

건설 공간 정보 모델링을 위한 토목 BIM 묘사 중립 라이브러리 개발 방향

A Study on Civil BIM Description Neutral Library Development Direction for modeling the Construction Spatial Information

강태욱* · 이재욱** · 이우식*** · 최현상****

Kang, Tae Wook · Lee, Jae Wook · Lee, Woo Sik · Choi, Hyun Sang

요 旨

본 연구는 최근 건설 산업의 큰 흐름으로 시도되고 있는 건설 공간 정보 모델링을 위한 BIM 핵심 기술 중 하나인 라이브러리와 관련하여 IFC와는 또 다른 관점에서 파라메트릭 모델링 및 알고리즘을 묘사할 수 있는 중립 라이브러리 개발을 위한 기술 요소와 효과적인 개발 방향을 제안한다. 이를 위해 최근 관련 연구를 고찰하고 현재 활용되고 있는 라이브러리를 이용한 대표적인 BIM 모델러인 Revit, ArchiCAD의 라이브러리 기술을 분석하였다. 분석된 결과를 바탕으로 BIM 파라메트릭 모델 구조 및 알고리즘 정의를 위한 기술적 공통 요소들을 분석하고 개념적인 연구를 통해 이런 요소들을 포함한 BIM 묘사 스크립트 언어 기반 중립 라이브러리 개발 방향을 제시하였다.

핵심용어 : BIM, 중립 라이브러리, 파라메트릭, 기술 언어, 객체 모델링

Abstract

The purpose of the present study is to suggest the development direction for the neutral library which can describe the parametric modeling and design algorithm to design the construction spatial information which is known as BIM. To do this, we surveyed the recent research related to neutral library and analyzed the library technology of BIM modeler such as Revit, Archicad. By using this result, we suggested the development direction based on BIM description script language for the neutral BIM library including the parametric design and the algorithm definition.

Keywords : BIM, neutral library, parametric, description language, object modeling

1. 서 론

본 연구는 최근 건설 산업에서 큰 흐름으로 진행 중인 건설 공간 모델링 기술인 BIM 기술에서 핵심적인 요소인 중립 라이브러리 개발 방향에 관한 연구이다. 현재는 민간에서 사용되는 유명 벤더사에서 개발된 Revit, Tekla, AllPlan 같은 모델러에서 지원하는 라이브러리를 사용하고 있으나, 구조적으로 다르기 때문에 서로 호환성 없이 별개로 매번 개발하여 활용되고 있는 상황이다. 이와는 또 다른 방식인 ArchiCAD의 GDL(Geometry Description Language)는 라이브러리 마켓에서 사용되고 있으나, 기본적으로 ArchiCAD라는 상용 모델러에서만 지원되는 라이브러리의 한계가 있

다. 다만, BIM 분야에서 객체 정보 교환 표준 모델로써 IFC(Industry Foundation Class)가 활용되고 있으나 건물 모델에 대한 중립 모델이며 객체 자료 구조 기반이라 형상을 파라메트릭하게 표현하는 알고리즘을 묘사하기 어려워 이를 자료구조로 표현해야 하므로 구조가 복잡해진다. 또한, 모델러별로 저장되는 구조가 틀려 호환성에 문제가 있는 경우가 있고 아직 파라메트릭 모델링 구조를 제대로 지원되지 않으므로 라이브러리에서 형태와 관련된 모델링 표현에 취약함이 있다.

이 연구에서는 이런 문제점을 해결하기 위한 다른 방향으로 BIM 정보 묘사를 위한 스크립트 언어 기반 중립 라이브러리 개발 방향에 대해 제안한다. 본 연구

2012년 12월 4일 접수, 2012년 12월 18일 수정, 2012년 12월 20일 채택

* 정희원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원(Member, KICT, ktw@kict.re.kr)

** 세종대학교 건축공학과 교수(Se-Jong university, jaewook@sejong.ac.kr)

*** 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원(KICT, wslee@kict.re.kr)

**** 교신저자 · 정희원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 연구위원(Corresponding author, Member, KICT, hyunsang@kict.re.kr)

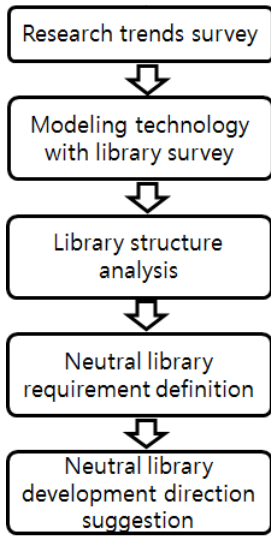


Figure 1. Research flow

를 수행하기 위한 연구 흐름은 Figure 1과 같다.

2. 연구 동향

BIM 중립 라이브러리 개발에 관한 연구는 지식경제부에서 진행하고 있는 World Best Software의 BIM 모델러 개발을 통해 최근 시작되고 있는 상황이며, 기존 수행된 연구는 중립 라이브러리 개발을 다룬 것이 아닌 기존에 주로 활용되는 모델러의 라이브러리나 API를 활용해 견적이나 시설물 관리 등 유즈케이스(Use-case)에 활용하기 위한 라이브러리 구축이 대부분이다. 관련 분야 국내 연구를 살펴보면, BIM라이브러리를 한옥 목구조에 활용할 수 있는 분류체계를 조사하고, 정의한 연구가 수행 되었으며(Park Jung-Dae etc, 2012), 한옥 건축 요소들에 대한 형상모델링을 위해 상용 모델러에서 생성한 IFC파일에 파라메트릭 모델링을 적용하기 위해 XML에 관련 파라메터(Paramter)를 정의해 링크한 연구가 수행되었다(Kim In-Han etc, 2012). 이병호는 건축물을 Revit으로 모델링하여 CO₂를 평가하기 위한 BIM라이브러리를 개발 하였으며(Lee Byeong-ho etc, 2012), 전기현 등은 BIM기반 시공계획을 지원하기 위해 시공계획서 및 가설계획 프로세스를 도출하여 시공객체 라이브러리를 Revit 기반으로 개발하여 적용 하였으며(Jun Ki-Hyun, 2011), 조대구 등은 BIM 라이브러리 교환체계 연구에서 여러 상업적 라이브러리가 분산되어 있어 제조업자가 각 사이트별로 같은 작업을 반복하거나, 설계자 역시 필요한 라이브러리를 구하는

시간낭비 요인이 있음을 언급하고, 어느 한 BIM도구만을 위한 독점적 라이브러리 구축을 배제하고 IFC와 같은 국제표준을 기반으로 한 개방적 표준 체계가 되어야 함을 제안하였다(Cho Dae-Gu etc, 2010).

해외에서는 최근 영국 NBS(National Building Specification)에서 건설 산업의 발전을 위해 라이브러리를 만들어 웹사이트를 통해 배포하고 있으며, IFC를 포함해 Revit, Archicad, Vectorworks, Tekla, Bentley 라이브러리를 모두 포함하고 있다. 라이브러리는 현재 200 개 이상 일반화된 객체를 포함하고 있으며, 주요 건축 부재인 벽체, 천장, 지붕, 바닥 등을 포함한다. 라이브러리에 포함된 파라메터는 라이브러리 분류를 위한 분류체계나 라이브러리 설명 등이 포함되어 있으며, 분류체계와 관련해 Figure 2와 같이 웹서비스를 별도로 제공하고 있어, 이를 이용해 라이브러리를 이용한 건설 정보 모델링 및 재활용을 유도하고 있다.

Hubers는 IFC기반 BIM이 효과적인 데이터 교환 방법이나 디지털 프로젝트와 같은 파라메트릭 디자인 소프트웨어를 사용할 경우에는 문제가 있음을 언급하고, 특히 이런 소프트웨어에서 알고리즘에 의해 생성된 비정형 모델이나 파라메트릭 변수 제약조건하에 모델링된 모델에 대한 데이터 교환 방법이 제공되지 않음을 지적하였다. 이는 디자인 시 협업에 대한 문제도 야기시키는 데 IFC에서 지원하는 객체나 속성만으로는 Figure 3과 같이 디자인 의도나 알고리즘이 반영된 모델의 디자인 변경을 지원하지 못하기 때문이다(Hubers., 2010).

다른 최근 연구로는 토목 엔지니어링에서 협업을 개선하기 위한 방법으로 BIM으로 토목 객체 모델링을 구현하기 위한 연구가 M. Obergrisser 등에 의해 수행 되었으며, 협업 및 정보 재사용을 위한 방법으로 빌딩 스마트 기술의 IDM(Information Delivery Manual),

Operations at <http://api.nationalbimlibrary.com/classification>

This page describes the service operations at this endpoint.

URI	Method	Description
/classification	GET	Gets all the top level Classification Items
/classification/{classificationGroup}/subGroup	GET	Gets all Classification Item Sections when the Sub-Group and the Group are specified
/classification/{classificationGroup}/section	GET	Gets all Entities when the Section, Sub-Group and Group are specified
/classification/{classificationGroup}/notation	GET	Gets the breadcrumb of parent classifications for a given underscore separated notation
/classification/{classificationGroup}/subGroup	GET	Gets all Classification Item Sub-Groups when the Group is specified

Figure 2. NBS National BIM Library webservice (<http://www.nationalbimlibrary.com/>)

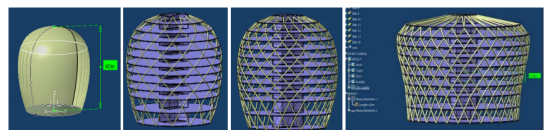


Figure 3. Parametric changes in a 3D model.(Hubers, 2010)

ER(Exchange Requirement), MVD(Model View Definition)을 사용해 필요한 프로세스와 정보들을 추출하였으며, IFC가 아직 인프라스트럭처 프로젝트 모델을 묘사하지 않는 문제로 인해 이 연구에서 ER은 다른 포맷으로 구현하였음을 언급하고 있다(Obergruesser etc, 2012).

Yang Ji 등은 교량과 같은 토목 모델을 IFC와 같은 중립 모델을 이용해 정보 교환하는 것에 문제가 있음을 언급하고, 특히 파라메트릭 조건과 기하학적 제약사항을 위한 정보 기술을 IFC-Bridge 기반으로 파라메트릭 모델 교환을 구현하는 개념에 대한 연구를 XML을 기반으로 Figure 4와 같이 수행하였으며, IFC에 교량 단면을 묘사할 수 있도록 파라메트릭 프로파일 정의인 IFCParametricProfileDef확장 모델을 제안하였다(Yang Ji etc, 2011).

최근 빌딩스마트에서 Nicholas Nisbet이 IFC2x3 alpha2 버전으로 수식과 치수 제약조건을 포함한 IFC Parametric2x3.exp를 EXPRESS로 기술하여 제안하였으나(Nicholas Nisbet 2011), 알고리즘은 포함되지 않았으며 IFC2x4 alpha 버전에서는 포함되어 있지 않다.

Matthias weise등이 논의한 IFC 모델 기반 스케줄링 관련 논문에는 이와 관련된 연구 중 IFC는 Figure 5, 6과 같이 디자인 의도를 표현하기 보다는 디자인 결과

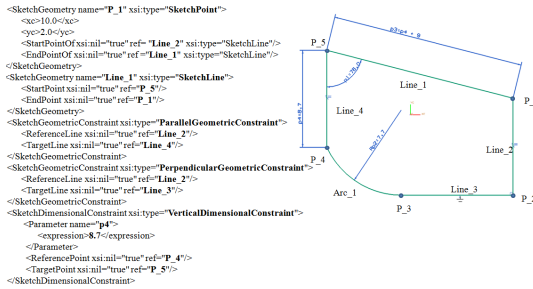


Figure 4. Parametric description based on XML(Yang Ji etc, 2011)

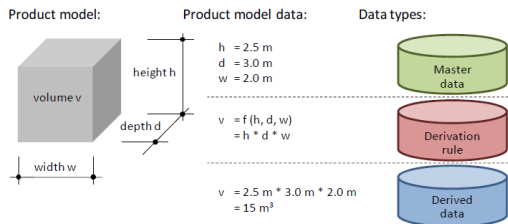


Figure 5. Differentiation of product model data into three data types(Matthias weise etc, 2009)

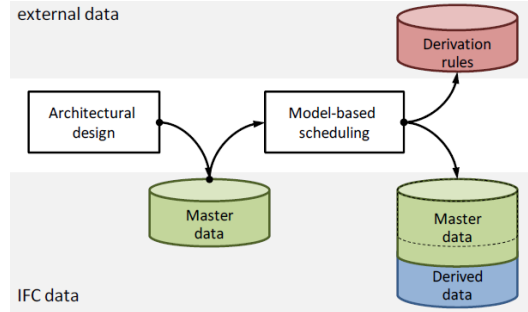


Figure 6. Initial architectural design(Matthias weise etc, 2009)

물에 초점을 맞추고 있다는 언급을 하였다(Matthias weise etc, 2009).

조사된 연구 동향 결과를 보면, 국내 라이브러리에 대한 대부분의 연구는 상용 모델러를 기반으로 개발된 라이브러리에 특정 유즈케이스를 구현하기 위한 파라미터셋(Parameter set)을 정의하는 연구나 분류 체계와 관련된 것이며, 해외 연구는 IFC에 파라메트릭 모델링 요소를 확장하려는 시도가 최근에 있었으나, 디자인 의도가 반영된 알고리즘 정의를 시도한 경우는 없었으며, 이와 관련되어 IFC포맷에 한계점이 있다(Hubers, 2010).

3. 라이브러리 정의 기술

현재 BIM 라이브러리 정의 기술은 크게 Revit과 같이 자체적인 포맷으로 라이브러리 묘사 정보를 담고 치수와 제약조건으로 라이브러리를 모델링하는 방식과 ArchiCAD의 GDL과 같이 알고리즘까지 묘사할 수 있는 언어를 이용해 모델링하는 방식이 있다.

Revit에서 라이브러리는 패밀리로 취급되며, 패밀리는 치수와 제약조건을 이용해 모델링된다. Revit에는

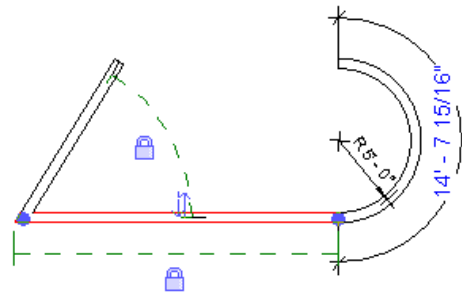


Figure 7. Linear and Radial dimension constraints (Revit 2012 API, Developer's Guide, 2011, Autodesk)

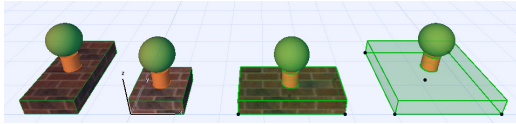


Figure 8. the objects which was created by using the parameters

치수 제약, 치수 구속, 동등 제약, 지점 제약을 지원하고 있으며, 이를 이용해 Figure 7과 같이 파라메트릭 모델링이 가능하다. 이때 라이브러리에 포함된 치수나 제약조건은 테이블로써 표현될 수 있으며, 이를 해석하여 각 도형의 크기나 위치를 계산한다.

ArchiCAD에서는 GDL을 이용해 파라미터와 알고리즘을 묘사하여 라이브러리를 생성하는 스크립트 예와 결과(Figure 8)를 나타내고 있다.

```

MATERIAL MaterialA
BLOCK LengthX , LengthY, 0.1
MATERIAL 0

PEN 3
ADD LengthX / 2, LengthY / 2, 0.1
CYLIND 0.1, 0.05
DEL 1

PEN 4
ADD LengthX / 2, LengthY / 2, 0.3
SPHERE 0.1
DEL 1
    
```

4. 라이브러리 구조 제안

4.1 라이브러리 정의 요소

BIM 라이브러리를 구성하는 요소는 조립이 가능하도록 파라메트릭을 지원해 가변성이 있어야 하며, 수량 등을 추출할 수 있도록 속성을 지원해야 하며, 모델링 알고리즘을 지원할 수 있도록 모델링 규칙을 담을 수 있어야 한다. 이를 표현하면 아래와 같다.

- M = {G, T, P, R}
- G = 형상
- T = 위상
- P = 파라미터
- R = 모델링 규칙

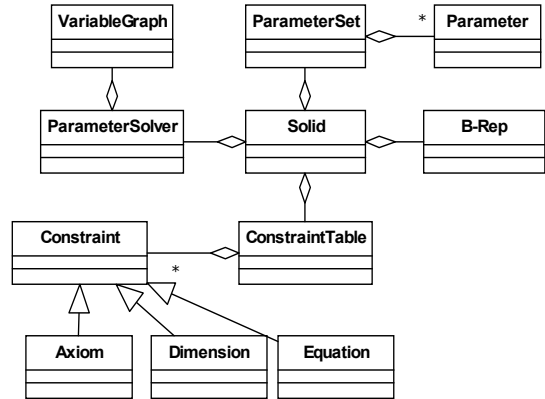


Figure 9. The object structure representation method

부품은 이런 정보에 대해 가변성이 처리될 수 있어야 한다. 가변성이 처리되기 위해서는 파라메트릭 모델링 개념이 포함되어야 하며, 형상 뿐 만 아니라 모델링 규칙을 포함한 처리 절차와 알고리즘을 묘사하고 교환할 수 있어야 한다. 이런 이유로 Revit이나 IFC 방식의 객체구조 정의 기반은 치수 및 제약조건만 적용하는 방식은 한계가 있다. 또한 제약조건과 관련 변수들을 계산이 가능하도록 표현해야 하므로 많은 메모리 용량을 차지한다. Figure 9는 파라메트릭 모델링을 정의한 객체지향 구조이다.

이런 문제를 고려해 파라메트릭 모델과 알고리즘을 효과적으로 정의할 수 있는 BIM 묘사 스크립트 언어를 이용한 라이브러리 모델 개발 방식을 제안한다. BIM 묘사 스크립트 언어는 국부적이고 기술적인 문제는 추상화하고, 문제 정의 자체에 대해서만 기술하여 정의하도록 하는 방식이다. 이 방식은 형상을 표현하는 알고리즘을 자료구조가 아닌 스크립트으로써 표현하므로 메모리 사용량이 적다.

스크립트 언어는 오픈소스인 파이썬, 루비, 루아 등의 객체지향 지원 언어를 활용할 수 있으며, 이런 스크립트 언어를 기반으로 한 모델 정의 및 생성에 필요한 객체와 메소드(Method)를 바인딩(Binding)하는 방법으로 중립적인 라이브러리에 필요한 함수를 제공할 수 있다.

소스가 오픈되어 있으므로 각 모델러에서 제공하는 API(Application Program Interface)를 이용해 협업에 사용되는 각 모델러에서 이 중립 라이브러리를 해석하여 활용할 수 있다.

Table 1은 오픈 소스 스크립트 언어 특징이다.

다음 스크립트는 Figure 10의 형상을 BIM 묘사 언어 개념으로 라이브러리를 정의한 예이다.

Table 1. Open source script language characteristic

Script language	Description	Cases
Python	The script language which supports the object-oriented grammar, dynamic function binding etc.	Google App Engine etc.
Ruby	Supports the convenience grammar, the object-oriented.	Sketchup etc.
Lua	Supports the simple grammar, the fast operation performance etc.	3D game engine, simulation program etc.

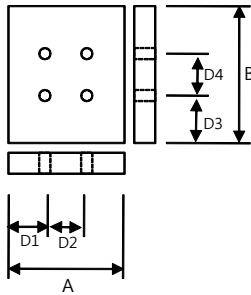


Figure 10. Pier plate drawing

' Parameter set definition

- A = 900
- B = 900
- D1 = 300
- D2 = 300
- D3 = 300
- D4 = 300
- R = 50

' Object definition

Cube = SolidCube(A, B, C)

Cylinder = SolidCylinder(R)

Cylinder.Move(D1, D3)

Cube = Cube.Subtract(Cylinder)

Cylinder = SolidCylinder(R)

Cylinder.Move(D1 + D2, D3)

Cube = Cube.Subtract(Cylinder)

Cylinder = SolidCylinder(R)

Cylinder.Move(D1, D3 + D4)

Cube = Cube.Subtract(Cylinder)

Cylinder = SolidCylinder(R)

Cylinder.Move(D1 + 2, D3 + D4)

Cube = Cube.Subtract(Cylinder)

Cube.Material = Material("PCC#301")

객체구조 방식과 차이를 비교해 보기 위해 Figure 10의 형상을 Figure 11과 같이 단순화하여 Figure 12와 같이 하나의 간단한 파라메트릭 수식을 객체 구조로 표현해 보았다. 참고로 P1에서 P4는 사각형을 이루는 정점이며 정점은 (X, Y, Z) 요소를 가지고 있다.

객체구조 방식으로 표현한다면 이와 같이 파라메트릭과 관련된 수식들을 객체로 표현해야 하므로 메모리를 상대적으로 많이 사용해야 하며, 파라메트릭에 사용

$$P3.Y = P2.Y + B$$

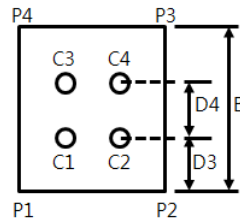


Figure 11. Pier plate simple drawing

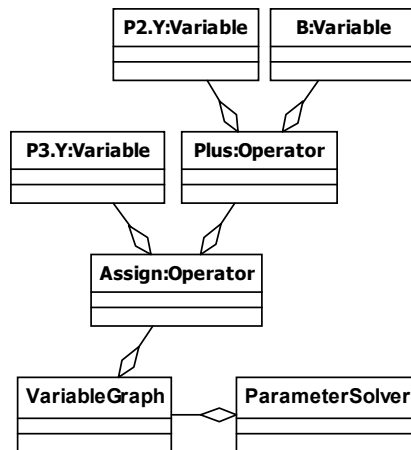


Figure 12. "P3.Y = P2.Y + B" parametric equation as the object structure representation (UML object diagram)

된 변수 간 의존성을 체크하고 연산을 해야 하므로 이를 위한 별도의 연산 시간이 필요하다.

스크립트 언어 기반 중립 라이브러리를 개발하면, 디자인 의도가 반영된 알고리즘을 묘사할 수 있으며 메모리 사용도 효과적이며, A, B, C 등은 파라미터 부분은 UI로 속성창이나 다이얼로그로 노출하여 설계자가 디자인 변경을 손쉽게 할 수 있다.

4.2 라이브러리 간 조립

정의된 중립 라이브러리는 가변성과 파라미터 셋이 고려된 재활용 가능한 부품이므로 조립할 수 있는 제약 조건이 부여되어야 교량과 같은 제품을 모델링할 수 있다. 제약 조건은 두 파트 객체 간에 연관되어야 하며, 두 객체가 연관되기 위해서는 두 객체는 상호 연관을 위해 이름이나 객체ID를 가지고 있어야 한다. 대표적인 제약조건은 Table 2와 같다.

각도, 길이, 반경과 같은 파라메트릭 제약 연관관계는 변수 프로그래밍을 통해 적용한다. 그러므로 이미 부품을 정의할 때 이런 부분을 고려하여 부품을 정의해야 한다. 다음 스크립트는 Figure 13과 같이 하나의 원을 가지고 있는 패널에 대해 제약조건을 구속한 예이다.

Table 2. Constraint type

Constraint	Description
Coincident	Coincident between line and line, line and face, face and face.
Concentric	Concentric match between the center points such as circle, arc, cylinder etc.
Angle association	Definition the angle association between 2 objects such as line, face etc. If the value of the angle association, the position related to it is changed.
Length association	Definition the association about the length between 2 objects such as points.
Radius association	Definition the association about the radius related to objects.

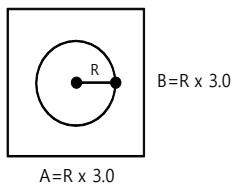


Figure 13. The shape with the constraints

R = 100.0

A = R x 3.0

B = R x 3.0

Circle1 = Circle(R)

Box1 = Box(A, B)

Box1.Concentric = Circle1.Concentric

이와 같은 방식으로 라이브러리 간 조립을 표현할 수 있다.

5. 중립 라이브러리 요구사항 도출

수행된 연구 동향 조사 및 개념적 연구를 통해 중립 라이브러리 개발 및 이를 이용한 협업 시 효과적인 정보 재활용을 위해서는 아래와 같은 요구사항을 도출할 수 있다.

첫 번째로 형상, 위상, 파라미터, 알고리즘을 묘사할 수 있는 중립적인 BIM 묘사 스크립트 언어로 라이브러리를 묘사할 수 있어야 한다. 이럴 경우 협업을 위해 여러 모델러마다 라이브러리를 개발할 필요가 없으며, 디자인 의도가 담긴 디자인 규칙을 알고리즘으로 쉽게 묘사할 수 있으며 메모리 사용도 객체 자료 구조 묘사 방식보다 효과적이다.

두 번째로 라이브러리가 사용되는 목적에 따라 파라미터셋이 설정되어야 하며, 이는 라이브러리 분류 체계 뿐 아니라, 사용자 유즈케이스 별로 필요한 속성정보가 포함되어야 한다. 이럴 경우 객체 모델링을 할 때 관련 필요 정보를 일관되고 효과적인 방식으로 입력할 수 있으며, 이를 통해 생성된 객체 모델은 사용자가 효과적으로 검증할 수 있다.

세 번째로 사용자가 라이브러리에서 만들어진 객체 정보 무결성 검증 시스템을 지원하도록 웹서비스와 같은 인터페이스를 제공할 필요가 있다.

네 번째로 이런 서비스를 제공하기 위해서 영국의 National BIM Library처럼 라이브러리를 개발하고 서비스를 지원하는 중립적인 조직이 필요하다.

6. 결론

건설 제품 모델링 시 효율성과 정보 재활용성을 높이기 위해서는 중립적인 라이브러리 개발 방법이 필요하다.

이를 위해 기존의 문제점을 언급하고, 개념적인 연구를 통해 IFC와는 다른 관점에서 라이브러리 개발을

접근해 보았다. 현재는 Revit, Tekla, AllPlan, ArchiCAD의 라이브러리는 상용 모델러에서만 지원되는 라이브러라인 한계가 있으며, IFC의 경우 아직 디자인 의도가 반영된 알고리즘이나 파라메트릭 모델링을 제대로 지원되지 않는다.

이 연구에서는 이런 문제점을 해결하기 위한 또 다른 방향으로 공공기관에서 활용할 수 있는 BIM 묘사 스크립트 언어 기반 중립 라이브러리를 위한 고려사항과 개발 방향에 대해 제안하였다. 향후 관련 연구를 통해 중립 라이브러리를 구현하고 유용성을 검증해 볼 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 2012년 주요사업 (BIM/GIS 플랫폼기반 건설공간정보 통합운영기술 개발)의 연구비지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. Cho Dae-Gu, Ko Young-Hwan, Ryu Beom-Gi, Kim In-Han, 2010, Developing BIM library and contents exchange system for collaborative work environment, Architectural Institute Conference of Korea, pp.31-32.
2. Hubers J.C, 2010, IFC based BIM or parametric design?, Delft University of Technology, The Netherlands, Nottingham University Press.
3. Jun Ki-Hyun, Yun Seok-Heon, 2011, Developing Construction Object Library for BIM based building construction planning, Architectural Institute of Korea, Vol 27, No 9, pp.143-151.
4. Kim In-Han, Park Seung-Hwa, Lee Ji-Ah, 2012, A study on the feature-based modeling of Han-ok and the development of a parametric BIM library browser, Architectural Institute of Korea, Vol 28, No 5, pp.87-94.
5. Lee Byeong-ho, Hong Seoung-wook, Shin Sung-woo, 2012, The development of BIM library for building life cycle CO₂ assessment, The Korea Digital Architecture & Interior Association, Vol 12, No 2, pp.67-76.
6. Min Byung-Keum, Park Dong-Hyun, Jang Young-Gu, Kang In-Joon, 2012, A Study on standardization for civil-BIM construction of harbor structure based on geo-spatial information technique, The Korea Society for GeoSpatial Information System, Vol 20, No 3, pp.83-90.
7. Matthias weise, Thomas liebich, Jan tulke, Peter bonsma, 2009, IFC support for model-based scheduling, AEC3.
8. Nicholas Nisbet, 2011, Proposed extension (alpha 2) for IFC schemas supporting arithmetic, geometric and dimensional constraints, BuildingSmart.
9. National BIM Library <http://www.nationalbimlibrary.com/>, National Building Specification.
10. Obergriesser, M, Borrmann, A, 2012, Infrastructural BIM standards, development of an information delivery manual for the geotechnical infrastructural design and analysis process, eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, Gudnason & Scherer (Eds).
11. Park Jung-Dae, Kim Jae-Jeol, 2012, A Study on the categorization system of the BIM-Library for wooden structure of the Korean traditional buildings, Architectural Institute of Korea, Vol 28, No 5, pp.119-126.
12. Revit 2012 API, 2011, Developer's Guide, Autodesk.
13. Yang Ji, Andre Borrmann, Mathias Obergriesser, 2011, Towards the exchange of parametric bridge models using a neutral data format, ASCE.