

CM at Risk를 적용한 공동주택의 확률론적 초기 GMP 산정방안

Probabilistic Earlier GMP Calculation Method for Apartment Using CM at Risk

현 창 택

고 건 호

김 정 훈*

Hyun, Chang-Taek

Go, Gun-Ho

Jin, Zhengxun*

Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 02504, Korea.

Abstract

In the DBB delivery system, the design stage and the construction stage are separated. Because of this, design changes frequently occur, and problems such as construction cost overrun, schedule delay, and quality deterioration happen as well. Recently, in the construction industry CM at Risk(CM@R) delivery system, which can systematically solve the above-mentioned problems of DBB delivery system, meet various demands of clients, and overcome the limited cost and period. In the CM@R delivery system, the contractor negotiates for a maximum guaranteed price(GMP) with the client at the design stage, and the CM performer carries out the construction within the GMP. However, uncertainties are inherent in the GMP calculation because the calculation is based on unfinished drawings and documents. In this study, a Probabilistic Earlier GMP Calculation Method by combining a probabilistic tool of Monte Carlo simulation with a case based reasoning is proposed so that the uncertainty in GMP calculation is reflected. After the earlier GMP is calculated, a process to calculate the 2nd GMP at the time of around 80 % of detailed design and to negotiate with the client to fix the final GMP is proposed. The Probabilistic Earlier GMP Calculation Method is verified through the case study. In this study, researchers set the range of GMP through the proposed probabilistic GMP calculation and tried to reduce the risk through negotiation between the client and the CM performer. The proposed method and process would contribute to the successful introduction of CM@R in Korea.

키워드: CM at risk, CBR, GMP scope, probabilistic earlier GMP calculation, consultation

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 국내 건설산업은 설계와 시공을 분리한 ‘설계-시공 분리발주’ (Design-Bid-Build: 이하 DBB) 발주방식이 보편화되어 있다[1]. DBB 발주방식에서는 설계단계와 시공단계가 분리되어 있어, 잦은 설계변경이 발생하고 있고, 공사

비 초과, 공기지연 및 품질저하를 야기하는 문제점들을 초래하고 있다. 이에 최근 발주자의 다양한 요구, 제한적인 예산 및 공기 등의 제약조건에 대응할 수 있는 발주방식인 CM at Risk(이하 CM@R) 발주방식이 대두되고 있다[2]. 또한, 2017년부터 공동주택을 대상으로 CM@R 시범사업이 발주되고 있다.

CM@R 발주방식에서는 설계단계에서 발주자와 협의하여 공기와 최대공사비보증가격(Guaranteed Maximum Price: 이하 GMP)을 정하고, GMP 내에서 CM수행자가 책임을 지고 공사를 수행하는 방식이다. 일반적으로 실시설계 약 80%정도 완성된 상태에서 CM수행자는 GMP를 발주자에게 제시하고[3] 상호 협의하며 GMP를 정하게 된다. GMP 산정시기에 따라 설계초기에 결정하는 초기 GMP와 설계후

Received : March, 16, 2018

Revision received : April 23, 2018

Accepted : May 9, 2018

* Corresponding author : Jin, Zhengxun

[Tel: 82-2-6490-5577, E-mail: rlwajdgns52@uos.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

반에 결정하는 2차 GMP로 구분할 수 있다. GMP 산정시기 특성상 완성되지 않은 도면을 기준으로 하기 때문에 불확실성이 내재되어 있으므로, 발주자 입장에서는 리스크를 경감할 수 있는 반면, CM 수행자는 GMP 초과비용과 공기지연에 대한 리스크가 따른다[1]. 반면 GMP보다 공사비를 절감하게 되면 그 차액을 발주자와 CM수행자가 사전에 정한 비율에 따라 공유한다[4]. 따라서 GMP산정은 CM 수행자와 발주자에게 중요한 사항이다. 하지만 최근 국내 CM@R 시범발주 사업에서는, 공고한 추정 사업비를 기준으로 입찰금액을 제시하도록 하는 방식으로 CM@R을 진행하고 있다. 이는 GMP 산정 및 협의의 의미가 없어 CM@R의 의미가 퇴색되고 있다. 앞으로 CM@R 발주방식 취지에 맞게, 발주자와 CM@R 사업자간의 협의에 의한 GMP 산정을 일반화시킬 필요가 있다. 공동주택은 과거 실적자료가 많고, 비교적 단순한 공사이기 때문에 빠른 시점에서 초기 GMP를 산정하는 것이 가능할 것이며, 패스트 트랙 방식적용을 용이하게 할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 조기에 사업비를 예측하고 예산을 확보하기 위하여, 실시설계 초기에 GMP를 산정하되, 불확실성을 고려하여, 사례기반의 공사비 예측과 몬테카를로 시뮬레이션(이하 MCS) 기반의 확률론적 초기 GMP 예측방안을 제안하고자 한다. 아울러 실시설계 후반에 2차 GMP를 산정하여 보완하고 발주자와의 협의를 거쳐 최종 GMP를 결정하는 프로세스를 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

설계단계 GMP 산정은 프로젝트 발주자를 비롯한 모든 참여주체들의 의사결정에 영향을 줄 수 있으며, 성공적인 프로젝트 수행을 위한 중요한 정보이다. 본 연구에서는 실시설계 초기에 GMP를 산정하여 사업예산을 확보하여야 하는 프로젝트를 대상으로 하며, 2차 GMP산정 및 협의를 통하여 최종 GMP를 산출하는 프로세스를 제안한다.

또한 본 연구에서는, 유사사례 조회를 통하여 공사비를 예측하는데 효과적인 Case Based Reasoning(이하 CBR) 기법과, 불확실한 요소들을 반영할 수 있는 확률론적인 방법론인 MCS 기법을 적용한다. 이러한 방법론을 적용하여 불확실성을 고려한 확률론적 초기 GMP 예측방안을 제안하고, 사례 적용 및 모델 검증을 통해 제안한 방안을 검증하고자 한다. 연구의 흐름도는 Figure 1과 같다.

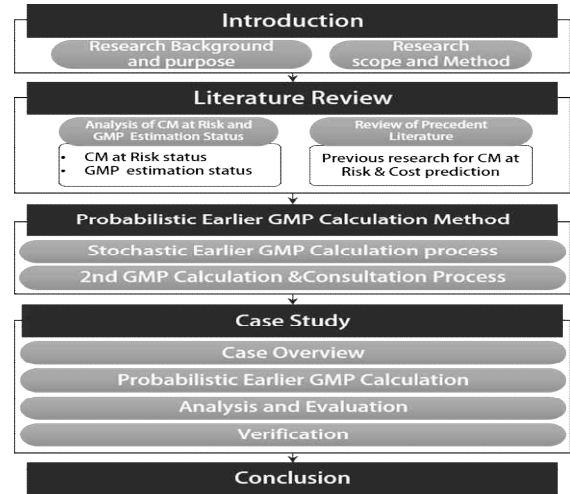


Figure 1. Research flowchart

2. 예비적 고찰

2.1 CM at Risk 및 GMP 산정현황 분석

2.1.1 국내·외 CM at Risk 현황

1) 국내 CM at Risk 현황

A기업이 2007년부터 2014년까지 계약한 CM@R 프로젝트를 분석한 결과, 대가방식은 GMP방식과 Cost+Fee방식이 많이 사용되는 것으로 분석되었다. 유형별로 2007년부터 2009년까지는 할인점 및 물류시설 위주로 계약되었으며, 2010년부터 2014년까지는 주상복합 및 임대주택, 업무시설 그리고 교육시설 위주의 다양한 유형의 프로젝트가 계약되었다. B공사가 2017년에 CM@R로 발주한 3건의 경우, 변형된 GMP계약방식을 사용한 것으로 분석되었다. 기본설계 완료시점에 CM수행자를 선정하였으며, 입찰가격과 공사수행능력, 사회적 책임 등을 종합적으로 심사하는 종합심사 낙찰제를 적용하여 낙찰자를 결정하였다.

2) 미국 CM at Risk 현황

미국에서의 CM@R은 민간분야에서 성장하여 현재는 공공분야에서 활성화되어 가는 추세이다. 미국의 경우 CM수행자가 사업의 초기단계에서부터 참여하는 것이 일반적이다. 이는 사업의 초기단계가 사업성과에 가장 큰 영향을 미치기 때문이다[5]. 또한, CM수행자는 발주자에게 일반적으로 실시설계 단계에서 GMP를 제시하고, 발주자와 협상을 통해 GMP를 결정한다. 실제 투입된 공사비가 GMP를 초과

하는 것에 대한 책임을 전적으로 CM수행자가 지고, 반대로 GMP보다 절감된 경우에는 그 차액을 발주자와 CM수행자가 사전에 정한 비율에 따라 이익을 공유(Profit Sharing)하는 것이 일반적이다.

2.1.2 국내·외 GMP 산정현황

1) 국내 현황

A기업에서 수주한 CM@R 프로젝트를 분석한 결과, 설계 완료시에 CM수행자가 GMP를 제시하고, 발주자는 CM수행자가 제시한 GMP를 검토하여 이를 거절하거나 혹은 협상을 통하여 GMP를 결정하였다.

B공사에서 발주한 CM@R 프로젝트를 분석한 결과, 실시설계 단계에서 GMP를 산정하여 제출하도록 하고 있으나, 입찰금액을 B공사가 공고한 추정 사업비(추정 공사비+사업관리비)보다 높거나 추정 사업비의 100분의 80 미만으로 입찰가격을 제안하는 경우에는 탈락시키는 등 GMP의 제한을 두었다. 이는 GMP 산정 및 협의의 의미가 없어 CM@R의 의미가 퇴색되고 있다고 판단된다. 또한, 실시설계단계 VE를 통해 절감된 금액을 발주자와 CM수행자가 일정한 비율로 배분하는 것은 사업의 초기단계에서부터 CM수행자의 사업 참여가 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

C기업에서 수주한 CM@R 프로젝트를 분석한 결과, 단계별로 Target Value Design(이하 TVD)를 진행하여 공사수행을 위한 GMP를 산출하였다. TVD에서는 사전에 설정한 프로젝트 목표 가치(비용, 공기, 기능) 달성을 위해 설계 및 시공성 검토를 통해 대안을 제시하고, 이에 대한 단계별 비용 추이를 분석하여 최종적으로 GMP를 산출하였다.

2) 국외 현황

미국 북서부 D교육시설 프로젝트의 경우, 설계가 50%이상 완료된 후부터 GMP를 산정하였다. 이와 같이 해외에서 CM@R을 적용한 학교, 병원, 박물관 등의 사례들은 대부분 실시설계 후반에 GMP를 산정하는 것이 일반적인 것으로 나타났다.

CM@R 발주가 활발한 미국의 사례들을 살펴 보면 실시설계 50%~80% 완료시점에 GMP를 산정하는 경우가 많은데, 조기에 사업비를 예측하고 예산을 확보하기 위하여 실시설계 초기에 GMP를 산정하는 경우도 발생하고 있다. 다음의 건설공사는 실시설계 초기에 GMP를 산정한 사례이다.

L대학교는 경쟁력 유지를 위해 짧은 기간동안 250명을

수용할 수 있는 기숙사 시설과 150대의 주차공간, 서점과 상점들이 필요했다. 조기에 사업비를 예측하고 패스트 트랙을 적용하기 위하여 실시설계 25% 완료 시점에서 GMP를 확정하였다[4].

2.2 CBR 및 MCS

1) 사례기반추론

사례기반추론(Case-Based Reasoning: CBR)은 현재의 문제를 해결함에 있어서 과거의 문제해결에 적용되었던 유사한 상황을 기억하고 그러한 상황의 정보와 지식을 재사용하여, 새로운 문제를 해결하는 데이터 마이닝 기법이다. CBR은 일반적으로 조회, 재사용, 보정, 저장 등 4단계로 이루어지며 추론과정에서 가장 유사한 사례를 조회하는 것이 매우 중요하다[6].

CBR에서 많이 사용되는 조회방법 중 하나인 최근이웃 조회방법에서는, 새로운 문제가 제시되면 저장되어 있는 사례들과의 비교를 위한 속성을 찾고, 이 속성들 사이의 값을 비교하여 유사도 점수를 계산하게 된다. 그리고 속성별 가중치를 산정하여 계산된 유사도 점수에 가중치를 곱한다. 각 속성에 대한 유사도 점수와 가중치를 곱한 값을 합산하여 최종 사례유사도를 계산한다.

2) 몬테카를로 시뮬레이션

몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation: MCS)은 모집단으로부터 임의로 표본을 추출하여 특정 상황에서 발생할 수 있는 출력값(Output)의 확률분포를 추정하는 방법론이다. 이를 구동하기 위해서는 불확실한 변수에 대한 확률분포를 정의하여 확률변수를 생성해야 한다[6].

MCS는 상황에 따라 매우 다양한 방법으로 수행될 수 있지만, 일반적으로 문제정의, 모형설정, 시뮬레이션 실시, 의사결정 4가지 단계를 거쳐 완성된다.

2.3 선행연구 고찰

2.3.1 CM at Risk 관련 연구

최근 국내 선행연구를 분석한 결과, CM@R 도입을 위하여 단기적으로 시행 가능한 제도방안을 제시하거나 CM@R 방식의 도입을 위한 타당성분석 연구가 이루어지고 있었다. 이외에 CM@R 도입을 위해 유관 기관들이 참여를 제안하는 연구도 진행되었다. 이와 같이 기존 연구들은 국내에

CM@R을 도입하기 위한 연구들이 대부분이다. 이를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. CM at risk related previous research

Author	Title	Research contents
Shin [2]	An application of CM at Risk to the Korean construction market	Approach to introduce CM at risk, one of the alternative delivery systems in Korea, by revising some regulations and proposing various types[2]
Koh [7]	A feasibility Study for introduction of 'CM at Risk' in the public construction	Feasibility study for 'CM at Risk' introduction through the analysis of industry environment and suitability of 'CM at Risk' types[7]
Kim [8]	Introduction of CM at Risk and implications	Application of CM at Risk in public construction projects[8]

2.3.2 공사비 예측 관련 연구

공사비 예측관련 선행연구를 분석한 결과, CBR과 유전자 알고리즘을 활용하여 공사비를 예측하는 연구가 있었으며, CBR기반 공사비 예측모델을 개발하고 유사사례와 신규사례의 보정을 통하여 예측정확도를 향상시키는 연구가 진행되었다. 이외에 CBR을 활용한 공사비 예측모델에서 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하여, 불확실성을 고려한 공사비를 예측연구도 진행되었다. 기존 연구들에서는 다중회귀분석, CBR, MCS 등의 방법을 활용하여 데이터 분석에 의한 공사비 산정방법에 대하여 연구를 진행하였다. 이를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2. Cost prediction related previous research

Author	Title	Research contents
Dogan et al. [9]	Determining Attribute Weights in a CBR Model for Early Cost Prediction of Structural Systems	Comparison of performances of three optimization techniques, namely feature counting, gradient descent, and genetic algorithms (GA) in generating attribute weights for spreadsheet-based case based reasoning (CBR) prediction model[9]
Kim [10]	MRA Revision Model based on CBR for Cost Prediction in Early Stage	Influential variables on cost prediction for selecting attributes through MRA, and revision method using a regression model in revise phase of CBR cycle[10]
Hyun et al. [11]	Framework of Construction Cost Estimating System in Public Housing	Framework for estimation of proper construction cost using CBR[11]
Jin [6]	Stochastic Hybrid Cost Prediction Model of Construction Project in Early Stage	Monte Carlo Simulation (MCS) linked with CBR for consider the probability of available information with uncertainties in the early stage of the project[6]

3. 확률론적 초기 GMP 산정 및 GMP 확정방안

3.1 확률론적 초기 GMP 산정 프로세스

본 절에서는 CBR을 이용한 확률론적 초기 GMP 산정 프로세스를 다음 Figure 2와 같이 제시한다.

3.1.1 Setp 1 : 사례DB 구축 및 영향요인 입력

기존의 공공주택 공사비 사례를 DB로 구축하고, 실시설계단계 초기에 미확정된 연면적, 마감등급, 공기 등 영향요인을 입력한다. MCS 수행을 위하여 입력된 미확정 영향요인의 분포형태 및 변동범위를 설정하고 난수조합을 생성한다.

3.1.2 Setp 2 : CBR기반 유사사례 조회

유사사례 조회를 위하여, Step 1에서 발생된 난수조합에 확정된 영향요인을 추가하여 입력될 신규사례를 생성한다. 입력된 신규사례 정보를 바탕으로 속성유사도, 사례유사도, 유사사례 산정 등의 과정을 거쳐, 신규사례와 유사도가 가장 높은 사례를 도출하고 결과를 저장한다.

3.1.3 Setp 3 : 확률론적 GMP 산정 및 협의

Step 2에서는 난수조합에 근거하여 1개의 공사비를 산정하였다. Step 3에서는 반복적인 난수조합 발생을 통하여 다수의 공사비를 산정한다. 산정된 다수의 공사비가 축적되어 확률론적인 분포를 제공하고, 다양한 확률론적 분석결과를 제시하게 된다. 결과값은 평균값을 기준으로 발주자에게 GMP를 제시하게 되며, 제시된 GMP를 토대로 발주자와의 협의를 통해 GMP를 결정하게 된다.

3.2 GMP 확정 프로세스

최종적으로 GMP를 확정하기 위하여, 실시설계 80% 단계에서 GMP를 재산정하여 상호간의 리스크를 줄일 필요가 있다. 이 단계에서 GMP산정을 통하여 미확정부분에 대한 리스크와 예비비를 줄여 비교적 정확한 GMP를 확정하게 된다.

본 연구에서는 초기사업비 예측을 위해 도출된 GMP를 초기 GMP라 하고, 실시설계 80%에서 도출하는 GMP를 2차 GMP라 한다.

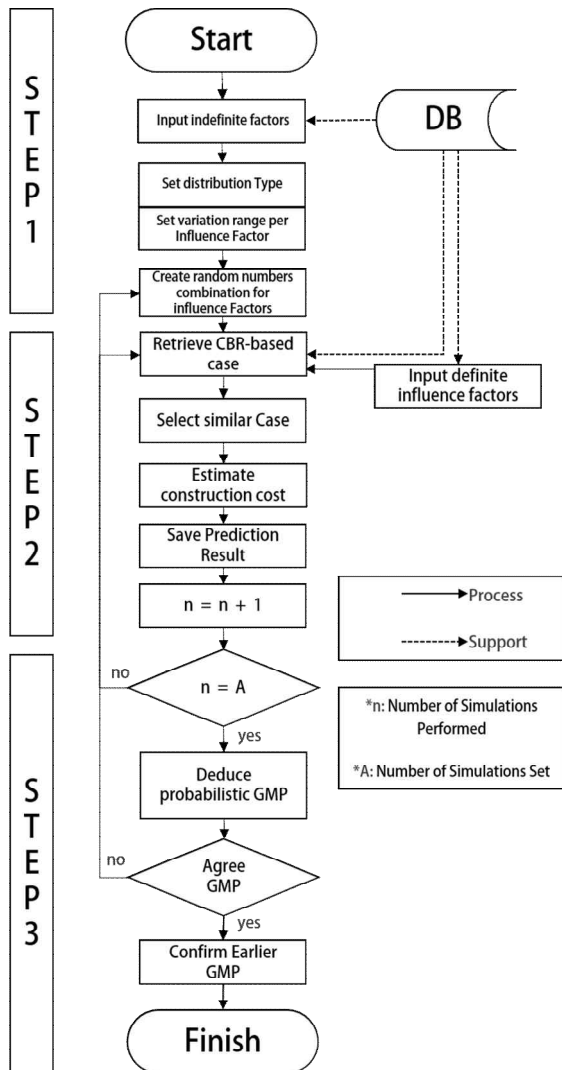


Figure 2. Probabilistic earlier GMP calculation process

실시설계 80%수준에서 사용할 수 있는 GMP산정 협의프로세스를 다음 Figure 3과 같이 제시한다.

3.2.1 Setp 1 : 확률론적 2차 GMP 범위 산정

80% 완료수준의 실시설계도서 및 물량단가를 토대로 공사비에 대한 상세견적을 진행하고, 실시설계 80%시 불확실성이 존재하는 마감등급에 대한 부분은 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 불확실성이 고려된 공사비를 산정한다.

3.2.2 Setp 2 : 협의를 통한 GMP 조정

2차 GMP와 초기 GMP 비교를 통하여 GMP 확정을 위한 협의를 진행한다. 2차 GMP가 초기 GMP 보다 크게 산정된 경우, 타당하다고 판단되면 GMP를 확정한다. GMP가 과도

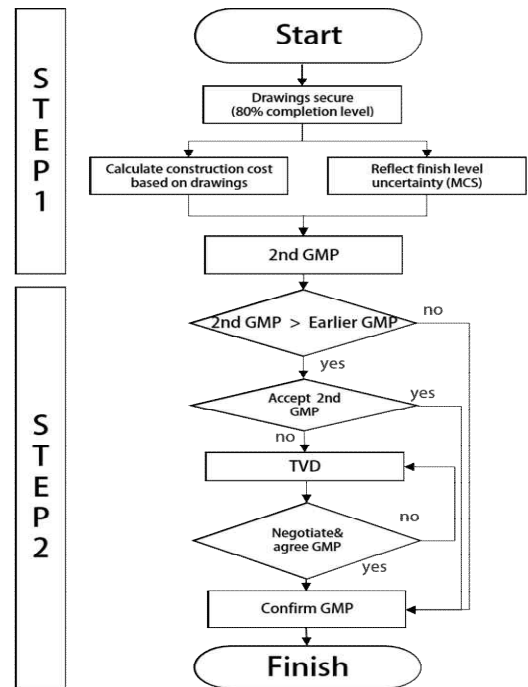


Figure 3. Probabilistic GMP consultation process

하게 산정되었다고 판단될 경우 TVD를 진행하여 GMP를 조정하고 협의를 통하여 확정한다.

4. 사례 연구

4.1 사례개요 및 프로젝트 적용

본 연구에서 수집된 데이터는 국내 상위 10개 건설회사에서 수행한 50건의 프로젝트에서 수집되었으며 480건의 동에 대한 공사비 자료를 포함하고 있다[6].

본 연구에서는 선행연구에서 고찰된 사업초기단계 공사비 영향요인과 실제사례 데이터베이스를 토대로, 연면적, 층수, 마감등급(A~E등급), 공기, 지붕형식(평지붕=1, 경사지붕=0), 기초형식(매트=1, 파일=0), 지하층형식(지하주차장=1, 피트=0)의 총 7가지 요인을 GMP 영향요인으로 사용하였다.

영향요인 중 마감등급은 ‘건축공사 적정공사비 산정 및 관리시스템 개발’ 연구 결과에 근거하여, 아래의 Table 3과 같이 5개 등급으로 정의하였다[12].

4.1.1 영향요인 속성가중치 산정

CBR을 이용한 유사사례 조회를 위하여 각 영향요인들의

속성가중치를 산정하여야 한다. 본 연구에서의 영향요인 속성가중치는 WEKA프로그램을 활용하여 산정하였으며, 선정된 영향요인들의 속성가중치는 아래 Table 4와 같다.

Table 3. Finish level definition

Level	
A	Premium
B	High-class
C	Standard
D	Basic
E	Economy

Table 4. Attribute weight

Influence Factors	Gross Floor Area	Floor	Finish Level	Construction Period	Roof Type	Foundation Type	Basement Floor Type
Attribute weighting	0.852	0.031	0.473	0.05	0.012	0.023	0.019

분석결과 선정된 영향요인 중 연면적과 마감등급이 0.852, 0.473으로 도출되었고, 지붕형식, 기초형식, 지하층형식 등은 속성가중치가 떨어지는 것으로 결과가 도출되었다.

4.1.2 영향요인 분포형태 및 범위 설정

영향요인별 분포형태는 선행연구 고찰을 바탕으로 각 입력변수들의 분포형태를 선정하였다. 연면적 요인은 다른 요인에 비하여 변경될 불확실성이 큰 특성을 고려하여 분포형태는 균등분포(Uniform)로 선정하였고, 층수, 마감등급 등 영향요인들은 특정된 값을 갖고 있기 때문에 특정된 값의 확률을 동일하게 표현할 수 있는 이산균등분포(Discrete Uniform)로 선정하였다.

영향요인별 변동범위는 임의로 설정할 수 있으며, 본 연구에서는 검증을 위하여 아래 Table 5와 같이 선정하였다.

4.1.3 확률론적 초기 GMP 산정

확률론적 초기 GMP 산정시 사업초기단계이기 때문에 영향요인에 대한 입력 값은 범위를 가정하여 설정하였다. 설정된 입력 값을 바탕으로 확률론적 초기 GMP를 산정하였다. 본 연구에서 제시하는 확률론적 초기 GMP 산정 프로세스의 유효성을 확인하고 GMP 산정방안을 설명하기 위하여, 가상

프로젝트에 적용하였다. 입력된 프로젝트 개요는 다음 Table 6과 같다.

Table 5. Range according to probability distribution type

Influence Factors	Probability Distribution Type	Fluctuation Range
Gross floor area	Normal Distribution	± 5%
Ground floor	Discrete Uniform Distribution	± 5%
Construction Period	Discrete Uniform Distribution	± 5%
Finish Level	Discrete Uniform Distribution	A ~ E
Roof Type	Discrete Uniform Distribution	0, 1
Foundation Type	Discrete Uniform Distribution	0, 1
Basement Floor Type	Discrete Uniform Distribution	0, 1

Table 6. Virtual project overview for probabilistic earlier GMP calculation

Influence Factors	Gross Floor Area	Floor	Finish Level	Construction Period	Roof Type	Foundation Type	Basement Floor Type
Input	9,500 ~ 10,500	27	A~E	29~33	1	0	1

MCS 수행을 위하여 우선 미확정 영향요인인 연면적, 마감등급, 공기의 분포형태와 범위를 설정하여 난수조합을 생성하였다. 확정된 영향요인(층수, 지하층형식, 지붕형식, 기초형식)과 결합하여 신규사례를 생성하고 CBR을 수행하였다. 입력된 신규사례의 유사사례 공사비를 저장하고, 새로운 난수조합을 생성하여 CBR 과정을 다시 진행하였다. 산정된 다수의 공사비를 추적하여 확률론적인 분포를 구성하였으며 이에 대한 분석을 통하여 결과를 제시하였다.

본 연구에서는 10,000번의 시뮬레이션을 수행하였으며, 가상프로젝트의 확률론적 초기 GMP 산정결과를 다음과 같이 해석하였다.

확률론적 초기 GMP 예측결과 평균값은 3,397백만원, 중앙값은 3,437백만원으로 도출되었다. 확률론적 초기 GMP 산정 그래프는 Figure 4와 같다. 누적확률분포를 이용하여 특정된 값의 확률을 확인할 수 있다.

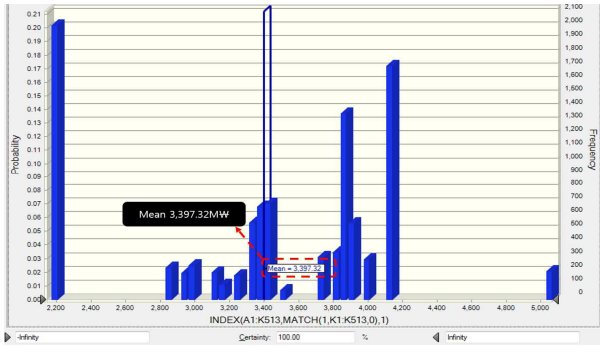


Figure 4. Probabilistic earlier GMP

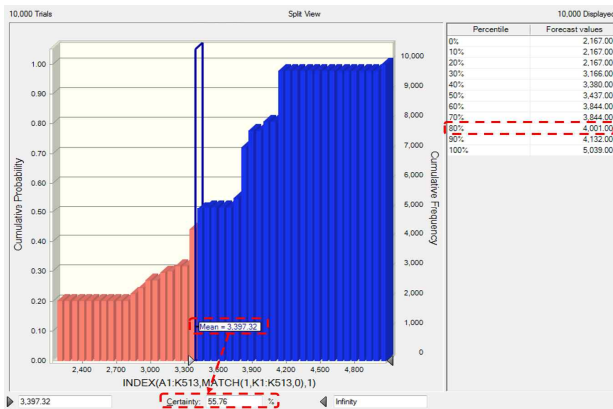


Figure 5. Probabilistic earlier GMP

Figure 5의 누적확률분포 그래프 분석에 의하면, 평균값 3,397백만원의 확률은 그래프에서 55.76%임을 확인할 수 있다. 도출된 평균값을 GMP로 설정하여 가상 프로젝트를 성공시킬 확률이 55.76%라고 해석할 수 있으며, 4,001백만원으로 프로젝트를 성공시킬 확률이 80%이상이라고 볼 수 있다.

4.2 협의를 통한 GMP 확정

앞에서 언급한 바와 같이 CM@R 발주방식은 발주자와 협의한 공기와 GMP 내에서 CM수행자가 책임을 지고 직접 공사를 수행하는 설계·시공 통합관리방식이다. 실시설계 80% 시점에서 확정된 부분과 미확정된 영향요인에 의한 확률론적 GMP를 산정하여 도출된 2차 GMP를 토대로 발주자와 협의를 통해 GMP를 확정한다. 협의시 GMP 조정은 A~E등급으로 나누어져 있는 마감등급이나 다른 영향요인의 조정을 통해 GMP를 다시 산정하여, 새로 도출한 GMP로 발주자와 협의를 하고 GMP를 확정할 수 있다.

가상프로젝트를 기반으로 실시설계 초기 미확정이었던 영

향요인을 연면적 $10,000m^2$, 공기 31개월로 확정하고, 마감등급만 미확정으로 설정하여 GMP를 산정하였다. GMP 예측결과 평균값은 3,292백만원, 중앙값은 3,380백만원이고, 2,167백만원에서부터 4,132백만원사이 GMP가 발생이 가능하다는 결과를 도출하였다. 평균값 3,292백만원의 확률은 59.7%임을 확인할 수 있었다. 도출된 평균값을 GMP로 설정하여 가상 프로젝트를 성공시킬 확률이 59.7%이며, 누적확률분포 그래프 분석에 의하면 3,844백만원으로 프로젝트를 성공시킬 확률이 80%이상으로 나타났다.

4.3 분석 및 평가

본 연구에서는 실시설계단계 초기에 확률론적 초기 GMP 산정을 하였고, 평균값으로 3,397백만원을 도출하였고, 성공시킬 확률은 55.76%였다. 사업초기단계 특성상 미확정된 영향요인들이 많기 때문에 상대적으로 성공시킬 확률이 낮게 나온 것으로 판단되며, 실시설계 후반에는 마감등급만 미확정된 영향요인이었기 때문에 성공시킬 확률은 상대적으로 높게 나온 것으로 판단된다.

위의 예측 결과에서와 같이, 확률론적 공사비 예측을 통하여 확률론적 GMP를 제시할 수 있다.

4.4 검증

4.4.1 확률론적 GMP 산정 검증 개요

본 연구에서는 확률론적 GMP 산정을 위해 실제사례 데이터베이스를 구축하였다.(4.1참조) 이중 470건은 확률론적 GMP 산정을 위해 사례로 사용하였고, 10건은 검증을 위하여 사용하였다.

검증을 위한 10건에 대한 개요는 아래 Table 7과 같다.

Table 7. Project overview

No.	Gross Floor Area	Floor	Finish Level	Construction Period	Roof Type	Foundation Type	Base-ment Floor Type
1	6,112	12	D	21	1	1	1
2	12,564	19	C	28	1	0	1
3	14,402	20	E	40	1	1	1
4	16,912	20	C	28	1	1	1
5	10,198	19	C	23	1	1	1
6	9,801	19	D	33	1	1	1
7	8,949	25	D	26	1	1	1
8	5,254	24	C	37	1	0	1
9	7,376	23	B	37	1	0	1
10	8,324	22	B	37	1	0	1

4.4.2 확률론적 GMP 산정 결과 검증

확률론적 GMP 산정결과의 검증을 위하여 다음과 같은 2가지 결과 평균값을 실제 데이터와 비교하였다.

- 1) 확률론적인 영향요인 값을 사용하여 도출된 초기 GMP 및 오차율(A)
- 2) 일부 영향요인 값을 확률론적으로 입력하여 도출된 2차 GMP 및 오차율(B)

A에서는 영향요인 3가지(연면적, 마감등급, 공기)를 미확정된 값으로 하여 확률론적인 GMP를 도출하고 오차율을 산정하였다. B에서는 7가지 영향요인에서 마감등급만 미확정된 값으로 입력하여 GMP 및 오차율을 산정하였다.

검증결과를 정리하면 Table 8과 같다. 검증결과에 의하면 A경우보다 B의 결과가 오차율이 낮음을 확인할 수 있다. GMP 범위산정 또한 한정된 사례DB로 인해 범위가 넓기는 하지만 A경우보다 B의 결과가 범위가 좁아진 것을 확인할 수 있다.

Table 8. Verification result

Verification examples		A results			B results		
No.	Construction Cost	range (M₩)	GMP (M₩)	Error rate	Range (M₩)	GMP (M₩)	Error rate
1	2,163	1,457 ~ 2,866	2,059	4.8%	1,586 ~ 2,848	2,207	2.0%
2	5,003	3,763 ~ 5,471	4,634	7.4%	4,232 ~ 5,238	4,881	2.4%
3	3,879	2,631 ~ 4,738	3,602	7.1%	3,171 ~ 4,706	3,796	2.1%
4	6,222	4,870 ~ 6,631	5,829	6.3%	5,829 ~ 6,631	6,064	2.5%
5	3,354	1,770 ~ 3,573	2,967	11.5%	1,867 ~ 3,389	3,192	4.8%
6	3,039	1,568 ~ 3,929	2,804	7.7%	2,543 ~ 3,184	2,879	5.3%
7	2,853	1,374 ~ 3,657	2,575	9.7%	2,162 ~ 3,541	2,752	3.5%
8	2,019	1,244 ~ 2,536	1,895	6.1%	1,993 ~ 2,536	2,179	7.9%
9	3,105	1,513 ~ 3,188	2,891	6.9%	1,730 ~ 3,188	3,019	2.8%
10	3,369	2,360 ~ 3,879	3,093	8.2%	2,641 ~ 3,563	3,273	2.8%
Average		-	-	7.6%	-	-	3.9%

검증사례에 대한 평균 오차율을 살펴보면, 여러 항목의 영향요인 값을 확률론적으로 입력하여 도출된 초기 GMP 오차율은 7.6%이고, 마감등급만을 확률론적으로 입력하여 도출된 GMP 오차율은 3.9%이다. A의 경우 사업초기단계의 불확실성으로 대부분의 영향요인 값을 특정하는데 어려움이 있어서 이들을 미확정 값으로 입력하였다. B의 경우 실시설계 80%에 불확실한 요소들이 적어지는 시점이며, 영

향요인 중 ‘마감등급’만 확률론적인 영향요인 값을 사용해서 상대적으로 낮은 오차율이 발생하는 것으로 판단된다.

5. 결 론

현재 DBB 발주방식에서는 설계단계와 시공단계가 분리되어 있어, 잦은 설계변경이 발생하고 있다. 그리고 공사비 초과, 공기지연 및 품질저하를 야기하는 문제점들을 초래하고 있다. 이에 따라 최근에, 발주자의 다양한 요구, 제한적인 예산 및 공기 등의 제약조건에 선제적으로 대응할 수 있는 발주방식인 CM@R 발주방식이 대두되고 있다.

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 하여 CM@R 발주방식에서, CBR과 MCS기법을 활용하여 확률론적 초기 GMP 산정방안을 제시하고 발주자와 상호협의를 통하여 GMP를 확정하는 프로세스를 제안하였다. CBR과 MCS기법을 적용한 확률론적 GMP 산정 프로세스를 정리하면 다음과 같다.

Step 1~2에서 확정된 영향요인과 미확정된 영향요인을 입력하고, 영향요인 난수조합을 생성하고, CBR기반 유사사례를 조회하였고, 도출한 공사비를 저장하였다. Step 3에서는 반복적인 난수조합 발생을 통하여 다수의 공사비를 산정한다. 산정된 다수의 공사비가 축적되어 확률론적인 분포를 제공하고, 다양한 확률론적 분석결과를 제시하게 된다. 결과 값은 평균값을 기준으로 발주자에게 GMP로서 제시하게 되며, 이를 토대로 발주자와의 협의를 통해 GMP를 결정하게 된다.

실시설계 80% 시점에서 확정된 부분과 미확정된 영향요인에 의한 확률론적 GMP를 산정하여 도출된 2차 GMP를 토대로 발주자와 협의를 통해 GMP를 확정한다. 협의시에 GMP 조정이 필요하다면 A~E등급으로 나누어져있는 마감등급이나 영향요인 조정을 통해 GMP를 다시 산정함으로써, 새로 도출된 GMP를 기준으로 발주자와 협의하여 최종 GMP를 확정한다.

본 연구에서 제시된 확률론적 초기 GMP 산정방안의 유효성을 확인하기 위하여 10건의 실제 프로젝트를 활용하여, 검증을 진행하였다. 검증결과 초기 GMP의 평균 오차율은 7.6%, 2차 GMP의 평균 오차율 3.9%로 도출되었으며, 정확도가 비교적 높은 것으로 나타났다.

한편, 본 연구에서 제시하는 CBR기반 확률론적 GMP 산정으로 도출된 예측결과의 범위가 다소 넓게 나타났다.

이를 해결하기 위해서는 보다 많은 사례들을 토대로 본 연구에서 제안한 방법을 적용하면 신뢰성이 향상될 것이다.

요 약

현재 DBB 발주방식에서는 설계단계와 시공단계가 분리되어 있어, 잦은 설계변경이 발생하고 있다. 아울러 공사비 초과, 공기지연 및 품질저하를 야기하는 문제점들을 초래하고 있다. 최근에 발주자의 다양한 요구, 제한적인 예산 및 공기 등의 제약조건에 대응할 수 있는 발주방식인 CM@R 발주방식이 대두되고 있다. CM@R 발주방식에서는 설계단계에서 발주자와 협의하여 GMP를 정하고, GMP 내에서 CM수행자가 책임을 지고 공사를 수행하는 방식이다. 그러나 CM@R 특성상 완성되지 않은 도서를 기준으로 GMP를 산정하기 때문에 불확실성이 내재되어 있다.

본 연구에서는 GMP 산정시 불확실성을 고려하기 위하여, CBR를 이용한 공사비 예측 및 MCS를 적용한 확률론적 초기 GMP 산정방안을 제시하였으며, 초기 GMP 산정 이후 사업진행에 따라 GMP 협의를 수행할 수 있는 프로세스를 제시하였다. 사례연구 및 검증을 통하여 확률론적 초기 GMP 산정방안을 검증하였다. 본 연구에서는 제시된 확률론적 GMP 산정방안을 통하여 GMP의 범위를 설정하고 발주자와 CM수행자가 협의를 통해 리스크를 줄임으로써, CM@R의 성공적인 국내 도입에 일조하고자 하였다.

키워드 : CM at Risk, CBR, GMP 범위 설정, 확률론적 초기 GMP 산정, 상호협의

Acknowledgement

This work was supported by the 2016 sabbatical year research grant of the University of Seoul.

References

1. Ahn YH, Lee SY. Application of the preconstruction services in the CM at risk delivery system, construction engineering and management, 2016 Dec;17(6):27-30.
2. Shin SH, A plan for application of CM at risk to the public construction sector in Korea [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: University of Seoul; 2004, 120 p.
3. Koo SK. Risk factor assessment for guaranteed maximum price contract in CM at risk [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: University of Seoul; 2017, 115 p.
4. Lee KD. A Study on the Analysis of main Barriers for the Activation of CM at Risk in the Domestic Construction Industry [master's thesis]. [Daegu (Korea)]: Kyungpook National University; 2015, 67 p.
5. Jung JH. Cost prediction model based on random forest using CBR for early construction stage [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: University of Seoul; 2017, 114 p.
6. Jin ZX. Stochastic hybrid cost prediction model of construction project in early stage [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: University of Seoul; 2014, 105 p.
7. Koh MH. A feasibility study for introduction of 'CM at risk' in the public construction [master's thesis]. [Suwon (Korea)]: Sungkyunkwan University; 2009, 64 p.
8. Kim WY. The introduction and implications of CM at risk, Construction Engineering and Management, 2016 Jun;17(3):17-21.
9. Dogan SZ, Arditi D, Gunaydin HM. Determining attribute weights in a CBR model for early cost prediction of structural systems, Journal of Construction Engineering and Management, 2006 Oct;132(10):1092-8.
10. Kim YS. MRA revision model based on CBR for cost prediction in early stage [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: University of Seoul; 2010, 92 p.
11. Hyun CT, Lee HS, Lee SH, Ji SM. Framework of construction cost estimating system in public housing, construction engineering and management, 2011 Oct;11(5):33-7.
12. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. Development of innovative construction cost engineering system for public construction projects in Korea. Gwacheon(Korea): Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs; 2011 may, 215 p. Report No.: 1615001603.