

# 도로분야 BIM 견적을 위한 IFC 기반 물량산출 속성 표준화 방안

원지선<sup>°</sup>, 신재영<sup>\*</sup>, 문현석<sup>\*</sup>, 주기범<sup>\*</sup>

## IFC-Based Standardization Methods of Quantity Take-Off Properties for Road Construction Cost Estimating

Jisun Won<sup>°</sup>, Jaeyoung Shin<sup>\*</sup>, Hyoun-Seok Moon<sup>\*</sup>, Ki-Beom Ju<sup>\*</sup>

### 요 약

BIM 기반 물량산출 및 견적은 다양한 이점을 가지고 있음에도 불구하고 호환성 향상을 위한 표준 데이터 모델 부재 및 데이터 모델의 속성 요구조건 부재로 인하여 국내 적용이 활발히 이루어지지 못하고 있다. 국내 실무에 BIM 기반 물량산출 및 견적 업무를 정착시키기 위해서 내역에 활용될 BIM 객체별 입력속성과 물량정보에 대한 구성기준과 다양한 BIM 소프트웨어에서 산출한 물량정보를 손실 없이 견적 소프트웨어로 전달하기 위한 데이터 포맷이 필요하다. 본 연구는 도로분야 BIM 기반 물량산출 및 견적 부문 업무지침 개발을 위한 기초 연구로 내역 작성에 필요한 물량정보를 BIM 모델로부터 제공받아 활용할 수 있도록 데이터 구성기준과 데이터 포맷 측면에서 BIM 기반 데이터 유통 체계를 위한 표준화 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 다음과 같은 절차에 따라 연구를 진행하였다. 첫째, BIM 기반 물량산출 및 견적에 대한 연구사례와 IFC Qset을 활용한 연구현황을 분석하고 IFC 개발방법론에 대하여 고찰하였다. 둘째, IFC 개발방법론을 활용하여 도로사업에서 적용 가능한 BIM 기반 설계, 물량산출 및 견적 업무 프로세스를 정의하고 교환되는 BIM 모델의 요구정보를 정의하였다. 셋째, 정의한 교환 요구정보가 표준화된 IFC 데이터로 저장, 유통될 수 있도록 IFC 속성세트 확장 방법론에 따라 Pset과 Qset을 개발하였다. 넷째, BIM 소프트웨어에서 개발한 Pset과 Qset을 활용한 교환 요구정보의 입출력 테스트를 수행하여 견적에 필요한 물량산출 정보가 BIM 모델 데이터로부터 자동 추출되어 IFC 파일에 저장, 전달되는 과정을 검증하였다. 향후, 테스트베드 운영을 통해 연구성과를 검증, 보완하고 적용효과를 정량적으로 측정 및 검증하는 실증연구를 진행할 계획이다. 이러한 단계적 연구 수행을 통해 도로분야 BIM 기반 물량산출 업무에서 작업자 숙련도에 의존한 수작업 비율을 줄이고, 견적 소프트웨어에 자동 연계되어 활용되는 BIM 형상 기반 물량정보 비율을 늘려 견적업무의 정확성과 신뢰성 확보에 기여하고자 한다.

**Key Words** : BIM(Building Information Modeling), BIM-based Cost Estimating, IFC(Industry Foundation Classes), Pset(Property Set), Qset(Quantity Set), QTO(Quantity Take-Off)

### ABSTRACT

Although BIM-based QTO and estimates have various advantages, they are not actively applied due to the absence of standard data models and the attribute requirements. In order to establish BIM-based QTO and estimates, criteria for input attributes and data format are required for quantities produced by BIM software to

※ 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 19SCIP-C121389-04)

•° First and Corresponding Author: Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, wonjisun@kict.re.kr, 정희원

\* Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, jaeyoungshin@kict.re.kr, 정희원; hsmoon@kict.re.kr; kbju@kict.re.kr

논문번호 : 201910-240-C-RU, Received October 22, 2019; Revised November 8, 2019; Accepted November 11, 2019

be delivered to the estimation software without loss. This research suggests standardization for the BIM-based data distribution system in terms of data composition criteria and data format. For the purposes, the study was carried out as follows. 1) Previous research using IFC Qset and case studies on BIM-based QTO and estimate were analyzed. 2) BIM-based design, QTO and estimation processes and the exchange requirements for road projects are defined applying the IFC development Methodology. 3) Pset and Qset were developed according to IFC Pset extension methodology. 4) I/O testing of exchange information in BIM software was performed to verify the process of extraction of quantities from models. In the future, it is planning to verify research including quantitative measurement of application effects. In stages of research, the results of this research intend to be a basis of BIM-based QTO and estimate guidelines for road domain and contribute to ensuring accuracy and reliability of the estimation work by reducing manual work and increasing BIM-based automatic work linked to estimation software.

## I. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건설사업관리에서의 원가관리분야는 사업초기 단계에서 사업의 경제성을 분석하고 계약실무에서 반드시 필요한 공사원가내역서의 작성과 건설사업의 기성관리 등 경제적인 파급효과가 높은 분야이며, BIM(Building Information Modeling) 적용에 따른 경제성과 업무생산성을 정량적으로 향상시킬 수 있는 개발분야이다<sup>[1]</sup>.

물량산출이라 함은 건설 공사에서 공사에 소요되는 재료의 수량 및 작업의 소요량을 계산하는 것을 말하며, BIM 기반 물량산출은 3차원 모델로부터 물량산출에 필요한 모델의 길이, 높이, 면적과 같은 물량정보를 불러들여 해당 내역과 연계하여 물량을 산출하는 것이라고 정의할 수 있다<sup>[2]</sup>. 일반적인 BIM의 물량산출 방식은 설계 시 BIM 도구를 활용하여 상세한 모델을 작성하고, 모델을 구성하는 각각의 객체에 속성 정보를 부여하고 객체에 대한 체적, 면적, 길이를 추출하여 물량정보를 산출한다<sup>[3]</sup>.

BIM 기반 물량산출 및 견적은 기존 2차원 기반 견적보다 정확하고, 시공성 검토 및 간섭 검토 등의 다양한 이점을 가지고 있음에도 불구하고 호환성 향상을 위한 표준 데이터 모델 부재 및 데이터 모델의 속성 요구조건 부재로 인하여 국내 적용이 활발히 이루어지지 못하고 있다<sup>[4]</sup>고 평가받고 있다. 건축분야 견적업무 종사자를 대상으로 국내 BIM 기반 견적 도입을 위한 우선과제를 조사한 설문<sup>[1]</sup> 결과, 견적을 위한 BIM 설계 모델링 지침이 가장 필요하며 IFC(Industry Foundation Classes) 기반 물량산출 소프트웨어와 IFC 기반 개산견적 프로그램 등이 필요하다고 응답했다.

이와 같은 기술적 어려움을 해결하고 실무에 BIM 기반 물량산출 및 견적 업무를 정착시키기 위해서는 내역에 활용될 BIM 객체별 입력속성과 물량정보에 대한 구성기준과 다양한 BIM 소프트웨어에서 산출한 물량정보를 손실 없이 견적 소프트웨어로 전달하기 위한 데이터 포맷이 마련되어야 한다. 즉, BIM 기반 설계, 물량산출 및 견적 업무 프로세스 흐름에 따라 유통되는 정보체계에 대한 표준화 연구가 필요한 상황이다.

건축분야는 개산견적 업무 또는 골조, 마감 등 특정 공종을 대상으로 BIM 기반 물량산출 및 견적에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔으며, 개방형 BIM을 적용한 표준화 연구가 일부 진행된 바 있다. 반면, 토목분야는 관련 연구가 전반적으로 부족한 상황이며 표준화 관점의 연구도 초기 단계이다.

스마트 건설기술 로드맵<sup>[5]</sup>을 통해 2020년 이후 500억 이상 도로사업의 BIM 발주 의무화가 발표됨에 따라 공공발주기관 관점에서는 BIM 데이터의 작성, 납품, 활용 업무가 효율적으로 수행될 수 있도록 업무 프로세스와 데이터 관리 관점에서 기준 마련이 시급한 시점이다.

따라서 본 연구에서는 도로분야 BIM 기반 물량산출 및 견적 업무지침 개발을 위한 기초 연구로서 내역 작성에 필요한 물량정보를 BIM 모델로부터 제공받아 활용할 수 있도록 BIM 기반 데이터 유통 체계를 위한 표준화 방안을 제시하고자 한다. BIM 데이터 구성 관점에서는 BIM 소프트웨어에 입력하는 속성 항목과 계산되는 물량속성 항목을 표준화하고, BIM 데이터 교환 관점에서는 BIM 모델과 연계된 물량산출 데이터를 표준화하여 견적 소프트웨어에서 활용할 수 있는 데이터 포맷을 제안한다. 이러한 표준화를 통해 도로분야 BIM 기반 물량산출 업무에서 작업자 숙련도

에 의존한 수작업 비율을 줄이고, 견적 소프트웨어에 자동 연계되어 활용되는 BIM 형상 기반 물량정보 비율을 늘려 견적업무의 정확성과 신뢰성 확보에 기여하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

정확하고 신뢰성 높은 견적 모델 데이터를 구축하기 위해서는 정보교환 요구 표준에 맞는 객체별 속성과 입력변수에 대한 정의가 가장 중요하다<sup>6)</sup>. 또한, 객체별 속성과 입력변수 정의 시 대상시설의 특성과 발주기관 업무의 특성이 반영되어야 한다. 본 연구는 도로사업을 대상으로 하되, 국토교통부 지방국토관리청의 특성을 반영하고 국토공사 설계실무요령에 명시된 수량산출내역 구성을 참조하여 요구정보를 정의하였다.

BIM 기반 물량산출 데이터를 저장하고 견적 소프트웨어에 전달하는 과정에는 다양한 파일 포맷이 활용될 수 있다. 공공발주기관에서 지정하는 데이터 유통 및 납품 포맷은 특정 소프트웨어에 국한된 형태보다는 다양한 소프트웨어에서 공통적으로 활용 가능한 중립포맷 형태가 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 국내외에서 중립포맷으로 많이 활용 중인 bSI(buildingSMART International)의 IFC 국제표준을 활용하고자 한다.

IFC 스키마는 ISO 10303-11<sup>7)</sup>에서 규정한 제품 명세 언어인 EXPRESS로 정의된다. bSI는 표준 스키마의 확장개발을 지원하기 위해 EXPRESS 방식 외에 사용자 정의 속성을 활용 목적별 속성세트로 구성하는 XML 방식을 제공한다. 사용자 정의 속성은 Property Set(이하 Pset)으로, 물량 속성은 Quantity Set(이하 Qset)으로 구성되며, 이러한 속성세트는 EXPRESS 스키마와 연계할 수 있는 XML 스키마에 따라 명세가 정의된다.

발주기관은 IFC 국제표준 스펙에 포함된 속성세트를 그대로 활용할 수 있지만, 활용 목적에 맞는 속성세트가 존재하지 않는 경우 추가 개발하여 기관표준으로 활용할 수 있다. 발주기관에서 기관용 속성세트를 배포하면, 설계사는 IFC 변환 지원 BIM 소프트웨어에서 속성세트를 로드하여 Pset 항목에 따라 속성을 입력하고, Qset 항목에 따라 자동 추출된 정보를 IFC 파일로 저장하여 납품 또는 견적 등 업무에 활용하는 개념이다.

본 연구에서는 IFC 속성세트 확장 개발방법론을 적용하여 지방국토관리청에서 활용 가능한 Pset, Qset을 개발하였다. Pset, Qset과 연계되는 IFC 스키마는

bSI 홈페이지에 PAS(Public Available Specification)로 공개된 IfcRoad<sup>8)</sup>를 활용하되, IfcRoad 객체에 부여할 물량산출과 견적에 필요한 속성을 Pset과 Qset으로 개발하고 가능성을 검증하는 부분까지를 연구 범위로 하였다.

이와 같은 범위와 개념을 바탕으로 다음과 같은 절차에 따라 연구를 진행하였다. 첫째, BIM 기반 물량산출 및 견적에 대한 연구사례와 IFC Qset을 활용한 연구현황을 분석하고 IFC 개발방법론에 대하여 고찰하였다. 둘째, IFC 개발방법론을 활용하여 도로사업에서 적용 가능한 BIM 기반 설계, 물량산출 및 견적 업무 프로세스를 정의하고 교환되는 BIM 모델의 요구정보를 정의하였다. 셋째, 정의한 교환 요구정보가 표준화된 IFC 데이터로 저장, 유통될 수 있도록 IFC 속성세트 확장 방법론에 따라 Pset과 Qset 명세를 개발하였다. 넷째, BIM 소프트웨어에서 Pset과 Qset을 활용한 교환 요구정보의 입력력 테스트를 수행하여 견적에 필요한 물량산출 정보가 BIM 모델 데이터로부터 자동 추출되어 IFC 파일에 저장, 전달되는 과정을 검증하였다.

## II. 이론적 고찰

### 2.1 BIM 기반 물량산출 연구 현황

#### 2.1.1 연구동향 분석

국내 주요 BIM 기반 물량산출 및 견적 관련 선행 연구는 건축분야에서 견적을 위한 물량산출 자동화 관점에서 중점적으로 수행되었으며, 주로 BIM 기술을 활용한 물량산출 업무의 효율화를 목적으로 한다. 구체적으로는 표 1과 같이 BIM 기반 물량산출 및 견적 프로세스 및 방법론 연구 분야, 물량산출 모델 구축 방안 및 모델링 자동화 시스템 개발 분야, IFC 기반 물량산출 및 견적 데이터 모델 표준 구축 분야, 유즈케이스 적용을 위한 물량산출 데이터 추출 및 활용 분야와 BIM 기반 물량산출 및 견적 효과 분석 분야에 관한 연구가 진행되었다. 이처럼 건축분야는 개산견적 업무 또는 골조, 마감 등 특정 공종을 대상으로 BIM 기반 물량산출 및 견적에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔으며, 개방형 BIM을 적용한 표준화 연구가 일부 진행된 바 있다. 반면, 토목분야는 관련 연구가 전반적으로 부족한 상황이며 표준화 관점의 연구도 초기 단계이다.

표 1. 국내 BIM 기반 물량산출 및 견적 선행 연구사례  
Table 1. Domestic BIM-based QTO and Estimation Research Categories and Cases

Research Category	Research Case
BIM-based quantity take-off and estimation process and methodology	· A Study on the BIM-based estimation process for the use of BIM-based design model as an estimation model in architectural design stage <sup>[9]</sup>
Development of Quantity take-off & estimation model and modeling automation system	· Proposal of a model for effective QTO of finishing work and rebar requiring detailed modeling <sup>[10,11,12]</sup> · Development of automated finishing modeling system
IFC-based standardization of quantity take-off and estimation data model	· IFC-based QTO and estimation data model focusing on structural members and development of software supporting for building IFC model <sup>[6,13]</sup>
BIM-based Quantity take-off data extraction and utilization for estimation	· A study on the utilization of quantity information and estimation information by linking unit price information DB and the application of code system for BIM-based construction cost management <sup>[3,14]</sup> · A study on the application guideline of QTO for approximate estimation in building construction <sup>[11]</sup>
BIM-based quantity take-off and estimation effectiveness analysis	· A comparative analysis of construction cost and quantities using 2D method and BIM-based method for estimation <sup>[15]</sup> · Analysis of current 2D&3D(BIM) based QTO method limitation and Proposal of improved BIM-based QTO method <sup>[16]</sup>

2.1.2 견적을 위한 BIM 기반 물량산출 방법 고찰

BIM 모델이 견적에 활용되기 위해서는 BIM 모델에서 포함해하는 물량산출 데이터가 정의되고 이를 전달하는 데이터 포맷이 필요하다. 본 논문에서는 이를 BIM 기반 물량 데이터 유통 체계라는 용어로 표현하였다. BIM 기반 물량 데이터 유통 체계는 BIM 기반 설계, 물량산출 및 견적 업무 프로세스 과정에서 BIM 모델링 소프트웨어와 물량산출 및 견적 소프트

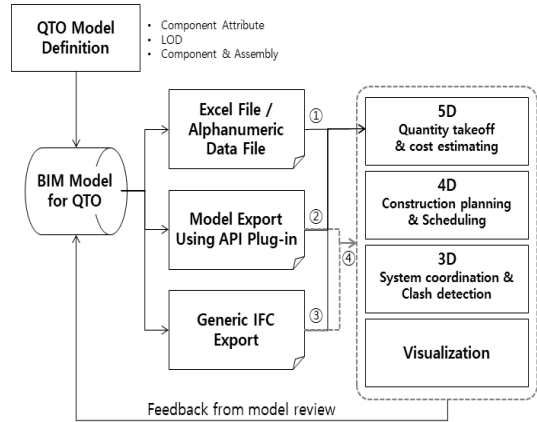


그림 1. BIM 모델과 견적 소프트웨어간 물량 유통 방식  
Fig. 1. Distribution of Quantities between BIM Model and Estimating Software

웨어 간 BIM 물량산출 데이터 교환 방식에 관한 것이다. 현재 업계에서 접근하고 있는 견적을 위한 BIM 기반 물량산출 데이터 유통 방식<sup>[17]</sup>을 분석한 결과, 그림 1과 같이 4가지로 요약할 수 있다.

첫째, BIM 모델링 소프트웨어의 리포팅 기능을 활용하여 객체 물량정보를 견적 소프트웨어로 내보내는 방식이다. 텍스트 파일 혹은 스프레드 시트 형태의 엑셀파일을 이용하여 물량정보만을 전달하며, 2000년대 초반 다수의 미국 상용 견적 소프트웨어가 채택하고 있는 방식이다.

둘째, 특정 BIM 모델링 소프트웨어의 Add-in 도구를 활용하여 객체 모델 및 객체 물량정보를 견적 소프트웨어에 직접 연결하여 전달하는 방식이다. Add-in 도구는 BIM 모델링 소프트웨어 내에서 견적 소프트웨어에서 활용 가능한 포맷으로 물량산출 정보를 재구성하거나 견적 소프트웨어에서 BIM 모델을 가시화 하면서 물량산출 작업을 지원하는 기능을 한다. 이는 대형 견적 소프트웨어 개발사 중심으로 채택하고 있는 방식이다.

셋째, IFC 또는 다른 데이터 포맷을 활용하여 물량 정보를 포함한 객체 정보를 견적 소프트웨어로 전달하는 방식이다. IFC를 활용한 데이터 유통 방식은 IFC 변환을 지원하는 모든 BIM 소프트웨어의 모델을 활용할 수 있으며 다양한 견적분야 솔루션과의 정보 교환 및 연계에 유용하다.

넷째, 형상정보를 포함한 BIM 모델 혹은 IFC 등 광범위한 데이터를 특정 통합 건설관리 소프트웨어로 전달하는 방식이다. 통합 건설관리 소프트웨어의 시각화, 3D, 4D, 5D 지원 기능을 통해 제공된 BIM 모델

을 부여하거나 조정할 수 있다.

현재 국내 도로분야는 BIM 기반 물량산출 데이터 모델 및 데이터 교환 프로세스에 대한 표준 체계가 부재한 상황이다. 본 연구는 국내 도로분야 BIM 협업 환경에서 견적업무의 효율화에 기여하기 위해 BIM 기반 물량 데이터 유통 체계를 제시하고자 한다. 이를 위해 중립포맷인 IFC Pset, Qset을 활용하였다. BIM 소프트웨어에서 산출된 BIM 기반 물량정보는 제안된 Pset 및 Qset이 연계된 IFC 파일을 매개체로 견적 소프트웨어에 일관된 품질과 표준화된 체계로 유통될 수 있다.

## 2.2 IFC 표준을 활용한 물량산출 연구 현황

### 2.2.1 IFC Qset 개요 및 개발 현황

IFC 스키마는 객체의 물량 속성세트를 작성하기 위한 최상위 클래스인 IfcQuantitySet을 그림 2와 같이 정의한다. 하위 클래스인 IfcElementQuantity를 통해 특정 객체의 물량 및 물량산출기준을 표현할 수 있으며, IfcElementQuantity의 물량 속성은 IfcPhysicalQuantity에서 정의된 6가지 기본 물량 유형(면적, 개수, 길이, 시간, 부피, 무게)을 포함한다. IfcElementQuantity의 물량 속성 정보를 이용하는 방법은 BIM 모델링 소프트웨어가 IFC 파일을 생성할 때 물량산출 작업에 필요한 주요 기하학적 정보를 사전에 계산하여 객체의 속성으로 저장되어 제공되는

것을 활용하는 방법이다<sup>6)</sup>.

집두사 'Qto\_'로 표현되는 IFC Qset의 물량 속성은 물리적인 객체(IfcElement) 하위 Entity 레벨의 건축 객체, 건축 서비스 객체, 공간 객체 등 특정 객체에 부여되는 속성으로, 기본 물량 속성은 Base Quantities로 제시되고 있다. 2018년 6월에 공표된 IFC 4.1 표준<sup>18)</sup>을 기준으로 IFC 스펙에 포함된 Base Quantities는 93개가 정의되어 있다. Base Quantities는 특정 측정 기준에 독립적이며, 객체의 기하학적 형상으로부터 계산되는 수량이므로 일반적으로 초기 설계단계에 개략적인 수량 산출에 활용되는 것이 적절하다<sup>19)</sup>.

### 2.2.2 IFC Qset 활용 현황

일반적인 IFC 기반 물량산출 프로세스는 물량산출 목적에 부합하는 BIM 객체 및 속성 요구조건을 정의하고 이에 따라 BIM 모델 구축한다. 물량산출의 정확도를 확보하기 위해 구축한 BIM 모델의 데이터 품질 검토를 수행한 후 최종적으로 품질이 확보된 BIM 모델을 기반으로 생성된 IFC 모델로부터 물량 속성 데이터를 추출 및 활용하는 과정으로 구성된다. 표 2는 개산 견적, 경제성 가치평가 및 친환경성 평가를 위해 요구되는 건축 구조 및 부재의 물량정보를 BIM 모델로부터 추출 및 활용하는 방법으로 IFC Qset을 적용한 사례이다. 선행 연구에서 물량산출을 위한 Qset의 활용 수준은 기본 물량 속성(Base QSet) 및 IfcMaterialResource의 재료속성 등 모델로부터 자동 추출되는 기본 속성 정보를 활용하거나 Pset 확장을 통해 유즈케이스별 필요한 공종코드, 공간용도 및 기능과 같은 세부 속성을 정의하여 입력한 속성정보를 활용하는 정도이다. 그러나 선행연구에서의 물량산출 접근방법의 경우 다양한 국가 및 기관별 물량산출 및 견적 기준에 따라 물량산출이 요구되는 경우에는 Base Qset만으로 수용이 어렵다는 한계를 가지고 있다.

이러한 한계점을 해결하기 위해 최근 bSI에서는 특정 국가 또는 기관의 견적을 지원하기 위한 Qset 개발을 논의 중에 있다. bSI는 건축분야 Custom QSet을 활용한 IFC 4 기반 MVD(Model View Definition)<sup>21)</sup>을, 덴마크는 Molio라는 물량산출 및 측정 기준에 근거한 Custom Qset 개발 사례를 발표한 바 있다. 이와 같은 연구 동향을 반영하여 본 연구에서는 Base Qset을 기본적으로 포함하되 견적 업무에서 IFC 데이터 활용 수준을 높이기 위해 수량산출식에 활용되는 변수 값을 BIM 라이브러리 매개변수에서 추출하는 Custom Qset 개발 방식을 함께 제안하고자 한다.

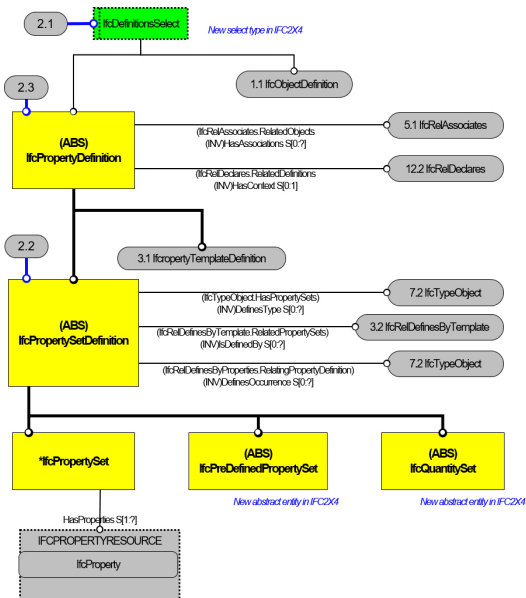


그림 2. IFC 4.1 Qset 데이터 구조  
Fig. 2. IFC 4.1 Qset Data Structure

표 2. 국내외 Qset 활용 사례  
Table 2. Usecases of Qset Application

Research Case	Purpose of Qset usage	Scope of Qset usage	Support tool for Qset usage
H-J, Kim et al. (2013)[6]	· Quantity Data calculation for estimating the public construction project	· Use of IfcElementQuantity quantities · Connected with construction classification code of Public Procurement Service (Pset) and material properties	· IFC generation for inputting classification codes into Qto models (Code Generator)
H-S, Kim et al. (2013)[13]	· Quantity Data calculation for estimating the structural frame construction	· Applying the quantities (Volume, Length) of IfcElementQuantity as a variable in Qto equation of the components of the structural frame construction · Connected with construction classification code (Pset)	· Qto model data quality review (InsightBIM-QTO Pre-check module) · Quantity calculation (InsightBIM-QTO caculation module)
I-H, Kim et al. (2015)[1]	· Quantity data calculation for structural frame and finish items for the estimating Building Construction	· Applying the quantities (Volume, Area, Length, GrossVolume etc.) of IfcElementQuantity as a variable of Qto equation by building member items · Use as a reference quantity value based on spatial object for Qto for finished items	· Mapping BIM driven quantity data with cost items based on Qto guidelines
Guoqian Ren et al (2019)[20]	· Quantity data calculation required for PPP(Public Private Partnership) performance measurement for VfM(Value for Money) evaluation	· Applying the quantities of IfcElementQuantity as a variable of measearument for VfM assessment · Connected with classification, material properties and spatial properties	· IFC data review and Extraction of Pset and Qset for VfM evaluation
Jan Karlishøj (2018)[19]	· Quantity data calculation in the early stage of architectural design · Quantity data calculation based on the Molio's rule of measurement · Quantity data calculation for environmental impact assessment for sustainability certification	· Use of IFC4 BaseQuantities and development of Custom Quantities adding to a standard wall	-

### III. 도로분야 BIM 물량산출 교환 요구정보 정의

#### 3.1 BIM 교환 요구속성 도출 방법 및 절차

내역에 활용될 BIM 객체별 입력속성과 물량정보에 대한 구성기준을 도출하기 위해서는 설계, 물량산출 및 견적 업무 프로세스 흐름에 따라 유통되는 BIM 데이터의 요구정보를 정의하는 과정이 필요하다. bSI는 프로세스별로 교환이 필요한 정보를 도출하고 BIM 데이터 항목 관점에서 정의하는 IDM (Information Delivery Manual)을 ISO 29481-1<sup>[22]</sup>로 제정하고 이의 활용을 권고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 프로세스 정의와 교환되는 요구정보 정의에 IDM 방법론을 적용하였다.

IDM의 명세는 프로젝트 참여자간 업무 흐름과 교

환 데이터를 도식화한 프로세스 맵(Process Map, 이하 PM)과 교환 데이터를 BIM 데이터 관점으로 표현한 교환 요구정보(Exchange Requirements, 이하 ER)로 구성된다. IDM의 개발은 크게 기존 ER 사례를 파악하는 단계, 활용 목적에 맞게 ER을 새롭게 정의하거나 재구성하는 단계로 구분되며, 정의한 ER이 현재의 IFC에서 수용하지 못하는 경우, IFC 스키마 또는 속성세트로 확장 개발하는 과정을 거치게 된다. IDM에서는 기 개발된 ER이나 관련 소프트웨어가 존재하면 이를 최대한 활용할 것을 권장하고 있다. bSI 홈페이지에 공개된 IDM 개발사례 중, 설계 단계부터 견적을 고려한 물량산출 단계에 대한 PM과 ER을 구체적으로 정의한 OGC(Open Geospatial Consortium)의 “IDM for Design to QTO & Cost Estimating”<sup>[23]</sup>을

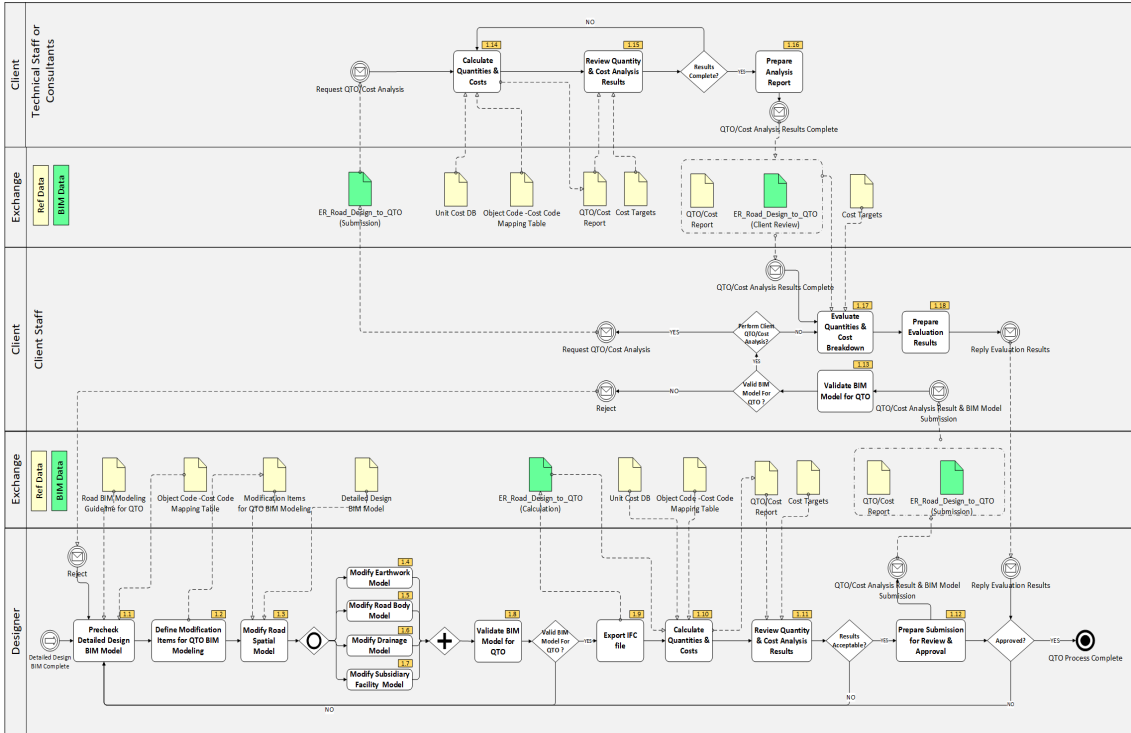


그림 3. 도로분야 설계에서 물량산출 및 견적 단계까지 프로세스 맵  
Fig. 3. Process Map for Road Design to QTO & Cost Estimating

참조자료로 선정하고 이를 바탕으로 도로분야 특성에 맞게 PM과 ER을 재구성하여 요구속성 정보를 정의하였다.

### 3.2 프로세스 및 교환 요구속성 정의

“IDM for Design to QTO & Cost Estimating”의 PM은 프로젝트 참여자인 설계자와 발주기관 감독관, 견적 담당자가 설계 모델을 활용한 물량산출, 내역 작성 업무를 수행하면서 교환되는 데이터에 대한 평가, 승인, 피드백을 수행하는 과정을 담고 있다. 참여자간에 교환되고 생성되는 데이터는 교환 영역에 표현되며 이는 크게 외부 데이터와 BIM 데이터로 구분된다. 업무에 활용되는 외부 데이터에는 단가 DB, 내역 DB 등이 있으며, BIM 데이터에는 물량산출을 위한 교환 요구정보를 목록화한 “ER Design to QTO” 등이 있다.

프로세스 정의 관점에서 기존 PM을 분석한 결과, 건축설계에 특화된 프로세스가 아닌 범용적인 설계 프로세스를 다루고 있다. 다만, 단일 BIM 모델에서 물량산출과 내역을 동시해 진행하는 프로세스에 대해 토목 설계 특성을 반영하여 일부 수정하였다. 도로설계는 특성 상 공종별로 다양한 BIM 소프트웨어를 활

용하게 되며, 개별 소프트웨어별로 Qset을 활용하여 IFC로 변환된 물량산출 정보를 내역 단계에서 통합하는 프로세스가 가능하도록 수정하여 그림 3과 같이 표현하였다.

교환 요구속성 정의 관점에서 기존 ER을 분석한 결과, 건축시설을 대상으로 견적에 활용하기 위한 BIM 모델의 구성요소를 다루고 있다. 대상 객체는 프로젝트, 공간, 건축시설과 부재로 정의되며 객체별 부여된 속성은 식별정보와 분류체계코드, 부재타입, 객체별 특화된 자원 속성, 기본 수량정보로 구성된다. 객체의 경우, 프로젝트와 공간은 수용되며 시설과 부재의 목록은 도로시설과 토목 부재로 재구성하였다. 부여된 요구속성의 경우, 식별정보와 분류체계코드, 부재타입은 수용하고 도로객체에 특화된 기본 수량정보를 정의하였다. 본 연구에서 정의한 프로세스는 다양한 공종별 BIM 모델로부터 산출된 물량정보를 내역에서 통합하는 개념이므로 내역의 주요 항목인 규격과 재료 속성을 추가하였다. 또한, 지방국토관리청의 디지털 수량산출 교환정보 표준(QDBEx)와 연계된 WBS(Work Breakdown Structure) 기반의 공정, 공사비 관리 체계 활용을 고려하여 WBS 코드를 추가

표 3. 도로 객체의 물량산출 및 내역 교환 요구정보를 담은 ER 사례  
Table 3. Example of Exchange Requirements for Road Design to QTO

Exchange Requirements for Road Design to QTO (Calculation)					Mapping to IFC Definitions			
Element				Data Type	QTO Type	Unit	IFC Model Representation	
	* Property Group							
	Property Name							
Civil Structure Element					-	-	-	IfcCivilElement
Culvert					-	-	-	IfcCulvert_K
* Common Properties								
	global ID	Globally Unique Id		-	-		IfcCivilElement.GlobalID	
	Name	Label		-	-		IfcCivilElement.Name	
	OBS Classification Code	Identifier		-	-		IfcClassification.ReferenceTokens	
	WBS Classification Code	Identifier		-	-		IfcClassification.ReferenceTokens	
	Material	Label		-	-		IfcMaterialDefinition.Name	
	Type/Size	Label		-			IfcCivilElementType.ElementType	
* QTO Properties (Base Quantities)								
	Length	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	
	Width	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	
	Height	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	
	CrossSectionArea	area value	Q_Area	m <sup>2</sup>			IfcQuantityArea.AreaValue	
	OuterSurfaceArea	area value	Q_Area	m <sup>2</sup>			IfcQuantityArea.AreaValue	
	InnerSurfaceArea	area value	Q_Area	m <sup>2</sup>			IfcQuantityArea.AreaValue	
	GrossSurfaceArea	area value	Q_Area	m <sup>2</sup>			IfcQuantityArea.AreaValue	
	GrossVolume	volume value	Q_Volume	m <sup>3</sup>			IfcQuantityVolume.VolumeValue	
	TotalCount	count value	Q_Count	ea			IfcQuantityCount.CountValue	
	RebarGrossWeight	weight value	Q_Weight	ton or kg			IfcQuantityWeight.WeightValue	
* QTO Properties (Custom Quantities)								
	Hunch	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	
	Widthof outside wall	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	
	Width of inside wall	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	
	Height of top slab	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	
	Height of middle wall	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	
	Height of bottom slab	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	
	Width of base slab	length value	Q_Length	m or mm			IfcQuantityLength.LengthValue	

정의하였다. 본 ER의 대상은 견적과 물량산출에 중점을 두고 있으므로 구조해석, 법규검토 등 특정 목적에 활용되는 특화된 속성정의는 배제하였다.

도로설계, 물량산출 및 견적 프로세스 정의와 프로세스별로 교환되는 데이터 도출을 통해 견적에 활용 가능한 BIM 모델의 물량산출 교환 요구정보 항목을 공간, 위치, 식별정보, 명칭, 객체분류체계코드, WBS 코드, 재료, 규격/형식, 객체 수량정보로 정의하였다. 수량정보는 기하정보로부터 직접 추출 가능한 길이, 면적 등 값과 같은 기본수량과 기하정보를 활용하여 수량산출식의 계산을 통해 생성되는 연동수량으로 구분된다. 본 연구에서는 연동물량 산출을 위한 교환 요구속성 항목을 수량산출식에 활용되는 BIM 라이브러리의 매개변수로 설정하였다. 견적담당자는 견적 소프트웨어에서 IFC 파일에 저장된 BIM 라이브러리의 매

개변수와 기본수량 정보를 활용하여 거푸집 면적, 비계, 동바리 등과 같이 모델링 되지 않은 공중에 대해서 내역 작업을 수행할 수 있다. 본 연구를 통해 정의한 교환 요구정보 항목을 적용하여 도로시설 중 압거를 대상으로 ER 명세 문서를 구성한 사례는 표 3과 같다.

#### IV. IFC 속성세트 개발 및 적용성 검증

##### 4.1 Pset과 Qset의 속성구성 기준

최종적으로 도출한 BIM 모델의 물량산출 교환 요구정보를 IFC 속성세트 개발 관점에서 그림 4와 같이 4가지로 분류하였다. 첫째, BIM 모델링을 통해 소프트웨어에서 자동 부여되는 속성, 둘째, 사용자가 입력하는 공통 속성, 셋째, BIM 모델의 기하정보에 의해



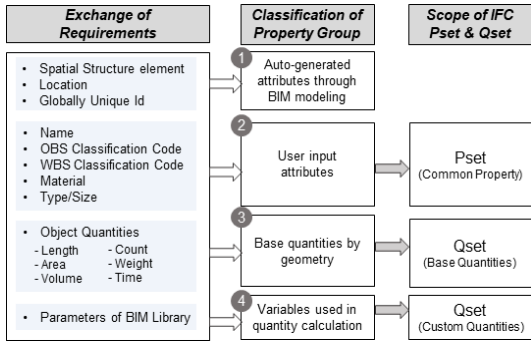


그림 4. ER\_Road Design to QTO의 속성 구성  
Fig. 4. Property Configuration of ER\_Road Design to QTO

산출되는 기본 물량 속성, 넷제, 견적 소프트웨어에 탑재된 연동물량 계산과 같은 수량산출식에 사용되는 변수 중 BIM 라이브러리로부터 추출할 수 있는 사용자 물량 속성이다.

BIM 소프트웨어에서 모델링을 통해 부여되는 속성은 IFC 변환도구 구현 시 IFC 데이터로 자동 저장 처리 가능한 영역이므로 첫 번째 속성 분류는 속성세트 개발대상에서 제외하였다. 따라서 공통 입력 속성에 대한 Common Pset과 객체 수량에 대한 속성을 2개 유형의 Qset으로 구성하였다.

첫 번째 Qset 유형은 BIM 소프트웨어에서 모델링된 기하정보로부터 기본물량을 추출할 수 있도록 정의한 Base Qset이다. 현재 IFC 스펙에 포함된 Qset은 모두 기본물량을 담은 Base Qset에 속한다. 이는 객체의 기본수량을 담는 성격이므로 IFC 객체(IfcElement)의 하위 레벨에 적용한다.

두 번째 Qset 유형은 연동물량 계산에 활용되는 BIM 라이브러리 매개변수로 구성하며 이를 Custom Qset으로 표현하였다. Custom Qset은 국제표준 명세에는 적합하지만 특정 발주기관의 표준도, 규격 등을 적용한 BIM 라이브러리 매개변수로 구성되므로 기관 표준의 성격으로 활용되는 것이 적절하다. BIM 라이브러리의 매개변수는 특정 객체 타입별로 달라지는 성격이므로 IFC 객체타입(IfcElementType)의 하위 레벨에 적용한다. Qset은 Base Qset과 Custom Qset을 구분하거나 Custom Qset에 Base Qset을 포함하는 형태로 개발, 배포될 수 있다.

#### 4.2 Pset과 Qset의 개발

bSI는 IFC 스키마와 연계 활용 가능한 Pset과 Qset 개발을 지원하기 위해 그림 5와 같은 XML 스키마 형태의 속성 정의 템플릿인 PSD(Property Set

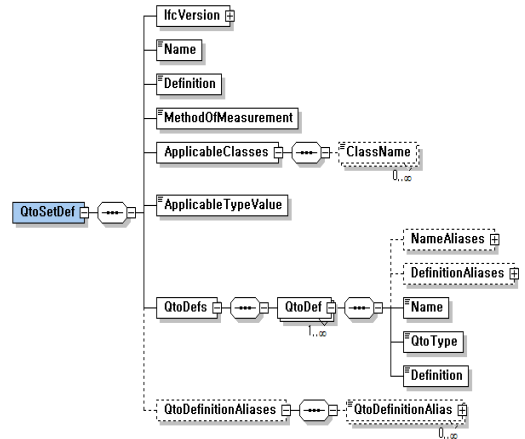


그림 5. QTO 속성정의 템플릿 스키마 구조  
Fig. 5. Schema Structure of QTO Definition Template

Definition) XML 스키마와 QSD(Qto Set Definition) XML 스키마를 제공한다. PSD와 QSD의 엘리먼트는 공통적으로 IFC 버전, 속성세트 명칭, 속성을 적용할 IFC Entity, 세부 속성정의로 구성된다. PSD와 QSD 스키마의 차이는 세부 속성정의 항목에서 데이터 타입 유형이다. PSD의 Property Type은 단일, 열거, 참조 등과 같은 EXPRESS 데이터 타입으로 표현되며, QSD의 QTO Type은 길이, 면적, 체적 등과 6가지 수량 데이터 타입으로 표현된다.

본 연구에서는 3장에서 정의한 교환 요구정보를 바탕으로 PSD와 QSD 스키마에 따라 명칭, 데이터 타입을 정의하고 속성세트를 연결할 IFC 클래스를 설정하여 Pset과 Qset XML을 개발하였다. Common Pset은 IFC 객체에 공통 적용할 수 있는 속성세트이다. Pset의 개발 사례로 암거에 적용할 'Pset\_CulvertCommon' XML 명세의 일부를 표현하

표 4. 암거 공통 Pset XML  
Table 4. Common Pset Development for Culvert

```

<Name>Pset_CulvertCommon_K</Name>
  <IfcVersion version="IfcRoad"/>
  <ApplicableClasses>
    <ClassName>IfcCulvert_K</ClassName>
  </ApplicableClasses>
  <ApplicableTypeValue>IfcCulvert_K</ApplicableTypeValue>
  <PropertyDefs>
    <PropertyDef ifdguid="7ba0bc00d1db11e180000215ad4efdf">
      <Name>OBS classification code</Name>
      <Definition>객체분류체계코드</Definition>
      <PropertyType>
        <TypePropertySingleValue>
          <DataType type="IfcIdentifier"/>
        </TypePropertySingleValue>
      </PropertyType>
    </PropertyDef>
  </PropertyDefs>
  </ApplicableTypeValue>
  </ApplicableClasses>
  </IfcVersion>
</Name>
  
```

표 5. 수로 2런 암거 Custom Qset XML  
Table 5. Custom Qset for 2way Waterway Culvert Type

```

<ApplicableTypeValue>IfcCulvertType_K</ApplicableTypeValue>
<QtoDefs>
/* Part of Base Quantity */
<QtoDef>
<Name>Length</Name>
<Definition>Length of Culvert</Definition>
<QtoType>Q_LENGTH</QtoType>
<DefinitionAliases>암거 길이</DefinitionAliases>
</QtoDef>
/* Part of Custom Quantity */
<QtoDef>
<Name>Hunch</Name>
<Definition>Length of Hunch</Definition>
<QtoType>Q_LENGTH</QtoType>
<DefinitionAliases>런치부 길이</DefinitionAliases>
</QtoDef>
</QtoDefs>
    
```

면 다음 표 4와 같다.

Qset은 Base Qset과 Custom Qset 2종으로 개발하였으며, Custom Qset에는 Base Qset의 속성항목이 포함되는 구조이다. 국토교통부 건설사업정보포털시스템<sup>[24]</sup>에서 배포 중인 토목시설 BIM 라이브러리는 표준도를 기반으로 개발되어 매개변수 항목이 명세화되어 있으므로 Custom Qset 개발에 이를 활용하였다. 표 5는 Custom Qset의 개발 사례로 암거 표준도의 수로 2런 암거 타입에 적용할 'Qto\_CulvertCustomQuantities\_2WayWaterwayType\_K' XML 명세의 일부를 표현한 것이다.

### 4.3 Pset과 Qset을 적용한 IFC 파일 생성 테스트

개발한 Pset과 Qset의 실무 적용 가능성을 검증하기 위하여 Pset을 통한 BIM 모델 속성 입력과 Qset을 통한 BIM 모델 속성 추출 테스트를 수행하였다. 본 연구에서는 Autodesk Revit이라는 BIM 소프트웨어에 Pset과 Qset의 입출력과 IFC 파일 생성을 지원하는 IfcRoad Converter를 개발하였다. IfcRoad Converter에서 Pset 파일을 로드하면, Pset과 연결된 객체의 속성 입력 인터페이스에 Pset에서 정의한 속성 항목이 템플릿처럼 자동 생성되도록 구현하였으며, Revit 내부 클래스와 Qset에서 정의한 물량속성 항목을 사전 매핑시켜 Qset 파일을 로드하면 물량 데이터가 추출되도록 구현하였다.

BIM 설계단계부터 견적 활용을 위한 IFC 생성단계까지의 검증 시나리오를 도식화하면 그림 6과 같다. 먼저 Revit에 IfcRoad Converter를 설치한다. Revit에서 BIM 기하 모델링 후 Pset을 로드하여 생성된 인터페이스에 따라 객체 속성을 입력한다. Qset을 로드하

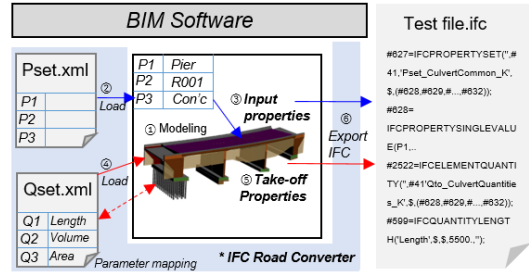


그림 6. Pset과 Qset 검증 시나리오  
Fig. 6. Verification Scenario for Pset & Qset

여 객체와 연결 설정을 한 후, IFC 데이터 변환을 수행하면 Pset을 통해 입력한 공통 속성과 Qset을 통해 추출된 물량 속성이 IFC 객체와 연결되어 파일에 저장된다.

본 연구에서는 도로 BIM 모델 샘플 파일을 구축하여 선정된 시나리오대로 테스트를 수행하였다. BIM 모델링 과정에서 일부는 Pset과 Custom Qset 항목을 사전 입력하여 구축한 BIM 라이브러리를 활용하여 견적을 위한 BIM 모델 구축에 사용자 입력을 최소화하면서 원하는 데이터 출력이 가능한지 여부도 함께 테스트하였다. 검증 시나리오 절차를 통해 생성된 IFC

표 6. Pset과 Qset을 적용하여 생성한 IFC 파일  
Table 6. IFC File created by applying Pset & Qset

```

/* Culvert */
#1120=IFCCULVERT_K('0bh_FLL6v2huVH8FxsF7ff',#41,'수로2런암거',,$,$,#54,'A Section',ELEMENT, 2WayWaterwayType)
/* Input Properties by IFC common Pset */
#626= IFCRELEDEFINESBYPROPERTIES('',#41,$,$,(#1120),#627);
#627= IFCPROPERTYSET('',#41,'Pset_CulvertCommon_K',$,(#628,#629,#,#632));
#628= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Name',$,IFCLABEL('2WayWaterway'),$);
#629= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Obs Cde',$,IFCIDENTIFIER('R01122'),$);
...
#632= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Type',$,IFCLABEL('200X200'),$);
/* Take-off Quantity Properties by IFC Custom Qset */
#2522=IFCELEMENTQUANTITY('3YgwHEKcz4NOBXKBCDJwLk',#1114,'Qto_CulvertQuantities_K','Custom quantities of culvert type for two way waterway.', '(#599,#602,#603,#604,...#610,#611,#612,));
#599=IFCQUANTITYLENGTH('Length',$,$,5500,'');
#602=IFCQUANTITYLENGTH('hunch',$,$,200,'');
#603=IFCQUANTITYLENGTH('Width_outside_wall',$,$,300,'');
#604=IFCQUANTITYLENGTH('Width_inside_wall',$,$,300,'');
#605=IFCQUANTITYLENGTH('Height_top',$,$,300,'');
#606=IFCQUANTITYLENGTH('Height_middle',$,$,1500,'');
#607=IFCQUANTITYLENGTH('Height_bottom',$,$,300,'');
#608=IFCQUANTITYLENGTH('Base',$,$,4900,'');
#610=IFCQUANTITYVOLUME('GrossVolume','GrossVolume',$,$,24.04,'');
#611=IFCQUANTITYVOLUME('TotalCount',$,$,0,'');
#612=IFCQUANTITYVOLUME('RebarGrossWeight',$,$,0,'');
    
```

파일은 표 6과 같이 Pset과 Qset에서 정의한 항목에 따라 견적에 필요한 데이터가 저장됨을 확인하였다. IFC 파일은 ISO 13030-21에 따라 ASCII파일로 저장된다. 따라서 견적 소프트웨어에서는 IFC 파일을 Import하여 저장된 객체별 속성과 물량속성을 활용할 수 있다. 압거의 콘크리트 총 체적은 #610열의 GrossVolume 값을 활용하여 내역을 구성할 수 있으며, 거푸집의 물량은 수량산출식(예. '{BASE-(Width\_outside\_wall\*2)-(Hunch\*2)}×Length')에 포함된 변수인 #608열의 BASE 값, #603열의 Width\_outside\_wall 값 등으로부터 읽어서 연동물량 계산에 활용할 수 있다.

### V. 결 론

본 연구는 국내 실무에 BIM 기반 물량산출 및 견적 업무를 위한 데이터 유통체계 개발을 위한 방안으로 내역에 활용될 BIM 객체별 입력속성과 물량정보에 대한 구성기준과 다양한 BIM 소프트웨어에서 산출한 물량정보를 손실 없이 견적 소프트웨어로 전달하기 위한 데이터 포맷을 제시하였다. IFC 개발방법론을 활용하여 도로사업에서 적용 가능한 BIM 기반 설계, 물량산출 및 견적 업무 프로세스를 정의하고 교환되는 BIM 모델의 요구정보를 정의하였다. 정의한 교환 요구정보가 표준화된 IFC 데이터로 저장, 유통될 수 있도록 IFC 속성세트 확장 방법론에 따라 Pset과 Qset을 개발하였다. BIM 소프트웨어에 개발한 Pset과 Qset을 활용한 교환 요구정보의 입출력 테스트를 수행하여 견적에 필요한 물량산출 정보가 BIM 모델 데이터로부터 자동 추출되어 IFC 파일에 저장, 전달되는 과정을 검증하였다. 본 연구의 성과는 국제표준 방법론을 적용한 도로분야 Pset과 Qset을 개발하고 견적 BIM 설계 모델링 기준으로서의 활용 가능성을 검증한 것이다. 기본 물량 중심의 기존 연구사례와는 다르게 BIM 라이브러리 매개변수와 연계한 Custom Qset 개발을 제시하여 견적 소프트웨어에서 IFC 파일을 연동물량 계산 등 다양하게 활용할 수 있는 방안을 제시한 것이 특징이다.

본 연구는 개발한 표준화 방안에 따라 도로분야에서 BIM 기반 물량산출 데이터 유통체계가 운영 가능한지 검증에 초점을 둔 기초연구로서 실무 적용효과에 대한 검증은 부족하다. 따라서 차기 연구에서는 테스트베드 운영을 통해 연구 성과를 검증, 보완하고 기존 방식 대비 물량산출 결과의 정확도, 표준화로 인한 단축 견적 업무시간 등과 같은 적용효과를 정량적으

로 측정 및 검증하는 실증연구를 진행할 계획이다. 이러한 단계적 연구 수행을 통해 도로분야 BIM 기반 물량산출 업무에서 작업자 숙련도에 의존한 수작업 비율을 줄이고, 견적 소프트웨어에 자동 연계되어 활용되는 BIM 형상 기반 물량정보 비율을 늘려 견적업무의 정확성과 신뢰성 확보에 기여하고자 한다. 도로분야에서 본 연구의 효용성이 검증되면 하천, 항만, 철도분야 등 타 분야에 확대 적용 가능할 것으로 예상된다. 이를 위해서는 향후 각 분야의 요구를 반영한 IFC 표준, BIM 라이브러리 표준, 지원 소프트웨어 개발 등 다양한 후속 연구가 수행되어야 할 것이다.

### References

- [1] I. H. Kim, S. G. Um, and J. S. Choi, "A basic study on an application of quantity take-off requirements for open BIM-based schematic estimation of architectural work," *Korean J. Computational Design and Eng.*, vol. 20, no. 2, pp. 182-192, Jun. 2015.
- [2] M. H. Park and Y. S. Hwang, "A study on space zoning quantity takeoff from the BIM based building model," in *Proc. Autumn Annu. Conf. AIK 2010*, vol. 30, no. 1, pp. 113-114, Cheongju, Korea, Oct. 2010.
- [3] Y. S. Cho, B. G. Suh, and S. H. Yun, "Development of BIM based estimation prototype system using building elements combination database," *J. Architectural Inst. of Korea Structure & Construction*, vol. 31, no. 3, pp. 45-52, Mar. 2015.
- [4] J. C. Seo, H. J. Kim, and I. H. Kim, "Open BIM-Based quality control for enhancing the design quality in the architectural design phase," *Korea J. Construction Eng. and Manag.*, vol. 13, no. 4, pp. 3-15, Jul. 2012.
- [5] The Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Technology Policy Division, *Smart Construction Technology Roadmap (2018)*, Retrieved Oct. 16, 2019, from <http://www.molit.go.kr>.
- [6] H. J. Kim, J. K. Choi, H. S. Kim, and I. H. Kim, "The development of data model for open BIM-Based schematic estimates - focused on construction type for actual cost of public

- projects,” *J. Architectural Inst. of Korea Planning & Design*, vol. 29, no. 3, pp. 61-70, Mar. 2013.
- [7] ISO 10303-11:2004, *Industrial automation systems and integration—Product data representation and exchange—Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual*.
- [8] buildingSMART International, *IFC Road bSI SPEC(2016)*, Retrieved from Oct. 21, 2019, <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/standards-library/>
- [9] M. C. Yoon, “A BIM-Based architectural model takes advantage of the estimate model process,” *J. Architectural Inst. Korea Planning & Design*, vol. 29, no. 9, pp. 95-102, Sep. 2013.
- [10] S. A. Kim, S. W. Yoon, S. Y. Chin, and T. Y. Kim, “A development of automated modeling system for apartment interior to improve productivity of BIMbased quantity Take-Off,” *J. Architectural Inst. Korea Structure & Construction*, vol. 25, no. 9, pp. 133-143, Sep. 2009.
- [11] S. H. Park, H. S. Kim, and D. Y. Yoon, “A study for automated division of composite walls for quantity take-off in construction document phase,” *Korean J. Computational Design and Eng.*, vol. 20, no. 2, pp.124-132, Jun. 2015.
- [12] J. C. Lee, “A study on the effective calculation of rebar QTO in the early design phase through the application of BIM model,” *J. Architectural Inst. Korea Structure & Construction*, vol. 35, no. 5, pp. 145-152, May 2019.
- [13] H. S. Kim, J. K. Choi, and I. H. Kim, “A methodology of open BIM-Based quantity Take-Off for schematic estimation of frame work in Super-Tall buildings,” *J. Architectural Inst. Korea Planning & Design*, vol. 29, no. 5, pp. 31-38, May 2013.
- [14] A. R. Song, K. S. Kang, and S. H. Yun, “Improvement of quantity Take-Off and BOQ information through the PBS based QDB system,” *J. Architectural Inst. Korea Structure & Construction*, vol. 31, no. 2, pp. 73-80, Feb. 2015.
- [15] O. B. Kwon, “The study on application of 3D-based BIM for enhancing the efficiency of cost estimate and control - Focusing on school facilities,” M.S. Thesis, Graduate School of Hongik University, Seoul, Korea, 2010.
- [16] B. M. Kim, H. J. Jeon, S. J. Jang, S. H. Yun, and J. H. Paek, “A study on the improving effectiveness of quantity estimation with BIM,” in *Proc. Autumn Annu. Conf. AIK 2008*, vol. 28, no. 1, pp. 705-708, Gwangju, Korea, Oct. 2008.
- [17] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, and P. Teicholz, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, 3rd Ed., Wiley, 2018.
- [18] *buildingSMART International, IFC4.1 Specification HTML Documentation* (2018). Retrieved from Oct. 21, 2019, [https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_1/FINAL/HTML/](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/)
- [19] *buildingSMART International Building Room, Quantity Take-off IDM (IDM\_QTO01)*, buildingSMART International Standards Summit 2018 in Tokyo, Oct. 2018.
- [20] G. Ren, H. Li, R. Ding, J. Zhang, C. Boje, and W. Zhang, “Developing an information exchange scheme concerning value for money,” *J. Building Eng.*, vol. 25, 100828, Sep. 2019.
- [21] *buildingSMART International Building Room, BR5 Presentation document of MVD Quantity Take-Off*, buildingSMART International Standards Summit 2018 in Paris, Mar. 2018.
- [22] ISO 29481-1:2016(E), *Building information models-Information delivery manual- Part1: Methodology and format*
- [23] GSA and Open Geospatial Consortium (OGC), *IDM for Design to Quantity Takeoff for Cost Estimating(2011)*, Retrieved from Jul. 16, 2019, <http://www.blis-project.org/IAI-MVD/>
- [24] The Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, *BIM Library in Infrastructure(2019)*, Retrieved Oct. 16, 2019, from <https://www.calspia.go.kr/bimlibrary/Bim>

**원 지 선 (Jisun Won)**



2003년 2월 : 경희대학교 토목  
건축공학부 (공학사)  
2005년 2월 : 경희대학교 일반  
대학원 건축공학과 (공학석  
사)  
2005년 12월~현재 : 한국건설기  
술연구원 미래융합연구본부

건설자동화센터 수석연구원

<관심분야> 건설정보표준, BIM, IFC, 3D 프린팅  
[ORCID:0000-0002-3690-8470]

**신 재 영 (Jaeyoung Shin)**

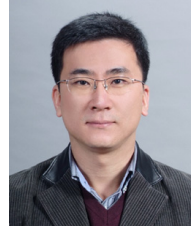


2015년 2월 : 한양대학교 실내  
건축디자인학과 (이학사)  
2017년 2월 : 한양대학교 대학  
원 실내건축디자인학과 (이  
학석사)  
2018년 10월~현재 : 한국건설기  
술연구원 미래융합연구본부

건설자동화센터 전임연구원

<관심분야> Design Computing, BIM, 3D 프린팅,  
실내건축

**문 현 석 (Hyoun-Seok Moon)**



2006년 2월 : 경상대학교 토목  
공학과 (공학석사)  
2009년 8월 : 경상대학교 토목  
공학과 (공학박사)  
2009년 8월~2011년 1월 :  
Teesside University (UK),  
CCIR 센터 방문연구원

2012년 2월~2013년 1월 : University of Michigan,  
Post-Doc.

2013년 1월~현재 : 한국건설기술연구원 미래융합연  
구본부 건설자동화센터 수석연구원

<관심분야> BIM, 건설관리, 프로세스 최적화, 4D  
CAD

**주 기 범 (Ki-Beom Ju)**



1998년 2월 : 단국대학교 대학원  
건축계획과 (공학석사)  
2006년 2월 : 서울시립대학교 대  
학원 건설관리과 (박사수료)  
1992년 3월~현재 : 한국건설기술  
연구원 미래융합연구본부 건  
설자동화센터 선임연구위원

<관심분야> 3D 프린팅 건설, 건설관리, BIM, 가상현실