

공동주택 프로젝트 비용일정통합 관리를 위한 BIM 기반 BoQ 구축 및 활용 방안

Apartment house project cost schedule for integrated management BIM-based BoQ application plan

정련의¹⁾, 김웅기²⁾, 함남혁³⁾, 김재준⁴⁾

Zheng, Liany¹⁾ · Kim, Woong-Gi²⁾ · Ham, Nam-Hyuk³⁾ · Kim, Jae-Jun⁴⁾

Received March 04, 2021; Received April 01, 2021 / Accepted April 01, 2021

ABSTRACT: Since entering the 21st century, the construction industry has developed faster and faster, and more and more technologies have been applied in the construction industry. BIM technology (Building Information Modeling) was born in this environment. The application of BIM technology can greatly improve the efficiency of cost management and help achieve the goal of cost management. But through BIM to realize project cost management, there is still no good solution. In order to solve this problem, this paper puts forward the concept of WBS structure applied to construction projects by studying the BoQ (Bill of Quantities) list based on BIM, and proposes the numbering method of the structure. The WBS (Work Breakdown Structure) structure proposed in this paper divides more than 5000 cost objects into 133 projects according to the type of work and project schedule. This structure helps to realize the application of BIM in project cost management. Although this article has studied more than 5000 data of three projects, it does not think that it can cover all cost objects in the existing construction industry. The purpose of this article is to propose a solution for cost and Process Control using BIM-based BoQ data.

KEYWORDS: Cost management, Process Control, Building Information Modeling, Bill of Quantities (BoQ), Work Breakdown Structure (WBS)

키워드: 비용 관리, 공정 관리, BIM, BoQ, WBS

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

공동주택 프로젝트의 공정 및 원가 관리는 까다롭다. 하여 BIM 기반의 BoQ를 활용한 체계적인 관리가 필요하다. 프로젝트 원가 관리는 관리 주기가 길고 프로젝트 건설의 모든 단계를 포함하며 모든 업무 과정과 밀접한 관련이 있어 관리하기 어려운 항목중 하나이다. 또한 원가 관리와 관련된 각 프로젝트는 데이터 양이 많아 계산이 매우 복잡하다(Lu, Lai, and Tse, 2018).

건설 프로젝트 조달 과정의 특정 단계에 적용된 관리의 기준

이 되는 가격을 책정하고, 일의 진행 상황에 따라 기성을 지불하고, 설계변경에 수반되는 비용 및 일정을 정량적으로 책정하기 위해 BoQ의 Cost 항목은 정량화된 근거가 필요하다. 정확하고, 품질 좋은 BoQ는 이러한 과정을 단순화하고 투명하게 만든다. BoQ는 완료된 작업에 대한 명확한 근거를 제공할 뿐만 아니라, 예산의 조정 및 정확한 공사비 보고를 위한 신뢰있는 근거를 제공한다. 건설사에게 설계도서의 품질은 비용 손실을 가져다 줄 수 있다는 기존 연구 결과와 같이 추가적인 비용을 투입하여 BIM 기반 설계검증이 필요할 뿐만 아니라(Lee et al., 2014), BIM모델을 활용한 물량 산출은 일부 Cost 항목에만 권장되고 있는 실정

¹⁾ 학생회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정 (zhengkai950311@naver.com)

²⁾ 학생회원, 한양대학교 건축환경공학과 박사과정 (wk9400@naver.com)

³⁾ 정회원, 한양사이버대학교 건축도시건설공학부 조교수 (nhham@hycu.ac.kr) (교신저자)

⁴⁾ 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수 (jjkim@hanyang.ac.kr)

이다. 이러한 환경에서 입찰자들은 수주 리스크가 높고, 비용이 많이 드는 입찰 환경에 놓일 수 밖에 없으며, 기술 경쟁력이 아닌 가격 경쟁을 통해 무리하게 용역을 수주하게 되며, 이는 프로젝트의 품질 저하로 이어지게 된다.

2011년 미국의 Anoop Sattineni 등은 일부 건설 회사의 직원을 대상으로 회사의 BIM 기술 사용에 대한 온라인 설문 조사를 하고 회사 규모에 따라 설문 조사를 분류했다. BIM 기반의 BoQ를 잘 활용하면 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다(Mayouf et al., 2019) :

첫 번째, 원가평가 품질을 향상한다.

두 번째, 프로젝트 관리의 효율성을 높인다.

세 번째, 정확한 수량과 자동화 및 가시화된 시공도면을 제공한다. 또한 효과적인 시간 관리를 확보하여, 인위적인 오류를 방지한다.

네 번째, 토건, 전기, 철골구조, 커튼월 간의 충돌 시험을 통해 프로젝트 후기의 변경과 시공 난이도를 줄임으로써 자재구매 및 조달과 인력 관리가 더욱 합리화 되었다.

BIM 기반의 BoQ가 잘 활용되지 못하는 이유는 다음과 같다(Sattineni and Bradford, 2011), (Sattineni and Macdonald, 2014) :

첫 번째, 설계사에서 받은 BIM 모델은 공정 계량용으로 직접 사용하기가 어렵다. BIM 모델에는 아직 표시되지 않은 콘텐츠가 존재하며, 심사를 통해 누락 내용을 보여주는 2D 도면이 필요하다.

두 번째, 현재 BIM 모델은 원가를 측정하는 시간을 절약할 수 없다.

세 번째, 대부분의 회사는 공사비 산정함에 있어 BIM 기술을 적용하지 않는다.

네 번째, 현재 업계에서 BIM 5D 관련 업무를 담당하고 있는 사람들도 경험이 부족하여 공사 관련 규정에 대해 익숙하지 않아 여러 가지 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 감독 및 지도 역할을 할 수 있는 인력이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 공정 및 원가를 통합하여 관리할 수 있는 BIM 기반의 BoQ 구축 및 활용 방안을 제시하려고 한다.

전통적인 비용 산정 모델은 반복한 작업이 많고 수작업에 의존하며 여러 단계에서 비용을 반복적으로 계산해야 한다. 이러한 작업은 필연적으로 많은 추가 비용을 발생시킨다. 반면 BIM 기반의 BoQ의 산출은 각 단계의 수정 및 계산이 가능하다(Lu, Won and Cheng, 2016). 모델에 입력한 내용이 상세하면 매우 정확한 비용 정보를 얻을 수 있다. 또한, 비용 문제와 반복적인 작업을 줄일 수 있다(Sattineni and Bradford, 2011). BIM 모델의 정보를 사용하여 바로 산출할 수 없는 문제를 개선할 수 있다(최현준, 2019). BIM 기술이 프로젝트 비용에 미치는 영향은 주로 계산량에 반영되며, BIM 기술은 이전 단계의 데이터 불일치 문제를 해

결하여 각 단계의 데이터가 원활하게 연결되어 프로젝트 비용을 정확하게 관리 할 수 있다. 건축요소 기반의 모델링 방법 및 정보는 BIM 기반의 BoQ 산출에 큰 영향을 미친다(Zima, 2017).

BIM 기술을 사용하면 원가 관리의 효율을 크게 높일 수 있어 원가 관리의 발전에 매우 중요하다. BIM 모델을 기반으로 할 경우 수량 목록이 생성되어 지루한 비용 산출 작업에서 벗어나 더 많은 시간과 에너지를 절약하여 가격 조희, 위험 평가, 원가절감과 같은 더 가치 있는 작업을 수행할 수 있다. 그리고 절약 시간을 이용하여 더욱 정확한 예산을 편성할 수 있다. BIM 모델은 재료의 양을 자동으로 계산할 수 있으나 작업 항목에 대한 정보를 제공할 수 없다. 이론적으로 건설 프로젝트 관리에 필요한 정보는 BIM을 통해 자동으로 얻을 수 있지만 실제 BIM에서 얻는 정보는 여전히 매우 제한적이다(Lee et al., 2014). BIM 모델은 프로젝트 구성 요소 정보를 저장하는 데이터베이스를 통해 비용 산정 정보를 제공하여 도면을 기반으로 구성 요소 정보를 수동으로 식별하는 작업량을 크게 줄일 수 있다. 시설을 기획, 설계, 운자, 건설, 운영하는 과정에서 참여자마다 사업 관리를 보는 시각이 다르다. 또한 프로젝트에 대한 이해도 사람마다 다르기 때문에 각 단계의 참가자 간 조화와 소통 부재는 낭비, 과도한 비용, 지연 등의 문제를 일으킬 수 있다. 이상 연구에 따르면 최근 몇 년 동안 BIM을 통한 원가 관리에 대해 많은 연구를 하고 있지만 BIM 관리에 적용할 수 있는 최적의 방법은 아직 찾지 못하였다. 현재 BIM의 모델링 방법과 모델에 포함된 정보에 관한 연구가 미비하다. 선행연구에 따르면 BIM의 적용과 분류 체계(WBS) 개념의 결합은 공정관리에 큰 도움이 된다. 따라서 본 연구에서는 공정 및 원가를 통합 관리할 수 있는 BIM 기반의 BoQ 구축 및 활용 방안을 제시하려고 한다. 또한 BIM 기반 BoQ를 활용하여 원가관리 및 공정관리를 분석하며 효율성을 향상시키고 위험통제에 대하여 연구할 예정이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 사례 중 D사의 3개의 프로젝트는 총 28개의 시설로 구성되어 있고 프로젝트의 BoQ는 공종별로 총 16개의 공종으로 구분된다. 16개의 공종에 포함된 항목 코드는 총 5025개로 구성되어 있다. 'Uniformatii'와 'MasterFromat'의 두 가지 WBS 표준 시스템을 참고하여 통합 분류법을 제안하여 제품 부재를 대상으로 분해를 진행하며, BIM 기반의 BoQ 구성요소를 도출하여 원가 산정과 프로젝트 관리를 충족하는 WBS 구축을 충분히 참고할 수 있다. 본 연구에서는 먼저 BIM 기반 BoQ의 공종별 분석을 통해 모델링이 공정 계량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과를 토대로 BIM 기반의 BoQ 리스트를 검토함으로써 직종별로 리스트에 중복되어 동일한 정보 혹은 동일한 알고리즘을 사용하는 Cost 프로젝트를 통합된 항목으로 정의한다. 이를 기반으로

WBS 분류 체계를 작성한다. 공정량 리스트의 방대한 코스트를 적은 수의 프로젝트 번호로 정의함으로써 프로젝트의 공정, 원가, 시공 순서, 작업 종류 등에 대해 관리할 수 있다. 따라서 본 연구는 주로 공동주택 프로젝트 비용일정통합 관리를 위한 BIM 기반 BoQ 구축 및 활용 방법에 대해 연구하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 비용일정통합관리의 한계

WBS (Work Breakdown Structure)는 특정 원칙에 따라 프로젝트의 내용을 단일 콘텐츠와 관리하기 쉬운 작업으로 분할하여 상호 연관되어 있으나 독립적인 모듈을 형성하고 각 계층 간의 관계에 따라 프로젝트의 콘텐츠를 분해하는 것이다. WBS는 복잡한 프로젝트 중에 프로젝트 관리를 위해 개발된 구축 방식이다. 구조는 재료, 시간, 비용, 인간관계를 고려한다. WBS는 건설 프로젝트를 효과적으로 계획하고 제어하는 도구 역할을 한다. WBS는 전체 프로젝트의 작업 범위를 정의하는 계층적 트리 구조로 표시되는 결과물 프로젝트 제품 그룹으로 구성된다. 프로젝트 관리의 요구에 따라 다양한 계층의 분해가 수행되며, 분해 수준의 깊이에 따라 정의된 프로젝트 제품은 프로젝트 제품의 시간, 비용, 품질 계획 및 프로젝트 관리를 충족할 때까지 더욱 상세하고 구체적이 된다. 전체 WBS 코딩을 통해 프로젝트 관리의 다양한 요구 사항을 충족할 수 있다. WBS는 또한 프로젝트를 더 간단한 구성 요소로 나눌 수 있기 때문에 복잡한 프로젝트를 관리하는 데 사용되는 주요 방법 중 하나이다. WBS의 목적은 프로젝트 필요한 시간, 비용, 자원을 조정하고 각 단계에서 생산과잉이나 생산력이 부족한 상황 없이 최적의 방식으로 생산 예상치를 달성하는 것이다(Meredith and Mantel, 2012). WBS를 사용하면 사람들이 범위 내에 있는 것과 범위 밖에 있는 것을 쉽게 이해할 수 있다.

일반적으로 상용하는 WBS 형식은 두 가지로 표 형식과 도형 형식이 있다. 첫 번째 형식에서는 WBS가 프로젝트 작업 요소를 모두 반영할 수 있도록 표로 표시한다. 두 번째 형식에서는 WBS가 트리 구조로 제작되어 프로젝트 구조의 분해를 더욱 선명하게 할 수 있다. 보통 각 항목의 1등급은 항목의 대표 이름으로 하고, 그 항목의 완성에 필요한 모든 가치를 추가한다. 나무 모양은 나무 구조를 말하는데, WBS 그래프가 가장 유행하는 형식은 프로젝트의 여러 단계를 이해할 수 있는 방식으로 보여주기 때문이다(Zecheru and Olaru, 2016). WBS는 지속적인 개선을 허용한다. 각각의 WBS 요소에 대해 부호화 방안을 채택하여, 어떤 형식으로든 WBS를 살펴볼 때, WBS의 계층적 성질을 분명히 식별할 수 있다(Siami-Irdemoosa et al., 2015). 프로젝트에서 WBS 제

작은 막대한 데이터와 이론적 지식을 필요로 한다. WBS 분석에 사용되는 항목이 많을수록 데이터가 광범위하고 데이터 품질이 높을수록 전체 WBS의 품질이 향상된다(Brotherton, Fried, and Norman, 2008). 프로젝트에서 WBS를 적용하면 전체 프로젝트와 자원배분을 정확하게 구성할 수 있다. 인위적인 결정 오류로 인한 프로젝트 손실을 피할 수 있다. 그러나 저자는 WBS가 프로젝트의 전체적인 변동성을 제한한다고 지적했다. 또한, WBS가 논리적 구성에 집중하니까 프로젝트의 최종 결과가 변경되면 프로젝트 팀이 각 아키텍처 부서와 협력하여 변경해야한다고 지적했다(Devi and Reddy, 2012). 연구에 따르면 WBS는 상세한 작업 방법, 활동 및 자원 흐름을 제공하며 프로젝트의 구현 및 감독에 더 도움이 된다고 지적했다. 그러나 프로젝트에서 WBS의 수정 프로세스는 더 복잡하다(Supriadi, Wisusatama, and Latief, 2018).

CBS는 프로젝트 그룹의 비용 관리를 위한 예산 또는 원가 회계 시스템에 따라 기업의 요구에 따라 구축된 비용 시스템이다. 원가분류체계(CBS)는 하청 업체가 수행한 모든 작업 또는 서비스를 포함하여 작업분류체계(WBS)의 각 구성 요소에 대한 비용을 분석하는 것이다(Liu et al., 2014). WBS는 프로젝트 프로세스의 분해를 통해 프로젝트 관리를 한다. 각 작업의 비용은 WBS 계층에 따라 요약하여 얻을 수 있지만, 이러한 집계는 기업의 원가 계산에 대한 요구를 충족하지 못한다. CBS의 설립은 기업이 프로젝트 그룹의 각 프로젝트 비용을 더 잘 통제할 수 있도록 돕기 위한 것이다. Kang et al.은 원가 분류 체계를 기반으로 아파트 건설비 추정을 연구했다. 연구는 주로 건설 비용 분류 시스템과 수명주기 비용 분석 구조에 중점을 두었다. 개발 연구는 주로 건설 비용 절감, 건설 기간 단축 및 시스템 구축에 중점을 두었다. 연구는 전통적인 디자인 모드와 비용 예산 모드를 기반으로 하여 프로젝트 관리가 어렵다.

WBS가 BIM으로 구축되기 어려운 이유는 다음과 같다.

첫 번째, 데이터의 양이 많다. BIM 모델에는 건설 프로젝트의 전 라이프 사이클에 대한 모든 정보가 포함되어 있어 모델 데이터의 양이 방대한 반면, BIM 모델 데이터 형식은 기존의 CAD 및 텍스트 파일과 달리 플랫폼 간 자료 교환 기준이 완전히 통일되지 않아 파일 관리의 문제가 있다(Malacarne et al., 2018).

두 번째, 전통적인 공정 코딩 체계는 크게 두 가지 있으며, 하나는 Masterformat체계다. 이것은 설비제품이 아닌 프로젝트 수행결과에 따라 분류되어 프로젝트 초기 대상 코딩문제를 처리할 수 없어 BIM 코딩에 적합하지 않다. 또 하나는 Unifomat 체계다. 이러한 분류 체계는 프로젝트 요소별로 프로젝트 초기 BIM 코딩만 해결할 수 있으며, 후기의 복잡한 모델 데이터 코딩은 어렵다.

세 번째, 분해에 대한 대응은 어렵다. 한 가지 재료, 인공, 기계 심지어 한 항목의 돈을 흔히 여러 원가 항목에 쓰기도 하는

데, 프로그램 분해는 전공에 대한 요구가 높다(Malacarne et al., 2018).

CBS가 BIM으로 구축되기 어려운 이유:

첫 번째, 프로젝트에 사용 된 비용과 공사의 진도에 대한 공유하는 데이터, 예를 들어 원가를 계산할 때, 근원과 양을 계산한다. 실제로 그들은 일반적으로 두 개의 독립적인 상태를 유지하므로 비용과 일정을 동기화하기가 어렵다.

두 번째, BIM이 cost 데이터를 모두 산출하지 못해 사업 최종 공사비가 예산과 맞지 않는다(Fan et al., 2015).

세 번째, BIM은 통상적으로 원가 추계와 같은 시공 관리의 특정 측면만 측정한다. 대부분의 원가 추정은 사업 전 과정이 아닌 재료 요소 수준으로 제한된다.

네 번째, 원가 추정의 정확성은 후속 프로젝트 분석 및 의사 결정에 직접적인 영향을 미친다.

다섯 번째, 적절한 비용 데이터를 찾기 위해 많은 인력이 필요하다(Liu et al., 2014).

현재 미국 WBS 표준 시스템에는 UniformatIII와 Masterformat의 두 가지가 있다(Lu et al., 2017).

UniformatIII의 분류 방법은 건설 엔지니어링 시스템의 구성 요소를 분할하는 것으로, 엔지니어링 요소의 물리적 구성을 재현하고 그에 따라 정보와 데이터를 구성하는 경향이 있다. UniformatIII은 프로젝트 설계 단계에서 더 많이 사용된다.

Masterformat의 분류 방법은 공종/재료 분류를 사용하는 것이며, 이는 노동 조직의 건설 엔지니어링 부서의 구현에 더 가깝다. 이런 방법은 시공 단계의 시공 과정의 순서에 더 부합한다. MasterFormat은 시공에 중점을 두고 시공 방법과 재료를 직접 설명하고 시공 비용 데이터를 연결할 수 있다. 본 연구의 목적은 BIM 기반 BoQ 데이터를 사용하여 건설 프로젝트의 비용과 프로세스를 관리하는 것이다.

2.2 Bill of Quantities

Bill of Quantities (BoQ)는 비용 컨설턴트가 준비한 문서로 입찰 문서의 도면 및 사양에 따라 결정된 프로젝트의 특정 측정 수량을 제공 한다 (Designing Buildings Ltd., 2020). BoQ는 일반적으로 항목설명과 목록 테이블로 구성되며 위치, 수량, 단가, 결합 가격 등에 따라 계약에 명시된 모든 엔지니어링 항목 및 내용을 보여 주며 입찰 및 낙찰에 사용되며, BoQ는 청부계약의 중요한 구성부분이다. 입찰 요구 사항 및 시공 설계 도면에 따라 제안된 입찰 프로젝트의 모든 항목 및 내용에 대한 통합 엔지니어링 수량 계산 규칙 및 하위 항목 요구 사항에 따라 실 물량을 계산하여 입찰 문서로 목록에 나열한다. BoQ는 완료된 작업에 대한 명확한 근거를 제공할 뿐만 아니라, 예산의 조정 및 정확한 공사비 보고를 위한 신뢰 있는 근거를 제공한다. BoQ는 새로운 연구

주제가 아니며 정보 기술의 발달로 다양한 엔지니어링 비용 추정 소프트웨어가 개발되었다. 그러나 대부분의 회사는 엔지니어링 비용 작업에 여전히 전통적인 작업 모델을 사용한다. 전통적인 건축 프로젝트 설정에서 공정량 리스트(BoQ)는 상세한 도면과 규범에 따라 작성됐다(Nadeem et al., 2015). 기존의 BoQ 모드에서는 정량 및 비용 추정 문서를 컴파일하는 프로세스가 여전히 수동 컴파일 중이며 많은 경우에 많은 오류가 발생했다. BoQ의 정확도를 높이기 위해서 안지원(2017)는 BIM기반 BoQ 내역서 개선방안을 연구하였다. 이 연구 적용가능한 항목은에 전체 항목 중 약 40%를 차지하면서 개선 방법을 제시했다.

2.3 BIM

BIM은 디지털 기술을 사용하여 실제 상황과 일치하는 완전한 건설 엔지니어링 정보 데이터베이스를 제공하는 가상 3차원 건설 엔지니어링 모델을 구축하는 것이다. BIM 기술을 통해 하나 또는 여러 개의 정확한 건물 가상 모델을 디지털로 구성 할 수 있다. 설계의 모든 단계를 지원하고 수동 프로세스보다 더 나은 분석 및 제어를 허용하여 완료되면 이러한 컴퓨터 모델에는 건물 실현, 운영 및 유지 관리를 통해 건설, 제조 및 조달 활동을 지원하는 정확한 기하학적 모양과 데이터가 포함된다. BIM은 설계에 대한 데이터 및 정보 지원을 제공하여 현장 시공을 계획하고 진행 상황을 시각화하며 실시간 감독 및 시공 제어를 구현할 수 있다(Ezcan, Isikdag, and Goulding, 2013). BIM은 건설 프로젝트에 필요한 정보를 생성 할 수 있으므로 BIM은 설계오류 검토, 간섭 검토, 물량 산출, 시각화, 공정 검토 등 다양한 업무에 활용할 수 있다(Koh et al, 2017). BoQ 측량 자의 관점에서 볼 때 BIM의 자동화 된 측정 기능은 기존의 측정 프로세스를 크게 가속화하는 주요 이점이다(Wu et al., 2014).

BIM을 사용하면 프로젝트 정보를 통합하고 가시화할 수 있다. 분석을 위해 다양한 부서의 실시간 프로젝트 데이터와 피드백이 BIM 데이터베이스에 지속적으로 추가되어 프로젝트 데이터 간의 숨겨진 관계를 분석하고 프로젝트의 모든 단계에서 커뮤니케이션 및 정보 교환에 도움이 된다(Marzouk and Enaba, 2019). 건물 정보 모델을 사용하여 건물 성능을 분석하면 데이터 분석 프로세스의 정확성과 효율성을 높일 수 있다 (Moon et al., 2011).

Kim et al. (2015)은 IFC 모델링 객체에서 물량 속성을 추출하여 엔지니어링 비용에 사용하는 방법을 제안했다. BIM 모델로부터 직접 물량을 산출할 수 있는 공종으로 철근콘크리트공사, 철골공사, 조적공사, 창호공사, 유리공사를 도출하였으며, 모델링이 없더라도 1차 산출된 물량을 근거로 간접적으로 산출할 수 있는 공종으로 미장공사, 방수공사, 타일공사, 석공사, 도장공사, 수장공사를 도출하였다.

Plebankiewicz et al., (2015)은 BIM을 적용하는데 필요한 속

성을 분석하고 이를 BIM 기반의 원가 추정에 적용하기 위한 새로운 BIM 기반의 원가 추계 시스템을 제시한다. 이 연구에서는 출력수량, 별도의 BIM 측정 도구, 원가 추계 시스템을 이용한 원가 추계와 같은 폴란드의 BIM 기반 원가 추계 응용프로그램의 방법을 보여주고 있다. 이 연구에서는 BIM 모델의 특성을 활용하여 모델 정보를 활용하여 원가 추계 과정을 간소화하였다. 하지만 정확한 계산을 위해서는 여전히 많은 인력이 필요하다. 또 이 시스템으로는 공정관리가 어렵다.

Sulankivi et al., (2009)은 BIM 기반의 코스 배치와 안전 계획안을 검토했다. BIM 가시화 특성을 이용하여 정보를 관리, 연결, 사용한다. BIM 기반의 그라운드 배치, 울타리, 임시 도로, 보도, 난간, 보호 덮개, 안전 닻점, 비계, 템플릿 작업의 계획 등의 작업으로 공정 안전 관리가 가능하다. 하지만 이 방안은 더욱 세분화될 가능성이 있다. BIM기반 공정관리를 향상시키기 위해서는 공정의 각각의 단계마다 더욱 정밀하고 항목의 각각의 프로세스를 명확히 해야 보다 나은 사업계획과 관리가 가능해진다.

4D BIM 구현이 어려운 이유는 다음과 같다.

첫 번째, 모델을 계획 할 때 상세한 정보가 없다. 모델은 보통 틀이나 지문과 같은 힘을 포함하지 않는다.

두 번째, 일부 정적 및 동적 폐색은 가시성을 감소시키고 구성 데이터가 불완전해진다.

세 번째, 현재의 4D 접근 방식은 비용이 여전히 많이 들고 오류가 발생하기 쉽다(Han and Golparvar-Fard, 2015).

네 번째, 4D 기술의 복잡성이나 효용성에 대한 인식이 부족해 사업자들이 4D 기술을 포기하고 전통적인 건조방법을 계속 사용할 수도 있다.(Gledson, Greenwood, and Management, 2017).

다섯 번째, 설계자는 더 많은 시간을 투입하며 4D BIM 기술을 설계에 안전하게 적용 할 수 있는지 확인하기 때문에 설계가 자유롭고 프로세스가 크게 방해받을 수 있다(Jin et al., 2019).

5D BIM 구현이 어려운 이유는 다음과 같다.

첫 번째, 건설산업에서 5D BIM 구현에는 문제가 있다: 소프트웨어의 호환성이 부족하다.

두 번째, 건물 정보 모델에 코딩 항목에 대한 통일된 업종 기준은 없다.

세 번째, BIM 소프트웨어 코딩을 위한 전자 표준 부족하다(Stanley and Thurnell, 2014).

네 번째, 경험이 풍부한 건축 전문 인력이 필요하기 때문에 회사는 프로젝트에서 비교적 높은 인건비를 지불해야 한다.

다섯 번째, 부문별 데이터 통합 시 프로젝트 관리가 어렵다(Mayouf et al., 2019).

여섯 번째, 5D BIM은 시공현장만을 반영할 수 있으며, 프로젝트의 설비, 자재, 인건비와 같은 실제 현금유출은 반영하지 못한다(Lu and Cheng, 2016).

일곱 번째, 추산이 정확하지 않으면, 원가초과와 프로젝트의 지연을 초래할 수 있다.

여덟 번째, 건설 일정 및 예상 완료 일정을 작성해야 한다.

BIM에 기초하여 프로젝트의 원가추계와 프로젝트 관리를 어떻게 실현할 것인가가 본 연구의 중점이 될 것이다(Lee et al., 2016). 따라서 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하고자 비용 일정통합관리가 가능한 BIM 기반 BoQ 구축 및 활용 방안에 대한 사례연구를 진행하고자 한다.

2.4 BIM 기반 BoQ

BIM 모델의 세부 수준 (LOD)은 프로젝트의 특성과 BIM 모델 생성 목적에 따라 달라질 수 있다. 건설 단계에서는 BoQ 실무자의 BIM 관련 전문 지식이 부족하여 BoQ를 계산하고 사용할 때 BIM 모델에 새로운 속성을 추가하거나 필요한 데이터를 추출할 때 어려움이 있을 수 있다.

많은 경우 Cost 항목의 오류, 누락 및 중복이 관찰된다고 한다. Halpin(2006)은 BoQ 계산과정에서 가장 흔한 5가지 오류는 다음과 같다. 첫 번째, 덧셈/뺄셈 및 곱셈의 산술 오류. 두 번째, 그림, 치수 또는 수량의 복사 또는 전송 오류. 세 번째, 작업을 수행하는데 필요한 항목(예, 시방서)을 간과하여 발생하는 오류. 네 번째, 축척된 설계도면의 활용으로 인한 정보 부족. 다섯 번째, 비현실적인 낭비 및 손실 요인을 밝혔다.

BIM은 정확한 물량 데이터를 추출할 수 있는 환경을 제공해 준다(Staub-French et al., 2003). 하지만 BIM에 대한 전문 지식이 없는 실무자가 BIM 모델로부터 업무에 필요한 물량 데이터를 산출하는 것은 매우 복잡한 업무일 수 있다(Howard and Björk, 2008). 또한 실제 건설 프로젝트에서는 다양한 유형의 비정형 물량 데이터도 존재한다. 따라서 공사비 추정을 위해서는 BIM 모델에서 물리적으로 산출될 수 있는 Cost 항목과 정량적으로 산출된 Cost 항목의 물량 데이터를 통해 추정할 수 있는 Cost 항목들을 사전에 정의해야 한다.

Lee(2019)는 철근콘크리트 골조의 철근물량 산출 업무를 대상으로 Revit으로 생성된 BIM 모델을 효과적으로 활용해 철근물량을 신속하고 효율적으로 산정하는 방안을 제시하였다. 하지만 재료비 외에 BoQ를 구성하는 노무비, 경비에 대한 물량 산출에 대한 방식은 제공하지 못하고 있다. Jo and Yun(2019)은 최근 3년간 발주된 일반청사, 학교, 공동주택 10개 사례를 바탕으로 콘크리트량 대비 철근량 비율을 도출하여 간단하고, 효율적인 철근수량 산출의 가능성을 제시하고 있다. 하지만 개선건적에 초점을 맞추고 있으며, 실시설계 및 시공단계의 실행을 위한 BoQ를 산출하는 방식으로는 적절하지 않다. An and Yun(2017)은 3개의 교육시설에 대한 BoQ를 5가지로 분류하였다. BIM 데이터를 추출하여 바로 사용할 수 있는 항목, BIM 데이터를 추출하여 1번의 가공 후 사용

할 수 있는 항목, 2번 이상의 가공 후 사용할 수 있는 항목, 엔지니어링 분석이 필요한 항목, BIM 데이터로 산출할 수 없는 항목으로 내역서를 분류하였다. Choi and Yun(2019)는 BIM 모델 표현 수준(LOD)에 따라 산출될 수 있는 현행 내역항목을 도출함으로써 현행 내역서의 개선방향을 BIM 모델의 LOD 측면에서 분석하였다. Kim et al.(2015)는 IFC 모델링 객체로부터 물량 속성을 추출하여 견적에 활용하기 위한 방안을 강구하였다. BIM 모델로부터 직접 물량을 산출할 수 있는 공종으로 철근콘크리트공사, 철골공사, 조적공사, 창호공사, 유리공사를 도출하였으며, 모델링이 없더라도 1차 산출된 물량을 근거로 간접적으로 산출할 수 있는 공종으로 미장공사, 방수공사, 타일공사, 석공사, 도장공사, 수장공사를 도출하였다. Lee et al.(2017)은 공동주택 1개동의 지상층을 대상으로 공종별 BIM 모델 및 내역 데이터 구축, 구축된 BIM 데이터 연계 그리고 BIM 기반 견적 산출에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 산출된 데이터를 바탕으로 BIM 모델 데이터 구축 비용 및 비용 점유 비율을 분석하였다. Cho et al.(2015)은 부위별 유형 조합 데이터베이스를 이용한 개선 견적 방안을 도출하고, 프로토타입 시스템을 개발하였다. Kim et al.(2012)은 BIM 기반 견적 모델 데이터 생성시 모델링 방법에 따라 발생할 수 있는 물량 오차를 분석하고, 견적 업무 지원을 위한 모델링 방식을 제시하였다.

BIM 기반 비용일정통합관리에 관련된 선행 연구는 다음과 같다. Jung et al.(2019)은 BIM 전환설계와 시공단계에서 구축된 Autodesk 플랫폼의 BIM 모델을 활용하여 공정정보를 자동으로 입력 및 추출할 수 있는 방안을 모색함으로써 각 단계에서 같은 플랫폼을 활용하여 4D, 5D 설계 지원하기 위해 정확하게 신속하게 연동할 수 있는 방안을 제시하였다. Kim and Shin(2018)은 강구조물에 대한 시공 BIM 모델과 BIM 협업을 통한 공정 BIM 모델을 구축한 프로토타입을 구축하였다. 하지만 전체 공종이 아닌 강구조만을 대상으로 하였으며, 실제 사례가 아닌 한계가 있다. Oh et al.(2016)은 설계단계에서 생성된 BIM 모델을 활용하여 시공단계에서 공정관리를 쉽고 편리하게 사용할 수 있는 시공 BIM템플릿 개발을 제안하고 활용방안을 제시하였다. 하지만 설계단계에서 생성된 BIM 모델의 품질 수준 및 상세 수준에 대한 논의가 빠져있는 한계가 있다.

AIA (American Institute of Architects)는 6가지 개발 등급을 정의했다. 입력 모델의 정보와 모델링의 정확성은 건설 프로젝트 원가 계산에 상당한 영향을 끼친다(Zima, 2017). LOD 200 - Approximate geometry. 이 등급은 초기 설계와 같은 것으로 단계의 모델에는 건물 모델의 대략적인 수량, 크기, 모양, 위치, 방향 등의 정보를 담고 있다. LOD 300 - Precise geometry. 이 등급은 전통 시공도와 심화 시공도의 차원과 같다. 사업자가 BIM 제출기준에서 정한 부품의 속성과 파라미터 등을 포함하여 모델은 이미 비용 산정 및 시공 조정 (총괄 확인, 시공 일정 계획 및 시각화 포함)에

사용할 수 있다. LOD 400 - Fabrication. 이 단계의 모델은 전문 도급업자와 제조업체가 프로젝트 부품을 가공하고 제조하는 경우 모형 유닛으로 사용할 수 있다. LOD 500 - As-built. 이 단계의 모형은 프로젝트가 완료된 상황을 보여준다. 모델에는 사업주 BIM 제출 설명서에 작성된 완전한 구성요소 파라미터와 속성이 포함될 것이다(Grytting et al., 2017).

BIM 모델의 세부 수준(LOD)은 건설 프로젝트에 관련된 특정 책임자 간의 합의를 반영해야 한다. BIM 모델의 LOD가 높을수록 계산된 BoQ의 정확도가 높아질 수 있다. BoQ를 추출하기 위해서는 모델링 시 LOD 레벨을 300 또는 400까지 높여야 한다. 그러나 LOD가 높을수록 BIM 모델이 더 복잡해지고 모델링에 더 많은 시간을 소비한다. BIM 모델은 복잡해지고 필요한 데이터 외에도 모델에 많은 중복 정보가 포함될 수 있으며 비용 관리자는 필요한 데이터를 추출하는 데 더 많은 시간을 소비해야 한다.

BoQ를 구성하는 Cost 항목들은 Table 1과 같이 4가지 방식으로 추출될 수 있다. 첫 번째 방식은 설계도서에서 직접 계산하여 산출 후 입력하는 방식으로 BIM 모델로 구축되지 않는 요소들이 포함된다. 두 번째 방식은 BIM 모델에서 직접 산출하는 방식으로 BIM 모델의 구축 범위, 모델링 방식, LOD 등이 고려되어야 한다. 세 번째 방식은 BIM 모델에서 산출된 데이터를 근거로 별도의 계산식을 적용하여 산출하는 방식으로 BIM 모델이라는 데이터베이스를 근거로 두 번째 방식과 긴밀한 연계가 필요하다. 네 번째 방식은 위의 세 가지 방식으로 산출된 물량을 조합하여 산출하는 방식이다. 종합하면, 두 번째 방식에서 산출된 정량적인 물량 데이터가 BIM 모델에서 직접 산출되지 않는 BoQ의 Cost 항목에 대한 정확한 물량을 산출하는 근거가 되는 것이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 부분에 초점을 맞춰 사례 프로젝트의 BoQ를 분석하고자 한다.

Table 1. Extraction method of BoQ

Type	Explanation
0	Output after calculation in the design calculation
1	Calculated directly from the BIM model
2	Calculated by applying a separate calculation formula to the information in 1
3	Calculated by combining the quantity calculated in 0, 1, and 2

3. WBS를 고려한 BIM 기반 BoQ 구축

3.1 BIM 기반 BoQ 구축 개요

3.1.1 Data structure

과거의 연구를 분석해 보면 단순히 BIM을 하나의 건설 프로젝

트에 적용해 프로젝트 관리나 원가 추계를 하는 것이 쉽지 않다는 것을 알 수 있다. 시간 비용, 비용 및 프로젝트 관리의 실현 가능성을 고려해야 한다. 하지만 BIM을 기반으로 BoQ를 구성하면 데이터 재활용에 따른 생산성 향상이 가능하다. BoQ의 정확성을 높이고 본사-현장의 투명성을 강화하는 등 다양한 효과를 거두고 있다. 과거 BIM 관련 연구에서는 BIM 모델을 구축해 관련 BoQ를 산출하는 연구가 많이 나왔지만, 실무적으로는 다른 확장된 연구를 찾기가 쉽지 않았다. 건설 프로젝트에 필요한 BIM 모델의 범위가 넓기 때문이다. 지상, 지하 부는 공용부서, 지하주차장 등과 복잡하게 연결되어 있다. 또한, 건축·구조, 설비, 토목 등 대규모로 BIM 모델을 구축하고 공사계획에 따라 가설공사, 철근·콘크리트 공사, 석공사 등 모든 공정에 BIM을 적용하여 단일 사업을 대상으로 시범사업을 진행하는 것은 적합하지 않다. 따라서 BIM 기반 BoQ에서 산출되는 BIM 모델의 Data 구조는 해당 건설 프로젝트의 특성에 따라 설정되어야 한다.

3.1.2 Modeling method

로드를 높이기 위해서는 1:1 인적자원 중심의 BoQ 모든 코스트 프로젝트를 모델링하는 기존 방식과 달리 모델링 작업에 소요되는 시간과 비용이 높아져야 하고, BoQ를 정량적으로 추출할 수 있는 코스트 프로젝트를 최적화하는 모델링 방식이 필요하다. 상세한 Cost 항목을 일일이 모델링하는 것이 아니라, BoQ 프로젝트를 구성하는 상관관계를 고려하여 정량적으로 추출한 물량과 산식에 따라 상세 Cost 프로젝트의 물량을 추출한다. 따라서 평가 전문가의 공정기술 지식이 필요하다.

3.2 제안된 WBS 위계에 대한 상세 설명

현재 미국 WBS 표준 시스템에는 UniformatII와 Masterformat 두 가지가 있다. 본 연구는 Masterformat과 어느 정도 유사하다. 주로 공사비 분석과 통제에 사용되며, 구조물이나 공사내용을 대상으로 하며, 시공 시의 구체적인 실제사업뿐만 아니라 많은 조치항목도 포함되지만, 프로젝트의 전 생애 기간의 건설대상은 제외된다. 종합적인 고려 후 본문에서는 통합 분류법을 선택하여 제품 부재를 대상으로 분해를 진행하며, BIM 기반의 BoQ 구조를 만들고 원가 추계와 프로젝트 관리를 충족하는 WBS 구축을 충분히 참고할 수 있다.

1단계는 WBS의 공통 방법에 따라 항목별로 분류된다. 공정관리의 편의를 위하여 구조공정관리 2단계 구조는 UniformatII 분류 방법을 참고하여 공간 순으로 건축물의 물리적 조립품을 분류하고, 완전한 공정항목을 대상으로 공정관리에 사용하고 있다. 3단계와 4단계 구조는 Masterformat의 분류 방법을 참고하여 공사 위치 및 공종별로 2단계 구조의 세분화로 진행되고, 구획 정도와 초기 설계단계의 설계 깊이와 BIM 모델의 정밀도를 상응하여 주

로 공사 예산에 사용된다. 5단계 구조는 4단계 구조에 BIM 기반의 BoQ를 결합한 것으로 Masterformat 분류방법을 참고하여 자재별로 재세분화하여 시공도 설계단계의 설계 깊이를 충족하며, 프로젝트 공정량 명세서의 작성에도 사용할 수 있으며, 원가관리 및 프로젝트 계획에도 활용할 수 있다.

3.3 공종별 BoQ 데이터 산출 방식 분석

3.3.1 가설공사

비계 등 가설 공사의 BIM 소프트웨어 모델링 작업 자체가 쉽지 않은 데다 각종 계산 규칙이 제약조건으로 있어 BIM 모델을 이용한 계산 작업이 매우 복잡합니다. 초기 현장 준비 작업 등 각종 잡비는 설계도서에서만 계산할 수 있다. BIM을 통해 노무비를 직접 계산할 수 없지만 BIM이 출력한 데이터를 기반으로 특정 계산 규칙에 따라 계산할 수 있다.

3.3.2 철근콘크리트공사

철근 공정은 BIM 소프트웨어를 사용해 정밀하게 모델링할 수도 있고 철근 공정량을 비교적 정확하게 집계할 수도 있지만 많은 공정을 들여 세부적으로 조정 처리해야 한다. 직접 BIM 소프트웨어를 사용하여 공정을 철근 모델링할 수도 있고, 프로젝트의 주체 구조 모델링이 완료된 후 BIM 모델을 전문적인 소프트웨어로 가져와 철근의 계산을 할 수도 있다. BIM을 사용한 철근공사 모델링 시 BIM 소프트웨어의 철근공사 공정량은 부피별로 출력되며, 리스트업 시스템의 계량단위는 TON이라는 점에 유의한다. 위치에 따라 철근은 연결부에 따라 구부림 처리 방식이 달라지기 때문에 BIM 소프트웨어로 철근을 모델링할 때는 철근에 대해 도면, 규범, 표준문서에 따라 정밀하게 처리해야 한다.

대부분의 콘크리트 공사 프로젝트는 직접 BIM 소프트웨어를 사용하여 모델링할 수 있다. 단열재(단열재 닥터울림)는 소프트웨어 내 템플릿을 사용하여 모델링할 수 있다. 콘크리트 벽체의 면적 산정이 쉬워 기존 콘크리트 계단을 처리할 때 계단 간 수평 투영면을 이용해 단순화할 수 있고, 투영 면적은 계단 간방의 면적을 통해 산출할 수 있다. 콘크리트 면적의 경우 내외벽 면적과 계단 사이 수평 면적을 통해 산출할 수 있다.

3.3.3 철골공사

철골 구조를 설계할 때 강철의 강도, 강판 등급, 연결 재료 유형, 용접 방법 및 시공 요구 사항을 표시해야 한다. 철골 구조 엔지니어링에서 구조 부재, 노드 연결, 보 및 기둥과 같은 정보는 BIM 소프트웨어로 모델링되며 BIM 소프트웨어는 자재 리스트, 인력 및 건설 기계 레이아웃과 같은 정보를 자동으로 생성할 수 있다.

3.3.4 조적공사

조적공사의 대부분의 하위 프로젝트 (예 : 보, 벽, 기둥, 계단, 기초)는 BIM 소프트웨어의 조작 패널에서 해당 모델 구성 요소를 찾을 수 있다. 단열재 설치에 대한 인건비는 BIM 소프트웨어를 통해 직접 계산할 수 없으므로 설계 도서를 확인해야 한다. BIM 소프트웨어를 통해 시멘트 벽돌, 적 벽돌, 블록의 해당 모델을 할 때 벽은 엔지니어링 수량 계산 규칙에 따라 엄격하게 설정되어야 한다. 외벽 높이 설정 내벽과 외벽에 지붕 트러스가 있는지 여부에 유의해야 한다. 지붕 트러스가 있는 경우 외벽과 지붕 트러스의 연결로 인해 외벽의 출력 면적이 잘못될 수 있다. 단열재 및 인방 설치는 BIM 소프트웨어에서 모델 구성 요소를 찾을 수 있으며 모델링 후 정보를 직접 출력할 수도 있다.

3.3.5 미장공사

BoQ를 추출하기 위해 벽 및 기둥 미장공사의 처리 방법은 BIM 소프트웨어의 벽 구성 요소를 사용하여 모델링 할 수 있다. 벽 미장을 처리할 때 엔지니어링 계산 규칙에 따라 미장층 모델은 연결된 구성 요소에 연결 명령을 사용할 필요가 없다. 벽, 기둥 및 보의 미장 표면 모델의 유형 속성과 연결된 벽의 미장층 모델은 동일한 계산 규칙을 채택한다. 외벽의 미장 표면 모델은 외벽의 면적을 계산하여 직접 계산해 산출한다. 실내에 천장이 있는 경우 미장층의 모형을 천장 밑바닥까지 그려야 한다. 나머지 세부사항은 설계 요구에 따라 계산하거나 현장에서 실제 모델링 한다.

3.3.6 가구공사

BIM 소프트웨어에는 강력한 구성 요소 라이브러리가 있으며 다양한 구성 요소, 가구 및 주방 장비가 라이브러리에 저장되어 언제든지 호출 할 수 있다. 모델이 구축되면 인테리어 디자인 표현에 필요한 다양한 도면을 자동으로 생성할 수 있으며, 렌더링과 시공 도면을 동시에 완성 할 수 있다. BIM 시스템은 일반적으로 사용되는 가구, 램프, 문 및 창문의 일부 구성 요소와 함께 제공되지만, 내부 구성 요소의 다양성으로 인해 가구를 모델링 할 때 BIM 소프트웨어와 함께 제공되는 구성 요소를 직접 추출하고 다른 가구는 계산 또는 실제 조건을 기반으로 해야 한다.

3.3.7 방수공사

방수 작업의 경우, 벽과 판을 세로로, 가로로 그리는 방법으로 모형을 구축할 수 있다. 우레탄방수와 노출레탄방수는 설계 요구 사항에 따라 또는 현장에서 실제 모형을 제작할 수 있다. 보호물 탈에 대하여 정확한 모형을 세울 수 있다. 방수보호판, PE필름모형은 수평 투영면에 따라 모형을 만들고, 굽은 부분은 벽 그리기 작업으로 굽은 곳은 직각으로 간소화할 수 있다. 지붕 배수관에

대해서는 직접 모델링을 하고 공정량을 수출할 수 있다.

3.3.8 타일공사

벽타일/욕실, 닥터타일/욕실, 닥터타일/발코니, 닥터타일/현관 창고와 테라조타일에 대해서는 해당 모형 제작 시 공정량 산정 규칙에 의거 벽체 내용 설치. 공정량은 벽면적을 계산하여 얻을 수 있다. 벽체 타일, 바닥 타일 포장 비용은, BIM 모델에 따라 출력된 면적에 계산서를 결합해 산출한다.

3.3.9 석공사

화강석물갈기, 화강석버너, 창대석, 마감석, 두름석 등의 석재는 모형에 따라 직접 산출할 수 있다. 실내 현관디딤판, 유엔지니어 멀티컬러/일레브 닥터, 주방가상판, 보조주방가상판, 세면대상판/관리사무소/화장실 등의 가구장식을 위한 석재는 BIM에 있는 가구모형의 부재에 대한 정보 계산을 통한 계산해 내거나 계산서를 통해 계산하면 후자가 더욱 빠르다.

3.3.10 창호공사

BIM 소프트웨어의 "문" 및 "창" 명령을 사용하여 다양한 문 및 창 구성 요소를 모델링 할 수 있다. "문" 및 "창" 명령을 사용하여 모델을 그릴 때 일람표에 나타나는 면적 엔지니어링 수량은 모델 구성 요소가 차지하는 개구부의 면적이다.

3.3.11 유리공사

BIM 소프트웨어는 유리의 BoQ를 직접 추출할 수 없다. 유리의 BoQ를 계산할 때 곡면 유리 패널을 평면 유리 패널로 최적화 할 수 있다. BIM 소프트웨어는 플러그인을 결합하여 유리 벽체를 가공이 용이한 평면판 이나 단일 곡판으로 최적화할 수 있다. 각기 다른 종류의 유리에 다른 마크를 표시하는 것이 가장 좋으며 유리 모델을 구조 모델과 결합한 후 계획 도면을 내보내고 CAD로 표시하여 쉽게 계산할 수 있다.

3.3.12 도배공사와 도장공사

문, 창문의 도장공사량은 모두 문, 창문의 수량에 따라 계량하거나 문, 창문이 차지하는 구멍의 치수에 따라 계량한다. 목재 손잡이와 기타 판자, 라인 페인트 분공사 공정량은 해당 분공사 모델링 부재의 길이에 따라 계량한다. 금속면 페인트는 금속 부재와 함께 다른 보조 소프트웨어로 공정량 계산을 해야 한다. 나머지 각종 페인트칠과 도로 공정은 벽과 판을 세로 방향과 가로 방향으로 작업에 따라 모델링한다.

3.3.13 금속공사

금속 구조 설계 소프트웨어에 비해 BIM 소프트웨어로 금속 구

조 공정을 모델링하는 것이 상대적으로 복잡하며, 일부 간단한 금속 구조물(보, 기둥, 누판 등)의 공정량 계산은 BIM 소프트웨어로 모델링 할 수 있다. 소프트웨어에서 보, 벽, 판을 모델링하는 방법에 따라 모델링을 한 후 재질을 변경하면 된다. 다른 금속 제품이나 금속난간은 새로운 모형을 만든 다음 파라미터를 편집하면 된다. 출력 매개변수는 부피나 표면적이 될 수 있으며, 금속 용량 또는 금속 표면의 페인트 용량을 계산하는 데 사용된다. 다른 복잡한 금속 구조는 전문적인 금속 구조 소프트웨어를 사용하여 모델링하고 계량하는 것이 좋다.

3.3.14 인테리어공사

인테리어 공사 중 벽면 벽지, 바닥은 벽, 바닥 면적을 고려해 계산할 수 있다. 손잡이와 난간은 직접 소프트웨어 구조물을 사용하여 모델링 할 수 있다. 나머지 장식 작업은 벽돌공사, 화철공사와 석재공사를 참고해 모델링하거나 계산서에서 산출할 수 있다.

3.3.15 주요자재비

주요 재료비, 기타 잡공사 Cost 항목에 대해서는 대부분 기존의 재료 산출 방식을 채택하거나 BIM 모델을 통해 직접 얻은 재료 정보는 계산식을 결합하여 2차 산출하였다.

3.4 WBS 객체 구축

WBS의 구성내용을 설계하기 위해 항목은 다음과 같은 5단계로 분류한다. 프로젝트는 하나 이상의 단일 항목으로 구성되어 레벨 1 분해를 형성 할 수 있다. 단일 프로젝트는 추가로 분해되어 두 번째 및 세 번째 분해 수준을 형성한다. WBS의 구성 요소는 Table 3에 나와 있다. 첫 번째 등급(WBS_01)은 프로젝트의 차이이며 WBS 항목의 주요 핵심을 정의한다. 2단계(WBS_02)는 시공 순서에 따라 구분되며, 시간과 공간에서의 항목별 차이를 정의한다. 3단계는 시공 위치를 구분하여 공간 순서를 세분화하였다. 4단계(WBS_04)는 3등급에 따라 공종별로 16개 등급으로 나눠 일반 건설사업 전부를 포함하고 있다. 5단계(WBS_04)는 cost 산출에 따라 BIM을 기반으로 직접 산출할 수 있는 cost 항목을 정의한다. BM 기반 BoQ 산출의 WBS 구조도는 그림 1과 같다.

WBS 응용모델은 프로젝트 진행 과정 중 단계별로 작업분해 구조를 만들어 프로젝트의 범위를 정의한다.

레벨 1: 프로젝트 분류이다.

레벨 2: 프로젝트 실행 프로세스에서 여러 단계의 시간순서이다.

레벨 3: 공사 위치 구분이다.

레벨 4: 공종 구분이다.

레벨 5: 작업 태스크이다

Table 2. WBS composition of BIM-based BoQ calculation

Level	Purpose	Count	Example
WBS_01	Project classification	1	Construction work
WBS_02	Classification of construction order	4	Preparation for construction
WBS_03	Construction location	7	Outer wall
WBS_04	Classification of work type	16	Temporary construction
WBS_05	Quantity calculation	133	H-beam

분석을 통해 얻은 데이터 및 상기 WBS 구축 방법을 통해 WBS 구축 소프트웨어를 사용해 구축한다. BIM 기반 BoQ 산출의 WBS 객체는 그림 2와 같다.

3.5 BM 기반 BoQ 산출의 WBS 번호부여 작업

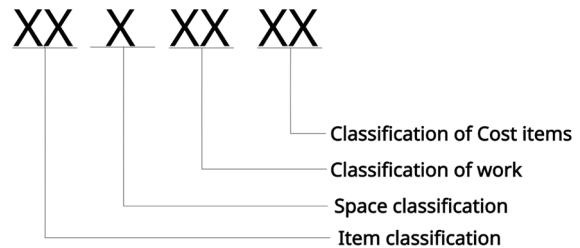


Figure 1. WBS numbering system

WBS 도면에는 건설공사 프로젝트의 코스트 항목을 코드화해서 더 잘 조회할 수 있다. WBS 분해와 코딩을 통해 통합적인 정보 플랫폼을 형성함으로써 프로젝트 관리에서의 정보 소통의 불규칙한 문제를 해결하는 데 도움을 줄 수 있다. 다음은 코딩 방법에 대한 간략한 설명이다.

공정항목 WBS 분해는 S-XX-X-XX로 코딩할 수 있다. 처음 2 자리는 프로젝트의 코드를 나타낸다. 3 자리는 A ~ Z 일 수 있는 문자로 표시되는 두 번째 레벨 코드에 해당하고 마지막 두 자리는 숫자로 표시되는 3 번째 레벨에 해당하며 01 ~ 99 일 수 있다. 레벨 3 이하 분해에 대해 한 단계씩 추가할 때마다 한 자리씩 XX코드를 추가하여 대응 임무를 표시한다. 건설공사 프로젝트의 모든 작업은 상기 일괄 코딩을 통해 식별, 조회, 추적한다. 컴퓨터 기술을 이용해 데이터와 정보를 처리하는 것은 프로젝트 관리에서 정보 소통의 불일치를 크게 완화시킨다. WBS 분해 및 코딩을 통한 통합 정보 플랫폼을 형성함으로써 상기 프로젝트 관리의 문제점을 근본적으로 해결할 수 있을 것으로 기대된다. WBS의 코딩 시스템은 자체 프로젝트 관리 습관에 따라 독립적으로 설정할 수 있다.

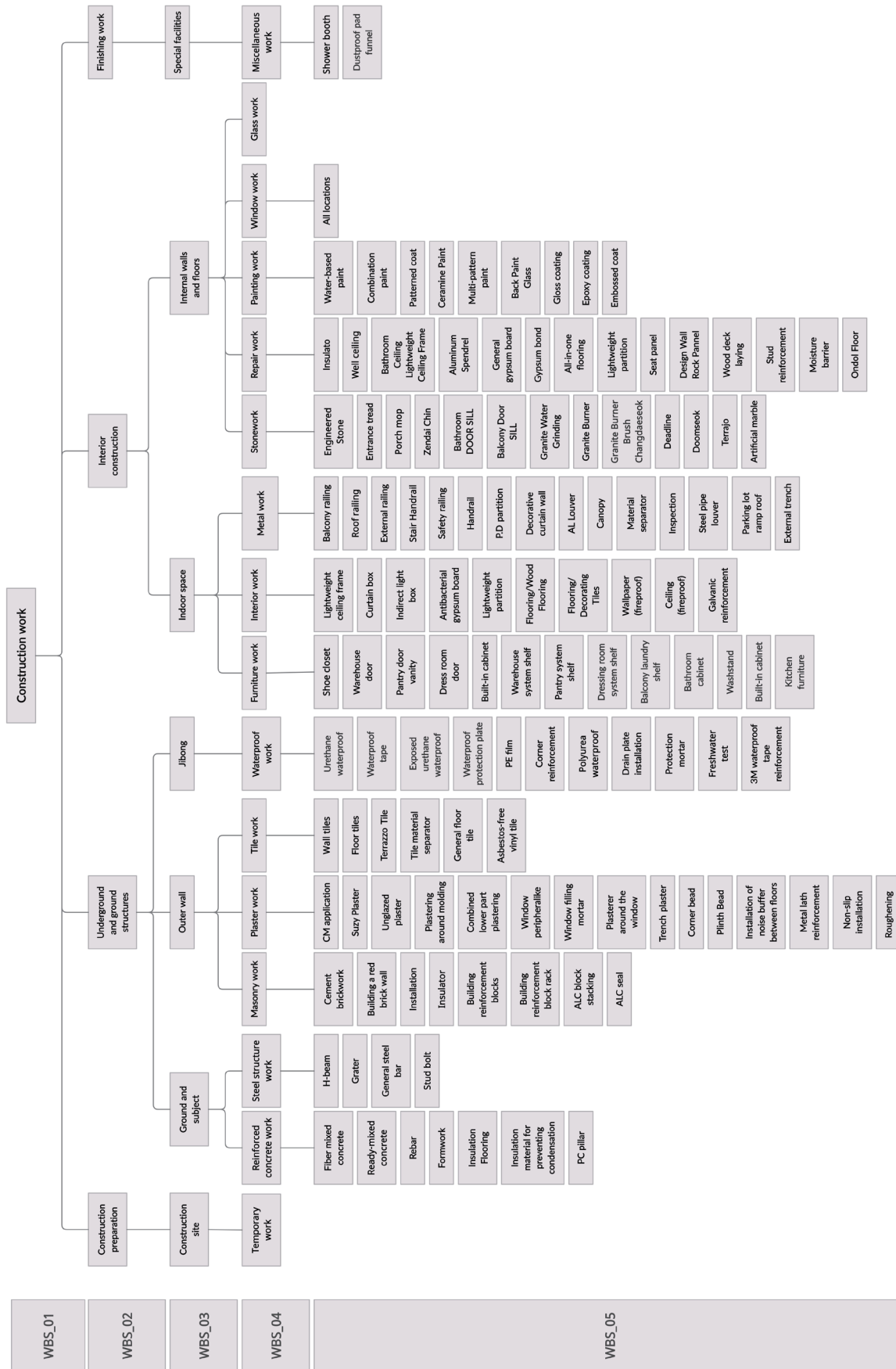


Figure 2. WBS object hierarchy classification of BIM-based BoQ calculation

4. Case Study

4.1 사례 프로젝트 개요

본 연구의 사례는 민간 분야의 프로젝트인 D사의 3건의 프로젝트 사례를 대상으로 하였다. D사는 공동주택 프로젝트를 관리하기 위한 BIM 플랫폼을 구축하고 있는데 그 중에 BIM 기반 BoQ도 포함된다. 아파트와 오피스텔 같은 모든 공동주택의 기획 및 설계 단계부터 BIM을 적용하여 설계도면 작성 기간을 단축할 뿐만 아니라 원가절감, 공기단축, 리스크 제거를 반영해 착공 전 설계도서의 품질을 확보하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 3D 모델링 인력과 설계 및 엔지니어링 경력의 구조/건축 설계 전문가, 시스템 개발을 위한 IT 전문가, 원가 및 공정관리 전문가 등 전담 인력을 구성하고 있다. 설계도면 작성이 뿐만 아니라, 착공 전 설계검토 및 BoQ 산출을 통해 시공계획을 수립하는 데 활용하고 있다.

4.2 BoQ 데이터 수집 및 Cost 항목 분석

본 연구는 공동주택 건설 프로젝트에서 BIM으로 BoQ를 구성하는 부분에 초점을 맞추어 BIM 모델의 구축 범위 및 LOD, 이에 따른 효율적인 BIM 모델링 방식을 제시하고자 한다. 이를 바탕으로 BoQ를 수출하고, BIM기반 BoQ를 활용해서 원가관리 및 공정

Table 3. BoQ information configuration

Work type	Quantity unit	No. of cost item code	Rate (%)
Temporary work	EA, M, M2, M3,	151	3.00
Reinforced concrete work	Household	313	6.23
Steel structure work	EA, M, M2, M3, TON	21	0.42
masonry work	EA, M2, TON	90	1.79
Plaster work	EA, M, M2, TON	128	2.55
Furniture work	M, M2	391	7.78
Waterproof work	EA	100	1.99
Tile work	EA, M, M2	213	4.24
Stonework	M, M2	347	6.90
Window work	EA, M, M2	849	15.3
Glass work	EA	74	1.47
Repair work	M, M2	397	7.90
Paper work	EA, M, M2	199	3.96
Painting work	M2	224	4.46
Metal work	EA, M, M2	482	9.59
Interior work	EA, M, M2	981	19.52
Miscellaneous work	EA, M, M2, KG	112	2.23
Main material	EA, M	33	0.67
Tota		5025	100

관리를 어떻게 해야 하는지 분석한다. 따라서 Table 10에서 제시된 BoQ 산출 방식 구분에 따라 5025개의 Cost 항목코드를 분류하였다.

본 연구의 사례인 D사의 3건의 프로젝트는 주동(101동~106동), 주동 공통 물량(동 구분 없음), 주동 지하(101동~106동), 주동 지하 공통 물량(동 구분 없음), 문주, 기계/전기실, 지하주차장(B1F, B2F), 관리사무소, 맘스스테이션, 경로당, 어린이집, 작은 도서관, 주민공동시설, 경비실, 카페, 게스트하우스, 탐골라우드, 근린생활시설 등 총 28개의 시설로 구성되어 있다. 본 세 가지 프로젝트의 BoQ는 공종별로 가설공사, 철근콘크리트공사, 철골공사, 조적공사, 미장공사, 가구공사, 방수공사, 타일공사, 석공사, 창호공사, 유리공사, 수장공사, 도배공사, 도장공사, 금속공사, 인테리어공사, 잡공사, 주요자재비를 포함한 총 18개의 공종으로 구분된다. 18개의 공종에 포함된 항목코드는 총 2017개로

Table 4. Analysis of BIM-based BoQ calculation method by work type

Work type	No. of cost item code (Rank)	BIM based BoQ calculation method			
		0 rate (%)	1 rate (%)	2 rate (%)	3 rate (%)
Temporary work	151	141 93.38	-	-	10 6.62
Reinforced concrete work	313	82 26.20	168 53.67	15 4.79	48 15.34
Steel structure work	21	-	9 42.86		12 57.14
Masonry work	90	12 13.33	55 61.12	2 2.22	21 23.33
Plaster work	128	-	122 95.31	6 4.69	-
Furniture work	391	17 4.35	374 95.65	-	-
Waterproof work	100	3 3.00	66 66.00	31 31.00	-
Tile work	213	-	141 66.20	-	72 33.8
Stone work	347	12 3.46	221 63.69	-	114 32.85
Window work	769	7 0.91	664 86.35	-	98 12.74
Glass work	74	2 2.70	-	66 89.19	6 8.11
Repair work	397	45 11.34	287 72.29	39 9.82	26 6.55
Paper work	199	2 1.01	-	184 92.46	13 6.53
Painting work	224	35 15.63	56 25.00	78 34.82	55 24.55
Metal work	482	64 13.28	402 83.40	12 2.49	4 0.83
Interior work	981	353 35.98	279 28.45	54 5.50	295 30.07
Miscellaneous work	112	98 87.50	8 7.14	-	6 5.36
Main material	33	-	-	14 42.42	19 57.58
Total	5025	873 17.37	2852 56.76	501 9.97	799 15.90

구성되어 있다. 따라서 BoQ에 포함된 총 Cost 항목은 56,476개 (28개의 시설, Cost 항목코드 2017개)이다.

본 연구에서는 부속동을 제외한 주동(101동~106동), 주동 지하(101동~106동), 기계/전기실, 지하주차장(B1F, B2F) 등 총 15개의 시설에 대한 BoQ의 Cost 항목을 정량적으로 분석하고자 한다. 우선, 56,476개의 Cost 항목 중 부속동에 관련된 Cost 항목을 삭제하였다. 다음으로 부속동과 관련된 Cost 항목코드를 삭제하였다. 삭제 결과 Cost 항목코드는 총 16개의 공종에 5025개가 남았다. 따라서 본 연구에서는 5025개의 Cost 항목코드에 대한 공종, 수량산출 방식, 규격 및 단위 등에 대한 분석을 수행하고자 한다.

본 연구에서 수집한 BoQ를 통해 파악한 공종별 Cost 항목코드는 Table 2와 같다. Cost 항목코드가 961개로 제일 많이 발견된 인테리어공사(19.52%)의 경우 물량 단위가 시공의 종류 및 규격에 따른 개수로 파악되었다. 금속공사의 경우 총 482개의 Cost 항목코드를 조사하였으며, BoQ를 구성하는 물량 단위는 개수, 길이, 면적으로 조사되었다. 가구공사의 경우 391개의 Cost 항목코드가 발견되었다. 이 항목의 경우에도 물량 단위는 가구의 종류 및 규격에 따른 개수로 파악되었다. 석공사의 경우 작업에 따른 규격화된 재료의 개수나 석공사의 범위에 따른 길이, 면적 등이 물량의 단위로 활용되었다. 철근콘크리트 공사의 경우 전체 아이템 코드에서 차지하는 비율(6.23%)은 상대적으로 작게 나타났으나, 이 결과가 철근콘크리트공사의 Cost 항목코드에 해당하는 물량이 적다는 것을 의미하지는 않는다.

공동주택 건설 프로젝트를 대상으로 BIM 기반 BoQ 산출 사례를 분석한 결과는 Table 4과 같다. 5025개의 Cost 항목 코드 중 BIM 모델에서 직접 산출(1)한 항목 코드가 2852개(56.76%)로 가장 많은 비율을 차지하였다. BIM 모델에서 직접 산출한 항목코드의 정량적인 물량 데이터를 통해 별도의 계산식을 적용하여 산출(2)하는 항목코드는 501개(9.97%)로 가장 적은 비율을 차지하였다. 설계도서에서 직접 계산하여 산출 후 입력(0)하는 기존 방식의 경우 873개(17.37%), 0,1,2에서 산출된 물량을 조합하여 산출(3)하는 항목코드는 799개(15.90%)를 차지하였다. BIM 모델과 직, 간접적으로 연관된 BoQ 항목은 총 5025개의 Cost 항목코드 중 4152개로 파악된다.

Table 5를 통해 WBS는 BIM 기반 BoQ와의 연계 분석 연구에서 다음 세 가지를 정리했다.

첫 번째, 본 연구에서 제시한 BIM 기반 BoQ를 통해서 WBS, CBS 관리가 가능할 수 있다. BIM을 통해 공사 자재의 BoQ를 직접 생산할 수 있지만, 노무비와 경비를 계산하려면 계산서나 기타 보조프로그램을 결합해야 한다.

두 번째, BIM 기반의 BoQ를 활용하여 건축공학 프로젝트에 적합한 WBS 코스트 아키텍처를 구축한다. 건축공사 항목을 WBS

Table 5. Linked analysis with WBS and BIM-based BoQ

Facility type	Time and space type	Construction location	Work type	Classification of work
WBS_01	WBS_02	WBS_03	WBS_04	WBS_05
Contents (1)	Contents (4)	Contents (7)	Contents (16)	Contents (133)

Facility	Time and space	Construction location	Work	Task management	
				Classification of work (BIM-based BoQ)	
Structure	Preparation for construction	Construction site	Temporary Work		
	Underground and ground structure	Ground and subject	Reinforced concrete Work		
			Steel structure work		
		outer wall	masonry work		
			Plaster work		
			Furniture work	Wall tiles	Floor tiles
				General floor tile	Asbestos-free vinyl tile
				Terrazzo Tile	Tile material separator
		Roof	Waterproof work		
	Indoor work	Indoor space	Tile work		
			Stonework		
			Glass work		
		Inner wall and floor	Repair work		
			Paper work		
			Painting work		
			Metal work		
			Interior work		
	Finishing work	Special facilities	Miscellaneous work		

규칙에 따라 독립적으로 관리되는 항목으로 분류해 코스트의 자원 수요를 확인하고, 이를 완성하는 '단위 원가'(재료비, 기계비 등)를 책정한다. WBS 객체를 보면 건물의 모든 단계에서 해야 할 일이 어떤 것들이 있는지 알 수 있으며, 이를 근거로 프로젝트를 기획할 수 있다.

세 번째, 이전의 각 프로젝트 책임자들은 종종 시공의 진행에 따라 시공 관리를 하였지만, 이는 문제에 봉착하여 문제를 해결한 것과 같다. BIM을 기반으로 확보한 WBS 구축에서 코스트 프로젝트는 시공 과정 하나하나에 필요한 부품 하나하나까지 정확히 프로젝트 계층의 최하층까지 정확하게 구현하는 셈이다. 각급 프로젝트 책임자는 WBS가 분류한 소속 프로젝트에 따라, 과거 경험을 토대로 사업 과정에서 발생할 수 있는 문제를 예측해 리스크 발생 가능성을 낮출 수 있다.

전통적인 건설 프로젝트는 책과 설계도면을 계산해 사업계획을 지정했다. BIM 기반 기술을 통해 컴퓨터, 인터넷 기술, 데이터베이스 기술을 이용하여 프로젝트 제어를 실현할 수 있다.

본 연구는 BIM의 BoQ 적용을 기반으로 한 연구를 통해 구축 및 작업으로 연구 대상을 정함으로써 WBS 작업 리스트를 작성한다. 이러한 방식이 더욱 현실 상황과 부합하다. 이런 상황에서 작업과 구조물은 다대다의 관계이다. 즉, 하나의 구조물이 여러 가지 작업과 관련되어 있다는 것이며 하나의 구조물을 완성하는데 필요한 많은 공정도 제시했다. 이와 함께 하나의 작업에는 여러 개의 대상자가 포함되고, 즉 한 작업은 단계별 작업조직과 관련되고 있다는 뜻이다. 따라서 BIM을 적용할 경우 WBS 작업과 BIM 구조물을 구현할 수 있는 관계 구축이 필요하다. WBS작업은 바로 각 수요에 따라 어느 정도의 분해를 통해 단계별 동적 원가 계측과 분석의 필요를 충족함으로써 경제적 수익을 높이는 것이다. 그리하여 본 연구를 통해 다음과 같이 세 가지 결론을 나타냈다:

첫 번째, BIM의 BoQ을 사용해서 건축공사 프로젝트에 적용한 WBS 코스트 아키텍처를 구축한다. 건축공사 프로젝트를 WBS 규칙에 따라 독립적으로 관리되는 여러 개 작업으로 구분하여 각 작업의 자원 수요를 확인하고, 단위 원가 (인건비, 자재설비비, 기계비, 관리비, 기타 비용 등)를 확정하고, 사업비를 분해하고, 즉시 원가 이동을 발견하고, 원인을 분석하여 대비책을 마련하여 관리가능원가를 통제하다.

두 번째, WBS방법이 건축공사 프로젝트에 대한 작업 패키지를 분해한 후, 각 책임자는 관리임무를 수행할 때에도 해당 관리가능원가 통제 목표도 같이 부여하게 된다. 이 통제 목표는 하나씩 하나씩 분해되고 책임자는 책임을 지고, 동시에 경제적 책임도 명확하게 말하고, 관련 책임자의 업무 평가와 비용 통제의 효과적인 결합이 위해 최선을 다 한다.

세 번째, WBS방법과 정보화 관리를 결합하여 정산 및 피드백의 속도를 높인다. WBS 코딩 시스템을 사용하면 계층별 사업원

가 보고서를 작성할 수 있으며, 부분별 공정원가의 동적 차별화를 부각시켜 프로젝트의 관리가능원가 통제의 편리를 제공한다. 이어서 WBS 방법은 프로젝트 원가 계획, 원가 통제, 원가 계산에 광범위하게 응용되는 모습이 예상될 수 있다.

BIM의 기반으로 한 BoQ를 WBS와 결합하여 프로젝트의 단계별 원가 관리의 품질을 즉시 반영할 수 있다. 뿐만 아니라, 이 방법도 건축 공정 프로젝트 분해를 위한 명확하고 효과적인 프레임 을 만들고 이를 실시간으로 통제함으로써 프로젝트의 원가 관리를 원활하고 효율적으로 수행할 수 있다고 보인다.

5. 결론

본 연구에서 데이터 분석을 통해 BIM 모델과 직, 간접적으로 연관된 BoQ 항목은 5025개의 Cost 항목코드 중 4152개 (82.63%)를 차지한다. BIM 모델에서 직접 산출한 항목코드는 2852개(56.76%)로 가장 많은 비율을 차지하였다. BIM 모델에서 직접 계산된 BoQ 항목의 비율을 높이는 방법은 향후 연구의 방향이 될 수 있다. BIM 소프트웨어를 사용하면 다양한 구조물을 자유롭게 정의할 수 있지만 BoQ에 BIM 소프트웨어가 제공하는 모델링 방식은 그다지 편하지 않다. 각 구조물 사이의 교대 연결은 모델링 인력의 자율적인 판단과 수정이 필요하다. 모델을 구축하거나 수정하는 데 걸리는 시간과 인력은 기존 BoQ 계산법보다 많을 수 있다.

CBS는 원가분류체계로서 WBS 구조의 파생물이다. CBS 기능은 프로젝트 비용 추정 및 비용 검사에 중점을 두는 비교적 단일한 기능이다. 프로젝트 관리와 원가 추계를 실현하려면 WBS가 더 적합하다. 하지만 CBS의 개념은 BIM을 기반으로 BoQ를 산출하는데 좋은 참고 사항이다.

프로젝트의 전 과정에 있어서 어떤 단계에서는 대부분의 건축공학이 단독으로 BIM 기술을 적용하는 것은 수익이 그다지 크지 않다. 소규모 건축 프로젝트나 대형 프로젝트의 일부 단계에서 BIM 기술 적용으로 인한 비용 증가는 수익을 덮어버렸기 때문이다. 본 연구에서는 공동주택 건설 프로젝트를 대상으로 BIM 기반의 BoQ 리스트를 분석하여 WBS 컨셉에 맞추어 직종별로 WBS 리스트를 작성하고 BIM에 기초하여 도출할 수 있는 코스트 프로젝트를 제시하였다. BIM 기반의 건설 프로젝트에서는 건설 원가 관리 업무의 효율성을 높이고, 건설비 관리 목표 달성에 도움을 줄 수 있다. 도출할 수 없는 코스트 프로그램을 통해 BIM의 원가관리 소프트웨어 개발자의 소프트웨어 개발 작업을 도울 수 있다. 본 연구에서는 방대한 데이터를 분석하였으며 향후 BIM 기반 BoQ 산출 방법에 대해 보완했다는 점에서 의의가 있다.

References

- An, J. W., Yun, S. H. (2017). Improvement of BoQ Documents for the BIM based Quantity Takeoff, *Journal of KIBIM*, 7(2), pp. 16–24.
- Brotherton, S. A., Fried, R. T., Norman, E. S. (2008). Applying the work breakdown structure to the project management lifecycle. Paper presented at the PMI Global Congress Proceedings.
- Choi, H. J., Yun, S. H. (2019). Improvement of Quantity Take-Off and BoQ through the LOD Criteria Analysis of BIM Models, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, 20(6), pp. 89–97.
- Cho, Y. S., Suh, B. G., Yun, S. H. (2015). Development of BIM Based Estimation Prototype System Using Building Elements Combination Database, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 31(3), pp. 45–52.
- Devi, T. R., Reddy, V. S., J. I. J., E. R. A. (2012). Work breakdown structure of the project. 2(2), pp. 683–686.
- Designing Buildings Ltd., (2020). Bill of quantities BOQ, Designing Buildings Wiki, Share your construction industry knowledge, https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Bill_of_quantities_BOQ
- Ezcan, V., Isikdag, U., Goulding, J. (2013). BIM and off-site manufacturing: recent research and opportunities. Paper presented at the 19th CIB World Building Congress Brisbane, Australia.
- Fan, S. L., Wu, C. H., Hun, C. C. J. J. O. A. S., Engineering. (2015). Integration of cost and schedule using BIM, 18(3), pp. 223–232.
- Grytting, I., Svaestuen, F., Lohne, J., Sommerseth, H., Augdal, S., Ladre, O. J. P. E. (2017). Use of LoD decision plan in BIM-projects, 196, pp. 407–414.
- Gledson, B. J., Greenwood, D. J. E., Construction, Management, A. (2017). The adoption of 4D BIM in the UK construction industry: an innovation diffusion approach.
- Han, K. K., Golparvar-Fard, M. J. A. I. C. (2015). Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs. 53, pp. 44–57.
- Halpin, D. W. (2006) *Construction Management*. 3rd ed. NJ: John Wiley Sons.
- Howard, R., Björk, B. C. (2008). Building information modeling – experts’ view on standardization and industry development. *Advanced Engineering Informatics*, 22(2), pp. 271–280.
- Jin, Z., Gambatese, J., Liu, D., Dharmapalan, V. J. E., Construction, Management, A. (2019). Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase.
- Jo, Y. H., Yun, S. H. (2019). A Study on the Simplification of Quantity Calculation of Reinforcing Bar, *Journal of Korea Institute of Building Construction*, 19(6), pp. 521–527.
- Kim, I. H., Um, S. G., Choi, J. S. (2015). A Basic Study on an Application of Quantity Take-Off Requirements for Open BIM-based Schematic Estimation of Architectural Work, *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 20(2), pp. 182–192.
- Kim, Y. J., Kim, S. A., Chin, S. Y. (2012). A Study of BIM based estimation Modeling data reliability improvement, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, 13(3), pp. 43–55.
- Kim, J. U., Shin, T. S. (2018). Integrated Management of Process Schedule and Quantity Take-Off for Steel Structures using BIM Information, *Journal of KIBIM*, 8(2), pp. 10–18.
- Koh, S. H., Ham, N. H., Lee, J. S., Yoon, S. W., Kim, J. J. J. O. K. (2017). Comparison Analysis of BIM Level in the Domestic and Overseas BIM Projects–Focused on BIM Journals and Award Winning Projects. 7(2), pp. 25–35.
- Lee, H. C., Kim, J. M., Choi, C. H., Song, S. H. (2017). BIM-based cost estimation by integration with BIM model data and cost information– Case Study on Economy Evaluation of Apartment in Sejong Special Self-Governing city –, *Journal of KIBIM*, 7(3), pp. 11–20.
- Lee, J. C. (2019). A Study on the Effective Calculation of Rebar QTO in the Early Design Phase through the Application of BIM Model, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure Construction*, 35(5), pp. 145–152.

- Lee, S. K., Kim, K. R., Yu, J. H. J. A. i. c. (2014). BIM and ontology-based approach for building cost estimation, 41, pp. 96–105.
- Lee, X. S., Tsong, C. W., Khamidi, M. F. (2016). 5D Building information modelling—a practicability review. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Liu, H., Lu, M., Al-Hussein, M. (2014). BIM-based integrated framework for detailed cost estimation and schedule planning of construction projects. Paper presented at the ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction.
- Lu, M., Hasan, T., Hasan, M. COMPARATIVE STUDY OF UNIFORMAT AND MASTERFORMAT FOR CONSTRUCTION COST ESTIMATING.
- Lu, W., Lai, C. C., Tse, T. (2018). BIM and Big Data for Construction Cost Management: Routledge.
- Lu, Q., Won, J., Cheng, J. C. J. I. J. o. P. M. (2016). A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). 34(1), pp. 3–21.
- Marzouk, M., Enaba, M. (2019). Analyzing project data in BIM with descriptive analytics to improve project performance. Built Environment Project and Asset Management.
- Moon, H. J., Choi, M. S., Kim, S. K., Ryu, S. H. (2011). Case studies for the evaluation of interoperability between a BIM based architectural model and building performance analysis programs. Paper presented at the Proceedings of 12th conference of international building performance simulation association.
- Mayouf, M., Gerges, M., Cox, S. J. J. o. E., Design, Technology. (2019). 5D BIM: an investigation into the integration of quantity surveyors within the BIM process.
- Meredith, J. R., Mantel, S. (2012). Project Management, Hoboken. In: NJ, USA: Wiley.
- Malacarne, G., Toller, G., MARCHER, C., Riedl, M., Matt, D. T. J. I. J. o. S. D., Planning. (2018). Investigating benefits and criticisms of BIM for construction scheduling in SMEs: an Italian case study. 13(1), pp. 139–150.
- Nadeem, A., Wong, A. K., Wong, F. K. J. A. J. f. S., Engineering. (2015). Bill of quantities with 3D views using building information modeling. 40(9), pp. 2465–2477.
- Oh, K.S., Park, S. H., Song, J. W. (2016). A Study on the Using of BIM Data and Template for Construction Progress Management, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 17(8), pp. 157–163.
- Plebankiewicz, E., Zima, K., Skibniewski, M. J. P. E. (2015). Analysis of the first Polish BIM-Based cost estimation application. 123, pp. 405–414.
- Sattineni, A., Bradford, R. H. J. P. o. t. t. I., Seoul, Korea. (2011). Estimating with BIM: A survey of US construction companies. pp. 564, 569.
- Sattineni, A., Macdonald, J. A. (2014). 5D-BIM: A case study of an implementation strategy in the construction industry. Paper presented at the ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction.
- Siami-Irdemoosa, E., Dindarloo, S. R., Sharifzadeh, M. J. A. i. C. (2015). Work breakdown structure (WBS) development for underground construction. 58, pp. 85–94.
- Supriadi, L., Wisusatama, B., Latief, Y. (2018). Development of work breakdown structure (WBS) dictionary for road construction works. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Sulankivi, K., Makela, T., Kiviniemi, M. (2009). BIM-based site layout and safety planning. Paper presented at the Proceedings of the First International Conference on Improving Construction and Use through Integrated Design Solutions.
- Stanley, R., Thurnell, D. (2014). The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand.
- Staub-French, S., Fischer, M., Kunz, J., and Paulson, B. (2003). An ontology for relating features with activities to calculate costs. Journal of Computing in Civil Engineering, 17(4), pp. 243–254.
- Wu, S., Wood, G., Ginige, K., Jong, S. W. J. J. o. I. T. i. C. (2014). A technical review of BIM based cost estimating in UK quantity surveying practice, standards and tools. 19, pp. 534–562.

Zima, K. J. P. e. (2017). Impact of information included in the BIM on preparation of Bill of Quantities. 208, pp. 203-210.

Zecheru, V., Olaru, B. G. J. R. o. I. C. M. R. d. M. C. I. (2016). Work Breakdown Structure (WBS) in Project Management. 17(1).

안지원, 학회논문집, 윤. J. 한. B. (2017). BIM 기반 물량 및 내역정보 생성을 위한 내역서 개선방안. 7(2), pp. 16-24.

최현준, 한국건설관리학회논문집, 윤. J. (2019). BIM 모델 표현 수준 (LOD) 분석을 통한 내역체계 개선방안 연구. 20(6), pp. 89-97.