral earth pressure resistance ability is excellent ·Facilitate the corresponding construction in all planes ·Deflection and vibration are excellent 	<ul style="list-style-type: none"> ·For a long span advantageous ·Shortened construction period for dry process, ·Material quality and uniformity secured ·Somewhat less amount of waste ·Construction cost expensive 	<ul style="list-style-type: none"> ·Review the need for joints and holding ·Construction cost expensive ·Review the need for produced and transported ·Need for additional review in the absence of joints ·Adjusting arcane materials assembled according to the construction errors

5.3 위험도 기반 LCC 분석

분석기간은 50년, 할인율 4.5%를 적용하여 3장에서 언급한 위험도기반 LCC분석을 위해 다음과 같이 각각의 비용 발생 특성을 고려하였다.

초기비용은 사업자가 제시하는 계획비, 설계비, 공사비, 감리비를 적용하였다. 유지관리비용 및 점검진단비는 시설물의 안전관리 특별법, 보수보강비는 주택법 시행규칙 장기수선계획의 수립기준, 일상수선비는 전등교체, 공구 및 기구에 대한 수선비용, 관리비는 법정관리 대상에 대한 비용을 산정하였다.

마지막으로 해체 및 폐기비용은 해체폐기물량에 대하여 재활용 비용과 폐기물 처리비용을 고려하였다.

Table 2. Probability of failure

Alternative. 1 RC Frame	Alternative. 2 Steel Structure Frame	Alternative. 3 PC Composite Frame
2.4E-02	3.6E-02	4.8E-02

위험도 비용은 Table 2에 산정된 파괴확률에 복구비용을 곱하여 산정하였고, 이러한 확률적 계산 내용은 최현호 연구내용에 자세히 나타나있다.[4] 이때 복구비용은 이때 Table 3에 나타나 있는 초기비용과 간접비용의 합으로 고려하였다.

여기서 위험도 비용의 차이는 Fig. 5의 위험도 시나리오

에 대하여 RC구조가 강구조와 PC합성 구조 보다 발생 확률이 작게 나타났는데 이는 전문가 집단의 설문결과 건설 경험이 많고 관리 노하우가 잘 축적된 RC구조가 건설 적용 현장에 적합할 것으로 판단된 엔지니어링 의사결정이라 생각된다.

간접비용은 개인재산 손해 청구 금액, 상해비를 고려하였고, 이를 토대로 대안별 LCC분석 결과를 다음과 같이 나타내었다.

확률 LCC분석을 위한 Table 3의 비용 항목중의 입력 값의 분포형은 대수정규분포로, COV는 0.5~1.5 값을 가정하였다.

Table 3. Result of LCC analysis

(unit : hundred million won)

Cost Items	Alternative. 1 RC Frame	Alternative. 2 Steel Structure Frame	Alternative. 3 PC Composite Frame
Initial Cost	143.2	148.7	146.8
Maintenance Cost	93.2	95.5	99.1
Everge Cost	45.6	45.6	45.6
Demolition Disposal cost	2.0	1.9	2.1
Risk Cost	3.8	6.1	7.8
Indirect Cost	15.0	15.0	15.0
Summation	302.8	312.8	316.
LCC Optimum Alternative	•		

본 분석의 결과 위험도 비용을 고려한 LCC분석을 토대로 대안간 금액의 차이가 더 확연해 지는 것으로 나타났다. 대부분 발생 비용의 많은 부분이 비슷함에도 LCC 결과의 차이는 위험도에 따른 비용을 고려하였기 때문이다. 위험도에 따른 기대복구, 기대간접 비용이 공사비, 유지관리비 보다 크다면 대안간 차이는 더욱 확연해 질 것으로 판단된다.

6. 결론

건축 기술은 시공적, 설계적 측면뿐만 아니라 프로젝트가 가지는 생애주기 차원의 특성 연구에 대해서도 점차 관심이 높아지는 추세이다. 건축물의 공사 프로젝트의 경제적 타당성을 입증하기 위해서는 계획 및 설계단계에서부터 생애주기 차원에 발생 가능한 비용적 고찰이 수반되어야 하며, 이를 위한 LCC분석 연구도 활발히 진행되어야한다.

따라서 본 연구는 기존의 LCC분석 연구에 확률적 위험도 분석을 추가하여 비용분류체계를 업데이트하고 위험도에 따른 파괴확률 산정과 위험도 비용 정식화를 제안하였고 제안된 분석 방법을 설계 예에 적용하여 고찰하였다.

본 연구에서 도출된 결과를 통하여 기존 LCC분석 방법 보다 한차원 진보된 비용 분류체계와 정식화, 위험도를 기반으로 하는 LCC분석의 방법론을 나타내었고, 기존의 LCC

분석의 단점을 보완하였다. 따라서 향후 이에 대한 지속적인 개선과 보완이 이루어질 수 있도록 관련 연구를 진행하도록 하겠다.

References

- Ang, A. H-S, and Tang, W. H. (2006). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol.I*, John Wiley & Sons, New York.
- Chang, S. E. and Shinozuka, M. (1996). "Life-cycle cost analysis with natural hazard risk.", *Journal of Infrastructure system*, 2(3), pp. 118-126.
- Cho, s. y., Ahn, j. w. and Kim, y. s. (2007). "A Life Cycle Cost Case Analysis on the Build-Transfer-Lease (BTL) Projects of School", *Proceedings of KICEM Annual Conference*, KICEM, Track5, pp. 145-150.
- Choi, h. h. (2004). "Risk and Safety Assessment Methodology Using Fuzzy Uncertainty and Imprecise Reliability for Large Civil Structures", Hanyang Univ., p. 224.
- Jeon, c. m., Woo, k. h., Kim, t. h., Kim, k. u. and Park, t. g. (2003). "Study on the Development of Life Cycle Cost Database in Buildings", *Proceedings of KICEM Annual Conference*, KICEM, pp. 537-540.
- Ji, s. j. and Park, t. g. (2004). "A Study on the Developing of the Life Cycle Cost Analysis System for Buildings", *Korean journal of construction Engineering and Management*, KICEM, 5(2), pp. 181-193.
- Jung, p. k., Seo, j. w. and Lim, j. k. (2004). "A Study on the Design Value Analysis Model Using Probabilistic LCC Analysis of Water Supply System Project", *Korean journal of construction Engineering and Management*, KICEM, 5(2), pp. 181-193.
- Kim, g. s. (1997). "Probabilistic risk assessment with fuzzy technique in construction projects", MS thesis Hanyang Univ., p. 72.
- Nowak, A. S. and Frangopol, D. M., eds. (2005). "Advances in Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure System." *Proceedings of the 4th International Workshop on Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems*, Cocoa Beach, Florida, May 8-11.

요약: LCC 분석은 건축물의 설계단계 뿐만 아니라 유지관리 단계에서의 보수 보강 또는 교체에 대한 최적 의사결정의 도구로서 이론적으로나 실무적으로 각광을 받고 있는 분석 방법이다. 이는 초기 투자비용의 효율성을 극대화 하고 유지관리를 통한 구조물 사용성의 효율적 증대를 극대화하는 노력의 일환으로 최근 건축물의 설계 및 유지관리 시 LCC 분석효과의 실질적인 적용이 요구 되어 지고 있다. 따라서 본 논문은 일반적인 분석기법에 그치고 있는 기존 LCC 연구를 생애위험도를 고려한 LCC분석을 통해 설계단계 최적 의사결정을 위한 새로운 분석 방법론을 도출하였다.

키워드 : 설계단계 생애주기비용 분석, 위험도 산정, 위험도기반 LCC분석
