

## 건설 하자정보 공유를 위한 링크드 데이터 기술의 활용 방안



이도엽 중앙대학교 건축학부 전임연구원  
박찬식 중앙대학교 건축학부 교수

### I. 머리말

건설 프로젝트에서 하자는 필연적이라고 인식될 정도로 끊임 없이 발생하고 있으며, 불필요한 자원을 소모시켜 프로젝트 생산성에 부정적인 영향을 미치는 주요 요인 중의 하나로 인식되고 있다. 과거의 반복적인 건설 프로젝트 환경과는 달리, 점점 새로운 기술과 재료들이 도입되고 있는 상황에서 하자 발생 가능성을 예측하기란 매우 어렵다. 더불어, 개별기업에서 수행할 수 있는 프로젝트의 수 역시 한정적이기 때문에 개인이 다양한 원인에 의해 발생하는 하자를 모두 경험 할 수 없다는 한계를 가지고 있다.

이에 학계와 실무에서는 하자정보 공유 및 활용의 필요성에 대해 기본적으로 동의하고 있으며, 하자저감을 위해 하자정보를 체계화하고 정보관리 시스템을 도입하는 등 과거부터 현재까지 지속적인 노력을 기울여 오고 있다. 하지만, 수많은 선행 연구에서 지적된 바와 같이 개별 기업이 과거 프로젝트를 수행하면서 경험하였던 하자조사 후속 프로젝트에 반영되기 힘들다는 점을 고려해볼 때, 현재의 하자정보 관리 및 활용체계에 한계가 있음을 의미한다.

하자정보 활용현황을 정보관리 프로세스 관점에서 살펴보면, 정보의 생성, 저장, 검색, 공유 및 활용이라보는 개별 프로세스의 단계가 서로 단절되어 있거나 부분적으로만 연계되어 있는 문제를 가지고 있다. 예를 들어, 하자사례가 체계적으로 수집되어 생성되어 있다 할지라도, 컴퓨터가 이해할 수 없는 문서 형태로 저장이 되어 있다면, 관련 자료를 검색하는 데 많은 시간을 소모해야 할 뿐만 아니라 관련 내용을 사람이 직접 보고 분석해야 한다. 또한 정보가 공유되지 않는다면 한정적인 정보 내에서 원하는 내용을 찾을 수밖에 없다. 반대로 정보가 컴퓨터

가독형으로 저장되어 있고 검색 및 공유 환경이 잘 구축되어 있다 할지라도, 저장된 사례의 내용이 부실하다면 정보로서의 활용성이 낮아진다. 즉, 세부 단계에서 나타나는 한계들을 개별적으로 해결한다고 해서 전체적인 문제점이 해결되지 않는다. 따라서 실질적인 하자정보 활용체계 개선을 위해서는 개별 단계에서 나타나는 한계점들을 시스템적으로 연계시킬 수 있는 방안이 고려되어야 한다.

이에 본 고는 프로젝트 수행 시 발생하는 하자를 체계적으로 저장하고, 효율적으로 검색 및 공유하여 하자정보 활용의 선순환 체계를 구축하기 위한 수단으로 최신 정보통신기술인 링크드 데이터와 BIM을 활용한 시스템 구축 방안을 소개하고자 한다.

### II. 링크드 데이터 개요 및 연구동향

월드 와이드 웹(World Wide Web)이 제안된 이후, 웹 브라우저, 하이퍼텍스트, HTML 등의 요소기술들을 기반으로 웹 상의 정보가 폭발적으로 증가하였다. 하지만, 현재 웹에서 제공되는 정보는 사람이 이해하기 간편한 레이아웃 기술이 중심이기 때문에 정보의 의미를 표현하기에는 매우 제한적이다. 이에 현재의 인터넷과 같은 분산형 환경의 자원(웹 문서, 각종 파일 등)에 대한 정보간의 관계 및 의미(Semantics)를 컴퓨터가 이해하고 처리할 수 있도록 하는 프레임워크인 시맨틱 웹(Semantic Web)이 2001년 차세대 웹 기술의 비전으로 제시되었다. 이러한 시맨틱 웹을 실현시키기 위해 분산된 정보를 웹 페이지 레벨이 아닌 데이터 레벨에서 연계할 수 있는 표준화 기술인 링크드 데이터 발행 원칙이 제안되었다(Bizer, 2009). 링크드 데이터 및 시맨틱 웹과 관련된 주요 기술을 살펴보면 다음과 같다.

링크드 데이터 기술에서는 데이터의 의미를 컴퓨터가 이해할 수 있도록 표현하기 위한 방법으로 메타데이터의 개념을 도입하였으며, 온톨로지(Ontology)를 지식표현을 위한 핵심 요소 기술로 활용하고 있다. 온톨로지는 특정 분야의 지식체계를 클래스, 관계, 속성, 인스턴스, 제약조건, 공리의 여섯 가지 구성 요소로 명시적으로 정의할 뿐만 아니라, 컴퓨터가 이해하고 처리할 수 있는 형태로 표현하여 나타낸 용어들의 논리적 집합이라고 할 수 있다. 또한, RDF(Resource Description Framework)는 개별 웹 정보를 트리플(주어-목적어-보어) 형식의 메타데이터로 표현한 것으로, 온톨로지의 지식체계에 따라 웹 상의 자원을 서로 연결하여 상호운용을 가능하게 한다. RDF 질의 언어인 SPARQL은 온톨로지에 정의된 상하위, 동의어 관계, 상세 조건 검색 등이 가능하며, 기존 웹 브라우저의 검색엔진을 활용하지 않아도 될 뿐만 아니라 웹에 분산된 자원을 하나의 거대한 데이터베이스처럼 운용할 수 있게 해주는 핵심 도구이다. 마지막으로 SWRL(Semantic Web Rule Language)은 온톨로지에서 정의한 클래스 및 속성, 제약조건 등을 활용하여 IF-THEN 형식의 규칙을 생성할 수 있도록 제안된 언어이다.

이러한 링크드 데이터와 세부 요소기술들은 지식표현, 정보의 상호운용성, 검색, 추론 등이 가능하다는 장점을 가지고 있으며, 건설분야에서도 이러한 특성을 활용하고자 하는 연구가 다양하게 수행되고 있다. 먼저, 건설분야 지식체계 구축을 위해 온톨로지를 도입한 연구로는 산업전반을 다루는 e-COGNOS 프로젝트(El-Diraby, 2005)부터 세부영역인 리스크 분야(Fidan, 2011), 클레임 분야(Niu, 2012)가 있다. 또한, 건설산업에서 활용되는 BIM 프로그램의 상호호환성 한계 및 제한적인 정보표현 기능으로 인한 활용상의 문제점을 개선하기 위해, BIM의 IFC 데이터 모델을 온톨로지 언어로 표현하고자 하는 연구들도 다양하게 수행되었다. 최근에는 이에 대한 표준화의 필요성이 제기되어 BIM 표준화를 담당하는 buildingSMART에서는 링크드 데이터 워킹 그룹(Linked Data Working Group)<sup>1)</sup>을 만들어 ifcOWL의 표준화<sup>2)</sup>를 진행하고 있다. 또한 건설산업의 내부적인 노력은 웹 표준화를 담당하는 단체인 W3C에서도 인정을 받아, W3C 내부에 링크드 데이터 기술을 건설영역에 적용하기 위한 커뮤니티 그룹<sup>3)</sup>이 2014년도 조직되어 다양한 활동을 수행 중에 있다. 정보 검색 분야에서는 기존의 단순한 검

색어 기반의 키워드 매칭이 아닌, 온톨로지 기반의 SPARQL을 활용하여 보다 지능적인 수준의 검색 기능인 연관관계, 상하위 관계 등을 활용한 연구들이 수행되었다. 세부적으로는 건설영역의 R&D 성과물 공유를 위한 연구(Forcada, 2010)와 웹 상의 수많은 친환경 제품 관련 정보를 링크드 데이터 방식으로 활용한 연구(König, 2013) 등이 있다. 한편, 프리캐스트 콘크리트 제품 상세 정보를 링크드 데이터로 발행하여, BIM에 객체에 자동으로 업데이트할 수 있는 기술을 제안한 연구(Costa, 2015)도 수행되었다. 마지막으로 건설영역에서 온톨로지 추론은 주로 문서화된 규정을 SWRL로 규칙화하여 사람대신 컴퓨터가 이를 자동으로 판단하여 의사결정을 지원하기 위한 목적으로 수행되고 있다. 예를 들어, 현장 개구부 보호조치와 관련된 안전관리 규정을 SWRL로 표현한 연구(Lu, 2015)나 지하연속벽 시공 중 수행해야 할 검측 업무를 SWRL로 정의한 연구(Zhong, 2012)가 있다. 한편, SWRL은 컴퓨터가 해석할 수 있는 언어이므로 건설분야의 BIM 객체기반 디지털 정보와 연계하여 추론의 효율성을 향상시킬 수 있다. 이에 Zhang(2015)은 조적공사 시, 시공된 벽돌의 높이가 4피트 이상이면 접근제한구역으로 설정해야 한다는 OSHA 규정을 SWRL 언어로 변환하여 이를 BIM 환경에서 자동으로 해석할 수 있는 시스템을 구현하였다.

### III. 링크드 데이터 기반 하자정보 공유 시스템 프레임워크

현 하자정보 활용체계의 한계를 개선하기 위해서는 하자정보의 생성부터 저장, 검색, 공유 및 활용이라는 일련의 과정이 시스템적으로 연계될 필요가 있다. 이를 위해 본 고에서 도입한 기술은 다음과 같다. 정보통신 분야에서는 지식을 체계화하여 컴퓨터가 이해할 수 있도록 하는 정보표현 기술인 온톨로지와 이를 기반으로 이중의 시스템이나 웹 상에 분산된 정보를 단일한 플랫폼에서 활용할 수 있는 링크드 데이터 기술을 도입하였다. 또한 건설 분야에서는 기존 문서중심의 2D 환경을 3D 객체기반 디지털 환경으로 전환하여, 정보의 통합 및 호환성 향상을 목적으로 개발된 플랫폼인 BIM 기술을 복합적으로 활용하였다. 본 고에서 제안하는 시스템 프레임워크는 정보 생성, 정보 저장, 정보 검색, 정보 공유 및 활용 모듈로 구성되어 있다. 개

1) Linked Data Working Group (<http://www.buildingsmart-tech.org/future/linked-data>)

2) 현재 ifcOWL 온톨로지는 IFC2\*3\_Fianl, IFC2\*3\_TCI, IFC4\_ADD1, IFC4 버전이 개발되어 있다.

3) Linked Building Data Community Group (<https://www.w3.org/community/lbd/>)

발된 시스템 프레임워크의 상세 내용은 Lee(2016)의 연구에서 확인할 수 있으며, 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

**(1) 정보 생성 모듈: 하자정보 구성체계 및 컴퓨터 가독형 하자 온톨로지 개발**

정보 생성 모듈은 나머지 모듈의 기능을 구현하기 위한 근간으로 하자정보가 질적 측면에서 어떠한 체계와 구성으로 수집되어야 하는지에 정의하고, 이를 컴퓨터 가독형 정보표현 언어인 온톨로지로 구축하는 과정으로 이루어진다. 먼저, 하자정보 구성체계는 최종 사용자의 검색과 활용 목적을 만족시킬 수 있는 내용으로 구성하기 위해, 정보체계화 연구, 하자관리 시스템, 하자사례집의 내용을 포괄적으로 분석하여 최종 사용자의 검색, 통계분석 등의 활용목적에 부합하도록 구성하였다. 하자정보 온톨로지를 개발하기 위해 구성된 하자정보의 내용을 분석하여 대분류 항목과 세부분류 항목으로 분류하고 각 항목간의 관계를 파악하였다. 또한 각 항목별로 입력되어야 할 정보의 속성을 정의한 후 하자 온톨로지 스키마를 정의하였다. 하자 온톨로지는 Protégé 프로그램을 활용하여 개발하였고, 하자 온톨로지는 6개의 Class와 7개의 Data Property로 구성하였다. 구성 내용을 살펴보면, 하자가 발생한 작업상황 정보를 의미하는 공중, 공간, 부위, 재료 Class는 정보호환성을 고려하여

OmniClass 분류체계를 따랐으며, 하자원인, 하자유형 Class는 선행연구의 분류체계를 적용하였다. DataProperty는 발생일시, 제목, 하자설명, 하자비용 및 시간, 시방서, 웹 주소 등으로 구성하였고, 하자 사례와 관련된 해당 속성 값이 입력된다.

**(2) 정보 저장 모듈: BIM 작업상황 정보 추출 및 RDF 자동 변환 툴 개발**

정보 저장 모듈은 최종 저장되는 개별 하자사례에 포함된 다양한 정보의 의미를 컴퓨터가 이해할 수 있도록 표현하기 위해, 앞서 구축된 하자 온톨로지 체계에 따라 컴퓨터 가독형 포맷인 RDF로 변환되는 과정으로 이루어진다. 이를 위해 먼저 하자정보 구성체계를 스프레드시트 형식으로 재구성하여 개별 테이블의 정보와 하자 온톨로지 항목을 일대일로 연계시키고, 스프레드시트에 입력된 정보의 항목들이 온톨로지 체계에 따라 개별 하자사례의 의미를 컴퓨터 가독형인 RDF 포맷으로 자동 변환시킬 수 있는 프로그램을 dotNetRDF 라이브러리를 활용하여 개발하였다. 개발된 RDF 변환 프로그램은 다음과 같은 두 가지 방법과 목적으로 활용할 수 있다. 첫 번째는 BIM 환경에서 하자정보를 RDF 데이터 포맷으로 자동 변환하는 방식이다. 이는 BIM 모델에서 하자가 발생한 객체를 선택하여, 그 객체에 입력된 공중, 공간, 부위, 재료 등의 OmniClass 정보가 포함된 작업

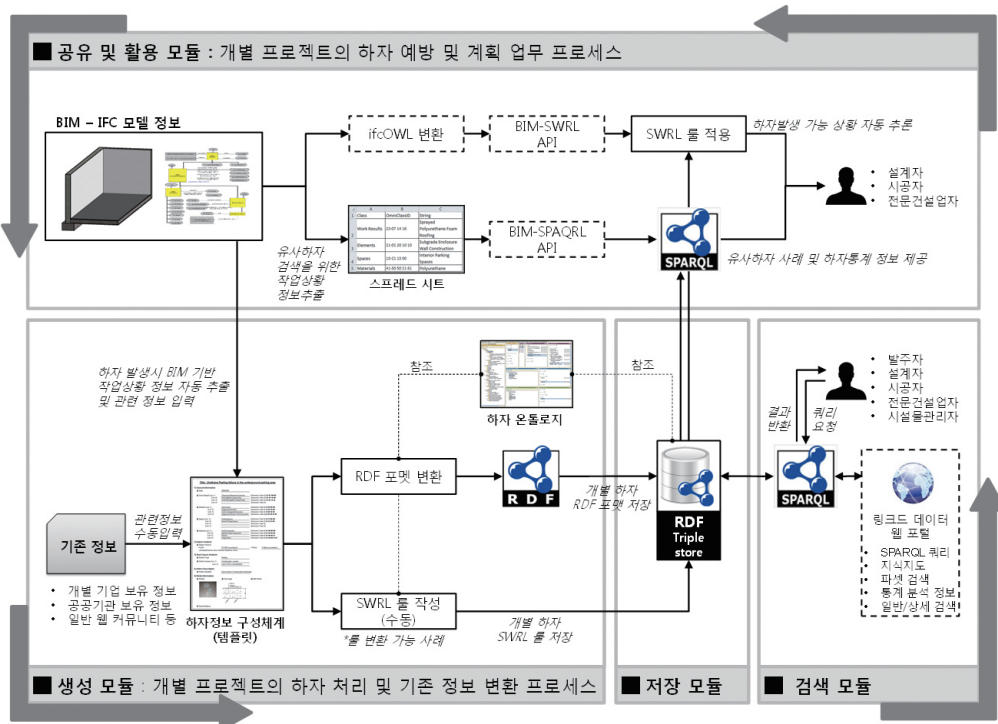


그림 1. 하자정보 공유를 위한 링크드 데이터 시스템 프레임워크



상황 정보를 스프레드시트 형태로 자동 추출하고, 이를 RDF 변환 프로그램을 통해 개별 하자사례에 대한 RDF 포맷을 생성하는 방법으로 활용할 수 있다. 두 번째는 문서형태로 발행된 기존 하자 자료를 구조화된 정보형태인 RDF 포맷으로 변환하는 방식이다. 이는 스프레드시트로 구성된 하자정보 구성체계에 사람이 직접 해당 공종, 공간과 같은 작업상황 정보와 하자비용, 시간 등의 분석정보, 기타 도면이나 사례를 설명하는 서술 정보 등을 입력하여 RDF 변환 프로그램을 통해 RDF 포맷으로 변환하는 방식으로 활용할 수 있다.

### (3) 정보의 검색: SPARQL 쿼리를 활용한 상세 검색, 통계 분석 방법

정보 검색 모듈은 SPARQL을 활용하여 RDF로 발행된 하자 사례를 사용자가 수행하는 업무의 목적에 맞게 검색 및 분석할 수 있는 기능을 제공한다. 이를 위해 구축된 온톨로지 체계에 따라 개별 하자사례들을 Protégé 프로그램에 입력하고, Protégé 프로그램 내부의 SPARQL 쿼리 기능을 활용하였다. 검색과 통계에 관련된 SPARQL 기능을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, subClassOf 라는 질의어를 통해 하자 온톨로지에 정의된 상위 관계 추론 및 상세 조건 검색이 가능하며, FILTER 조건문을 활용하여 특정 시간, 하자발생 비용 등에 범위를 두어 원하는 제약을 설정할 수 있다. 또한, COUNT 조건문을 활용하여 발생된 하자사례의 빈도 역시 계산할 수 있다. 이러한 SPARQL을 활용하면, 기존의 키워드와 카테고리 검색의 기능을 동시에 활용할 수 있다. 또한 다양한 통계 분석도 동시에 가능하여 정보 활용에 대한 유연성과 효율성을 제공할 수 있다. 그리고 BIM 객체로부터 상황정보를 추출하여 이를 검색어로 설정할 수 있기 때문에 부정확한 용어를 사용하여 발생하는 문제도 해결할 수 있다.

### (4) 정보의 공유 및 활용: 링크드 데이터 환경 구축 및 SWRL 추론

마지막으로 공유 및 활용 모듈에서는 링크드 데이터 방식으로 하자정보를 웹 상에서 공유 및 검색할 수 있는 환경을 구현하였다. 또한, 하자정보에 내포되어 있는 하자발생 가능 조건을 SWRL로 규칙화하고, 이를 BIM 객체정보로부터 추출된 관계를 기반으로 해석하여 하자발생 가능 상황을 시스템을 통해 자동으로 추론 가능함을 확인하였다. 링크드 데이터 시스템 구현은 Sesame 프로그램을 활용하여 RDF 트리플 저장소를 구축하고, 단일 플랫폼인 SPARQL endpoint를 통해 웹 상에 분산되

어 저장된 각종 정보들을 검색하고 접근할 수 있음을 확인하였다. 한편, 앞서 살펴본 SPARQL이 사용자에게 관련성 높은 검색 결과를 제공함으로써 의사결정을 지원해주는 수준이라면, 온톨로지 추론 기술인 SWRL은 시스템이 자동으로 특정 상황을 추론하여 사람 대신 의사결정을 수행할 수 있는 한 단계 더 높은 수준의 기능을 제공해 줄 수 있다. 경량벽체를 철골보에 접합하기 전 철골보에 내화뿔질이 선시공되어, 경량벽체 고정을 위해 내화뿔칠된 부분을 제거해야 했던 실제 하자사례의 상황 조건을 SWRL 룰로 다음과 같이 정의할 수 있다.

```
Beam(?x) ^ Wall(?y) ^ Cover(?z) ^ ConnectedTo(?y, ?x) ^
    HasPropertiesM(?y, Light_Weight_Steel) ^
    HasCoverings(?x, ?z) ^ HasPropertiesI(?z, Mineral-Fiber_
    Cementitious_Fireproofing) - HasDefect(?z, Loss)
```

실제 SWRL 룰을 구현하고 이를 BIM 모델을 통해 추론하기 위해서는 BIM 정보가 ifcOWL 형태로 변환되어야 한다. 하지만, 앞서 언급한 바와 같이 ifcOWL은 최근 연구되고 있는 분야로 IFC의 모든 구조와 관계가 ifcOWL로 변환되지 않는다. 따라서 SWRL 룰의 적용 가능성을 검토하기 위해, IFC 구조를 참조하여 위 사례에 대한 ifcOWL 구조를 Protégé 프로그램에 수동으로 생성하였고, SWRL이 의도에 맞게 추론될 수 있음을 확인하였다.

## VI. 맺음말

본 고에서는 과거 수십 년간 강조되어온 하자정보 피드백 환경을 구현하기 위해 최신 기술인 링크드 데이터, 온톨로지, BIM의 기능을 융합한 시스템 프레임워크를 제시하였으며, 다음과 같은 학술적, 기술적, 산업적 기여가 있을 것으로 판단된다. 먼저, 하자정보의 흐름을 정보관리 프로세스 관점에서 바라보았으며, 각 단계별로 요구되는 기능을 규명함으로써 이를 기술적으로 연계하여 개선할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 건설 참여주체의 하자정보 활용 방식을 분석하여 포괄적인 목적으로 활용 가능한 하자정보 구성체계를 제안하였으며, 하자관리 업무에 참고해야 될 사례로만 여겨졌던 하자정보도 규칙화할 수 있다는 것을 검증한 측면에서 학술적 기여가 있는 것으로 판단된다. 다음으로 하자정보 표현 방식을 온톨로지로 구조화할 수 있는 방법과 링크드 데이터 기술을 활용하여 분산된 정보를 통합적으로 활용할 수 있는 기술적 방법을 제시하였다. 이는 하자사례를 메타데이터 형식인 RDF로 변환하고 링크드 데이터 형태로 발행하여 SPARQL 기능을 활용함으로써, 기존 데이터

베이스 시스템의 변경 없이도 공개되거나 분산된 정보에 누구나 접근할 수 있는 기술적 가능성을 보여준다. 마지막으로 산업 차원에서 본 시스템 프레임워크는 개별 기업뿐만 아니라 공공 기관에서도 활용할 수 있는 하자정보 관리 및 공유 기반을 제시하였으며, 특히, 정보관리 시스템을 갖추고 있지 않은 중소기업에서도 비용투자 없이 활용이 가능할 것이다. 한편, 건설산업에 참여하고 있는 다양한 주체들이 자신이 보유한 정보를 일부라도 공개하는 분위기가 형성된다면, 건설산업 전체 측면에서 상당한 시너지 효과를 기대할 수 있다. 또한, 공공기관은 기본적으로 정보공개 의무가 있으며, 조달청, LH공사, SH공사, 한국도로공사 등 많은 공공기관에서 이미 하자정보를 다양한 방식으로 공개되고 있다. 따라서 본 고에서 제안한 하자정보 공유 시스템 프레임워크의 활용성을 극대화하기 위해서는 공공기관이 중심이 되어 하자사례를 구조화하고 공개하려는 의지를 가지고, 하자정보 공유를 위한 핵심적인 역할을 수행해야 할 것으로 판단된다.

"본 고는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2016R1A2B3016694)."

## 참고문헌

Bizer, C., Heath, T., & Berners-Lee, T. (2009). Linked data—the story so far. *Semantic Services, Interoperability and Web Applications: Emerging Concepts*, pp.205–227.

Costa, G., & Madrazo, L. (2015). Connecting building component catalogues with BIM models using semantic technologies: an application for precast concrete components. *Automation in Construction*, 57, pp.239–248.

El-Diraby, T. A., Lima, C., & Feis, B. (2005). Domain taxonomy for construction concepts: toward a formal ontology for construction knowledge. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 19(4), pp.394–406.

Fidan, G., Dikmen, I., Tanyer, A. M., & Birgonul, M. T.

(2011). Ontology for relating risk and vulnerability to cost overrun in international projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25(4), pp.302–315.

Forcada, N., Casals, M., Fuertes, A., Gangoells, M., & Roca, X. (2010). A web-based system for sharing and disseminating research results: The underground construction case study. *Automation in Construction*, 19(4), pp.458–474.

König, M., Dirnbek, J., & Stankovski, V. (2013). Architecture of an open knowledge base for sustainable buildings based on linked data technologies. *Automation in Construction*, 35, pp.542–550.

Lee, D. Y., Chi, H. L., Wang, J., Wang, X., & Park, C. S. (2016). A linked data system framework for sharing construction defect information using ontologies and BIM environments. *Automation in Construction*, 68, pp.102–113.

Lu, Y., Li, Q., Zhou, Z., & Deng, Y. (2015). Ontology-based knowledge modeling for automated construction safety checking. *Safety Science*, 79, pp.11–18.

Niu, J., & Issa, R. R. (2012). Framework for production of ontology-based construction claim documents. In *ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering*, pp.9–16.

Zhang, S., Boukamp, F., & Teizer, J. (2015). Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA). *Automation in Construction*, 52, pp.29–41.

Zhong, B. T., Ding, L. Y., Luo, H. B., Zhou, Y., Hu, Y. Z., & Hu, H. M. (2012). Ontology-based semantic modeling of regulation constraint for automated construction quality compliance checking. *Automation in Construction*, 28, pp.58–70.

■ 이도엽 E-mail: doyeop@cau.ac.kr

■ 박찬식 E-mail: cpark@cau.ac.kr