

# BIM 기반의 공간객체를 이용한 물량산출 정확성 분석

## An Accuracy Analysis on Quantity Take-off Using BIM-based Spatial Object

차유나<sup>1)</sup>, 김성아<sup>2)</sup>, 진상윤<sup>3)</sup>

Cha, You-Na<sup>1)</sup> · Kim, Seong-Ah<sup>2)</sup> · Chin, Sang-Yoon<sup>3)</sup>

Received December 7, 2014 / Accepted December 21, 2014

**ABSTRACT:** After being introduced, Building Information Modeling (BIM) has been actively applied to the cost estimation of construction projects, and various studies on BIM based quantity take-off have been carried out. In practice, however, these calculations take considerable time, because BIM based quantity take-off is further conducted along with 2D-based quantity take-off. Studies on the quantity take-off using BIM spatial objects have been carried out on early stages of projects, but how this method differs from the existing quantity take-off method and how accurate it is in comparison have rarely been verified. Therefore, by comparing 2D based quantities with quantities through BIM spatial objects, this study analyzed the accuracy of quantity take-off using BIM spatial objects. To this end, the properties of BIM spatial objects and quantity calculable spatial types were analyzed, and existing 2D-based quantities and quantities extracted from BIM spatial objects were compared through a case study. As a result, the quantity of spatial objects found to be more by about 7.13% in 0.05% and therefore, this difference should be considered during quantity take-off using BIM spatial objects. Through the results of this study, we can improve the accuracy of quantity take-off using BIM spatial objects in the early stage of a construction project.

**KEYWORDS:** Building Information Modeling (BIM), Spatial object, Quantity take-off, Accuracy

**키워드:** BIM, 공간객체, 물량산출, 정확성

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

BIM을 활용한 건설 프로젝트 공사비 산정이 활발히 이루어지고 있다. BIM을 활용한 공사비 산정은 실제 건물을 모델링해 직접 물량을 산출하기 때문에, 평면도와 단면도가 분리된 기존 2D 방식에 비해 물량산출 결과의 신뢰성을 높일 수 있다(김보민, 2008). BIM을 활용한 물량산출과 관련된 연구로는 대표적으로 5D CAD 시스템을 이용한 Recipe 기반의 물량산출 모듈에 대한 연구(최철호 외 2006)가 있으며, 효율적인 BIM 물량산출을 위해 BIM 모델에 대한 품질기준 도입 방안에 관한 연구(권오철, 2011), 물량산출을 위한 3차원 모델링 가이드라인에 관한 연구(André Monteiro, 2013), 마감재를 중심으로 BIM 기반의 물량산출 정확도에 관한 연구(김지현, 2013), 고속도로 공사의 물량산출 신뢰성에 관한 연구(정국영, 2013) 등이 있다.

BIM을 활용한 물량산출 연구가 활발히 이루어지고 있지만, 실제 업무에서는 2D 도면을 이용한 기존 물량산출 방식과 BIM을 활용한 물량산출이 병행되고 있다. 그리고 물량산출에 필요한 모든 자재들을 모델링할 수 없기 때문에 BIM을 활용한 물량산출 방식이 제한적으로 적용되고 있는 것이다. 이러한 BIM 물량산출 방식의 한계점을 극복하고, 프로젝트 초기 단계에서부터 효율적으로 공사비를 산정하기 위해 공간객체를 이용한 물량산출 관련 연구들이 수행되었다(김한준, 2013; 윤명철, 2013).

BIM 공간객체를 이용한 기존 연구에서는 물량의 정확성이 아닌 발주자의 의사결정 과정에서 공사비를 예측하는 것에 초점을 두고 있다(박민후, 2010; 전영진, 2010). 또한 조달청 BIM 지침에서는 개산 견적 단계에 공간객체 및 이를 이용한 개략적인 물량산출 결과를 포함하여 납품하도록 권장하고 있다(조달청 2013). 그러므로 공간객체를 이용한 구체적인 물량산출 및 그 결과의 정확성에 대한 연구가 필요한 실정이다.

<sup>1)</sup>학생회원, 성균관대학교 대학원 미래도시융합공학과 석사과정 (zero7025@skku.edu)

<sup>2)</sup>정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사수료 (kody25@skku.edu)

<sup>3)</sup>정회원, 성균관대학교 건축공학과 교수, 공학박사 (schin@skku.edu) (교신저자)

본 연구에서는 BIM 물량산출의 결과에 신뢰성을 확보하기 위해 BIM 공간객체를 이용한 물량산출의 정확성을 분석하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 BIM 공간객체를 이용한 물량산출 정확성을 분석하기 위해 사례 연구(Case Study)를 토대로 기존 2D 기반 물량과 BIM 공간객체 물량을 비교 분석하였다. 연구의 범위는 마감공사로 선정하였으며, 연구 절차는 Fig. 1 같이 이루어졌다. 먼저 이론적 고찰을 통해 선행 연구를 분석하고, 기본적인 공간객체의 속성에 대한 데이터를 수집 분석하였다. BIM 공간객체를 이용한 마감 물량산출이 적합한 공간 형태를 검토하기 위해 적용성 분석을 수행하고, 기존의 2D 기반 물량산출과 BIM 공간객체를 이용한 물량산출 방식을 비교하고 보정방안을 제시한 후 물량산출을 재실시하고 그 결과를 비교분석하였다.

사례 연구에서는 실제 프로젝트의 마감 공사를 대상으로 기존 방식에 의한 물량과 BIM 공간객체를 이용한 물량을 산출하였다. 공간객체는 공간 면적이나 길이 등을 추출할 수 있기 때문에 마감공사 물량산출에 용이하다. 기존 방식을 통해 산출된 물량

을 참값으로 전제하여, BIM 공간객체로부터 산출된 물량을 비교 분석하였다. 기존 방식을 통해 산출된 물량과 BIM 공간객체로부터 산출된 물량에서 발생한 차이의 원인을 분석해 보정하였으며, 보정된 BIM 물량을 토대로 기존 물량과의 차이를 재분석하였다. 마지막으로 사례 연구 결과를 바탕으로 BIM 공간객체를 이용한 물량산출 정확성을 향상시키기 위한 방안을 도출하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 기존 개산 견적 관련 연구 고찰

개산 견적은 설계 단계부터 생성되는 정보를 이용해 물량을 산출하고 단가를 산정한 결과를 기준으로 프로젝트의 성공 여부를 결정짓는 중요한 업무이다. 실무에서는 경험적 접근 방식으로 각 건설사가 가지고 있는 실형 데이터의 분석을 통해 공사비를 산출하는 방법과 도면 분석에 기반을 두고 물량 기반으로 공사비를 산출한 단위 면적당 공사비를 주로 사용하고 있다 (노승준, 2013; 김한샘 2013).

정확한 개산 견적을 위해서는 건축물에 실제 투입되는 정확한 건축자재 수량이 필요하지만 설계 단계에서는 도면 정보에 한계가 있으며, 공종별 예산 또는 전체 비용만을 중심으로 분석하는 기존 2D 기반 방식으로는 정확한 개산 견적에 한계가 있다 (김수민, 2009; 조광익, 2012). 따라서 정확한 수량 산출을 위해, 3차원 모델을 작성하고 소프트웨어에서 자동적으로 물량을 추출할 수 있는 BIM 기반의 물량산출 관련 연구가 수행되었다(김영진, 2012).

### 2.2 BIM 기반 개산 견적 관련 연구 고찰

2D 도면을 분석해 물량을 산출하는 기존의 방식과 달리 BIM 기반의 물량산출은 3차원 모델로부터 길이, 높이, 면적과 같은 물량 정보를 해당 내역과 연계해 물량을 산출하는 것이다(김성아, 2009).

물량산출을 위한 설계 단계의 BIM 모델은 건물의 공간과 외형을 결정하는 요소들로만 이루어져 있으며, 그중에서 마감재는 구조재에 비해 자재의 수와 종류가 다양해 모델링에 많은 시간이 소요되기 때문에 실내 마감 자재까지 모델링 하지 않는 경우가 많다(윤명철, 2013; 김성아 2009).

모델링되지 않은 마감재를 정확하게 산출하기 위해 BIM 공간객체를 이용한 물량산출 연구들이 진행되었으며, 공간 프로그래밍 단계에서 발주자의 의사결정을 지원하기 위해 공간객체를 이용한 물량산출 방법에 관한 연구와 공간객체를 이용해 공간구획별 물량산출에 관한 연구 등이 수행되었다(전영진, 2010; 박민후 2010).

하지만 공간객체를 이용해 물량산출을 수행하기 위한 구체적

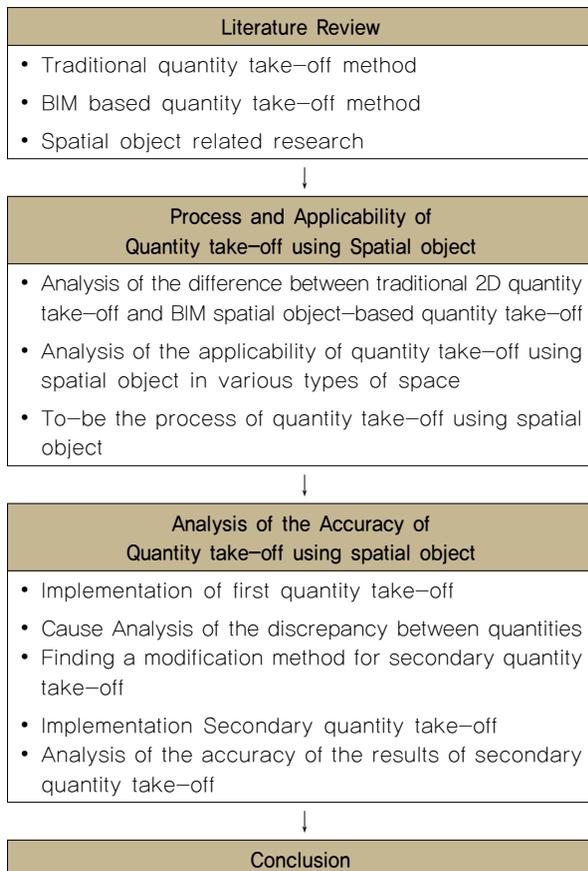


Figure 1 Research Flow

인 프로세스나 정확성 검증이 부족하기 때문에, 본 연구에서는 공간객체를 이용한 물량산출 정확성을 분석하고자 한다.

### 2.3 BIM 공간객체 특징

BIM 공간객체를 이용한 물량산출 정확성을 분석하기 위해서는 공간객체의 특징을 이해해야 한다.

BIM 공간객체란, 시설물의 층, 구역 및 실 등 공간의 범위를 정의하는데 사용하는 BIM 객체를 말한다 (조달청, 2013). 또한, 공간객체는 건물의 부위인 벽, 바닥, 천정 등으로 이루어진 기하학적(geometric) 형태를 갖추게 되며, 물리적 공간일지라도 그 기능적 분류에 따라 분리되어 생성될 수 있다(GSA, 2007).

공간객체를 생성 및 수정하기 위해서는 바닥, 벽, 기둥과 같은 일반적인 BIM 객체와 달리 최소한의 조건들이 있다. 다음의 내용들은 본 연구의 사례 연구에서 사용된 BIM 모델링 소프트웨어를 중심으로 분석한 내용이다(Graphisoft 2014, Autodesk 2014).

첫 번째로, 공간객체는 벽과 같이 공간의 경계(Boundary)를 결정하는 부재에 의해 모델링된다. 또한 이 부재들을 모델링 할 때에는 바닥, 벽, 기둥과 같은 기본 객체 작성 기능으로 모델링해야 공간객체의 범위를 정확하게 인식하고 생성할 수 있다.

두 번째로, 공간객체의 경계를 결정하는 부재는 시작하는 점과 끝나는 점이 만나야 한다. 평면상에서 공간의 경계를 구성하는 것은 벽이고, 입·단면상에서는 바닥과 천정이다. 이 중에서 공간객체의 평면 경계를 규정하는 벽 객체가 완전히 닫힌 상태에서 공간객체의 경계가 제대로 형성될 수 있다.

세 번째로, 바닥, 벽, 천정 객체에 의해 공간의 형태가 변경되면 공간객체가 자동으로 수정되는 경우도 있고, 그렇지 않은 경우도 있다. 이는 BIM 소프트웨어에서 제공하는 기능으로 인해 발생하며, 사용자가 공간객체를 생성할 때 바닥과 천정을 자동으로 인지하지 않고 사용자가 직접 위치와 높이를 입력해야 할 경우 자동으로 수정되지 않을 수도 있다.

이와 같이 공간객체 특징들은 BIM 소프트웨어에 따라 다를 수 있기 때문에 BIM 소프트웨어의 매뉴얼, BIM 모델링의 품질 관련 문헌을 참고해 공간 구성 부재들을 모델링하고, 공간객체를 생성할 필요가 있다.

### 2.4 BIM 공간객체의 물량 정보 분석

공간객체는 다양한 유형의 물량 정보(Quantity Data Type)를 가지고 있으며 이들 중 필요한 물량 정보를 추출하여 물량을 산출한다. 공간객체의 형태에서 추출할 수 있는 물량 정보는 기본적으로 면적(Area)과 둘레길이(Perimeter)가 있으며, 공간객

체에 접한 개구부 면적과 길이에 대한 정보도 추출할 수 있다. 공간객체에서 추출할 수 있는 물량 정보는 프로그램에 따라 상이하기 때문에 사례 연구에 이용한 BIM 소프트웨어에서 제공하는 물량 정보를 Table 1에 나타내었다. 공간객체에서 추출할 수 있는 물량 정보는 A, B 소프트웨어에서 유사하게 제공하고 있으나, 소프트웨어에 따른 차이점도 있는 것으로 나타났다(Table 1 참조).

A, B 소프트웨어의 공간객체에서 추출할 수 있는 물량정보의 대표적인 차이점은 첫째, A 소프트웨어는 벽 면적과 벽 둘레를 추출할 수 있으나, B 소프트웨어는 벽 면적을 추출할 수 있는 물량 정보가 없는 것이다. 둘째, 같은 명칭의 물량 정보라 할지라도 그 정의가 다를 수 있다. 공간객체의 바닥에 개구부가 있다면, A 소프트웨어는 공간객체 최외곽 둘레와 함께 개구부 둘레를 포함한 길이가 Perimeter 값으로 추출되나, B 소프트웨어의 Perimeter는 공간객체의 최외곽 둘레 값을 추출할 수 있다.

물량산출의 오차를 줄이기 위해서는 공간과 공간을 구성하는 부재 치수가 정확해야 한다. 왜냐하면 BIM 소프트웨어에 따라 사용자가 직접 공간객체 치수를 입력하거나, 공간을 구성하는 부재들에 의해 생성되기 때문이다. 공간과 공간을 구성하는 부재 치수가 틀릴 경우 그와 관련된 모든 물량 정보 값에 오차가 발생할 수 있으며, 물량산출 정확성에도 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 사용자가 공간객체의 높이를 부정확한 치수로 입력할 경우 해당 실(Room)의 벽 면적과 창문 위치와 크기에 따른 개구부 면적에도 영향을 미쳐 큰 오차가 발생할 수 있다.

따라서 공간객체에서 추출할 수 있는 물량 정보가 BIM 소프트웨어에 따라 차이가 나는 것을 인식하고, 사전에 추출 가능한 물량 정보와 그 정의에 대해 충분히 분석하는 과정이 필요하다.

Table 1 Quantity Data Type of Spatial object

Quantity Data Type		BIM Tool A	BIM Tool B	
Space	Area	Area	Calculated Area, Measured Area	Area
		Walls Surface Area	Walls Surface Area	-
	Length	Height	Height	Unbounded Computation Height
		Perimeter	Net Perimeter, Perimeter	Perimeter
	Walls Perimeter	Walls Perimeter	-	
Opening	Area	Door Area	Door Area	Door Area
		Window Area	Window Area	Window Area
	Length	Door Width	Door Width	Door Width
		Window Width	Window Width	Window Width

### 3. BIM 공간객체의 마감 물량산출 적용성 분석

#### 3.1 물량산출이 가능한 BIM 공간 유형 분석

3장에서는 앞서 수행된 공간객체의 특징과 공간객체에서 추출 가능한 물량 정보를 활용해 공간객체를 이용한 물량산출 방법에 대해 기술하고자 한다. 이를 위해서는 공간객체를 이용한 물량산출에 적합한 공간 유형을 먼저 분석할 필요가 있다. 공간 유형이 공간객체에서 추출하는 물량 정보 값과 연계되며, 공간 형태가 물량산출 정확성에 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

물량산출에 적합한 공간 유형을 분석하기 위해서는 바닥, 벽, 천정의 형태에 대해 고려할 필요가 있다. 이는 벽, 바닥, 천정 등의 기본 객체 기능으로 모델링된 공간에서 정확한 공간객체를 생성할 수 있는 공간객체 특징 때문이다.

바닥, 벽, 천정에 적용 형태를 선정하기 위해 첫째, 평평한 면을 기준으로 비정형의 면들과 비교하였다. 둘째, 비정형 요소를 적용해 바닥, 벽, 천정을 구성했을 때 공간객체 형태가 제대로 생성되는지의 여부를 확인하였다. 그 결과 곡면(Wave), 개구부가 있는 면(Subtract), 요철이 있는 면(Extrude), 기울기가 있는 면(Sliding Parallel) 총 4가지의 천정, 바닥, 벽 유형을 선정하였으며(박상준, 2012), Table 2에 나타내었다(Table 2 참조).

공간 유형을 분석하기 위한 방법은 평평한 면을 바닥, 벽, 천정에 적용했을 때 산출된 물량 정보 값을 기준으로 하고, 평평한 면을 제외한 나머지 4가지 유형을 적용하여 물량 정보 값을 추출하였다. 그리고 이 값이 기준 값과 동일한 경우와 차이가 발생한 경우를 구분하여 물량산출 적합성을 판단하였다. 예를 들어, 평평한 바닥 면적이 100㎡일 때, 곡면을 바닥에 적용하고 추출한 공간객체 바닥 면적이 100㎡이라면, 공간객체는 곡면 바닥 면적을 정확하게 인식하지 못하는 것이다. 따라서 곡면 바닥은 공간객체를 이용한 물량산출에 부적합하다고 할 수 있다. 그리고 공간 형태 분석을 위해 물량 정보 값의 차이 여부를 검토한 이유는 현재 BIM 소프트웨어의 기능으로는 비정형 공간객체의 물량 정보 값의 신뢰성을 확보하기 힘들기 때문이다.

Table 2 Types of shape of space defined by faces

Type	Image	
Flat		
Wave		Subtract
Extrude		Sliding Parallel

Table 3 Applicability of quantity take-off using spatial objects to type of shape of space defined by faces

Floor	Area of Floor				
	Flat	Wave	Subtract	Extrude	Sliding Parallel
BIM tool A	O	X	O	X	X
BIM tool B	O	X	O	X	X
Ceiling	Area of Ceiling				
	Flat	Wave	Subtract	Extrude	Sliding Parallel
BIM tool A	O	X	X	X	X
BIM tool B	O	X	X	X	X
Wall	Area of Walls				
	Flat	Wave	Subtract	Extrude	Sliding Parallel
BIM tool A	O	O	O	O	O
BIM tool B	O	X	O	X	X
Wall	Perimeter of Walls				
	Flat	Wave	Subtract	Extrude	Sliding Parallel
BIM tool A	O	O	X	O	O
BIM tool B	O	O	X	O	O

\* O : Applicable, X : Unapplicable

Table 3에 나타난 분석 결과를 살펴보면, 대부분 유사한 인식을 나타내지만 BIM 소프트웨어의 공간객체 기능에 따라 차이를 나타내는 부분도 확인할 수 있다(Table 3 참조). 바닥은 개구부가 있는 경우를 제외하고 인식이 낮은 것으로 나타났으며, 천정은 4가지 비정형 유형이 모두 인식 되지 않았다. 벽은 BIM 소프트웨어 간의 차이가 크게 발생한 부재로서, 공간객체에서 벽 면적 값을 추출할 수 있느냐에 따라 그 인식이 다르게 나타났다. 벽 면적을 추출할 수 있는 경우에는 모든 유형의 벽을 인식할 수 있었으나, 그렇지 않은 경우에는 평평하고 개구부가 있는 유형만을 제대로 인식할 수 있었다. 벽 둘레는 벽에 개구부가 있는 경우를 제외하고 인식이 높은 편으로 나타났다.

결과적으로 공간객체를 이용한 물량산출에 적합한 공간 유형은 평평한 바닥이거나 개구부가 있는 바닥과 평평한 벽, 평평한 천정으로 구성된 직육면체 형태라고 할 수 있다.

#### 3.2 기존 방식과 BIM 공간객체를 이용한 마감공사 물량 산출 방식 비교 분석

물량산출에 적합한 공간 유형 분석 결과를 토대로, 직육면체 공간의 마감재 물량산출을 위한 2D 도면 기반의 방법과 공간객체를 이용한 물량산출 방법을 비교 분석하였다. 일반적으로 2D 기반의 물량산출은 마감공종에 따라 그 방법이 다를 수 있으나, 구조재는 중심선 기준 치수를 적용하며, 실내 마감재는 안목 길이를 기준으로 정미 물량을 산출한다(이민철, 2011). 공간객체를

**Table 4 Comparison of the Traditional and BIM-based Quantity Take-off**

Type	Traditional Method	BIM Tool A	BIM Tool B	Applicability
Floor	= Width x Height ; Inside dimension	= Calculated Area	= Area	O
Ceiling	= Width x Height ; Inside dimension	= Calculated Area	= Area	O
Wall	= (Perimeter of Wall x Ceiling height) - Area of Opening(Door, Window)	= Wall surface area + Column area*	= Perimeter * Height - (Doors + Windows + Curtain walls*) Area	△
Based board	= Perimeter of Wall - Doors Width (- Windows Width below 10cm)	= Net perimeter - (Doors + Windows + Curtain wall*) width	= Perimeter - (Doors + Windows + Curtain walls*) Width	△
Molding	= Perimeter of Wall - (Windows Width at ceiling height)	= Net perimeter - (Windows + Curtain walls*) width	= Perimeter - (Windows + Curtain walls*) width	△

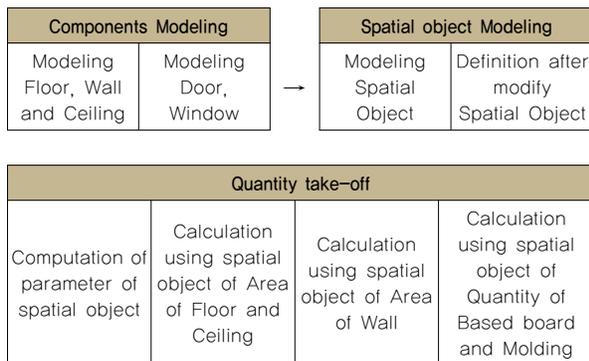
\* : Need for manual calculation, O : Applicable, △ : Need for error correction, X : Unapplicable

이용한 마감 물량산출은 바닥, 벽, 천정 객체가 모델링 되어 있다는 것을 전제로, 실의 안쪽 치수로 공간객체를 생성하고, 물량 정보 값을 추출한다. 이 값은 부재의 실제 물량과 다르기 때문에 별도의 산출 식을 통해 물량을 산출한다.

2D 기반 물량산출 방법과 공간객체를 이용한 물량 정보를 이용한 물량산출 식, 일부 보정이 필요한 부분을 Table 4와 같이 나타내었다(Table 4 참조). 바닥 마감의 경우 공간객체의 물량 정보 값을 그대로 적용할 수 있지만, 천정 마감은 관련된 물량 정보 값이 없기 때문에 바닥 면적을 천정 면적으로 가정해야 하는 한계가 있다. 벽 마감은 별도의 산출식이 필요한 경우도 있다. B 소프트웨어는 벽 마감 관련 물량 정보 값을 산출할 수 없기 때문에 공간객체 둘레길이와 높이 값에 개구부 면적을 공제하는 방법을 적용 하였다. 걸레받이, 몰딩은 공간객체의 둘레 길이 값에 개구부 길이가 공제되지 않기 때문에 걸레받이, 몰딩이 위치한 높이의 개구부 길이를 산출해 공제해야 한다.

**3.3 BIM 공간객체를 이용한 물량산출 프로세스**

사례 연구에 적용하기 위해 앞서 수행했던 내용들을 바탕으로 공간객체를 이용한 마감공사 물량산출 프로세스를 도출하였으며, Fig. 2와 같이 나타내었다.



**Figure 2 Process of Quantity take-off using Spatial object**

기본적인 마감 객체를 모델링 하는 과정에서는 바닥, 벽, 천정 객체를 모델링하고, 문, 창문과 같은 개구부는 벽 객체에 부착되게 모델링 하는 과정이 지켜져야 한다. 그리고 2.3절에서 분석된 공간객체의 생성 조건들도 함께 고려되어야 한다.

공간객체를 생성할 때에는 공간객체의 높이, 실 간의 벽 이음새가 제대로 닫혀 있는지, 객체의 바닥(base level)이 정확한 위치와 같은 조건들을 확인할 필요가 있다. 이때 공간객체의 이름, 설명, 공간 분류와 같은 속성들을 입력할 수도 있다. 마지막으로 공간객체를 통해 물량 정보 값을 추출하고, Table 4의 내용을 적용해 물량을 산출한다(Table 4 참조).

**4. BIM 공간객체를 이용한 마감공사 물량산출 정확성 분석**

공간객체를 이용한 마감공사 물량산출 정확성을 분석하기 위해 Fig. 3의 K 오피스의 일부 구획의 실별 바닥 마감, 천정 마감, 벽 마감, 걸레받이, 몰딩을 대상으로 사례 연구를 수행하였으며, 2번에 걸쳐 기존 2D 기반 방식으로 산출한 물량과 공간객체를 이용해 산출한 물량을 비교하였다.

첫 번째로 2D 도면을 분석하고, 기존 물량방식 산출 방식으로 각 실별 마감 물량을 산출하였다. 두 번째로 공간객체를 이용한



**Figure 3 BIM Model of K-Office**

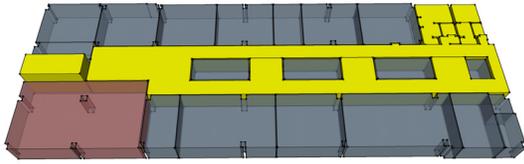


Figure 4 Spatial Objects of K-Office

물량산출을 위해 A, B 소프트웨어를 이용해 공간객체를 생성하고, 추출한 물량정보 값을 이용해 각 실별 마감 물량을 산출하였다. 세 번째로 기존 물량산출 방식으로 산출된 물량과 공간객체를 이용해 산출된 물량을 비교하였다. 그리고 오차발생 원인을 분석하고, 보정 방안을 도출하였다. 네 번째로 보정 방안을 적용해 물량 산출한 결과를 통해 정확성을 확인하였다.

처음 물량을 비교 분석할 때는, 수기 계산이 필요한 값을 적용하지 않기 때문에, 공간객체를 이용해 산출한 물량에서 큰 차이가 발생할 수 있으며, 그 원인을 분석해 보정 방안을 도출해야 한다. 보정 방안을 적용해 정확성을 향상시킨 뒤, 두 번째 비교 분석 결과를 통해 최종적인 정확성을 분석하고자 하였다.

#### 4.1 BIM 공간객체를 이용한 마감공사 1차 물량산출

기존 2D 기반 물량산출 방식을 위해 바닥 마감, 벽 마감, 천정 마감은 정미 면적으로 산출하고, 걸레반이, 몰딩은 정미 길이로 산출했다. 공간객체를 이용한 물량산출 방식을 위해 바닥, 벽, 천정 부재를 모델링 하였으며, 걸레반이와 몰딩은 모델링 하지 않고 공간객체를 Fig. 4와 같이 생성하였다. 공간객체를 이용해 산출된 물량은 직접 추출한 물량 정보 값만을 산출 식에 적용하였으며, 별도의 수기 계산을 거치지 않았다.

#### 4.2 1차 물량산출 결과 분석 및 원인 분석

1차 물량산출 결과는 기존 2D 기반 방식으로 산출한 물량을 참값으로 전제하고, 공간객체를 이용해 산출된 물량을 비교하였다. 각각 산출된 물량 값과 백분율로 나타낸 오차를 Table 5와 Table 6에 나타내었다(Table 5, Table 6 참조).

공간객체를 통해 산출한 바닥 마감은 기존 2D 기반 방식으로 산출한 물량과 최소 0.00%에서 최대 0.42%의 오차가 났으며, 평균 0.05%~0.21%의 오차를 보였다. 오차가 발생한 원인은 공간객체를 생성할 때 기본적으로 공제되는 면적이 있으며, 커튼 월과 기둥 사이의 좁은 공간 등에서 오차가 발생하였다. 그리고 소수점 둘째 자리 이하의 반올림 산출로 인해 발생한 오차도 포함되어 있었다.

천정 마감은 A, B 소프트웨어 간의 차이가 크게 나타나지 않았으며, 최소 0.00%에서 최대 1.88%의 오차와 평균 0.17%~0.18%의 오차를 보였다. 바닥 마감과 마찬가지로 BIM 소프트웨

Table 5 First Quantity take-off

Room	Area of Floor (m <sup>2</sup> )				
	Traditional (a)	BIM Tool A (b)	Variation A ((a-b)/a)	BIM Tool B (c)	Variation B ((a-c)/a)
Opening	118,22	117,73	0,42%	117,84	0,32%
Multi-purpose	45,25	45,25	0,00%	45,24	0,03%
Hall	243,38	243,39	0,01%	244,15	0,32%
Storage	45,62	45,62	0,01%	46,1	1,06%
Meeting - 1	18,49	18,49	0,01%	18,49	0,01%
Research	78,37	78,37	0,00%	78,36	0,01%
Round	28,95	28,95	0,01%	28,95	0,01%
Budget Plan	46,74	46,74	0,01%	46,72	0,03%
Reception	8,69	8,69	0,01%	8,67	0,22%
Info. Plan	45,25	45,25	0,00%	45,24	0,03%
...	...	...	...	...	...
Room	Area of Ceiling (m <sup>2</sup> )				
	Traditional (a)	BIM Tool A (b)	Variation A ((a-b)/a)	BIM Tool B (c)	Variation B ((a-c)/a)
Opening	117,64	117,73	0,08%	117,84	0,17%
Multi-purpose	45,22	45,25	0,06%	45,24	0,04%
Hall	243,41	243,39	0,01%	244,15	0,30%
Storage	45,60	45,62	0,04%	46,10	1,10%
Meeting - 1	18,49	18,49	0,01%	18,49	0,01%
Research	78,11	78,37	0,33%	78,36	0,32%
Round	28,93	28,95	0,08%	28,95	0,08%
Budget Plan	46,71	46,74	0,07%	46,72	0,03%
Reception	8,66	8,69	0,40%	8,67	0,17%
Info. Plan	45,22	45,25	0,06%	45,24	0,04%
...	...	...	...	...	...
Room	Area of Wall (m <sup>2</sup> )				
	Traditional (a)	BIM Tool A (b)	Variation A ((a-b)/a)	BIM Tool B (c)	Variation B ((a-c)/a)
Opening	90,46	78,27	13,47%	99,53	10,03%
Multi-purpose	72,20	62,07	14,03%	70,06	2,96%
Hall	253,30	253,77	0,18%	89,68	64,60%
Storage	65,40	60,67	7,22%	63,98	2,16%
Meeting - 1	0,00	0,00	0,00%	31,46	100,00%
Research	92,74	78,70	15,14%	93,34	0,64%
Round	43,23	43,23	0,01%	54,95	27,12%
Budget Plan	66,50	60,19	9,49%	68,28	2,67%
Reception	27,47	23,96	12,79%	31,53	14,77%
Info. Plan	72,20	62,07	14,03%	70,06	2,96%
...	...	...	...	...	...
Room	Length of Based board (m)				
	Traditional (a)	BIM Tool A (b)	Variation A ((a-b)/a)	BIM Tool B (c)	Variation B ((a-c)/a)
Opening	-	-	-	-	-
Multi-purpose	29,09	29,09	0,00%	29,51	28,46
Hall	92,97	99,73	7,27%	112,58	92,97
Storage	26,57	26,57	0,00%	27,25	26,20
Meeting - 1	-	-	-	-	-
Research	37,82	37,82	0,00%	40,34	37,16
Round	15,58	19,97	28,18%	22,02	19,97
Budget Plan	27,01	27,01	0,00%	27,49	26,44
Reception	10,02	12,19	21,72%	12,49	11,49
Info. Plan	29,09	29,09	0,00%	29,51	28,46
...	...	...	...	...	...
Room	Length of Molding (m)				
	Traditional (a)	BIM Tool A (b)	Variation A ((a-b)/a)	BIM Tool B (c)	Variation B ((a-c)/a)
Opening	-	-	-	-	-
Multi-purpose	26,28	26,58	1,14%	25,91	1,41%
Hall	-	-	-	-	-
Storage	24,06	24,06	0,00%	23,65	1,69%
Meeting - 1	-	-	-	-	-
Research	34,22	35,6	4,03%	34,94	2,09%
Round	17,68	22,02	24,55%	22,02	24,56%
Budget Plan	24,58	24,46	0,49%	25,69	4,53%
Reception	10,99	13,19	20,02%	12,49	13,67%
Info. Plan	26,28	26,58	1,14%	25,91	1,41%
...	...	...	...	...	...

**Table 6 Results of First Quantity take-off**

Total	Floor		Ceiling		Wall		Based board		Molding	
	BIM Tool A	BIM Tool B	BIM Tool A	BIM Tool B	BIM Tool A	BIM Tool B	BIM Tool A	BIM Tool B	BIM Tool A	BIM Tool B
Average	0.05%	0.21%	0.18%	0.17%	6.88%	24.57%	9.34%	9.28%	8.33%	8.72%
Minimum	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.22%
Maximum	0.42%	0.21%	1.88%	1.10 %	19.71%	100.00%	33.44%	33.24%	31.88%	31.69%

어에서 기본적으로 공제되는 면적 차이와 소수점 계산으로 인한 오차를 포함하고 있었다. 천정 마감은 공간객체 바닥 면적 값을 그대로 적용했기 때문에, 그 오차가 바닥 마감에 비해 더 큰 것으로 나타났다.

벽 마감은 소프트웨어 간의 차이가 크게 나타났다. A 소프트웨어의 경우 오차가 0.00%~19.71%이며, 평균이 6.88%로 나타났다. B 소프트웨어는 차이가 0.00%~100%이며, 평균이 24.57%인 것으로 나타났다. 각각의 소프트웨어에서 발생한 차이의 원인을 분석한 결과, A 소프트웨어에서 추출한 벽 면적은 문이나, 창문 등 문에 부착된 개구부 면적을 공제하여 산출되었으나, 공간에 접한 기둥 면적을 포함하지 않았기 때문에 기둥 면적만큼의 차이가 발생한 것으로 나타났다. B 소프트웨어는 벽 면적과 관련해 추출할 수 있는 물량 정보가 없기 때문에 공간객체의 바닥 둘레 길이와 높이 값을 곱한 값에 개구부 면적을 공제하였다. 개구부 면적을 산출할 때 2개의 실에 걸쳐 위치한 창문 객체가 있을 때 공간객체에 접한 창문 면적만 산출해야 하나, 창문 자체의 면적을 산출하기 때문에 옆에 있는 실에 접한 개구부 면적까지 공제하는 과정에서 오차가 발생하였다. 또한 외벽에 위치한 커튼월 면적이 공제되지 않았기 때문에 발생한 오차도 큰 것으로 나타났다.

걸레받이는 A, B 소프트웨어 간 차이는 크게 보이지 않았으며, 최소 0.00%에서 최대 33.44%, 평균 9.28%, 9.34%의 차이를 나타냈다. A, B 소프트웨어의 오차 원인은 다르게 나타났다. A 소프트웨어에서는 복도 중간에 위치한 소회의실 1~3, 오픈 키친 총 4개의 벽 객체가 창이 아닌 전면 커튼월로 모델링되었기 때문에, 문이나 창문 길이로 산출되지 않은 데에서 큰 차이가 발생했다. B 소프트웨어는 벽 마감을 구할 때와 마찬가지로 공간에 접한 개구부의 길이만큼 공제 되어야 하지만 다른 실에 접한 개구부의 전체 길이까지 공제되었기 때문에 큰 오차가 발생하였다.

몰딩은 A, B 소프트웨어 간 차이는 크게 보이지 않았다. 최소 0.00%에서 최대 31.88%의 차이가 났으며, 평균적으로 8.33%, 8.72%의 차이를 보였다. 몰딩은 A, B 소프트웨어에서 모두 커튼월 너비 길이가 공제되지 않았기 때문에 큰 차이가 발생하였다.

**4.3 보정 방안**

1차 물량산출 결과 및 그 분석에서 도출된 오차 원인을 토대

**Table 7 Correction of First Quantity take-off**

Type	BIM Tool A	BIM Tool B
Wall	Add area of column	Deduct area of curtain wall
	= Wall surface area + Column area	= perimeter * height - (door + window) area - curtain wall area
Based board	Deduct length of curtain wall	Deduct length of curtain wall
	= net perimeter - (door + window) width - curtain wall width	= perimeter - (door + window) width - curtain wall width
Molding	Deduct length of curtain wall	Deduct length of curtain wall
	= net perimeter - window width - curtain wall width	= perimeter - window width - curtain wall width

로 Table 7과 같이 2차 보정 방안을 도출하였다(Table 7 참조). 바닥과 천정 마감은 BIM 소프트웨어에서 추가로 보정할 수 있는 공간객체 물량 정보가 없으므로 2차 물량산출에서는 제외하였다. 벽 마감은 BIM 소프트웨어에 따라 보정 방안을 달리하였다. A 소프트웨어에서는 1차 물량산출을 통해 추출된 벽 면적에 기둥 면적을 추가하였으며, B 소프트웨어에서는 공간 둘레와 높이를 곱한 값에 커튼월을 포함한 개구부 면적을 공제하여 산출하였다. 걸레받이 및 몰딩은 문, 창문과 함께 커튼월 길이를 공간 둘레에서 공제하여 2차 물량을 산출하였다.

**4.4 물량 보정으로 인한 2차 물량산출 및 결과 분석**

1차 물량산출 결과에 보정 방안을 적용해 2차 물량산출을 수행하였다. 2차 물량산출에서는 바닥, 천정 마감을 제외한 벽 마감, 걸레받이, 몰딩 물량을 산출해 아래의 Table 8과 같이 나타내었다(Table 8 참조).

2차 물량산출 결과, A 소프트웨어에서의 벽 마감은 오차가 크게 감소하여 최소 0.00%~최대 2.01%의 오차가 났으며, 평균 0.17%의 오차를 보였다. B 소프트웨어는 오차가 상대적으로 높게 나타났는데, 최소 0.00%에서 최대 74.36%의 차이가 났으며, 평균 7.13%의 차이를 보였다. 오차 원인을 분석한 결과, 1차 물량산출 시 오차가 0.00%였던 몇몇 실들이 2차 물량산출 과정에서 오차가 크게 증가하였기 때문이다. 복도 가운데에 위치한 소회의실 1~3, 오픈 키친의 커튼월 면적이 포함되지 않았던 1차 물량산출에서는 오차가 0.00%이었다. 하지만 2차 물량산출에서 이

Table 8 Secondary Quantity take-off

Room	Area of Wall (m <sup>2</sup> )				
	Traditional (a)	BIM Tool A (b)	Variation A ((a-b)/a)	BIM Tool B (c)	Variation B ((a-c)/a)
Opening	90,46	90,83	0,40%	62,79	30,59%
Multi-purpose	72,20	72,20	0,00%	70,06	2,96%
Hall	253,30	253,77	0,18%	64,95	74,36%
Storage	65,39	65,40	0,00%	63,98	2,16%
Meeting - 1	0,00	0,00	0,00%	31,46	0,00%
Research	92,74	92,74	0,00%	90,42	2,50%
Rounge	43,22	43,23	0,01%	43,23	0,01%
Budget Plan	66,50	66,51	0,01%	68,28	2,67%
Reception	27,47	27,47	0,01%	25,59	6,85%
Info, Plan	72,20	72,20	0,00%	70,06	2,96%
...	...	...	...	...	...
Room	Length of Based board (m)				
	Traditional (a)	BIM Tool A (b)	Variation A ((a-b)/a)	BIM Tool B (c)	Variation B ((a-c)/a)
Opening	-	-	-	-	-
Multi-purpose	29,09	29,09	0,00%	28,46	2,17%
Hall	92,97	90,57	2,58%	83,81	9,85%
Storage	26,57	26,57	0,00%	26,20	1,38%
Meeting - 1	-	-	-	-	-
Research	37,82	37,82	0,00%	37,16	1,76%
Rounge	15,58	15,63	0,32%	15,63	0,33%
Budget Plan	27,01	27,01	0,00%	26,44	2,10%
Reception	10,02	9,99	0,25%	9,29	7,22%
Info, Plan	29,09	29,09	0,00%	28,46	2,17%
...	...	...	...	...	...
Room	Length of Molding (m)				
	Traditional (a)	BIM Tool A (b)	Variation A ((a-b)/a)	BIM Tool B (c)	Variation B ((a-c)/a)
Opening	-	-	-	-	-
Multi-purpose	26,28	26,58	1,14%	25,901	1,41%
Hall	-	-	-	-	-
Storage	24,06	24,06	0,00%	23,65	1,69%
Meeting - 1	-	-	-	-	-
Research	34,22	34,52	0,88%	33,85	1,08%
Rounge	17,68	17,68	0,00%	17,68	0,01%
Budget Plan	24,58	24,46	0,49%	25,69	4,53%
Reception	10,99	10,99	0,00%	10,29	6,35%
Info, Plan	26,28	26,58	1,14%	25,91	1,41%
...	...	...	...	...	...

미 공제되어 있던 커튼월 면적을 중복 공제함으로써 불필요한 오차를 발생시킨 것으로 나타났다. 또한, 1차 물량산출에서 주요 오차 원인으로 분석되었던 인접 실의 개구부 면적 공제에 대한 문제가 해결되지 않았기 때문에 발생한 오차 원인도 있었다.

걸레받이를 비교한 결과, A 소프트웨어는 1차 물량에 비해 차이가 감소하여 최소 0,00%에서 최대 2,58%의 차이가 났으며, 평균 0,21%의 차이를 나타냈다. B 소프트웨어는 상대적으로 높은 오차를 나타냈으며, 최소 0,00%에서 최대 9,85%의 오차와

Table 9 Results of Secondary Quantity take-off

Total	Area of Wall		Length of Based board		Length of Molding	
	BIM Tool A	BIM Tool B	BIM Tool A	BIM Tool B	BIM Tool A	BIM Tool B
Average	0,17%	7,13%	0,21%	2,11%	0,45%	1,53%
Minimum	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
Maximum	2,01%	74,36%	2,58%	9,85%	1,26%	6,35%

Table 10 Comparison of First and Secondary Quantity take-off

Total	Area of Wall		Length of Based board		Length of Molding	
	BIM Tool A	BIM Tool B	BIM Tool A	BIM Tool B	BIM Tool A	BIM Tool B
Average	-6,71%	-17,44%	-9,13%	-7,17%	-7,88%	-7,19%
Minimum	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,21%
Maximum	-17,70%	-25,64%	-30,86%	-23,39%	-30,62%	-25,34%

평균 2,11%의 오차를 나타내었다. 그 원인은 벽 마감과 마찬가지로 복도의 소화의실 1~3, 오픈キッチンの 돌레길이가 중복 공제된 점과 함께 다른 실의 개구부 너비 길이까지 공제되었기 때문에 발생한 것으로 분석되었다.

몰딩 길이 역시 A 소프트웨어는 최소 0,00%에서 최대 1,26%의 차이가 발생했으며, 평균 0,45%의 오차를 나타내었다. B 소프트웨어는 최소 0,01%에서 최대 6,35%의 차이가 발생했으며, 평균 1,53%의 오차를 나타내어, 상대적으로 높은 오차율을 나타내었다. 그 원인으로는 벽 마감과 걸레받이 길이에서 발생한 차이와 마찬가지로 복도에서 발생한 오차와 개구부 길이 공제에서 발생한 오차가 큰 원인으로 작용하였다.

#### 4.5 BIM 공간객체를 이용한 물량산출 정확성 분석

2D 기반의 물량산출 결과와 공간객체를 이용한 물량산출 결과를 1, 2차에 걸쳐 비교 분석한 결과를 Table 9에 나타내었으며, 2D 기반의 물량산출에 대한 공간객체를 이용한 물량산출 평균오차는 보정 방안을 적용하여 평균 0,05%~24,57%에서 0,05%~7,13%까지 감소시킬 수 있었다(Table 9 참조).

최종 부위별 물량산출 결과를 살펴보면, 1차 물량산출 결과에서 바닥 마감은 평균 0,05%, 0,21%의 오차율을 나타내 정확성이 높다고 할 수 있다. 천정 마감은 보정 방안을 적용하지 않은 상태에서 평균 0,17%, 0,18%의 오차율을 나타내 바닥 마감과 마찬가지로 오차율이 1%를 넘지 않는 정확성을 나타내고 있다(Table 6 참조).

Table 10에 나타난 벽 마감, 걸레받이, 몰딩의 1,2차 물량산출 결과를 살펴보면, 벽 마감은 1차에서 평균 6,88%, 24,57%의 차이를 나타냈다. 그러나 2차에서는 A, B 소프트웨어 각각 -17,70%, -25,64%의 오차율이 감소한 0,17%, 7,13%로 나타나 기둥 면적

및 커튼월 면적에 대한 보정 방안이 공간객체를 이용한 물량산출 정확성을 높이는데 유효했음을 알 수 있다. 걸레반이 길이는 1차 물량산출에서 평균 9.34%, 9.28%의 차이를 나타냈으나, 2차 물량산출에서 평균 오차율이 A, B 소프트웨어 각각 -9.13%, -7.17% 감소한 0.21%, 2.11%로 나타나 커튼월 길이를 공제한 보정 방안이 유효했음을 알 수 있다. 몰딩 길이는 1차 물량산출에서 평균 8.33%, 8.72%의 차이를 나타냈으나, 2차 물량산출에서 평균 오차율이 A, B 소프트웨어 각각 -7.88%, -7.19% 감소한 0.45%, 1.53%로 나타나 커튼월 길이를 공제한 보정 방안이 유효했음을 알 수 있다(Table 6, Table 9, Table 10 참조).

이 같은 결과들은 적절한 보정 방안을 통해 공간객체를 이용한 물량산출 정확성을 높일 수 있다는 것을 나타낸다.

## 5. 결론

본 연구에서는 기존 물량산출 방식과 BIM 공간객체로 부터 산출된 물량을 비교하여, BIM 공간객체를 이용한 물량산출 정확성을 검증하였다. 사례 연구를 통해 실제 프로젝트에서 발생하는 마감공사 물량을 1, 2차에 비교 분석한 결과, 1차 물량산출에서 공간객체로 부터 산출된 물량은 기존 방식에 의해 산출된 물량 보다 평균적으로 0.05~24.57% 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 물량차이에 의해 BIM 공간객체 물량의 정확도가 떨어지므로, 물량차이의 원인을 분석하고 이를 보정함으로써 2차로 물량차이를 비교 분석하였다. 그 결과 물량 차이는 0.05%~7.13%로 축소되었다.

BIM 공간객체 물량의 정확성을 분석하는 과정에서 본 연구는 다음과 같은 두 가지 시스템적 특징을 정리하였다. 첫째, BIM 소프트웨어 마다 공간객체로 부터 산출 가능한 물량의 종류가 다르다. 물량의 종류가 한정되어 있다. 일반적으로 공간객체가 가지고 있는 물량정보는 길이와 면적이지만, Table 1에서와 같이 BIM 소프트웨어 마다 제공하는 물량 정보의 종류가 다르고, 계산방식에도 차이가 있는 것으로 나타났다. 물량차이가 발생하는 부분은 수기계산을 통해 물량을 보정해야 정확한 물량을 산출할 수 있는 것이다.

둘째, 공간의 형태를 결정하는 주변 부재들이 평평해야 정확한 물량산출이 가능하다. 공간의 형태 또는 경계를 결정하는 부재의 유형에 따라 물량산출이 가능한 경우와 그렇지 않은 경우가 존재하기 때문이다(Table 3 참조). 공간의 경계가 평평하지 않은 경우, 즉 공간의 경계가 곡면 또는 비정형으로 이루어진 경우 물량산출에 제약이 있다.

이러한 한계점들을 바탕으로 실무의 운용적 관점에서 정확한 BIM 공간객체의 물량을 산출하기 위해 다음과 같은 사항을 준수해야 한다.

첫째, BIM 소프트웨어가 제공하는 공간객체의 특징과 물량정보를 명확하게 인지해야 한다. BIM 공간객체를 이용한 물량산출에서는 물량산출에 필요한 마감재를 직접 모델링 하지 않고, 공간객체를 통해 물량을 산출하기 때문에 마감재를 모델링하는데 소요되는 작업 시간을 단축할 수 있다. 그러나 BIM 공간객체와 물량정보를 사전에 충분히 검토하지 않는다면, 기존 물량산출 방식에 비해 물량차이가 커지고, BIM 물량산출 결과물의 신뢰도가 저하된다.

둘째, BIM 공간객체 물량의 정확성을 확보하기 위해 물량 보정 방안을 마련해야 한다. 본 연구에서와 같이 물량 보정방안을 마련하여, 물량차이를 줄임으로써 BIM 공간객체 물량의 정확성을 확보할 수 있었기 때문이다. 특히, 걸레반이, 몰딩 등 벽과 관련된 물량은 기존방식과 물량차이가 크기 때문에 BIM 공간객체로부터 물량이 산출 또는 보정된 과정을 면밀히 검토해야 한다.

마지막으로, 본 연구는 공간객체를 이용한 물량산출에 대한 구체적인 방법 및 프로세스 제시와 사례 연구를 통한 정확성 검증에 의의가 있으며, 이번 연구를 통해 나타난 BIM 소프트웨어의 공간객체 기능의 개선을 통해, 본 연구에서 다루지 못한 다양한 공간 및 자재를 대상으로 한 물량산출 정확성 검증 및 보정 방안에 관한 후속 연구들이 진행되어야 할 것이다.

## References

- Autodesk (2014), "Autodesk Revit 2014", <<http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ENU/>> (Dec. 10, 2014)
- André Monteiro, João Poças Martins (2013), "A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design", *Automation in Construction*, Vol. 35, pp. 238-253.
- Choi, C-H, Park, Y-J, Han, S-H, Chin, S-Y (2006), "Recipe-based estimation system for 5D(3D+Cost+Schedules) CAD system", *Proc. Of KICEM Annual Conference 2006*, pp. 154-160.
- Cooperative Research Centre for Construction Innovation (2009), "National Guidelines for Digital Modeling".
- Department of Veterans Affairs (2010), "The VA BIM Guide".
- Franco K.T, Cheung, Jonathan Rihan, Joseph Tah, David Duce, Esra Kurul (2012), "Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models", *Automation in Construction*, Vol. 27, pp. 67-77.
- Graphisoft (2014), "Help Center", <<http://helpcenter.graphisoft.com>> (Dec. 10, 2014)
- GSA (2007), "GSA BIM Guide Series 02: BIM Guide for Spatial

- Program Validation”.
- Jo, K-I (2012), “Schematic estimate about building finishing construction in design development process of apartment housings”, Masters Thesis, Hanyang University.
- Jun, Y-J, Kim, J-H, Kim, J-J (2010), “A Study on the Process of Estimating the Amount of Materials for Client's Decision-Making Support in Space Programming Stage of Pre-design BIM”, Journal of The Korean Digital Architecture Interior Association, Vol. 10, No. 3, pp. 19-28.
- Jung, G-Y, Woo, J-W, Kang, K-D, Shin, J-C (2013), “Reliability Analysis and Utilization of BIM-based Highway Construction Output Volume”, Journal of KIBIM, Vol. 3, No. 3, pp. 9-18.
- Jung, J-H, Lee, C-H, Kim, S-A, Chin, S-Y, Choi, C-H (2010), “Development of Construction Method based Automated Estimation System Considering Characteristics of the Domestic Construction Industry”, Proc. of the Computational Structural Engineering Institute Conference 2010, pp. 93-96.
- Kim, B-M, Jeon, H-J, Jang, S-J, Yun, S-H, Paek, J-H (2008), “A Study on the Improving Effectiveness of Quantity Estimation with BIM”, Proc. of the Architecture Institute of Korea, Vol. 28, No. 1, pp. 705-208.
- Kim, H-J, Choi, J-S, Kim, H-S, Kim, I-H (2013), “The Development of Data Model for Open BIM-Based Schematic Estimates – Focused on Construction Type for Actual Cost of Public Projects”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 3, pp. 61-70.
- Kim, H-S, Choi, J-S, Kim, I-H (2013), “A Methodology of Open BIM-Based Quantity Take-Off for Schematic Estimation of Frame Work in Super-Tall Buildings”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 5, pp. 31-38.
- Kim, J-H, Yoon, S-W (2013), “A Verification of the Accuracy in BIM-Based Quantity Taking-Off”, Journal of KIBIM, Vol. 3 No. 2, pp. 1-9.
- Kim, S-A, Yoon, S-W, Chin, S-Y, Kim, T-Y (2009), “A Development of Automated Modeling System for Apartment Interior to Improve Productivity of BIM-based Quantity Take-Off”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 9, pp. 133-143.
- Kim, S-M, Cho, J-H, Lee, J-S, Chun, J-Y (2009), “Cost Estimating Model of Structural Elements using Approximate Quantity Survey in Preliminary Building Design Phase”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 12, pp. 155-164.
- Kim, Y-J, Kim, S-A, Chin, S-Y (2012), “A Study of BIM based estimation Modeling data reliability improvement”, Korean journal of construction engineering and management , Vol. 13, No. 3, pp. 43-55.
- Kwon, O-C, Jo, C-W, Cho, J-W (2011), “Introduction of BIM Quality Standard for Quantity Take-off”, Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 11, No. 2, pp. 171-180.
- Lee, M-K, Chin, S-Y (2013), “A Study on the Accuracy of BIM-based Quantity Take-Off of Apartment Interior”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 14, No. 1, pp. 12-22.
- Park, M-H, Hwang, Y-S (2010), “A Study on Space Zoning Quantity Take off from the BIM based Building Model”, Proc. of the Architecture Institute of Korea, Vol. 30, No. 1, pp. 113-114.
- Park, Y-S (2010), “The Development of the Spatial Layout Evaluation Model (SLEM) for the Integrated Design Environment based on BIM Technologies”, Journal of the Architecture Institute of Korea, Vol. 26, No. 4, pp. 143-150.
- Park, S-J, Lee, K-H, Hong, KS, “A Study on Form Classification of Atypical Architecture Design”, Journal of Digital Interaction Design, Vol. 11, No. 4, pp. 37-52.
- Public Procurement Senior(2013), “Bim Guideline for Facilities project”, v. 1.2.
- Roh, S-J, Tae, S-H, Kim, T-H (2013), “The Study on the Deduction of Finishing Area Approximate Estimating Equation for Finishing Material Takeoff by Apartment Houses Element”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 6, pp. 73-80.
- Senate (2007), “Senate Properties : BIM Requirements 2007, Volume 7 : Quantity take-off”.
- Seong, J-H, Kim, K-C (2009), “A Study on Spatial Program Validation of General Service Administration”, Journal of the Architecture Institute of Korea, Vol. 26, No. 4, pp. 143-150.
- Singapore Building and Construction Authority (2013), “Singapore BIM Guide Version 2”.

Yoon, M-C (2013), "Architectural Design Considering the Composed Unit Cost of BIM Rough Estimation Research", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 10, pp. 131-140.

Zigang Shen, Raja R. A. Issa (2010), "Quantitative evaluation of the BIM-assisted construction detailed cost estimates", Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 15, pp. 234-257.