건축물 에너지 분석 자동화를 위한 건축 자재명 온톨로지 구축

Development of Construction Material Naming Ontology for Automated Building Energy Analysis

김 가 람* 김 건 우** 유 동 희*** 유 정 호****
Kim. Karam Kim. Gunwoo Yoo. Donghee Yu. Jungho

요 약

다양한 이해관계자들이 참여하게 되는 현재 건설산업에서 표준 포맷을 사용한 Building Information Model (BIM) 데이터 교환은 건물 전 생애주기에 걸쳐 관련 실무자들에게 보다 효율적인 업무 환경을 제공해 줄 수 있다. 하지만, 설계 프로그램에서 Industry Foundation Class (IFC) 포맷의 파일을 사용하여 건축물 에너지 분석으로 데이터 교환 시 BIM 정보에서 추출된 자재 정보를 에너지 분석 도구에서 직접 사용할 수 없어 추가적인 데이터 입력 작업이 필요한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 건축물 자재에 관련하여, 에너지 분석 엔진인 DOE-2의 기본 라이브러리에서 사용하고 있는 자재 라이브러리와 매칭될 수 있도록, IFC 파일에서 추출된 건축물 자재 표기명을 에너지 분석 프로그램의 자재 라이브러리 표기명과 자동으로 매칭 시키는 온톨로지를 구축하였다. 본 연구는 에너지 분석 시 분석 과정의 효율성 및 분석 결과에 대한 객관적인 신뢰도를 향상시키고, 건설산업에서 온톨로지 활용에 대한 개념연구로서 그 의의가 있다고 할 수 있다.

키워드 : BIM 데이터 교환, 에너지 분석 자동화, 건축물 자재정보, 온톨로지

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

에너지절감 정책이 국가적인 중요한 이슈로 부각되면서, 국가 전체 에너지의 약 1/4을 차지하고 있는 건축물의 에너지 소비에 대한 관심이 급증하고 있다. 이에 따라 설계단계에서 건축물이 소비하는 에너지 량을 사전에 시뮬레이션 하는 분석과정의 필요성이 부각되고 있다.

한편, 건축 설계의 패러다임이 2D에서 3D로, 그리고 Building Information Model (BIM)으로 전환됨에 따라 그에 따른 정보관리의 필요성도 대두되고 있다. 핀란드, 노르웨이, 스웨덴, 이탈리아, 독일 등 선진 유럽에서는 2000년대 중반 이미 50% 이상의 건축 프로젝트가 BIM을 통해 이루어지고 있으며[1], 미국에서도 2006년부터 연방 조달청에서 수행되는 모든 프로젝트에 BIM을 의무화 했다[2]. 국내의 경우 2012년부터 조달청에서 발주하는 500억 원 이상인 턴키 · 설계공모 건축공사에 BIM 적용을 의무화할 예정이다[3]. 이러한 추세에 따라 에너지 분석에서 설계 과정에서 생성된 BIM 정보를 직접 활용하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

현재 에너지 분석에서 입력되어야 하는 정보는 기후, 위치, 자재, 형상, 사용스케줄, Mechanical-Electrical-Plumbing (MEP)등 여러 가지가 있다. 이 중 자재 및 형상정보 등은 설계

* 일반회원 광운대학교 대학원 건축공학과 석사과정 karamiz@kw.ac.kr
** 일반회원, 국립한밭대학교 경상대학 경영학과 교수, 경영학박사 gkim@hanbat.ac.kr
*** 일반회원, 육군사관학교 정보과학전임강사 경영학박사 donghee.info@gmail.com
**** 종신회원 광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사 myazure@kw.ac.kr

1) http://www.buildingsmart.com/
2) http://www.gsa.gov
3) http://www.pps.go.kr

과정에서 생성되어 에너지 분석 과정에서 활용될 수 있다. 하지만, 자재 정보는 3D Computer Aided Design (CAD) 프로그램에서 객체에 입력되면서 생성되는 주요 데이터이지만, 에너지 분석 프로그램에서 자재 관련 정보를 각 기본 라이브러리에서 사용할 때 자재명으로 인식이 되고 있다. 또한, BIM데이터의 자재 표기명이 표준화되어 있지 않아, 설계과정에서 설계자들이 모델링 시 입력하는 자재 표기명이 제각각 다를 수 있다 (예를 들면, 설계 정보에 콘크리트에 대한 자재 명을 Conc 혹은 Con'c 등으로 표기 할 수 있다). 따라서 에너지 분석 과정에서 해당 데이터를 분석자가 인지하고, 필요한 경우 이를 수정해야 하는 추가 작업이 발생한다. 이로 인해 에너지 분석 결과의 신뢰도는 분석자의 숙련도에 의해 상당부분 좌우되며, 에너지 분석 업무의 효율성 또한 낮아질 수 있다.

또한, 설계 단계에서 자재 속성 데이터를 입력할 수 없거나, 설계자가 속성 데이터를 입력하지 않아, 해당 자재에 대한 각 속성 데이터가 에너지 분석 프로그램에 받아들여 지지 않는다. 이는 에너지 분석 시 분석자 임의대로 데이터가 재입력되어 에너지 분석 결과에 대한 신뢰성을 저하시키는 원인 중 하나이다.

이에 본 연구에서는 설계단계에서 생성된 BIM 정보에서 건축물 자재에 대한 데이터를 건축물 에너지 분석 엔진 의 입력데이터로 직접 활용하기 위하여, 자재명 온톨로지 및 표준 자재명 추론 규칙을 구축 · 활용하는 방안을 제시한다. 이를 통해 3D CAD 프로그램으로 모델링된 자재정보를 시스템에서 정확하게 자동 인식 할 수 있고, 에너지 분석 업무 프로세스의 효율성을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

DOE-2엔진은 Lawrence Berkeley National Laboratory와 James J. Hirsch & Associates에서 25년간 개발된 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 냉 · 난방부하 분석 시뮬레이션에 사용되는 엔진으로써, 설계단계에서 에너지 성능을 연구하기 위해 고안 되어졌다 (Tobias 외2인., 2007). 본 연구에서는 DOE-2 엔진을 위한 여러 입력 정보 중 건축물 자재에 대한 데이터를 연구 범위로 한정하고 BIM기반 정보관리 차원에서 자재 데이터 교환의 효율성을 높이기 위한 방안을 제시하고자 한다.

본 연구는 그림 1과 같은 절차를 통하여 진행되었다. 먼저 기존연구고찰을 통하여 현재 에너지 분석 과정에서 자재정보 인식에 대한 문제점을 분석하고, 에너지 분석에서 요구되는 자재의 속성정보를 파악하기 위하여 DOE-2엔진의 기본 자재 라이브러리를 분석하였다. 또한, BIM 정보에서 건축물 자재 관련 데이터를 추출하기 위하여 Industry Foundation Class (IFC) 표준포맷의 자재 관련 데이터를 분석하였다. 그 후 분석된 내용을 기반으로 자재 타입에 따른 온톨로지 및 추론 규칙을 구축하였고, 마지막으로 추론을 통하여 온톨로지의 사례검증을 하였다. 본 연구에서 예시로 구축한 온톨로지는 DOE-2 자재 라이브러리에 포함되어 있는 자재 중 일부가 사용되었다. 구축된 온톨로지를 통하여 BIM정보에서 사용된 자재를 인식하고, 에너지 분석을 위한 속성값 추가 과정을 자동화 할 수 있다.

본 연구에서 활용한 도구로는 온톨로지 및 추론 규칙 개발 도구로써, W3C[4]에서 개발 및 제공되는 표준 온톨로지 언어인 Web Ontology Language (OWL)와 Semantic Web Rule Language (SWRL)를 활용하기 위한 Protégé v4.1[5]을 이용하였다. OWL은 W3C에 의해 개발 및 제공되고, DAML + OIL[6]에서 유래 된 표준 온톨로지 표현 언어이다 (McGuinness, D. 외1인, 2004). 본 연구에서는 풍부한 표현력을 가지고 있으며 (Baader 외 3인, 2003), 정의된 개념들의 일관성과 개념들 사이의 포함 관계를 추론 하는데 있어 가장 효율적인 (Kim, G. 외1인 , 2010) OWL DL을 사용하여 온톨로지를 구축 하였다. 또한, BIM 자재정보에 에너지 분석에서 요구되는 데이터를 추가하기 위하여 Protégé v4.1에서 기본적으로 제공되는 HermiT Reasoner를 통한 추론을 활용하였다.

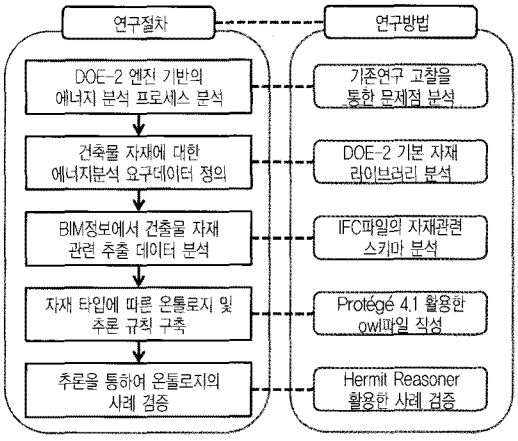

그림 1. 연구 절차 및 방법 개요도

2. 기존 연구 및 현황 분석

2.1 DOE-2 기반 에너지 분석 프로세스

에너지 분석을 위해서는 표준 포맷의 BIM파일에 포함된 정보

4) http://www.w3.org/
5) http://protege.stanford.edu/
6) http://www.w3.org/TR/daml+oil-reference

뿐 아니라, 에너지 분석을 위한 추가적인 데이터를 추가 입력해야 한다. 이는 에너지 분석을 위한 BIM기반의 프로그램에서 제공하는 라이브러리를 활용하여 입력할 수 있다. DOE-2 기본라이브러리 (default library)는 dblib.dat파일에 건축 자재뿐 아니라, 기후정보나 스케줄 · 설비시스템 · 경제성 비교분석을 위한 기초자료에 관한 정보 등 많은 라이브러리들을 포함하고 있다. 이 중 자재속성정보에 대한 내용을 보면 thickness, conductivity, density, specific heat, resistance 의 값들을 ft-lb 단위로 포함하고 있다. 그림 2에서 보면, "Conc HW 140lb 8in[7]"로 표기되는 자재 속성정보는 두께 (TH), 전도율 (COND), 밀도 (DENS), 비열 (S-H)에 대한 데이터 값을 포함하고 있음을 알 수 있다.

```
$LIBARY-ENTRY Conc HW 140IB 8in (CC16)
$Concrete, Heavy Weight, Undried, $140 Lb., 8 Inch
TYPE=PROPERTIES
TH=0. 6667      (ft)
COND=1,0417     (btu / hr-ft2-b)
DENS=140        (Ib / ft3)
S-H=0.2         (btu / Ib-F)
```

그림 2. DOE-2라이브러리의 Material 예시 (ft-lb 단위)

하지만, 이 경우 프로그램에서 해당 자재를 라이브러리와 매칭할 때 자재명으로 인식하기 때문에 라이브러리에 존재 하지 않는 자재명이 사용된 경우 매칭이 되지 않아 분석자가 수작업으로 재입력을 해야 한다. 이는 건축도면 작성 시 설계자 간의 동일 자재에 대한 이름 표기가 다르기 때문이다. 예를 들어, 설계자가"중량 콘크리트"를 도면에 자재 명으로 입력 했으나, 프로그램의 라이브러리에는"Conc HW"로 존재하기 때문에 해당 자재를 인지하지 못하게 된다. 이는 현재 건축 도면 작성 시 사용되는 자재 명에 대한 표준이 없기 때문이며, 이로 인해 에너지 분석 시 자재에 대한 데이터를 분석자가 자의적으로 입력하게 되어 분석가의 숙련도에 따라 에너지 분석 결과의 신뢰도가 달라진다.

2.2 BIM 정보의 자재 데이터 분석

현재 BIM기반 정보체계에서 표준적으로 사용되는 파일 포맷 중 가장 범용적이면서 국제 표준으로 사용되는 포맷이 IFC 파일이다. 하지만, 현재 3D CAD 프로그램을 사용하는 설계자들이 모델링 시, 사용된 자재에 에너지 분석에서 요구되는 속성 정보 (예, thickness, conductivity, density, specific heat, resistance)를 입력하기가 쉽지 않아 잘 입력되지 않고 있다. 현재 통상적으로 IFC 파일에서 추출할 수 있는 자재에 관련한 데이터로는 자재의 사용 객체 (벽, 바닥, 지붕 등), 자재명 (Concrete HW 140lb 8in 등), 사용된 자재의 두께 정도이다.

이 세 가지 데이터들은 IFC 스키마 (Schema)를 통해 다음과 같은 연관성을 확인 할 수 있다. 먼저 사용 객체와 자재의 연관성은 다음과 같다. 그림 3에서 보면, 건축물을 구성하는 요소 (Element)인 IfcRoot는 IfcRelAssociates와 "Related Objects"의 관계를 갖고 있다. 이는 건축물을 구성하는 객체(Object)로써 관계를 의미하며, IfcRelAssociates는 IfcMaterial과 관계가 있어, IFC 스키마에서 자재(Material)와 객체(Object)의 관계를 확인할 수 있다. 또한, IfcMaterial은 자재명으로 Label을 참조하고 있으며, IfcMaterialLayer는 IfcThicknessLength를 속성으로 포함하고 있어, IFC 스키마에서 자재는 자재명과 두께 값을 속성으로 갖고 있다[8].

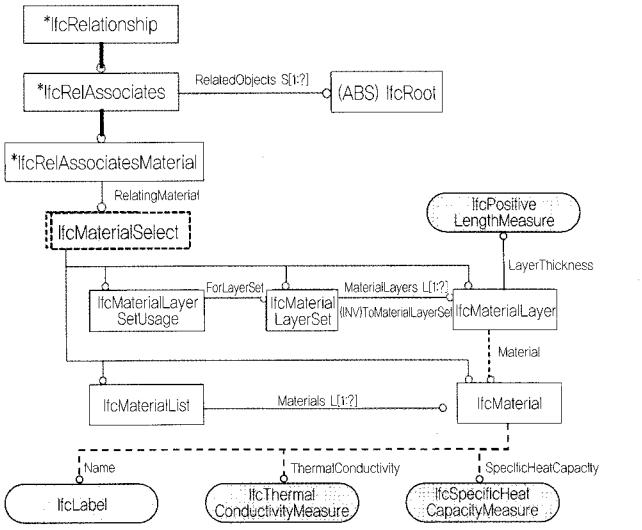

그림 3. IFC의 자재 스키마 관계도

이는 다음 단계에서 구축되는 온톨로지에서 BIM 정보 관련 자재 데이터를 연계하기 위하여 활용된다. 온톨로지의 추론에 따라 나온 지식(knowledge)은 IFC 스키마의 관계도에 따라 원래 데이터와 매칭되어 정확한 위치로 들어갈 수 있다.

2.3 BIM기반 에너지 분석 기존연구 고찰

BIM기반의 에너지 분석에 관련한 연구는 다음 표 1과 같이 친환경 건축의 필요성과 에너지 분석을 활용한 3차원 BIM기반 프

7) Concrete Heavy Weight 140lb 8in로서, 비중이 140 파운드이며 두께가 8인치를 갖는 중량콘크리트를 의미

8) Liebich, T.. (2009). "IFC 2x Edition 3, Model Implementation Guide", BuildingSMART international modeling support group, Version 2.0.

로세스의 필요성과 방법에 대한 연구가 진행되고 있다 (장원준 외3인). 또한, BIM기반의 프로그램 간 IFC 포맷을 통한 정보 교환 과정에서의 문제점을 분석하고 보다 정확한 정보교환을 위한 데이터 교환 방법론이 연구되고 있다 (이주영 외2인, 2009). 그리고 건설 정보관리에서 온톨로지를 활용한 기존 연구는 아직 도입단계이며, IFC 파일의 특정 엔티티를 특정 목적에 따라 온톨로지로 표현하는 방법론을 제시하는 연구가 진행 중이다 (박정대 외1인, 2009). 또한, IFC에서 정보를 추출하여 건축물의 성능을 확인할 수 있는 의미기반의 룰을 구축하는 연구가 진행되었다 (Pauwels 외6인, 2011).

하지만, 데이터 교환의 문제점 측면에서 3D CAD 와 에너지 분석 프로그램간의 정보 교환에 대한 연구는 에너지 분석에 특화된 표준 포맷인 gbXML을 사용하는 연구가 대부분이며 (Kenway 외2인, 2010) 이를 위해서는 특정 프로그램을 활용하여 IFC 파일을 gbXML로 변환시키는 과정이 필요하다. 또한, 에너지 분석 과정에서 BIM 파일을 활용하는 프로세스 및 문제점 등에 초점이 맞추어져 있고, 이를 위한 개선 방법에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

표 1. 기존 연구 고찰

제목	저자	내용
건물 환경 성능 및 에너지 효율 평가를 통한 BIM기반 친환경설계 프로세스 연구	고동환 (2010)	BIM 기반 건물 성능 분석의 장점과 에너지 분석 프로세스의 개선 방안 제시
지속가능 건축을 위한 BIM기반 건축 설계 프로세스에 관한 기초적 연구	장원준 외3인 (2009)	친환경 건축의 필요성과 에너지 성능 분석 도구를 활용한 BIM기반 프로세스를 제시
IFC 포맷을 활용한 BIM Software의 건물 정보 모델 교환 방법론 연구	이주영 외2인 (2009)	BIM기반 소프트웨어 간의 IFC포맷을 통한 정보호환의 문제점 분석 및 방법론 제시
건축물 정보표현 및 처리를 위한 온톨로지 적용에 관한 연구	김성아 (2005)	온톨로지를 활용하여 건축물 정보 표현 방법론 및 응용방법 제시
BIM/IFC의 빌딩 프로덕트 모델에 대한 온톨로지 표현에 관한 연구	박정대 외1인 (2009)	IFC를 기반으로 상용 CAD프로그램에 의해 생성되는 데이터를 온톨로지를 기반으로 활용하는 방법론 제시
IFC BIM-Based Methology for Semi-Automated Building Energy Performance Simulation	Bazjanac (2008)	건축물 에너지 성능 시뮬레이션 프로세스에 IFC파일을 활용하여 설계단계에서 생성된 정보를 활용하는 프로세스 제시
Test Suite for Building Energy Analysis of Conceptual Spatial Layout	Kenway 외2인 (2010)	건축물 에너지 분석 과정에 대하여 BIM기반으로 사용되는 프로그램간의 비교 및 프로세스 분석
A semantic rule checking environment for building performance checking	Pauwels 외6인 (2011)	IFC스키마를 기반으로 건물 정보를 추출하여 건물의 성능을 체크할 수 있는 시멘틱 룰을 구축

본 연구는 건축물 설계 과정에서 임의대로 입력되는 자재 명을 온톨로지를 활용하여 표준화 하고, 이 표준화된 자재 명에 의해 에너지 분석에 요구되는 자재 속성데이터를 연결시킬 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.

3. 자재명 매칭을 위한 온톨로지 구축

3.1 온톨로지 구축 방안

시멘틱 웹 (Semantic web)은 '현재의 웹을 확장한 개념으로, 기계가 이해 할 수 있는 의미 (Semantic)를 지닌 정보의 웹'을 의미한다 (Berners-Lee, 2001). 즉, 기존의 널리 알려진 World Wide Web (WWW)에서 좀 더 확장된 개념으로, 정보에 대하여 기계가 이해 할 수 있는 형태로 의미를 정의하고, 각 정보가 의미로써 관계를 맺게 함으로 인간 대신 기계가 이해하고 처리 할 수 있는 정보 공간을 의미한다. 이러한 시멘틱 웹의 핵심 기술 중 하나는 온톨로지(Ontology)이다. 온톨로지는 특정 도메인에서 서로 공유하고 있는 개념 및 개념들 사이의 관계성을 분명하게, 그리고 기계가 이해 할 수 있도록 표현한 것이다 (Gruber, 1993a and 1993b).

본 연구에서는 건축물 에너지 분석을 위한 자재 정보를 온톨로지를 이용하여 정의하였다. 즉, 현재 건축물 에너지 분석 프로세스에서 사용되는 자재명과 각 자재들의 속성을 온톨로지로 정의하여, 분석자가 임의대로 입력할 수 있는, 또는 설계자가 임의대로 표기한 자재 정보를 입력받아, 이에 해당하는 자재 온톨로지에 정의된 표준 자재 정보를 찾아서 에너지 분석에 사용 할 수 있도록 하였다. 예를 들어, 온톨로지에"Concrete HW 140lb 8in"를 정의하고, 입력 받은 해당 자재 객체가 "Concrete HW 140lb 8in"의 조건과 일치 할 시, 이는 해당 자재로 컴퓨터가 인식할 수 있게 된다. 이를 위해 건축물 에너지 분석 분야에 사용할 개념적 온톨로지를 구축하였으며, 이는 자재 서술 온톨로지 (Material Description Ontology)와 추론 규칙으로 활용되는 도메인 룰 (Domain Rules) 두 가지로 구성 된다.

3.2 자재명 인식을 위한 온톨로지 구축

MDO는 건축물 에너지 분석 프로세스에 사용되는 자재들과 자재들 사이의 관계성을 정의한 온톨로지이다. 건축 도면에 표기되는 각각의 자재는 설계자에 따라 여러 가지 이름으로 표기될 수 있다. 앞에서 예를 들었던 것과 같이 'Concrete'는 'Conc' 또는 다른 이름으로 표기 될 수 있다. 따라서 자재인식에 기준이 되는 이름을 정의하고 각 자재 유형별 타입들을 미리 부여해 두면, 설계자가 임의로 표기한 자재명과 자재들의 타입 정보를 이용하여 MDO에서 자재의 속성들의 조건과 일치 하는 자재를 추론할 수 있다. 여기서 BIM정보에 포함된 자재 관련 정보는 해당 자재가 사용된 객체, 자재명, 두께 정보이며, 이 세 가지 정보를 IFC 데이터로부터 추출하여 MDO를 정의 하는데 사

용 할 수 있다.

OWL에서 개념 (Concept)은 클래스 (Class)로 정의 되며 각각의 개념들과 개념들 사이의 관계성은 프로퍼티 (Property)에 의해 정의 된다. 클래스는 클래스가 가지는 개념에 대한 정의와 일치하는 인스턴스들의 그룹으로 정의 되며 각 인스턴스는 클래스에서 정의한 프로퍼티들을 상속받아 정의 된다. 프로퍼티는 클래스와 클래스간의 관계를 정의하는 ObjectProperty와 클래스 자체의 속성을 Literal Value로 정의 하는 DatatypeProperty로 나눌 수 있다. 클래스들은 계층구조 (Hierarchy)를 가지며 rdfs:subclassOf를 사용 하여 정의된다.

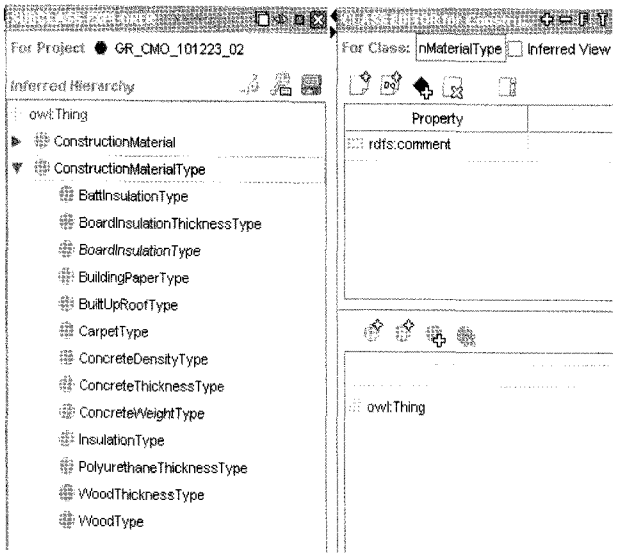

그림 4 ConstructionMaterialType 작성 예시

MDO의 최상위 클래스는 일반적으로 존재의 모든 것을 의미하는 Thing으로 정의 되며, Thing의 하위클래스는 ConstructionMaterialType과 ConstructionMaterial 클래스로 구성 된다. 그림 4는 ConstructionMaterialType으로 온톨로지에서 해당 자재를 인식하기 위한 타입들이 정의된 클래스이다. MDO에서 자재는 타입들로 인하여 인식되는데, DOE-2 자재라이브러리에 있는 자재는 그 표기명에 해당 자재의 규격이 포함되어 있다. 이러한 규격은 타입으로서, ConstructionMaterialType의 클래스로 구성된다. 이로 인해, 자재 정보를 포함하고 있는 RDF데이터가 MDO에 입력되면 ConstructionMaterialType을 통해 해당 자재의 타입이 인식되고, 이 타입들로 인하여 ConstructionMaterial의 클래스가 결정되어 자재가 온톨로지에 인식되게 된다. 여기서 각 자재는 여러 개의 타입을 가질 수 있으며, 여러 개의 타입으로 인하여, 해당 자재는 구체화 된다.

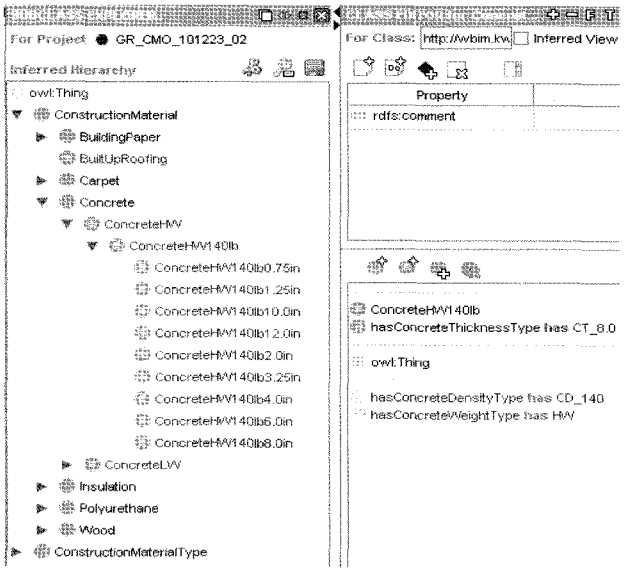

그림 5. ConstructionMaterial 작성 예시

ConstructionMaterial 클래스는 에너지 분석에 사용될 자재에 관한 개념을 정의한 클래스이며 다양한 자재들이 정의된 클래스들로 구성된다. 그림 5에서 보면, ConstructionMaterial에 Concrete클래스를 포함한 여러 클래스들이 하위 클래스로 구성되어 있으며, Concret클래스는 다시 ConcreteWeightType으로 인하여 ConcreteHW와 ConcreteLW 두 개의 클래스로 나뉜다. 최하위클래스인 ConcreteHW140lb8.0in클래스는 여러 상위 클래스에서 갖고 있는 타입을 상속 받으면서, ConcreteThicknessType으로 결정된다. 한편, ConstructionMaterialType이 타입으로써 ConstructionMaterial에 적용되기 위해서는 온톨로지 추론 규칙에 의하여 온톨로지 내에서 각 자재 타입들이 정의되어야 한다.

3.3 온톨로지 추론 규칙 구축

추론 규칙인 도메인 룰 (Domain Rules)은 MDO의 최하위클래스를 정의하기 위한 일종의 규칙이다. 도메인 룰은 Horn clause-like rules을 사용하여 추론에 활용하는 Semantic Web Rule Language (SWRL)로 정의된다(Horrocks 외5인, 2004)[9]. ConstructionMaterial의 ConstructionMaterialType은 도메인 룰을 이용하여 컴퓨터가 자재를 인식할 수 있도록 객관적으로 표현 된다. 이를 예시로 나타내면 아래와 같다.

표준 자재명 (?a) ≡ subClassOf (?a, ?b)
∧ 자재별 타입1 (?a, ?c)
∧ 자재별 타입2 (?a, ?d)

9) http://www.w3.org/Submission/SWRL/

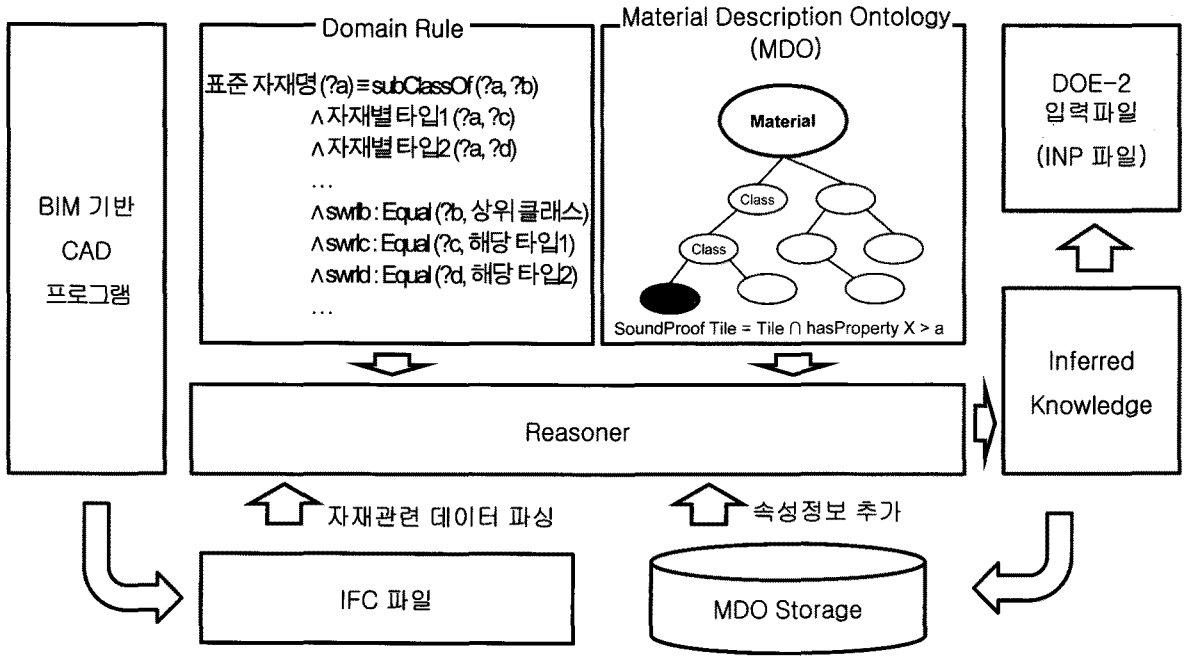

그림 6. 온톨로지 기반의 BIM 자재 정보 활용 절차

...
∧ swrlb : Equal (?b, 상위 클래스)
∧ swrlc : Equal (?c, 해당 타입1)
∧ swrld : Equal (?d, 해당 타입2)
...

여기서, 첫 줄에 있는 subClassOf는 해당 자재의 상위 클래스를 의미한다. 즉, 이 자재가 Concrete인지, Wood인지, Polyurethane인지 결정하고, 하위클래스로서 해당 속성을 상속받아 소유하고 있음을 의미한다. 상위 클래스에서 상속받는 속성으로는 에너지 분석에서 요구되는 thickness, conductivity, density, specific heat, resistance 값 등이 있다. 이에 추론을 통하여 생성되는 ConstructionMaterial의 최하위 클래스에는 요구되는 속성들의 실질적인 값들이 포함되어 있어, 이 과정을 통하여 자재 속성 데이터가 추가된다.

3.4 온톨로지 기반 BIM 자재 정보 활용 절차

지금까지 설명된 온톨로지를 기반으로 시스템을 만들게 되면 자재정보 활용 절차는 다음 그림 6과 같다. 먼저, BIM기반 CAD 프로그램에서 작성된 BIM 정보는 IFC 표준 포맷으로 내보내기 된다. 그 후, IFC 파일에서 해당 설계에 사용된 건축물 자재 관련 데이터 (사용된 객체, 두께값, 자재명)등이 추출되고 자재명은 사용된 어휘에 따라 타입으로 파싱된다. 이때, 설계자가 다양하게 표현할 수 있는 건축물 자재 표기명에 대한 표준화 작업을 거치게 된다. 자재 표기명에 대한 표준화 작업은 자재 이름에 있어, 다양한 설계자간의 용어사용에 대한 유사어 및 영문/한글 표기 등을 표준화하기 위한 데이터들의 변환 작업을 의미한다. 그 후, 자재 데이터는 Reansoner의 입력 데이터로 입력된다. 입력된 데이터와 미리 구축된 MDO Storage의 데이터를 활용하여 온톨로지 추론 작업을 실행한다. MDO Storage는 Resource Description Framework (RDF) 형식으로써, Ontology에서 활용되기 위한 주어(Subject), 속성(Property), 목적어(Object)구조로 구성된 데이터 모델 구조로 이루어진 데이터 저장 수단을 의미한다 (Brickley 외1인, 2004). MDO Storage에는 에너지 분석을 위한 자재의 속성 정보 (Thickness, Conductivity, Density, Specific Heat, Resistance)가 RDF 형식으로 저장되어 있다. Reasoner는 추론 엔진을 통하여 IFC에서 파싱된 자재 관련 데이터와 MDO, Domain Rule, MDO storage를 통하여 사용된 자재를 추론하고, 해당 자재의 속성 정보를 추가하게 된다. Reasoner에서 추론된 추론 지식 (Inferred Knowledge)는 에너지 분석에서 요구하는 속성정보를 갖고 있는 상태가 된다. 이후, 사용자가 데이터를 최종적으로 검토한 후 INP파일에 입력된다. 그리고 작성된 INP파일로 DOE-2엔진을 이용한 에너지 분석에 입력 데이터로 활용된다. 또한, 추론된 지식은 다시 MDO Storage에 저장되어 향후 다른 추론작업이 진행될 때 활용 데이터로써 활용된다.

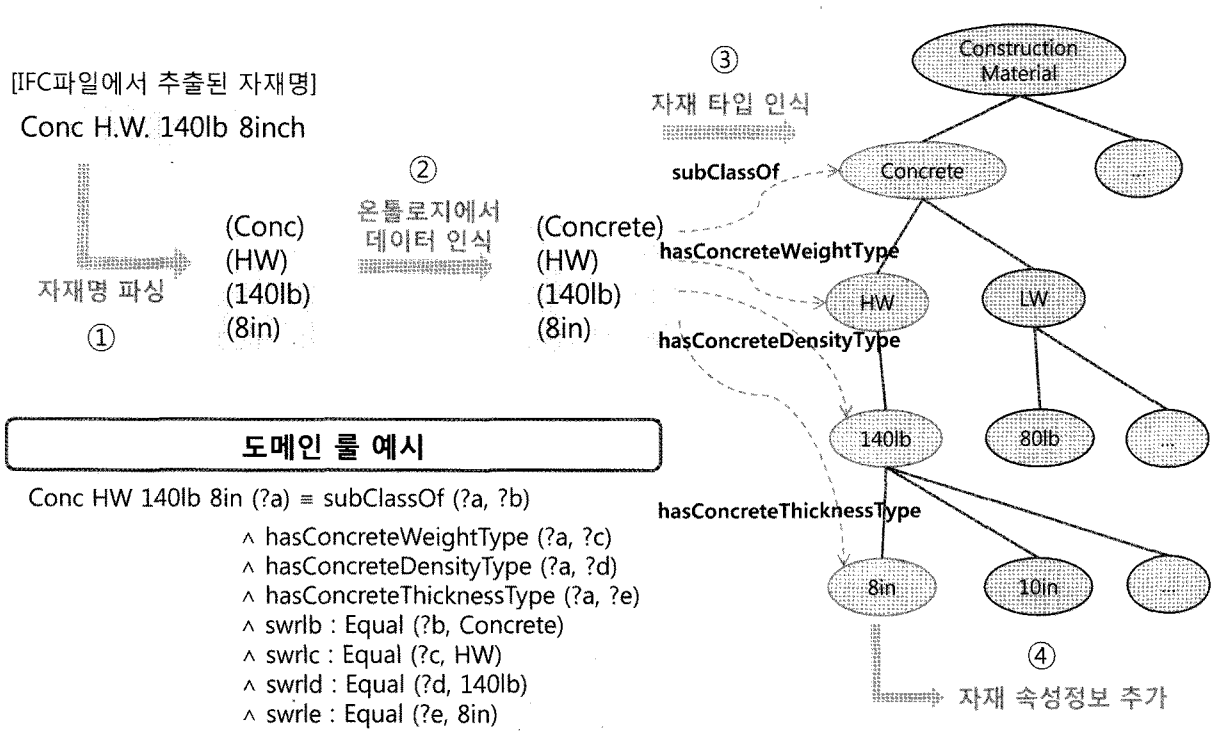

그림 7. 온톨로지 자재명 추론 과정 예시

4. 추론을 통한 온톨로지 검증

본 연구에서는 건축물 자재 정보에 온톨로지를 적용하는 연구로서, 건축물 자재 중 콘크리트를 사용하여 자재 인식의 예시를 작성 하였다. IFC에서 파싱된 자재 관련 데이터들은 온톨로지의 ConstructionMaterial Type의 하위 클래스 중 하나로 맵핑된다. 예를 들면 'Conc HW 140lb 8in는 중량 콘크리트 이면서 밀도가 140파운드이고 두께가 8인치인 물성치를 갖는 자재이다.' 라고 정의할 수 있다. 하지만 이는 오직 사람만이 이해할 수 있는 형식일 뿐, 기계가 이를 통해 해당 자재를 인식할 수는 없다. 이에 온톨로지에서는 자재명이 각 단어별로 파싱되어 (Conc), (HW), (140lb), (8in)의 4개의 데이터로 ConstructionMaterialType에 인식된다. (Conc)는 Concrete로 인식되어 해당 자재는 콘크리트의 하위 클래스임을 인식할 수 있다. 또한, (HW)는 Concrete WeightType으로, (140lb)는 Concrete DensityType으로, (8in)은 Concrete ThicknessType으로 인식된다. 이를 SWRL로 정의하면 다음과 같다.

Conc HW 140lb 8in (?a) ≡ subClassOf (?a, ?b)
∧ hasConcreteWeightType (?a, ?c)
∧ hasConcreteDensityType (?a, ?d)
∧ hasConcreteThicknessType (?a, ?e)
∧ swerlb : Equal (?b, ConcreteHW140lb)
∧ swrlc : Equal (?c, HW)
∧ swrld : Equal (?d, 140lb)
∧ swrle : Equal (?e, 8in)

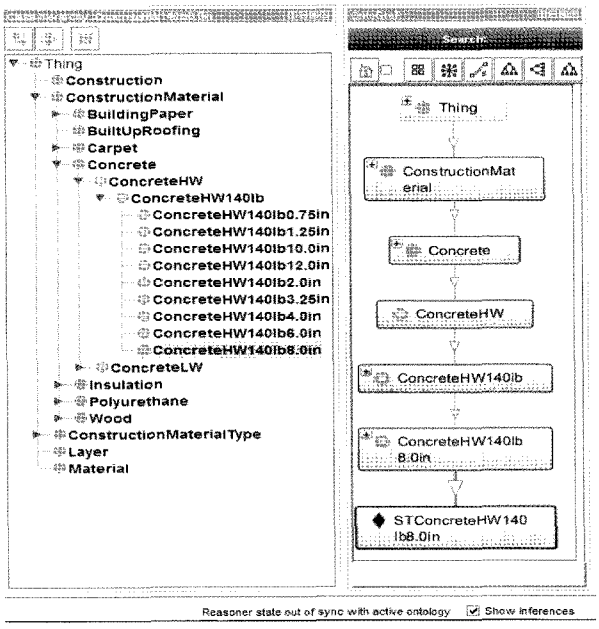

그림 8. HermiT Reasoner로 추론된 Protégé v4.1화면

여기서, 첫 줄에 있는 subClassOf는 Concrete의 하위클래스로서 Concrete의 속성을 상속받아 소유하고 있음을 의미한다. 상위 클래스에서 상속받는 속성으로는 Concrete 클래스에서 subClassOf를, HW클래스에서 hasConcrete WeightType을, 140lb클래스에서 hasConcreteDensityType을 상속받는다. 따라서, 최하위 클래스인 8in클래스는 앞에서 상속받은 3가지 타입에 고유 속성인 hasConcreteThickness Type을 objectproperty로 갖게 된다. 또한, 8in클래스는 datatypeproperty로 자재 속성정보 (Conductivity와 Specific Heat)를 포함하고 있다. 이러한 추론과정을 통해 에너지 분석에 요구되는 속성정보들이 IFC에서 추출된 기존 자재명인 'Conc H.W. 140lb 8inch' 에 추가 된다 (그림 7참조).

온톨로지 추론은 Protégé v4.1에 포함되어 있는 HermiT Reasoner 1.3.3버전을 활용하였다. 그림 8과 같이, RDF 형식의 자재정보 "Conc HW 140lb 8in"는 ConstructionMaterial클래스에서 Concrete-ConcreteHW-ConcreteHW140lb-ConcreteHW140lb8.0in 클래스의 인스턴스로 인식 된다. 이는, 자재정보가 RDF형식으로 온톨로지의 클래스를 결정 지을 수 있는 데이터가 포함되어 있다면, 추론과정을 통하여 해당 자재가 온톨로지 특정 클래스의 인스턴스로 인식됨을 의미한다. 또한, 각 자재별 고유한 특성치를 인스턴스에 포함시켜, IFC에 포함되는 건축 자재명에 대하여 기계가 이를 인식하고 해당 자재에 맞는 에너지 분석에서 요구되는 자재 데이터를 추가 시킬 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 설계단계에서 생성된 BIM 정보에서 건축물 자재에 대한 데이터를 건축물 에너지 분석 엔진 의 입력데이터로 직접 활용하기 위하여, 자재명 온톨로지 및 추론 규칙을 구축 · 활용하는 방안을 제안하였다. 현재 에너지 분석 프로세스에서 요구정보는 분석자가 수동으로 입력하고 있다. 또한, BIM정보에 포함되어 있는 자재명은 설계자에 의해 다양하게 표기될 수 있어 에너지 분석 시 입력정보의 불확실성을 초래하게 된다.

이와 같은 프로세스의 비효율성 및 분석 결과의 신뢰성 저하를 해결하기 위하여, BIM정보에 포함되어 있는 자재명을 구성하고 있는 타입으로 해당 자재를 정의하는 온톨로지를 구축하였다. 이를 통하여 다양하게 표기될 수 있는 자재명을 타입별로 인식하여 자동화 하였고, 콘크리트 자재 사례로 추론을 통한 온톨로지 검증을 수행하였다. 이를 통해 에너지 분석 프로세스에서 자재 인식과정을 자동화 하여, 에너지 분석 업무의 효율성을 향상하고, 에너지 분석 입력 정보의 수정 및 누락의 가능성을 줄여 분석 결과의 신뢰성을 향상 시킬 수 있도록 하였다.

본 연구가 기여하는 바는 다음과 같다. 첫째, 다양하게 표기되는 자재명을 온톨로지를 활용하여 컴퓨터에서 정확하게 인식 할 수 있도록 하였다. 둘째, 분석자에 의하여 주관성이 개입될 수 있는 데이터 재입력 과정을 생략하여, 에너지 분석 과정을 일반화 하였다. 셋째, 자재 인식 과정을 자동화함으로써, 에너지 분석 프로세스의 효율성을 향상시킬 수 있다.

본 연구의 한계점과 향후 연구과제는 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 DOE-2 엔진에 초점을 맞추어 진행하였으나, 향후 Energy PLUS 엔진등 다른 분석 엔진을 사용하는 프로세스에 대한 연구가 진행될 필요가 있다. 둘째, 국내에서 주로 사용되는 자재명을 분석하여 온톨로지를 구축하는 연구가 진행되어야 한다. 셋째, 다양하고 폭넓은 자재에 대한 사례검증을 통하여, 실무에 활용 될 수 있는 시스템으로 개발 되어야 한다.

감사의글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No. 00043726)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

고동환, (2010), "건물 환경 성능 및 에너지 효율 평가를 통한 BIM 기반 친환경 설계 프로세스 연구." 대한건축학회논문집(계획계), Vol. 26, No. 9, pp. 237~247.

김성아, (2005), "건축물 정보표현 및 처리를 위한 온톨로지 적용에 관한 연구.", 대한건축학회논문집(계획계), Vol 21, No. 5, pp. 127~134.

박정대, 김진욱, (2009), "BIM/IFC의 빌딩 프로덕트 모델에 대한 온톨로지 표현에 관한 연구." 대한건축학회논문집(구조계), Vol.25, No. 5, pp. 87~94.

이주영, 서미란, 손보식, (2009), "IFC 포멧을 활용한 BIM Software의 건물 정보 모델 교환 방법론 연구." 대한건축학회(계획계), Vol. 25, No. 3, pp. 29~38.

장원준, 김미경, 김승욱, 전한종, (2009), "지속가능 건축을 위한 BIM기반 건축 설계프로세스에 관한 기초적 연구." 한국문화공간건축학회논문집, Vol. 26, pp. 13~20.

Baader, F., McGuinness, D. L., Nardi, D. and Patel-Schneider, P. F., (2003). "The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Application."

Cambridge University Press.

Bazjanac, V., (2008), "IFC BIM-Based Methodology for Semi-Automated Building Energy Performance Simulation." Lawrence Berkeley National Laboratory, 〈http://escholarship.org/uc/item/0m8238pj〉 (2011.06.21.)

Berners-Lee. T., Hendler, T. and Lassila, O., (2001). "The Semantic Web." Scientific American Magazine, May, 2001

Brickley, D. and Guha, D., (2004). "RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema." W3C Recommendation, 〈http://www.w3.org/TR/rdf-schema/〉 (2011.06.21.)

Chen, K., Lipman, R. and Palmer, M., (2010). "Test Suite for Building Energy Analysis of Conceptual Spatial Layout." National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7687

Gruber, T., (1993a). "A Translation Appraoch to Portable Ontology Specification." Knowledge Acquisition, Vol. 5, pp. 199~200.

Gruber, T., (1993b). "Toward Principles for the Design of Ontologies." International Journal Human-Computer Studies, Vol. 43, pp. 907~928.

Ian Horrocks, Peter F. Patel-Schneider, Harold Boley, Said Tabet. Benjamin Grosof and Mike Dean, (2004). "SWRL: a Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML." W3C Member Submission, 〈http://www.w3.org/Submission/SWRL/〉 (2011.06.21.)

Kim, G. and Suh Y., (2010). "Semantic Business Process Space for Intelligent Management of Sales Order Business Processes." Information Systems Frontiers DOI: 10.1007/s10796-010-9229-1.

Liebich. T., (2009). "IFC 2x Edition 3, Model Implementation Guide." BuildingSMART international modeling support group, Version 2.0.

McGuinness, D. and Harmelen, F. (2004). "OWL Web Ontology Language Overview." W3C Recommendation. 〈http://www.w3.org/Submission/SWRL/〉 (2011.06.21.)

Pauwels, P., Deursen, D., Verstraeten, R., Roo, J., Meyer, R., Walle, R. and Campenhout, J., (2011). "A Semantic Rule Checking Environment for Building Performance Checking." *Journal of Automation in Construction*, Vol. 20, pp. 506~518

Maile, T., Fischer, M. and Bazjanac, V.. (2007). "Building Energy Performance Simulation Tools-a Life-cycle and Interoperable Perspective." Stanford University, Center for Integrated Facility Engineering, CIFE Working Paper #WP107.

논문제출일: 2011.05.16
논문심사일: 2011.05.20
심사완료일: 2011.07.28

Abstract

BIM Data exchange using standard format can provide a user friendly and practical way of integrating the BIM tools in the life cycle of a building on the currently construction industry which is participated various stakeholder. It used IFC format to exchange the BIM data from Design software to energy analysis software. However, since we can not use the material name data in the library of an energy analysis directly, it is necessary to input the material property data for building energy analysis. In this paper, to matching the material name of DOE-2 default library, the extracted material names from BIM file are inferred by the ontology. With this, we can make the reliable input data of the engine by development a standard data and also increase the efficient of building energy analysis process. The methodology can enable to provide a direction of BIM-based information management system as a conceptual study of using ontology in the construction industry.

Keywords : *BIM Data Exchange, Automation of Energy Analysis process, Architectural Material, Ontology*