

기술제안입찰을 위한 유지관리 및 에너지 비용 산출방식의 불확실성 분석

정성영¹ · 김선혜*

¹서울과학기술대학교 주택도시대학원 건축환경설비공학과

An Uncertainty Analysis of Calculating Life Cycle Maintenance and Energy Costs for Technical Proposals

Chung, Sung Young¹, Kim, Sean Hay*

¹The Graduate School of Housing and Urban Planning, Seoul National University of Science and Technology

Abstract : Although Life Cycle Cost (LCC) must be evaluated by experts, sometimes it may not allow a sufficient time for even the experienced LCC expert to make rational decisions. Therefore, it often ends with relatively comparing the final numbers. We have broken down 110 technical proposals that are actually bade and accepted for large construction projects, and then have analyzed the uncertainty of Maintenance and Energy (M&E) cost during building life cycle, which turns out to be the most volatile factor in uncertainty of LCC. Also we suggest "Value Engineering Index (VEI)" - the reduced M&E cost that is normalized by the reduced first cost. It is analyzed that the most uncertain factors of the M&E cost include repair and replacement term differing from each project, duplicated repair and replacement, non-standard repair items, and site-specific energy cost. Eventually we propose a VEI population with a mean of 1.38 and a standard deviation of 1.19, which is obtained by individually and exclusively applying the uncertain factors of the M&E cost to the 35 standard sample of technical proposals. The LCC evaluators may be able to use the VEI population as the benchmark to select the technical proposal with the most reasonable LCC among many others in two suggested manners; the one is to deterministically calculate the probability of single VEIs, and the other is to stochastically calculate the probability of the VEIs where uncertainty is quantified.

Keywords : Life Cycle Cost, Value Engineering, Technical Proposal, Uncertainty Analysis, Maintenance and Energy Cost

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

기술제안입찰은 2008년 이후 설계시공일괄입찰방식(Turn Key: 이하 TK)과 최저가 낙찰제도의 문제점을 해결하고 입찰자간 기술경쟁을 유도하기 위하여 2007년 제도가 도입된 이후에 대형공사 입찰방법 중 주요 발주방식 중 하나로 자리 잡게 되었다.

기술제안입찰제도의 목적은 가격위주의 경쟁보다는 기술 경쟁을 유도하여 대형 복합 공사의 품질을 향상하고 에너지

절감 및 유지보수비를 고려한 기술제안 사용자 위주의 경제성 있는 시설물을 건립하는데 있다(Lee, 2013). 이에 따라 기술제안입찰에서는 초기공사비는 물론 유지관리비까지 고려한 경제성을 검토하여 입찰자의 기술력을 평가하게 된다.

기술제안입찰의 주 평가 항목은 에너지절감방안, 비용절감 및 성능향상방안, 생애주기비용 개선방안, 공사관리 방안, 설계오류 및 누락 개선방안 등으로 구성된다(Ji, 2013). 그러나 평가 항목 중 성능향상방안, 공사관리 방안처럼 정성적으로 판단할 수 있는 항목도 있지만 에너지절감방안, 생애주기비용 개선방안 등 정량적인 수치가 제시되는 항목의 경우 입찰자에 의해 제시되어지는 수치가 입찰자의 산출 관행에 따라 특정적일 뿐 아니라 구체적인 근거제시가 없는 경우도 많아 데이터 산출에 대한 신뢰성 검증에 한계가 노출되기도 한다. 이에 따라 일부 평가결과에서는 입찰자에 의해 제시되어지는 숫자의 양적 차이에 의한 단순 비교에 그치는 경우가 나타나기도 한다.

* Corresponding author: Kim, Sean Hay, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Korea

E-mail: seanhaykim@seoultech.ac.kr

Received January 3, 2018; revised July 12, 2018

accepted August 7, 2018

1.2 기술제안입찰의 신뢰성 향상을 위한 선행연구

Ji, Sung-Kun (2013)은 기술제안입찰의 주요 문제점인 할인율, 신재생에너지 및 에너지 효율, 평가항목별 배점에 관한 대안을 제시하였고, Lee, Jun-Hun (2013)은 사례 연구를 통해 생애주기비용의 분석기간, 할인율, 수선교체 기준, 공사비 적용 기준에 대한 대안을 제시하였다. 또한 Son, Myung-Jin and Hyun, Chang-Taek (2012)은 참여업체별 변별력 확보, 생애주기비용 작성지침 및 분석기준, 작성양식에 대한 개선방안을 제시하였다.

특히 Lee, Jong Sik (2015)은 다수의 VE 제안안 평가 시 최적안을 선택하는 합리적인 의사결정을 위한 도구로서, 정규화 기법 기반의 설계VE 기능 및 비용 점수 산출 모델을 제안하였다.

선행연구들이 기술제안입찰의 구조적인 문제점을 지적하고 일부 지적은 받아들여져 기술제안입찰제도가 꾸준히 개선되고 있기는 하지만, 실무적으로는 아직도 VE 제안안의 비용과 가치 점수는 광범위한 점수 분포를 보여 그 신뢰성 및 객관성 검증에 어려움이 있는 것은 사실이다.

따라서 본 연구의 선행연구에서는 생애주기비용의 광범위한 점수 분포의 주요 요인인 변동변수를 분석하고 그 변동성을 최소화한 생애주기비용절감지수(Decrease Rate: DR)를 제시하였다(Chung, 2018). 그러나 생애주기비용절감지수의 산출 과정에서 초기공사비보다 유지관리 및 에너지 비용이 더 큰 변동을 유발한다는 점이 확인되어, 본 연구는 유지관리비와 에너지 비용의 비용 변수의 변동성을 초기공사비로 정규화한 지수를 제안하고 본 연구가 제안하는 지수가 기술제안입찰 실무에서의 불확실성을 고려하여 어떻게 사용될 수 있는지에 대한 적용례를 제시하고자 한다.

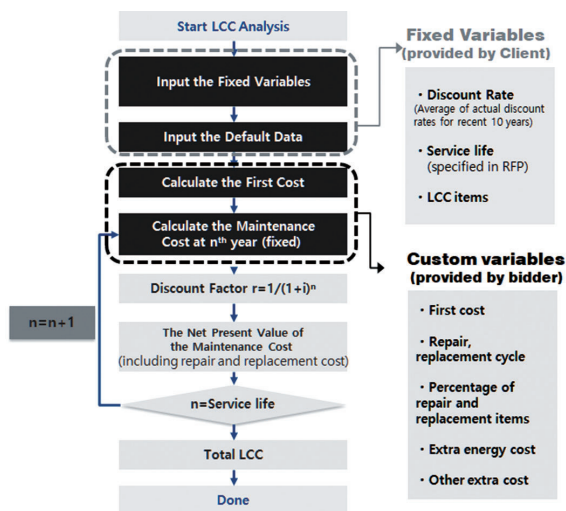


Fig. 1. Life Cycle Cost analysis for technical proposal (Chung, 2018)

2. 기술제안입찰 생애주기비용 산출 절차

생애주기비용 산출에 있어서 변수는 고정변수와 변동변수로 나눌 수 있는데 고정변수는 할인율, 내용연수, 에너지비용 단가 등으로 입찰안내서 또는 발주처 질의회신에 따라 정해지는 값으로 이는 입찰자간 동일하게 적용된다.

그에 반면 입찰안내서에는 규정해져 있지 않으나 입찰참가업체 각자 생애주기비용 계산에 임의로 적용한 변동 변수가 있다(Fig. 1). 이러한 변동 변수는 초기 공사비, 수선·교체 주기의 중복적용 여부, 기관별 수선·교체 주기의 혼용여부, 수선항목의 비수선적용, 에너지비용의 적용범위 등의 다양한 요인과 요인들의 조합이 포함될 수 있다.

3. VE지수

3.1 유지관리비용의 변동성과 VE지수

본 연구의 선행연구에서는 생애주기비용의 변동성을 분석하기 위해 초기 공사비와 유지관리비용을 동시에 고려하였지만(Chung, 2018), 초기 공사비보다 유지관리 및 에너지 비용이 생애주기비용에 끼치는 변동성이 상대적으로 더 크다는 점을 확인하였다.¹⁾ 따라서 VE로 절감된 유지관리 및 에너지 비용을 VE로 인해 절감된 공사비로 나누면 단위 공사비 절감액에 대한 유지관리에너지 비용 절감액을 산출할 수 있다. 즉 VE로 인해 절감된 유지관리 및 에너지 비용을 절감된 공사비로 “정규화”²⁾하면, 초기 공사비 규모의 차이가 있는 제안안이라 하더라도 VE로 인한 생애주기비용 절감의 “상대적”크기를 서로 비교할 수 있다.

따라서 본 연구는 VE로 절감된 공사비 대비 VE로 절감된 유지관리 및 에너지 비용을 정규화한 VE지수(Value Engineering Index: 이하 VEDI)를 <식 1>과 같이 제안한다.

- 1) 장기수선계획에서 수선율은 전면 교체비에 대한 비율로 나타낸다. 즉 지붕-물탈 마감의 장기수선 계획이 수선주기 15년, 수선율 100%의 전면수리로 설정되었다면, 준공 후 매 15년 마다 지붕-물탈 초기 공사비의 100%가 필요하다는 의미이다. 수선비는 초기공사비에 수선율을 곱한 후 할인율을 적용하여 수선주기마다 산정하고<식 3>, 교체비는 초기공사비에 할인율을 적용하여 산정하기 때문에<식 4>, 에너지비용이 크게 변동하지 않을 경우 초기공사비가 증가하면 유지관리비도 증가하고, 초기공사비가 감소하면 유지관리비도 감소하게 된다.
- 2) 건물은 공장에서 출시된 제품과 달리 공사 규모, 투입 자원 규모, 공기가 다양하기 때문에, 건물의 성능을 정량적으로 상호 비교하기 위해 지표(Index)를 도입한다. 예를 들어 일본의 건물 친환경성능 인 증제 CASBEE는 BEE (Built Environment Efficiency) 라는 성능 지표로 각기 다른 건물의 친환경성능을 비교하는데, BEE는 건물의 환경 성능을 향상시키기 위해 투입된 자원, 향상된 환경 성능의 가치를 수치화하여 각각 분자와 분모에 대입한다(JSBC & IBEC, 2018).

VE지수=

유지관리에너지비/유지관리에너지비제안안

초기 공사비/초기 공사비제안안 (식 1)

유지관리 및 에너지비 = 수선비+교체비+에너지비+기타비용
[환경비, 해체폐기비] (식 2 - MOLIT, 2008)

수선비 = 초기공사비*수선율*현가계수 (식 3)

교체비 = 초기공사비*현가계수 (식 4)

3.2 설계VE와 기술제안입찰 사업의 VE지수 분포차

저자가 생애주기비용을 직접 산정한 설계VE 대표사례 5건과 기술제안입찰 대표사례 5건을 선정하여 VE지수를 비교하여 보았다<Table 1, 2>. 설계VE 사업의 VE지수는 0.1에서 0.71 사이에 분포하는 반면, 기술제안입찰 사업의 VE지수는 0.89에서 14.18 사이에 분포하는 것으로 나타나 큰 차이를 보였다. 특히 A 신사옥의 기술제안입찰의 VE지수는 설계VE의 VE지수보다 12배 이상으로 높은 것으로 나타났다.

설계VE사업의 경우 전체 설계내용을 검토하지 않고 일부 핵심 설계내용위주로 검토한다는 점과 기술제안입찰의 경우 낙찰을 위하여 다소 공격적인 제안이 있을 수 있다는 점을 고려하여야 하겠지만, 공사비절감액과 연동되는 생애주기비용 절감액의 특성상 두 사업종류 간 VE지수의 분포가 크게 차이는 나는 것은 두 사업간 유지관리 및 에너지 비용 산출과정에서 큰 차이점이 있을 수 있음을 추정할 수 있었다.

Table 1. VEIs of the selected Value Engineering projects

| Projects | VEI |
|------------------------------|------|
| OOOOO headquarter relocation | 0.10 |
| OOOOO new headquarter | 0.17 |
| A new headquarter | 0.35 |
| OOOOO library | 0.39 |
| OOOOO gym | 0.71 |

Table 2. VEIs of the selected technical proposals

| Projects | VEI |
|-----------------------|-------|
| OOOOO office | 0.89 |
| OOOOO new headquarter | 1.43 |
| A new headquarter | 4.32 |
| OOOOO center | 12.21 |
| OOOOO resort | 14.18 |

4. 생애주기비용분석 자료의 불확실성 분석

기술제안입찰에서 유지관리비용의 산출액 또는 VE지수의 변화를 설계VE, 실사용 데이터, 제출된 기술제안서에서 비교해 보았다. 그러나 어떠한 비교와도 규칙성을 찾기가 어려웠으며 유의미한 결과를 예측하기가 어려웠다. 따라서 선행연구에서는 기술제안입찰의 생애주기비용 산출에 있어서 산출액에 변화를 주는 변수가 있는 것으로 추정하고 그 변수들을 추출하였다(Chung, 2018).

4.1 생애주기비용의 불확실성 분석 적용 대상 사업

생애주기비용의 불확실성을 확대시키는 기초자료 변수를 적용하기 위해 2013년부터 2017년까지 집행된 건축분야 기술제안입찰 사업 중 저자가 생애주기비용 산출 데이터를 보유하고 있는 10건으로 대표 사업으로 선정하였다<Table 3>. 용도별로는 교육시설, 업무시설, 공동주택, 전문연구시설 등 고루 분포하였으며 규모 또한 적게는 283억부터 3,000억이 넘는 사업까지 다양하게 구성되어 대표성을 확보하였다.

4.2 유지관리비용의 변동 변수

사례 10건에 대해 입찰자가 적용할 수 있는 생애주기비용 기초자료 중 변동성을 최소화 할 수 있는 Basecase로 설정하고, Basecase를 기초로 유지관리 및 에너지 비용이 상대적으로 많이 산출될 수 있는 변동 변수를 구분하여 <Table 4>와 같이 산출법1부터 산출법6까지 설정하였다; 수선 주기와 교체 주기가 겹치는 경우를 산출법1~산출법2까지 설정하고 항목별로 서로 다른 수선 주기 기준을 적용하는 것을 산출법3, 수선비율을 조정하여 적용하는 것을 산출법4, 에너지 시뮬레이션 결과 외의 기타 에너지비를 적용하는 것을 산출법5로 설정하였으며, 산출법2부터 산출법5를 중복 적용하는 경우를 산출법6으로 설정하였다.

Table 3. The projects sampled for uncertainty analysis of LCC

(Cost unit: 100 million Won)

| Case | Year of completion | Projects | Purpose | Total Cost |
|------|--------------------|------------------------|-------------|------------|
| #1 | 2013 | OOOOO construction | Research | 1,018.0 |
| #2 | 2013 | OOOOO construction | Office | 384.0 |
| #3 | 2014 | OOOOO construction | Education | 1,164.3 |
| #4 | 2014 | OOOOO construction | Residential | 1,310.0 |
| #5 | 2015 | OOOOO construction | Office | 812.0 |
| #6 | 2015 | OOOOO construction | Education | 283.5 |
| #7 | 2016 | OOOOO new construction | Research | 444.7 |
| #8 | 2016 | OOOOO apartments | Residential | 1,180.8 |
| #9 | 2016 | OOOOO apartments | Residential | 3,179.0 |
| #10 | 2017 | OOOOO construction | Office | 2,298.9 |

Table 4. M&E cost calculation methods (Chung, 2018)

| Method | Variables and Variations |
|---------------|---|
| Basecase (B) | Fixed repair and replacement cycles based on the standards |
| Method 1 (M1) | Exempt for repair when repair and replacement are overlapped |
| Method 2 (M2) | Repair only when repair and replacement are overlapped |
| Method 3 (M3) | Repair and replacement cycle differing from each item |
| Method 4 (M4) | Non-standard repair applied for standard repair items |
| Method 5 (M5) | Extra energy cost added to the standard simulated energy cost |
| Method 6 (M6) | Overlapping Method 1, 2, 3, 4, and 5 |

4.3 산출방법에 따른 유지보수비용

Basecase와 산출법2부터 산출법6을 실제사례 10건에 대하여 적용하여 변동 변수들이 생애주기비용의 산출결과에 어떤 영향을 주는지 분석해 보았다. 변동 변수를 최소화한 Basecase 산출법을 적용하였을 때의 VE지수가 가장 적었고 변동 변수를 동시에 적용한 산출법6의 분석방법을 적용하였을 때의 VE지수가 가장 커지는 점을 알 수 있다(Fig. 2). 특히 Basecase에서 산출법6으로 계산한 VE지수를 각 케이스별로 2차 함수로 회귀분석을 실시하였을 때, 기타 에너지 비용을 적용하는 산출법5에 의한 VE지수만 추세선에서 이탈했을 뿐 나머지 산출법에 의한 VE지수는 추세선과 비교적 일치하였다. 이것은 산출법의 차수가 증가할수록 이에 의한 VE지수가 선형으로 증가하는 것이 아니라 자승(x2)으로 증가하므로 변동성이 상당히 확대된다는 것을 의미한다.

(Fig. 3)은 각 산출법에 따른 10개 사례의 VE지수 분포를 나타낸다. 산출법 차수가 증가할수록 평균도 증가하고, 특히 산출법6의 VE지수 평균은 11.96으로 Basecase VE지수 평균 3.32의 약 3배에 다다랐으며, 최소 및 최대값의 차이도 2배 이상으로 벌어졌다.

기술제안 입찰에서는 초기 공사비의 절감액에 비해 유지 관리 및 에너지 비용이 더 크게 줄어들면 생애주기비용³⁾의 절감액이 커 질 수밖에 없는 구조이다. 따라서 유지 관리 비용 산출 근거를 자세히 살펴보지 않으면 VE지

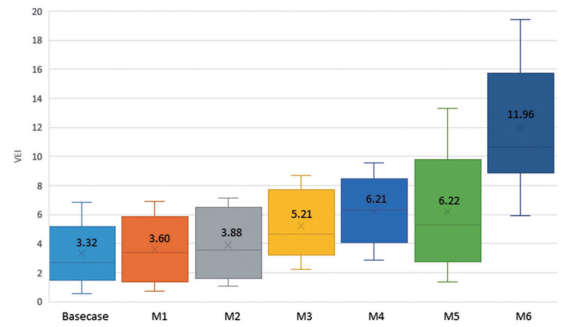


Fig. 3. Distributions of the VEIs with the sample mean per each M&E calculation method

수가 큰 제안이 평가에 유리할 수밖에 없다.

결국 산출법1에서 6은 Basecase 산출법에 비해 유지 관리 및 에너지 비용이 늘어날 수밖에 없고 산출법 차수가 증가할수록 VE지수를 더 왜곡시키므로, 반드시 Basecase 산출법에 따라 유지관리 및 에너지 비용이 계산되어야 제안안에 대한 공정한 평가가 보장될 수 있을 것이다.

5. 적정 VE지수의 제안

기술제안입찰의 제안자가 유지관리 및 에너지 비용의 산출 근거를 명시하지 않으면 평가자는 제안안의 VE지수가 합리적인지를 평가할 수가 없을 것이다. 따라서 본 연구에서는 Basecase 산출법으로 계산한 VE지수의 모집단의 평균과 표준편차를 분석·제시하여, 평가자가 제안안의 VE지수의 합리성을 가늠할 수 있는 참고 근거(Benchmark)를 마련하였다.

5.1 분석대상 사업 선정

4.1절의 대표사업 10건 외에 저자가 보유하고 있는 2008년부터 2017년까지 집행된 기술제안입찰사업 25건을 추가 선정하여 Basecase 산출법으로 총 35건의 유지 관리 및 에너지 비용을 산출해 보고 기술제안입찰에서 적

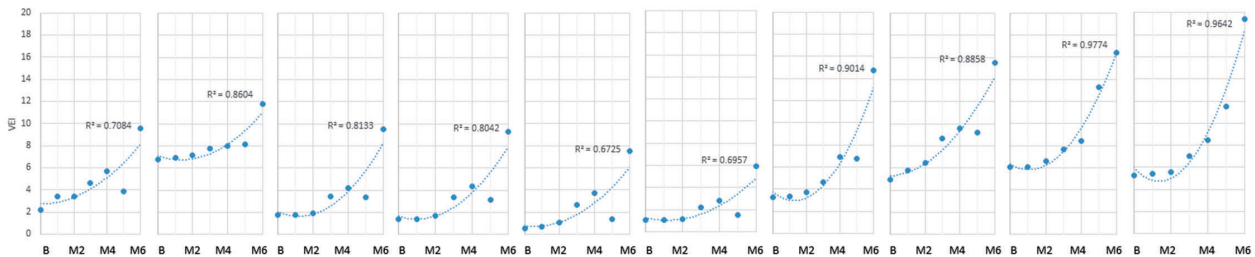


Fig. 2. Distributions of VEIs when M&E cost calculation methods are applied to Case #1 (the most left) to Case #10 (the most right)

3) 생애주기비용 = 초기 공사비 + 유지관리 및 에너지 비용 + 기타 비용

정한 VE지수를 분석하였다. 특히 각종 통계분석의 유효성을 확보하기 위하여 표본 크기를 30건 이상으로 확대하였다⁴⁾. 추가 선정된 사업의 용도는 교육시설, 업무시설, 공동주택, 전문연구시설, 체육시설, 위탁시설, 전시시설 등 건물 용도의 범위를 넓게 선정하였고 사업비 규모는 작게는 231억부터 많게는 2,828억까지 다양하게 선정하였다.

5.2 적정 VE지수의 분석

Basecase의 산출법으로 적용한 35건의 평균 VE지수는 1.38, 표준편차는 1.19로 나타났으며, 사례#5 VE지수가 -0.55로 최소값이었으며 사례#2 VE지수가 6.82로 최대값을 나타내었다(Fig. 4).

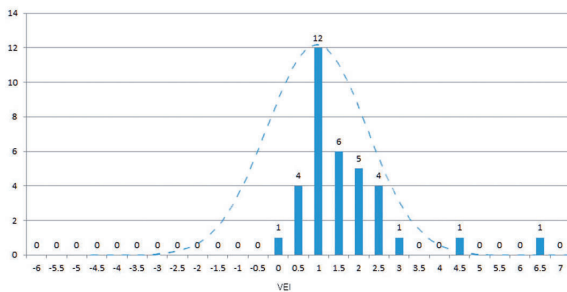


Fig. 4. The VEI population of the 35 selected projects where the basecase method is applied

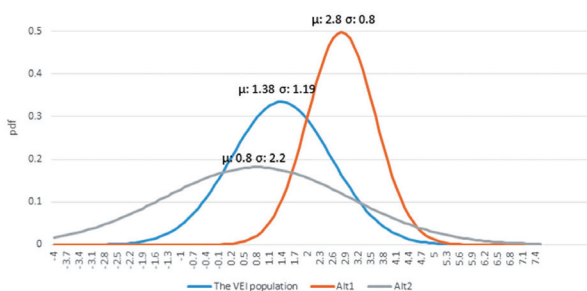


Fig. 5. The VEI population, and the VEI distributions by ALT1 and ALT2, respectively, where uncertainty is quantified

4) 표본 크기가 더 늘어날수록 예측된 모집단에 대한 기술통계량의 신뢰성이 더 향상되기는 하지만, 표본 크기가 30건 이상일 경우 t-분포를 사용하여 모집단의 평균의 신뢰구간을 예측할 수 있다. 본 연구 표본에서는 중간값(median)이 평균(mean)보다 상회하여 전체적으로 오른쪽으로 치우친 형상이지만, 표본 첨도(sample kurtosis)는 (Wikipedia, 2018) 약 3.78 정도이므로 모집단의 정규성을 의심할 정도는 아니다.

6. VE지수의 적용: 결정론적 및 확률론적 해석

5.2절에서 Basecase 산출법을 적용한 35개 표본 사업의 평균과 표준편차를 분석하여 (Fig. 4)와 같이 적정 VE지수의 모집단을 통계적으로 추정하였다($\mu=1.38$; $\sigma=1.19$). 그러나 모집단을 정규분포로 간주하고 t통계량을 구하여 신뢰구간(Confidence Interval: 이하 CI) 95%을 적용하여도 $\mu=1.38 \pm 0.409$, 즉 (Fig. 4)의 CI 95%는 (0.971~1.789) 밖에 되지 않는다. 이는 제안안의 VE지수가 이 범위 안에 존재하여야 VE지수가 Basecase 산출법으로 계산되었음을 통계적으로 인정할 수 있다는 의미이다. 그러나 Basecase 산출법을 적용한 사례#2의 VE지수가 6.82로 계산되는 등 기술제안입찰 사업마다 특이점(Singularity)이 존재하므로 동일 사업에 대하여 A 제안안의 VE지수는 CI 95%의 범위 안에 들고, B 제안안의 VE지수는 CI 95%의 범위 안에 들지 않았다고 해서 B 제안안의 VE지수를 Basecase 산출법으로 계산하지 않았다고는 단정 지을 수는 없다. 따라서 VE지수 모집단의 기술통계량은 다수의 제안안이 존재할 때 가장 합리적으로 산출된 VE지수를 추정하는데 사용될 수 있다. 예를 들어 두 제안안의 VE지수가 각각 1.7과 2.5라면, VE지수 1.7은 CI 95%의 범위 안에 포함되므로 VE지수 2.5보다는 Basecase 산출법에 따라 계산되었을 확률이 더 높다는 의미이다.

또한 변동변수들의 불확실성을 고려한다면, 단일 VE지수를 모집단 분포에 비교하는 결정론적(Deterministic) 해석 방법보다 확률론적(Probabilistic) 해석 방법이 더 원론적인 방법이다. 즉 제안안에 Basecase 산출법을 포함하여 산출법 1에서 5를 단독 또는 중복 적용하여 완전요인배치법으로(Full Factorial Design) 적용하면 총 37개의 VE지수 분포가 산출된다. 산출된 분포를 (Fig. 4)의 모집단과 비교하여 이표본 t-검정(Two sample t-test)을 수행하여 모집단과 가장 근접한 제안안을 선택할 수 있다. 예를 들어 (Fig. 5)에서 ALT 1의 VE지수 평균은 2.8, ALT 2의 VE지수 평균은 0.8로 ALT 2의 평균이 모집단 평균에 더 가깝지만, ALT 1과 ALT 2의 분산까지 고려하면 ALT 1이 ALT 2보다 모집단과 더 유사하므로 ALT 1이 보다 통계적으로 유의미한 대안임을 유추할 수 있다. 그러나 확률론적 해석 방법은 계산이 복잡하고 변량이 크게 늘어나는 데다가, 기술제안 입찰의 제안자와 평가자 모두 확률적 해석 방법과 통계에 대하여 잘 숙지하고 있어야 하기 때문에 현실적으로 적용되기에는 쉽지 않을 것이라 생각된다.

7. 결론

기술제안입찰은 건설기술진흥법에서 규정하는 “설계의 경제성 등 검토(VE)”라는 개념을 적용하는데, 발주처 주도로 “설계의 경제성 등 검토(VE)”를 설계단계에서 진행한다. 이때 입찰자로부터 VE제안을 하도록 하고 이를 평가하여 우수한 제안을 한 입찰자를 낙찰자로 선정하는 제도이다.

그러나 실무적인 관점에서 자세히 살펴보면 기술제안 입찰에서는 “설계의 경제성 등 검토(VE)”와는 확연히 다른 생애주기비용의 절감액이 제시되고 있을 뿐만 아니라, 기술제안입찰 사업이라고 하더라도 사업별, 입찰사별로 제출되는 생애주기비용 산출액의 차이 또한 크게 나타나고 있다. 따라서 본 연구는 VE로 인해 절감된 유지관리 및 에너지 비용을 절감된 공사비로 정규화 하여 초기 공사비 규모의 차이가 있는 제안안이라 하더라도 VE로 인한 생애주기비용 절감의 상대적 크기를 서로 비교할 수 있도록 VE지수를 제안하였다.

10건의 대표 사업설계의 VE 지수 산출 과정에서 VE 사업의 VE지수보다 기술제안입찰 사업의 VE지수가 현저히 크다는 점을 확인하였다. 이는 기술제안입찰의 생애주기비용 산출에 있어서 산출액에 변화를 주는 변수가 있는 것이므로 생애주기비용 중 변동성이 가장 큰 유지관리 및 에너지 비용의 불확실성 분석을 수행하였다. 이러한 불확실성을 가중시키는 변동변수에는 프로젝트별로 상이한 수선 및 교체 주기, 수선과 교체의 중복, 비수선 항목, 그리고 기타 에너지비 등이 있다. 변동변수를 최소화하는 Basecase 산출법을 포함하여 수선과 교체, 기타 에너지 비용의 중복 적용을 감안한 산출법 1에서 5를 적용하였을 때, Baseline의 산출 방법으로 산출한 VE지수가 최소값을 보였으며, 산출법 1-5를 중복 적용한 산출법 6의 VE지수가 최대값을 보였다. 즉 유지관리 및 에너지 비용을 중복 적용하여 불확실성이 커질수록, 유지관리 및 에너지 비용 절감액이 커지는 것으로 보여(즉 VE지수가 상승하므로) 경쟁 입찰자보다 낙찰에 더 유리해 질 수 있다는 의미이다.

본 연구에서는 Basecase 산출법으로 계산한 VE지수의 모집단의 평균과 표준편차를 분석·제시하여 평가자가 제안안의 VE지수의 합리성을 가늠할 수 있는 참고 근거를 마련하였다. Basecase의 산출법으로 적용한 표본 기술제안 사업 35건의 평균 VE지수는 1.38, 표준편차는 1.19로 나타났다. 따라서 기술제안 입찰의 평가자는 다수의 제안안 중 가장 합리적으로 산출된 VE지수를 추정하기 위해, 특정 VE지수를 본 연구가 제안하는 모집단 분포

에 비교하여 그 확률을 계산하는 결정론적 해석 방법 또는 불확실성을 고려한 확률론적 해석 방법을 사용할 수 있다.

기술제안입찰에서 제안안을 정확히 평가하기 위해서는 유지관리 및 에너지 비용의 적정한 산출이 중요하다. 이를 위한 기초 데이터는 정량적인 수치가 반드시 제시되어야 하는 항목이지만, 이미 1.1절의 선행연구들이 지적하였다시피 발주처에서 제시하는 변수 선정과 계산 방법에 대한 명확한 기준이 없기 때문에 입찰자에 따라 다른 숫자가 제시될 수밖에 없어 유지관리 및 에너지 비용 산출액이 입찰자마다 크게 다를 수밖에 없는 구조적인 문제점이 있다. 따라서 발주처가 먼저 유지관리 및 에너지 비용의 산출과정에서 불확실성을 최소화 할 수 있는 정확한 변수 선정과 산출 기준을 제시하여 기술제안 입찰 방법을 정책적으로 구체화하는 것이 무엇보다도(유지관리 및 에너지 비용의 불확실성을 기술적으로 분석하는 것 보다) 필요할 것이다.

감사의 글

This study was supported by the Research Program funded by the Seoul National University of Science and Technology.

References

- Lee, J. H. (2013). “A Case Study on Problems and Improvements in LCC Analysis for Technical Proposal Bidding.” A master thesis, Choong-Ang University, Seoul, Korea.
- Ji, S. K. (2013). “Improvement of Life Cycle Cost Evaluation in Technical Proposal Tendering.” A master thesis, University of Seoul, Seoul, Korea.
- Son, M. J. and Hyun, C. T. (2012). “A Measure for Improving the Systematic Evaluation of the Life Cycle Cost in Technical Proposal Tendering.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 13(6), pp. 71-83.
- Lee, J. S. (2015). “Calculation Model for Function & Cost Score based on Normalization Method in Design VE.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 16(4), pp. 98-106.
- Chung, S. Y. (2018). “A Life cycle cost variability study by applying LCC analysis basic data for Technical

- Proposal.” A master thesis, Graduate School of Housing and Urban Planning, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea.
- JSBC and IBEC (2018). “Built Environment Efficiency (BEE)” Retrieved from. http://www.ibec.or.jp/CASBEE/CASBEE_outline/method.html
- Molit (2008). “Life Cycle Cost Analysis and Evaluation Tips.” Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea.
- Wikipedia (2018). “Kurtosis” Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Kurtosis>

요약 : 기술제안입찰의 주 평가요소 중 하나인 생애주기비용의 적정성은 평가의 전문성을 요하지만 평가에 필요한 시간이 절대적으로 부족하여 경험많은 평가자라 할지라도 단순한 수치 비교에 의한 상대평가에 그치는 경향이 많았다. 이에 본 연구에서는 기술제안입찰로 낙찰자를 선정할 실 사례와 기술제안서를 비교하고 110건의 기술제안입찰 제안서를 비교하여 생애주기비용 중 가장 변동 폭이 큰 유지관리 및 에너지 비용의 불확실성을 분석하였다. 또한 절감된 공사비 대비 유지관리 및 에너지 비용의 절감수준을 정규화하기 위하여 VE지수를 제시하였다. 프로젝트별로 상이한 수선 및 교체 주기, 수선과 교체의 중복, 비수선 항목, 그리고 기타 에너지비 등의 중복 적용이 VE지수의 불확실성을 가장 확대시키는 요인으로 분석되었으며, 이러한 요인의 중복을 제거한 유지관리 및 에너지 비용 산출법을 표본 기술제안 사업 35건에 적용하여 평균 1.38, 표준편차는 1.19를 가지는 VE지수 모집단을 도출하였다. 기술제안 입찰의 평가자는 다수의 제안안 중 가장 합리적으로 산출된 VE지수를 추정하기 위해, 특정 VE지수를 본 연구가 제안하는 모집단 분포에 비교하여 그 확률을 계산하는 결정론적 해석 방법 또는 불확실성을 고려한 확률론적 해석 방법을 사용할 수 있다.

키워드 : 생애주기비용, 기술제안입찰, VE, 불확실성, 유지관리 및 에너지 비용
