

BIM 기반 데이터교환을 위한 라이브러리 활용 프레임워크

김가람¹ · 유정호^{1†}
 광운대학교 건축공학과¹

Framework of BIM Library Usage for BIM-based Data Exchange

Karam Kim¹, Jungho Yu^{1†}

¹ Dept. of Architectural Engineering, Kwangwoon Univ.,

ABSTRACT:

Using library for exchanging object property data has widely adapted to BIM-based construction project. However, since the object libraries are mixed with product library, there are some problems to exchange the property data using BIM library. Thus, this paper developed a framework for BIM library usage for BIM-based data exchange. To that end, we reviewed the most widely used BIM library management system. Then, we developed the usage process of BIM library including object and product library separately. In addition, we proposed the ontological methodology for data mapping between object and product library. This framework will enable to ensure not only the consistency of object's property data, but also the accuracy of modeling and engineering tasks through decreased human mistakes of data input process.

Key Words: Data exchange, Property data, Object library, Product library, Library usage framework

1. 서 론

BIM 정보의 데이터교환 (data exchange) 방식은 직접연결 (direct link), 특정 파일 교환 (proprietary file exchange), 공통 프로덕트 데이터 모델 교환 (public product data model exchange)의 세가지로 볼 수 있다 [1]. 직접연결 방식은 미리 정의된 API (application program interfaces)를 활용하여 하나의 설계소프트웨어에서 BIM 정보를 출력하여 다른 소프트웨어에서 사용하는 방법이다. 여기서는 특정한 데이터 표현 언어를 사용하게 되며 (예를 들어 ArchiCAD 의 GDL: geometric description language), 앞서 언급된 세 가지 방법 중 현재 가장 안정적인 데이터교환 방식으로 사용되고 있지만, 데이터 교환이 가능한 BIM 소프트웨어가 해당 데이터 표현 언어를 지원해야 한다는 한계가 있다. 두 번째 방법인 특정파일

교환은 하나의 개발사에서 제공하는 BIM 기반 소프트웨어들을 사용할 때 사용되는 특정 파일 포맷을 활용하는 방식이다 (예를 들어 Autodesk 사의 DWF 나 DWG 파일). 하지만 이 방식 또한 프로젝트에 사용되는 BIM 기반 소프트웨어 들이 모두 하나의 회사에서 개발된 소프트웨어 들로 구성되어야 한다는 한계가 있다. 마지막으로 공통 프로덕트 데이터 모델 교환 방식은 국제 표준으로 지정된 데이터 파일 포맷을 활용하여 BIM 정보를 교환하는 개방형 방식이다 (예를 들어 IFC 등이 있다). 하지만, 이러한 국제 표준파일 포맷은 해당 파일 포맷의 융통성과 개방성으로 인하여 BIM 정보에 포함되어 있는 속성정보 등을 정의하는데 제약이 없기 때문에 이를 지원하는 BIM 기반 소프트웨어들간의 정보 호환성이 완벽하지 못하다는 단점이 있다.

공통 프로덕트 데이터 모델 교환방식에서 BIM 기반 설계 소프트웨어를 활용하여 객체의 속성정보를 정의하기 위해서는 생성되는 객체

† Corresponding Author, myazure@kw.ac.kr

© Society of CAD/CAM Engineers

별로 파라메트릭 (parametric) 변수 값을 생성하여 입력해주어야 한다^[2]. 여기서 하나의 건축물을 모델링 할 때 생성되는 객체의 속성정보는 셀 수 없을 만큼의 많은 경우의 수를 가지게 되므로, 특정한 용도별로 객체의 속성정보를 묶어 라이브러리화 하면 이를 재활용하여 유사한 객체들을 생성할 때 약간의 수정만으로도 매우 효율적으로 BIM 정보를 생성할 수 있게 된다. 이렇게 하나의 라이브러리를 활용하여 생성된 객체들은 동일한 파라미터 (parameter)를 갖게 되므로 이를 일괄적으로 수정하는 것이 가능하여, 설계 변경 시 매우 유용하게 활용될 수 있다. 또한, 라이브러리를 표준화 하여 포함된 속성정보를 표준 프레임워크(framework)로 정의하게 되면 이를 활용한 BIM 모델은 파라미터 정보가 표준화 되어 있으므로, 다른 시스템과 연계되어 사용될 때 매우 높은 정보 호환성을 가질 수 있게 된다.

하지만, 기본설계 단계에서 BIM 기반 설계 소프트웨어를 활용하여 건축물 모델링을 수행하는 과정에서 객체정보가 관리될 때는 대부분의 경우, 특정한 제조사의 제품 (product) 정보가 요구되기 보다는 일반적인 객체 (object) 정보가 요구된다. 이는, 기본설계 까지는 어떠한 특정한 제품에 대한 결정이 내려지기 전 단계로써 해당 건축물의 설계 검토 및 개념적 엔지니어링 분석을 위하여 모델링이 되기 때문이다. 하지만, 설계가 진행됨에 따라 구체적인 엔지니어링 분석 (예를 들어, 구조, MEP, 에너지 분석 등)이 진행되기 위해서는 일반적인 객체정보에 추가적으로 객체에 실질적으로 적용되는 제품에 대한 속성정보가 요구된다. 또한, 요구되는 속성정보는 다양한 제조사에 따라 다르게 적용될 수 있으며, 여기서 설계자는 특정한 제품을 선택하여 요구되는 속성정보를 입력한다. 여기서, 속성정보를 입력하는 담당자에 의하여 엔지니어링 분석의 결과가 크게 달라질 수 있으며, 이에 따라 분석 결과의 신뢰도 및 정확도가 저하될 수 있다.

또한, 설계단계에서 적용되는 모든 라이브러리를 건축물 모델링을 수행하는 담당자가 모두 생성하여 사용하는데 한계가 있기 때문에, 해당 제품의 제조사에서 속성정보를 라이브러리화 하여 제공하는 제품정보를 활용할 수 있다. 하지만, 여기서 제품정보를 제공하는 모든 제조사가 공통된 속성정보 프레임워크를 적용한다는 보장이 없기 때문에, 라이브러리를 활용한 데이터

교환의 호환성에 한계가 있을 수 있다.

이에 본 연구는 BIM 기반 정보교환 체계에서 BIM 라이브러리를 활용한 데이터 교환의 호환성을 확보하기 위하여, BIM 라이브러리 활용 프레임워크를 제안한다. 제안하는 프레임워크에서는 현재 활용되는 BIM 라이브러리의 특성과 활용성에 따라서 객체 라이브러리 (Generic Object Library)와 제품 라이브러리 (Specific Product Library)로 분류할 수 있다. 객체 라이브러리는 기본 설계과정에서 생성되는 개념적 객체 (Generic Object)를 포함하고 있으며 (예를 들어, 바닥, 벽, 창호 등), 제품 라이브러리는 상세 설계과정에서 생성되는 구체적인 제품정보 (Specific Product)가 포함되어 있다 (예를 들어, A사 패널, B사의 창문 등). 또한, 라이브러리간의 호환성 확보를 위해 온톨로지 기술을 적용한 개요도를 제시한다.

2. BIM 라이브러리 시스템

2.1 BIM 라이브러리 시스템 고찰

2.1.1 National BIM Library^[3]

National BIM Library 는 영국의 NBS (National Building Specification)에서 건설 산업의 라이브러리 활용성 증가를 위하여 만들어 무료로 배포하고 있는 라이브러리 시스템이다. 이는 국제 표준 포맷인 IFC 를 포함하여 Revit, ArchiCAD, Vectorworks, Tekla, Bentley 등의 BIM 기반 소프트웨어에 적용될 수 있는 각각의 포맷으로 해당 라이브러리를 제공하고 있다. 다양한 유형의 일반화된 객체와 다양한 제조사에서 제공하고 있는 제품정보를 포함하고 있다. 새로운 객체의 추가는 NBS 의 승인에 의하여 몇 주 단위로 추가되고 있으며, 많은 자재 공급업체가 자신들의 제품을 BIM 객체로 제공하기 위해 작업하고 있다. National BIM Library 에서 현재 제공하고 있는 객체 및 제품 정보는 28 개의 유형별로 701 개가 제공되고 있다.

2.1.2 SMART Library^[4]

미국의 조달청 (GSA)에서는 AUTODESK 사의 BIM 기반 소프트웨어인 Revit 프로그램에서 사용될 수 있는 SmartBIM 툴바와 함께 객체 라이브러리를 Revit 패밀리 형식으로 제공하고 있다. 이는 설계과정에서 사용될 수 있도록, 객체의 유형과 형상, 자재 정보와 속성정보를 포함하고 있다. 또한, SmartBIM 툴바에서는 제공되는 객체

간의 비교검색과 속성기반의 객체 검색 기능을 함께 제공하고 있다. 이에 따라 사용자는 자신이 원하는 성능을 가진 객체를 본 툴바를 통하여 검색하여 약간의 형상정보 및 위치정보의 수정작업을 거쳐 쉽게 입력할 수 있게 된다. 객체들은 유형별로 구분되어 있으며, 객체 유형에 따라 다시 제조사별로 구분되어 있다. 현재 SMART Library 에서 제공되는 객체 및 제품정보는 60 개 유형별로 15,801 개가 제공되고 있다.

2.1.3 AUTODESK SEEK [5]

AUTODESK 에서 개발된 BIM 기반 소프트웨어인 Revit 에서 활용될 수 있는 객체들의 패밀리를 라이브러리화 하여 웹기반으로 AUTODESK SEEK 를 통하여 제공하고 있다. 여기서는 사용자가 요구하는 속성정보에 따라 객체를 검색하고, 다운로드하여 BIM 모델에 반영할 수 있다. 사용자는 Web 상에서 제공되는 객체의 카다로그에서 제공되는 정보를 확인할 수 있으며, 해당 객체를 제공한 업체의 홈페이지로 연결되어 들어가 볼 수 있다. AUTODESK SEEK 에서는 24 개의 유형별로 24,698 개의 객체 및 제품정보가 제공되고 있다.

2.1.4 BIM 표준 라이브러리 (KBIMS) [6]

Building SMART Korea 가 시범적 용도로 구축하여 제공하는 BIM 표준 라이브러리 시범버전은 웹기반으로 제공되는 객체 라이브러리이다. 여기에는 Revit 과 ArchiCAD 소프트웨어의 사용자 라이브러리에 추가하여 바로 사용할 수 있는 객체정보들을 개별 파일로 제공한다. 사용자는 해당 소프트웨어에서 개별 객체파일들을 사용자 라이브러리에 추가하고, 객체를 생성하는데 이를 적용할 수 있지만, 아직까지 시범구축에 한정되어 있어 제공되는 객체의 유형과 종류가 매우 제한적이며 그 수 또한 매우 적다. KBIMS 는 Revit 과 ArchiCAD 에서 사용되는 Building SMART Korea 표준 프로젝트의 사용자 환경설정을 위한 템플릿이 함께 제공되고 있다. 이 템플릿은 해당 객체를 추가할 때 함께 적용해야 제공되는 객체정보가 모델링 과정에서 적용될 수 있다. 현재 KBIMS 에서는 9 개 객체 유형에 대하여 53 개의 객체정보를 제공하고 있다.

2.2 BIM 라이브러리 시스템 동향 분석

앞서 언급된 BIM 라이브러리 시스템의 활용 절차는 다음과 같다. 먼저, 사용자는 건축물에

사용될 객체 (object)의 유형 및 규격을 결정하게 된다. 여기서 객체정보가 포함된 리스트가 생성되는데, 설계 단계에 따라서 객체 유형의 개념적인 계획만이 포함될 수 있다. 이 경우, 해당 객체의 구체적인 속성정보는 설계자가 모델링 과정에서 직접 입력해 주어야 한다. 객체 리스트가 작성이 되면 이들에 대한 정보를 수집해야 한다. 이는 시스템에 포함되어 있는 BIM 라이브러리를 검색하여 객체 정보를 수집할 수 있다. 객체를 검색하기 위해서는 객체에 포함된 속성정보를 확인하여야 하며, 시스템에 따라서 객체에 첨부된 PDF 파일을 확인하거나 해당 시스템에서 직접 제공하는 정보를 확인한다. 여기서, 일부 시스템의 경우 BIM 소프트웨어에서 직접 운용되는 add-on 프로그램을 제공하고 있어, 이를 통해 속성정보 값을 기반으로 객체를 검색할 수 있다. 검색된 객체는 사용자에게 다운로드 될 때 여러 가지 파일 포맷으로 제공된다. 몇 시스템에서는 IFC 파일을 지원하여 BIM 기반의 데이터 호환이 가능한 파일 포맷으로 객체정보를 다운받을 수 있다. 다운로드 되는 파일의 객체정보는 독립된 프로젝트 파일 (proprietary file) 또는 개별 객체파일 (individual objects)로 제공되기 때문에 사용자는 해당 파일에 포함되어 있는 객체 유형 및 속성값을 현재 모델링하고 있는 건축물 모델과 결합하여 사용하게 된다. 마지막으로 결합된 파일에서 사용자는 생성하고자 하는 객체의 유형과 속성 값을 적용하여 새로운 객체들을 생성할 수 있다.

현재 서비스중인 BIM 라이브러리 시스템에 포함된 객체 및 제품정보에는 특정 표준분류체계에 따른 코드정보가 제공되고 있다. 미국 등에서 서비스 중인 시스템들은 OmniClass 의 분류체계 코드를 객체에 포함시켰으며, 유럽에서 서비스중인 시스템들은 UniClass 의 분류체계 코드를 사용하고 있다. 이에 따라 사용자가 해당 라이브러리를 통하여 객체를 생성하게 되면, 표준 분류체계의 코드정보가 함께 포함되어 있어, BIM 정보에 포함된 코드정보에 따라 엔지니어링 분석 등에 사용되기 용이하도록 제공된다.

또한, 라이브러리를 활용할 수 있는 BIM 기반 소프트웨어에 한정을 두지 않기 위하여 몇몇의 시스템에서는 국제표준파일 포맷인 IFC 파일을 함께 제공하고 있다. 이를 통하여 다양한 BIM 기반 소프트웨어에서 해당 라이브러리를 적용하여 활용할 수 있으나, IFC 호환성이 완벽

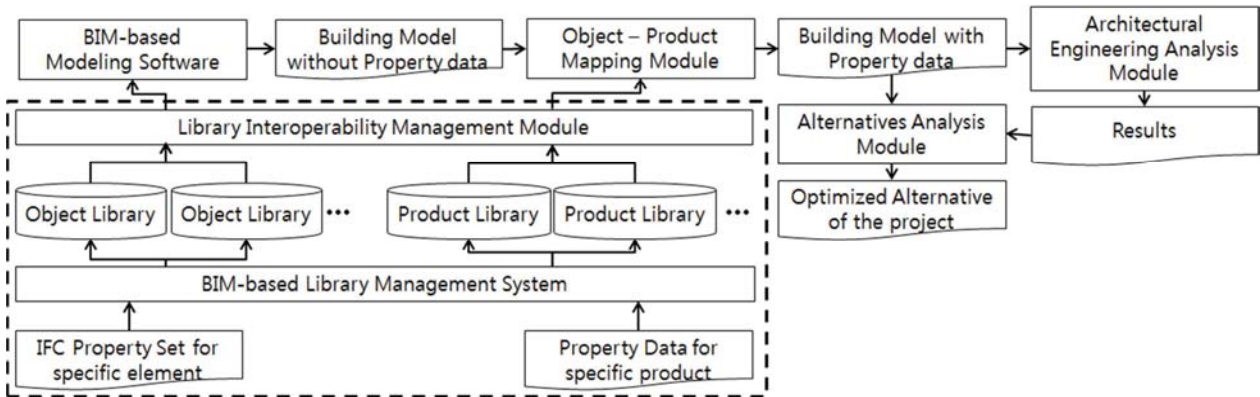


Fig. 1 Usage process of improved BIM library system

하지 못하기 때문에 해당 객체의 속성정보가 온전하게 호환된다는 보장을 할 수가 없다는 한계가 있을 수 있다. 대부분의 시스템들은 태그 기반 검색기능을 제공하고 있어, 사용자는 자신이 원하는 객체를 라이브러리에서 검색할 때, 객체에 달려있는 5~10 가지의 태그를 통하여 검색하게 된다. 여기서 검색되는 객체들은 태그에 의존적이게 되므로, 속성정보에 따른 검색은 어려울 수 있다. SMART Library와 SEEK는 Revit의 Add-on 을 함께 제공하기 때문에 Add-on 의 기능을 통한 속성정보 검색이 가능하지만, 이는 Revit 에만 가능한 기능으로, 객체라이브러리의 범용성에는 한계가 있다고 볼 수 있다.

3. BIM 라이브러리 활용 프레임워크

3.1 BIM 라이브러리 활용 프로세스

건축물의 설계가 진행되는 단계별로 사용되는 BIM 라이브러리를 객체 라이브러리와 제품 라이브러리로 구분하고, 이에 대한 활용을 도식

화한 프로세스 개요도는 그림 1 과 같다. 먼저, 설계자가 BIM 기반 소프트웨어를 통하여 건축물을 모델링 할 때에는 BIM 라이브러리 관리 시스템을 통하여 제공되는 일반적인 객체정보가 포함된 객체 라이브러리를 활용하여 모델링한다. 여기에는 객체의 유형 및 특성에 따라 IfcPropertySet 이 결정되어 적용된다. 이는 향후 제품의 속성정보를 입력하기 위한 기반으로 활용되며, 설계자는 이러한 속성정보를 모두 입력하지 않는다. 이후, 프로젝트가 진행되어 특정제품에 대한 규격 및 명세가 결정되면, 설계자는 BIM 라이브러리 시스템에서 제공되는 제품 라이브러리를 통하여 엔지니어링 분석에서 요구되는 속성정보를 입력하게 된다. 이때 기 포함되어 있는 객체정보와 입력되는 제품정보간의 맵핑을 통하여, 제품정보의 효율적인 입력이 가능하게 된다. 생성된 건축물 모델은 특정 제품들의 속성정보가 모두 포함되어 있기 때문에 엔지니어링 분석에 직접적으로 활용될 수 있으며, 이를 통하여 대안분석과정의 효율성을 향상 시킬 수 있다.

Table 1 Comparison of the BIM Library systems

구분	National BIM Library	Smart Library	SEEK	KBIMS
라이브러리 규모	28 개 유형, 701 개	60 개 유형, 15,801 개	24 개 유형, 24,698 개	9 개 유형, 53 개
대상 소프트웨어	Revit, ArchiCAD, Tekla, Bentley, Vectorworks	Revit	Revit, 3Ds Max, AutoCAD	Revit, ArchiCAD
IFC 제공	O	X	X	X
검색기능	태그기반	속성기반	속성기반	없음
정보제공 형식	객체별 PDF 가이드와 함께 프로젝트 파일로 웹에서 다운로드	Revit add-on 을 통하여 패밀리에 직접 추가	Revit add-on 을 통하여 패밀리에 직접 추가	BIM S/W 별 라이브러리 파일로 연계되는 객체파일로 제공
객체정보 관리	제조사 및 NBS 에서 제공	제조사에서 객체정보를 제공	제조사 및 AUTODESK 에서 제공	BSK 에서 객체정보 관리

3.2 객체-제품 라이브러리의 구분

기본설계단계에서는 해당 객체의 개념적인 의미만을 포함하고 있으므로, 특정 제품의 속성 정보가 포함되어 있기보다는 일반적인 형상, 위치, 개략적인 규격정보만을 포함하고 있을 수 있다. 하지만, 설계단계가 진행됨에 따라 구체적인 제품의 속성정보가 포함된 특정 제조사의 제품정보로 대체되어야 한다. 이에 따라, BIM 라이브러리는 일반적인 객체정보가 포함된 객체 라이브러리와 특정 제품의 속성정보가 포함된 제품 라이브러리로 구분되어 적용되어야 한다.

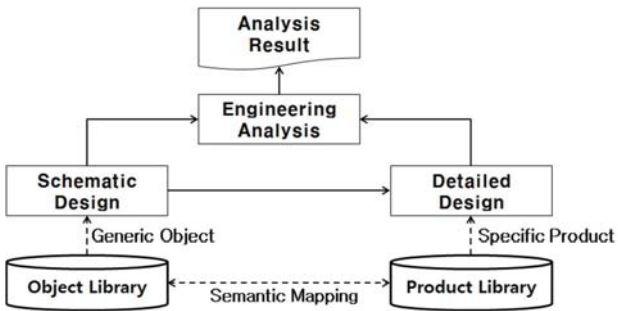


Fig. 2 Relationship of object-product library

3.3 Object-Product 의 맵핑

기본설계과정에서 모델링 시 활용되는 Object Library 에 포함된 객체정보는 향후 Product Library 에 포함된 제품정보와 맵핑될 수 있도록 분류체계 및 속성정보의 관점에서 상호호환성이 보장되어야 한다. 이를 위하여, 엔지니어링 분석에서 요구되는 속성정보는 해당 제품정보에 모두 포함되어 있어야 하며, 이는 데이터베이스로 관리될 수 있다. 또한, 객체정보는 상기 데이터베이스에서 관리되는 속성정보를 모두 포함할 수 있는 IfcPropertySet 을 적용시켜 데이터가 입력될 수 있는 위치를 확보할 수 있다. 예를 들어, 객체 라이브러리에 포함된 일반적인 창문객체에 에너지 분석을 위한 속성정보를 포함한 IfcPropertySet 을 적용시켜 놓으면, 이후, 상세설계단계에서 해당 IfcPropertySet 에 의하여 특정 제조사에서 제공하는 제품정보에 포함된 속성정보 데이터를 IfcPropertySet 에 데이터 값 (Value) 으로 효율적인 입력이 가능하다. 다음 그림 3은 객체와 제품간의 맵핑 개요도이다.

3.4 라이브러리의 호환성 관리

BIM 기반 라이브러리 활용에 있어서, 다양한 라이브러리 시스템에서 제공되는 객체 및 제품정보는 각기 다른 속성정보를 포함하고 있다. 이로 인하여, 사용자는 하나의 시스템에서 해당

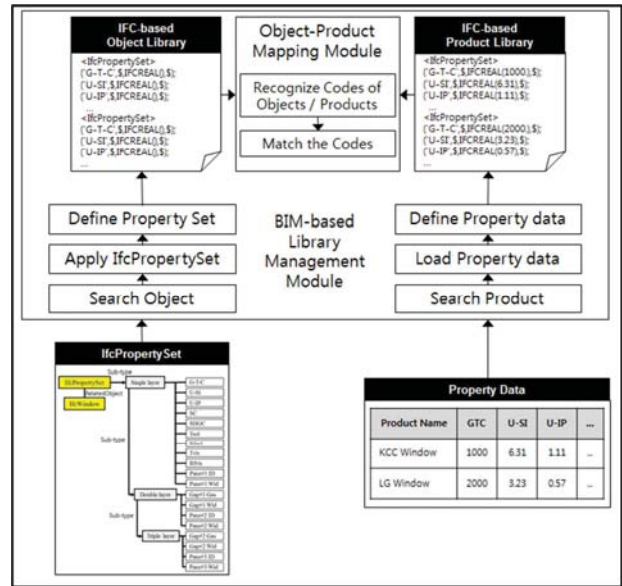


Fig. 3 Concept of object-product mapping

프로젝트에 사용되는 모든 라이브러리를 사용해야 하므로, 매우 비효율적인 요소가 존재하게 된다. 이에 다양한 라이브러리 시스템에서 제공되는 객체 및 제품정보의 속성정보가 상호 호환될 수 있는 의미적 맵핑기술을 통합 BIM 라이브러리 활용 프레임워크에 적용하여, 라이브러리간의 호환성을 확보할 수 있다. 객체 및 제품 라이브러리는 현재 사용되고 있는 BIM 라이브러리 시스템들과 같이 다양한 기관 또는 업체에서 제공될 수 있기 때문에, 새롭게 추가되는 정보의 상호 호환성을 위하여 온톨로지 (Ontology) 기술을 활용한 의미적 추론기술 (Semantic Infer)

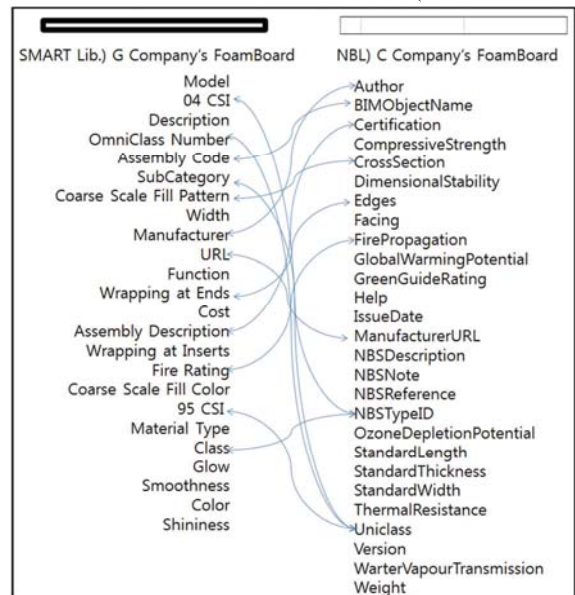


Fig. 4 Example of semantic mapping

을 적용할 수 있다^[7]. 이는 Object Library 에 포함되어 있는 IfcPropertySet 과 분류체계, 또는 제품 라이브러리에 포함되어 있는 Property Data 와 분류체계를 통하여 해당 정보의 의미적 개념 (Semantic Concept)을 활용하여 맵핑하는 기술을 의미한다^[8]. 예를 들어, 그림 4 와 같이, NBS 에서 제공하는 National BIM Library 시스템과 미국 Atlanta 의 GSA 에서 제공하는 SMART Library 두개의 시스템에서 다운로드 받은 C 사와 G 사의 Foam Board 제품정보에 포함되어 있는 속성 정보는 각각 다른 표준 및 기준 에 의하여 포함되어 있다. 이는 해당 속성정보의 이름과 값의 단위가 다르게 적용되어 있지만 몇몇 속성정보가 나타내는 의미는 같은 의미임을 알 수 있다. 예를 들어, SMART Library 의 속성정보에 포함되어 있는 Model 이라는 속성정보는 NBL 의 BIMObjectName 과 같은 의미의 데이터를 포함하고 있다. 또한, SMART Library 의 Manufacturer 와 URL 은 NBL 의 Author 및 ManufacturerURL 과 속성정보 명은 다르지만 같은 의미를 가지는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

BIM 기반 건설정보의 교환체계에서 라이브러리를 활용한 객체의 속성정보는 매우 광범위하게 사용되고 있는 실정이다. 하지만, 설계단계에서 활용되는 라이브러리는 객체정보와 제품정보가 혼용되어 활용되고 있기 때문에, 정보의 입력과정에 있어 혼란을 야기할 수 있다. 또한, 객체와 제품의 맵핑과정에서 업무 담당자에 따라 그 결과가 달라질 수 있어, 건축물 모델정보의 객관성 및 효율성이 저하될 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 BIM 라이브러리의 효율적이고 객관적인 활용을 위하여, Object 및 Product 라이브러리를 구분하여 활용할 수 있는 BIM 라이브러리 활용 프레임워크를 제안하였다. 이를 위하여, 현재 실무에서 활용되고 있는 국내외 BIM 라이브러리 시스템을 고찰하였고, 이를 기반으로 객체 라이브러리와 제품 라이브러리를 구분하여 활용할 수 있는 프로세스를 구축하였다. 아울러, 객체와 제품 라이브러리간 맵핑 호환성을 위하여 의미적 추론기술 기반의 맵핑개념도를 제안하였다.

본 프레임워크를 통하여, 설계자 뿐만 아니라 BIM 정보를 생성 및 관리하는 모든 참여자간의 정보교환 과정에 BIM 라이브러리에 포함

되어 있는 정보들의 속성정보에 일관성과 정확성을 확보할 수 있다. 또한, 객체정보와 제품정보를 구분하여 활용함에 따라, 설계단계별로 진행되는 엔지니어링 분석과정에서 발생할 수 있는 정보 혼란을 제거하여 적절한 속성정보의 활용 및 분석결과의 신뢰성과 정확성을 확보할 수 있다.

본 연구는 BIM 라이브러리 활용에 대한 개념적인 프레임워크를 제안하고 있기 때문에, 본 연구의 향후연구로써, BIM 라이브러리의 활용 프레임워크의 검증연구가 요구된다. 또한, 객체 및 제품 라이브러리의 구분을 통한 라이브러리 적용에 대하여, 실무적인 관점에서의 라이브러리 구축 및 객체와 제품간 맵핑 기술에 대한 추가 연구가 진행되어야 한다. 또한, 라이브러리간 호환성 관리를 위하여, 의미적 맵핑기술을 활용한 속성정보의 의미적 맵핑기술에 대한 추가연구가 요구된다.

감사의글

이 논문은 2013 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2013030794).

참고문헌

1. A. Redmond, A. Hore, M. Alshwi, and R. West, 2012, Exploring how information exchanges can be enhanced through cloud BIM, Automation in construction, Vol. 24, pp. 175-183
2. C. Daegu, C. NamSeok, C. Henhee, and K. KyungIn, 2012, Parametric modeling based approach for efficient quantity takeoff of NATM-Tunnels, International Conference of Robotics and Automation in Construction 29th
3. National BIM Library, <http://www.nationalbimlibrary.com/Object-Types>
4. SMART Library, <http://www.smartbim.com/>
5. AUTODESK SEEK, <http://seek.autodesk.com/MarketingSolutionsSyndication.htm>
6. BIM 표준 라이브러리 (KBIMS), <http://kbims.buildingsmart.or.kr/>
7. K. Karam, K. Gunwoo, Y. Donghee, Y. Jungho, 2013, Semantic material name matching system for building energy analysis, Automation in Construction, Vol. 30, pp. 242-255
8. 이슬기, 김가람, 유정호, 2012, BIM 과 온톨로지를 활용한 표준내역항목 추론 자동화, 한국건설관리학회지, 13(3), pp. 99-108