

온톨로지 BIM 기반 지식 서비스 프레임워크 아키텍처 개발

Ontology BIM-based Knowledge Service Framework Architecture Development

강태욱¹⁾

Kang, Tae-Wook¹⁾

Received August 08, 2022; Received October 20, 2022 / Accepted November 13, 2022

ABSTRACT: Recently, the demand for connection between various heterogeneous dataset and BIM as a construction data model hub is increasing. In the past, in order to connect model between BIM and heterogeneous dataset, related dataset was stored in the RDBMS, and the service was provided by programming a method to link with the BIM object. This approach causes problems such as the need to modify the database schema and business logic, and the migration of existing data when requirements change. This problem adversely affects the scalability, reusability, and maintainability of model information. This study proposes an ontology BIM-based knowledge service framework considering the connectivity and scalability between BIM and heterogeneous dataset. Through the proposed framework, ontology BIM mapping, semantic information query method for linking between knowledge-expressing dataset and BIM are presented. In addition, to identify the effectiveness of the proposed method, the prototype is developed. Also, the effectiveness and considerations of the ontology BIM-based knowledge service framework are derived.

KEYWORDS: Semantic, Ontology, Knowledge, Query, BIM

키워드: 시멘틱, 온톨로지, 지식, 질의, BIM

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 BIM(Building Information Modeling) 전면발주가 시작되면서, 생성된 BIM에서 의사결정에 필요한 지식 정보를 추출하는 방법에 대한 관심이 높아지고 있다.

일반적으로 BIM 모델러 프로그램을 통해 생성된 정보는 간섭체크, 공정 시뮬레이션과 같이 한정된 영역에서 사용된다. 만약, BIM 모델러에서 생성된 데이터가 아닌 시설물관리와 같이 이기종데이터와 연계해 사용 하고자하는 경우, BIM의 속성정보를 RDBMS(Relational Database Management System)에 저장해 두고, 검색한 후, 별도 개발된 프로그램에서 결과를 보여주는 시스템을 별도로 개발해 사용한다.

이런 접근 방식은 BIM 객체와 관련된 데이터셋의 연결 및 확

장 요구가 발생할 경우, 데이터베이스 스키마를 재정의하고, 기존에 저장된 데이터와 비즈니스 로직을 새로 정의된 스키마에 맞게 마이그레이션(migration)해야 하는 등 문제를 발생시킨다.

예를 들어, 스마트건설 분야에서 응용되는 IoT 센서 데이터를 BIM관점에서 활용하고자 하는 경우, 기존 방식으로는 RDBMS에 새로운 스키마를 설계하고, 정보 질의 등 비즈니스 로직은 특정 프로그래밍 언어로 재개발되어야 할 것이다. 이런 문제는 BIM 활용 목적 중 하나인 모델 정보의 연결성, 확장성, 재활용성과 유지보수에 악영향을 준다. BIM 사용 시 우리가 기대하는 것 중 하나는 건설 분야에서 발생하는 다양한 이기종 데이터셋을 쉽게 BIM과 연결하여, 의사결정에 필요한 정보를 쉽게 탐색하는 것이다. 하지만, BIM 데이터베이스의 스키마가 특정 형태로 고정되어 있다면, BIM은 데이터 허브(hub)로써 사용하기 어렵다.

BIM과 이기종 데이터간 연결성, 확장성 문제를 해결하는 방법

¹⁾정회원, 한국건설기술연구원 연구위원, 공학박사 (laputa99999@gmail.com) (교신저자)

중 하나는 BIM을 그래프 형식으로 표준화된 온톨로지 모델로 구조화하는 것이다. 온톨로지 모델로 구조화된 BIM은 개념과 관계로 연결된 표준화된 그래프 구조를 가진다. 그래프 구조로 정의된 데이터베이스는 새로운 지식에 대한 확장성과 연결성을 기본 개념으로써 지원한다. 또한, 온톨로지 모델은 데이터의 기본 형태가 단순하여, 별도의 데이터 스키마 정의가 필요하지 않고, 표준화된 데이터 검색 및 처리 문법을 통해 서비스 확장이 용이하다. 예를 들어, 인공지능 기반 데이터 마이닝(Data Mining)에 필요한 학습용 데이터를 표준 온톨로지 모델 질의 문법을 통해 효과적으로 추출할 수 있다.

이 연구는 BIM에서 온톨로지 모델을 생성하기 위한 맵핑 기술, 의미 정보 질의 방법 등 기능을 포함한 온톨로지 BIM기반 지식 서비스 프레임워크를 제안한다. 프로토타입 개발 및 테스트를 통해, 제안한 방법의 효과를 확인한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

BIM 기반 온톨로지 모델 정의 및 지식 정보 질의 방법을 도출하기 위해, 관련 문헌조사를 통해, BIM 기반 온톨로지 모델 및 지식 서비스 개발 사례를 조사하여 프레임워크 아키텍처 개발 시 필요한 구성요소를 확인한다.

기존 BIM 모델을 확장성과 연결성이 높은 온톨로지 모델로 변환하기 위해, 온톨로지 모델 맵핑 방법을 정의한다. 맵핑된 온톨로지 BIM 모델에서 의사결정에 필요한 의미 정보를 질의하기 위해, 온톨로지 모델을 구성하는 기본 요소를 이용한 정보 검색 방법을 설계한다. 프레임워크 구성요소를 도출하기 위해, 온톨로지 BIM 기반 지식 서비스 프로세스를 분석한다.

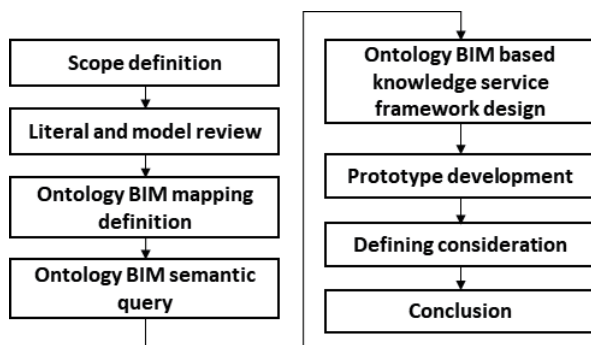


Figure 1. Research process

이를 바탕으로, 온톨로지 BIM 기반 지식 서비스 프레임워크 아키텍처를 정의한다. 마지막으로, 제안한 방법의 효과를 확인하기 위해, 프로토타입을 개발하여 결과를 확인한 후, 프레임워크 개발 시 고려사항을 도출한다.

1.3 문헌조사

본 장에서는 온톨로지 BIM 모델 생성 및 질의 기술과 관련된 연구를 살펴보고, 이를 통해 프레임워크 개발을 위한 고려사항을 확인한다.

교량 점검 데이터 관리를 위해, IFC(Industry Foundation Classes) 기반 데이터 구조 확장 방법을 연구한 사례가 있었다(Khuvilai et al., 2020). 이 연구는 IFC로 온톨로지 모델을 표현하는 것에 초점을 맞춘다. 인공지능경망을 활용한 BIM 데이터 구조화에 관한 연구가 있었다(Kim et al., 2018). 이 연구는 인공지능경망 기술을 이용해 건축 정보를 온톨로지 모델로 생성하는 방법을 인공지능기법을 이용해 개념적으로 제안하였다.

해외의 경우, 온톨로지 기반 BIM에 대한 연구가 국내보다 활발하다. BIM-GIS 통합에 온톨로지 기반 설계 및 평가 방법에 대한 연구가 있었다(Hor et al 2021). 이 연구는 서로 다른 스키마 구조를 가진 BIM과 GIS간의 온톨로지 모델 통합을 위해 RDF(Resource Description Framework)를 사용한다. 시설물 관리 시 필요한 BIM 기반 코드 체크를 위한 온톨로지 모델 질의 기술에 관한 연구가 있었다(Jiang et al., 2022). 이 연구는 SPARQL(SPARQL Protocol and RDF Query Language)을 사용해, BIM에 포함된 시설물 관리 데이터 질의 방법을 제안한다.

BIM기반 전생애주기 분석을 위해, 시멘틱 웹 기술을 적용한 사례가 있었다(Sobhkhiz et al., 2021). 이 연구는 온톨로지 모델에 대한 질의 방법으로 SPARQL을 사용한다.

건물 시스템 운영에 필요한 정보 질의 및 추론을 위해, 시멘틱 기술을 제안한 연구가 있었다(Delgoshaei et al., 2022). 이 연구는 시스템 운영에 필요한 규칙 정의를 위해, SPARQL을 사용한 방법을 제안하고 있다.

임시 건설 가설물을 관리하기 위해, 연결된 BIM 데이터 방법을 연구한 사례가 있었다(Schlachter et al., 2022). 이 연구는 연결된 BIM 데이터베이스를 구현하기 위해 튜플(Tuple) 그래프 구조를 사용한다.

객체지향모델링 기술을 기반으로 BIM과 GIS의 이기종 데이터 스키마를 연결하고 표준화하는 맵핑 기술을 제안한 연구가 있었

Table 1. Research category and scope

Research Category	Scope	References
Model development	Research to generate model information using specific techniques.	Khuvilai et al, 2020 Kim et al, 2018
Model integration	A study to integrate heterogeneous models.	Hor et al 2021 Schlachter et al, 2022 ang et al 2018
Application development	Research for specific applications, such as extracting information necessary for facility management, etc.	Jiang et al, 2022 Sobhkhiz et al 2021 Delgoshaei et al 2022

다. 이 연구는 온톨로지 관점에서 두 이기종 모델 구조를 일반화하여, 상호연결 및 모델통합 방법을 제안한다(Kang et al., 2018).

앞서 조사된 연구들은 온톨로지 모델로 개발하기 위해, 객체지향모델링 기술을 사용하거나, RDF와 같은 튜플 기반 그래프 구조 모델링 기술을 사용한다. 조사된 대부분의 연구들은 BIM-GIS 통합, 시설물 관리, 전생애주기 분석 등 특정 응용 목적에 필요한 온톨로지 모델 표현 및 질의 방법에 초점을 맞추고 있다(Table 1).

본 연구는 온톨로지 BIM 기반 지식 추론 서비스 프레임워크 아키텍처 제안에 초점을 맞춘다. 프레임워크 구성요소를 도출하기 위해, 온톨로지 BIM 기반 지식 서비스 프로세스를 분석하고, 이를 바탕으로, 온톨로지 BIM 기반 지식 서비스 프레임워크 아키텍처를 정의한다. 제안한 방법의 효과를 확인하기 위해, 프로토타입을 개발하여 결과를 확인한 후, 프레임워크 개발 시 고려사항을 도출하도록 한다.

2. 시멘틱 BIM기반 지식 모델링 방법 정의

2.1 온톨로지 BIM 맵핑 방법

이 장은 BIM 데이터를 온톨로지 모델로 변환하기 위한 맵핑 방법을 정의한다. 이를 위해, BIM 구조를 분석하고, 이를 온톨로지 모델로 맵핑하기 위한 요소와 절차를 정의한다.

BIM은 객체지향적인 구조를 가진다. 예를 들어, 건물, 건축물 부재는 클래스로 정의되며, 맥락에 따른 관계가 정의된다. BIM은 상업용 모델링 소프트웨어에 따라 내부적으로 서로 다른 객체 구조를 가지지만, IFC 형식으로 출력하는 기능을 지원하므로, 이를 통해, 일반적인 BIM 객체 구조를 확인할 수 있다. IFC는 Express 언어를 기반으로 BIM을 객체 구조로 정의한 데이터 교환 표준이다. 이 장에서는 IFC의 모든 객체 구조를 분석하는 것이 목적이 아니므로, 맵핑 절차를 정의하기 위해 필요한 최소 요소인 IfcRoot, IfcObject, IfcPropertyDefinition 관련 구조만 분석한다.

IFC의 모든 객체는 IfcRoot에서 시작한다. IfcRoot는 객체를 구분하기 위한 고유한 ID와 이름을 가진다. Figure 2는 이런 관계를

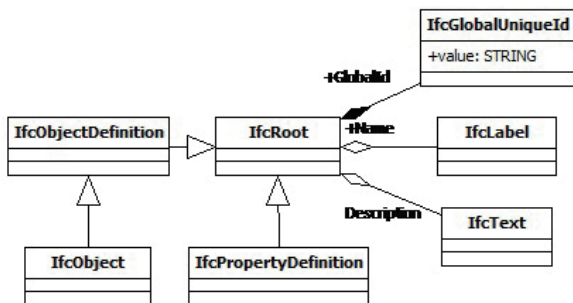


Figure 2. BIM database structure (IfcRoot, IfcObject, IfcPropertyDefinition, UML)

UML(Unified Modeling Language)로 분석한 것이다.

Table 2는 Figure 2에서 표현된 클래스와 관계를 정의한다.

Table 2. BIM class definition

BIM class	Definition
IfcRoot	Base class of BIM object includes Object ID, Name, Description.
IfcObject Definition	Generalization class of any semantically treated thing or process includes BIM relationship such as assignments.
IfcObject	Base class of IfcProduct.
IfcProperty Definition	Generalization of all characteristics about each object.

BIM의 객체 지향적인 구조는 비즈니스 모델링을 할 때 요구사항 문맥에 따라 데이터베이스 구조를 정의하기 쉽고, 클래스 파생을 통한 재활용성 등 이점이 있다. 하지만, 미리 정의된 스키마를 변경하기가 어려우며, 특히, 객체 상속 구조가 복잡할 경우, 새로운 스키마를 확장하기 쉽지 않다.

온톨로지는 도메인에 의존된 지식과 관계를 형식 기술 언어로 명세화한다. 그러므로, BIM 객체간의 관계를 확장 가능한 지식 구조로 변환할 수 있다.

온톨로지 모델 기반 데이터베이스는 기본적으로 모든 데이터 구조를 튜플로 정형화하여 CRUD(Create, Read, Update, Delete)연산을 수행한다(Figure 3). 튜플은 주어, 술어, 목적어 형태로 데이터구조를 표현한다.



Figure 3. Tuple data structure element

튜플 구조에서 주어와 목적어는 객체지향 모델링에서 객체나 속성으로 맵핑된다. 튜플의 술어는 객체지향에서 관계로 맵핑될 수 있다. 튜플의 주어와 목적어는 다시 다른 튜플의 주어나 목적어와 연결되는 방식으로 그래프의 구성요소가 되므로 재귀적인 특징을 가진다.

튜플로 정의된 데이터 구조는 연결된 그래프 형식의 데이터베이스로 형식화된 후, 재귀적 특징을 이용해 데이터 구조가 그래프로 연결되고 확장된다. 이런 튜플 구조를 이용해 BIM 시멘틱 추론에 필요한 온톨로지 모델을 정의할 수 있다. Table 3은 BIM 객체 모델에서 튜플로 맵핑을 정의한다.

Table 3. Ontology BIM mapping definition

BIM Object Model	Tuple Model
class	subject or object
property	subject or object
relationship	predicate

2.2 온톨로지 BIM 데이터 구조 명세화

튜플 형식은 온톨로지 기술 언어인 OWL(Web Ontology Language)명세화할 수 있다.

```
Building rdf:type owl:Thing .
Building rdf:type _:x .
_:x owl:onProperty contain .
_:x owl:minCardinality "1"^^xsd:nonNegativeInteger .
```

이 명세는 튜플의 주어로 정의된 Building이 최소한 1개 이상의 속성을 가지고 있어야 함을 의미한다. 이렇게 명세화되면 온톨로지 모델인 RDF 형식으로 저장될 수 있다.

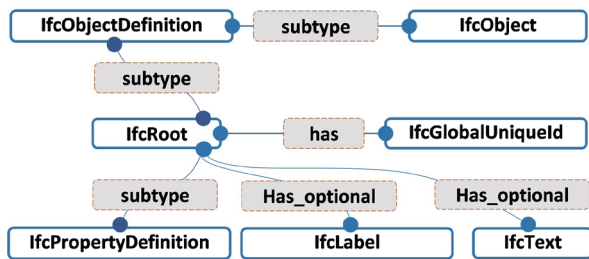


Figure 4. Ontology BIM database structure (IfcRoot, IfcObject, IfcPropertyDefinition)

Figure 4는 Figure 2에 정의된 매핑을 통해 변환된 온톨로지 BIM 모델이다. 온톨로지 모델은 튜플로 서로 연결된 그래프 구조 모델이므로, LOD(Linked Open Data) 기반 데이터 구조 확장성을 가진다.

LOD 구조로 표현된 BIM 모델은 별도의 스키마 수정 없이, 데이터 구조 확장과 연결이 가능하다. 예를 들어, IoT 데이터를 BIM의 특정 요소와 연결하기 위해서는 다음과 같이 새로운 지식 구조를 튜플 형식으로 정의하면 LOD 구조가 확장된다.

```
Room → has → Property set
Property set → has → IoT sensor property
IoT sensor property → has → IoT humidity sensor
```

그럼로, RDBMS처럼 별도의 스키마 재설계 및 관련 데이터의 마이그레이션 작업 등이 불필요하다.

Figure 5는 온톨로지 BIM 매핑을 위한 명세화 절차를 정의한 것이다.

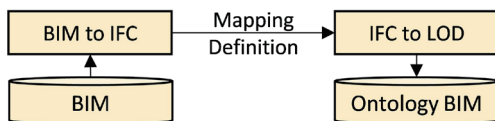


Figure 5. Ontology BIM mapping process

3. 온톨로지 BIM 정보 질의 방법 정의

3.1 BIM 시멘틱 질의 개념

맵핑된 온톨로지 BIM에 필요한 의미 정보를 질의하기 위해서는 질의 전략을 설계해야 한다.

BIM 모델은 그래프 구조를 가진 LOD로 표현될 수 있어, 그래프 구조 내 노드 간의 관계를 이용하면, 필요한 지식을 검색할 수 있다. 이 연구에서는 정보 검색 언어로 SPARQL을 사용한다.

정보 질의 방법을 분석하기 위해, 단순한 튜플 구조를 다음과 같이 가정한다.

```
Room → include → (tuple → can_be → elements)
```

이 튜플은 서로 연결된 그래프 구조를 가지므로, Room이 어떤 요소를 가지는 지를 질의하기 위해서는 다음과 같은 질의 전략을 계획할 수 있다.

```
SELECT ?subject ?object
WHERE {
    ?subject include ?tuple.
    ?tuple can_be ?object
}
```

이 결과로, 앞의 튜플 구조로 다음 사실을 추론할 수 있다.

```
Room include elements.
```

이런 방식으로, 시멘틱 질의를 통해, BIM 지식 추론이 가능하다. 지식 추론은 연역, 귀납, 유추, 계산을 필요로 한다. 그래프 구조를 탐색하고 값을 계산함으로써 이런 기능을 실행할 수 있다.

3.2 온톨로지 BIM 속성정보 질의 전략 설계

BIM 모델의 모든 객체와 관계가 변환된 온톨로지 BIM 모델은 그래프 구조의 기본 요소는 단순하나 검색 대상의 크기는 크다.

```
inst:IfcWindow_6518 rdf:type ifc:IfcWindow .
inst:IfcRelDefinesByProperties_6532
  ifc:globalId_IfcRoot inst:IfcGloballyUniqueId_20226 ;
  ifc:ownerHistory_IfcRoot inst:IfcOwnerHistory_41 ;
  ifc:relatedObjects_IfcRelDefines inst:IfcWindow_6518 ;
  ifc:relatingPropertyDefinition_IfcRelDefinesByProperties
    inst:IfcPropertySet_6524 .
inst:IfcPropertySet_6524
  ifc:name_IfcRoot inst:IfcLabel_20219 ;
  ifc:hasProperties_IfcPropertySet inst:IfcPropertySingleValue_6523 .
```

Figure 6. RDF-based ontology BIM tuple graph structure analysis (IfcWindow Tuple Dataset)

그러므로, 검색에 불필요한 그래프 노드는 필터링하는 등의 효과적인 정보 질의 전략을 설계할 필요가 있다. 질의 전략을 설계하기 위해, 다음과 같이 RDF형식으로 맵핑된 온톨로지 BIM의 튜플 구조를 분석해 보았다(Figure 6).

RDF 형식은 튜플 구성요소의 namespace를 정의하는 prefix로 개념 도메인을 정의한다. inst prefix는 IFC의 객체 인스턴스를 의미한다. 튜플의 주어와 목적어가 서로 연결된 그래프 구조를 가지므로, 이를 이용하면, 객체의 속성정보를 검색할 수 있는 질의 전략을 다음과 같이 정의할 수 있다.

```
SELECT ?subject ?property ?name ?value      (1)
WHERE {
  ?subject rdf:type ifc:IfcWindowStyle.
  ?subject ifc:hasPropertySets_IfcTypeObject ?property_set.
  ?property_set ifc:globalId_IfcRoot ?guid ;
    ifc:ownerHistory_IfcRoot ?own_history ;
    ifc:name_IfcRoot ?label ;
    ifc:hasProperties_IfcPropertySet ?property.
  ?property ifc:name_IfcProperty ?identifier.
  ?identifier express:hasString ?name.
  ?property ifc:nominalValue_IfcPropertySingleValue ?value.
}
```

이 SPARQL 질의문에서 ?는 질의 결과를 담을 변수를 의미한다. WHERE 문은 SQL문과 유사하게 질의 조건들을 정의할 수 있다. 질의 조건은 튜플 형식으로 정의된다.

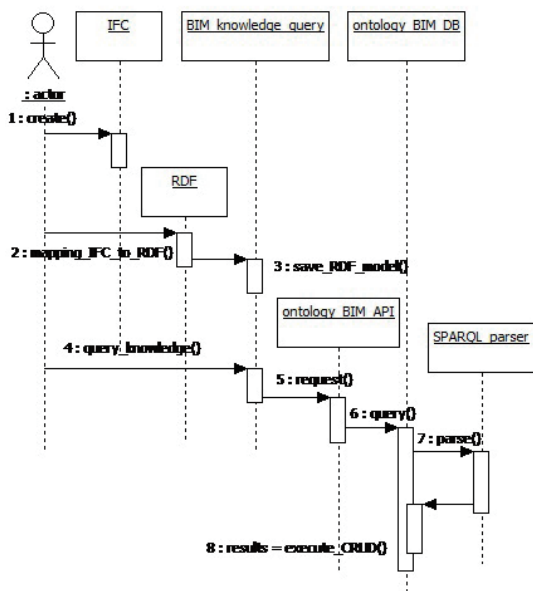


Figure 7. Ontology BIM-based knowledge service sequence structure (UML)

4. 온톨로지 BIM 기반 지식 서비스 프레임워크 설계

이 장에서는 앞서 분석된 온톨로지 BIM 맵핑 및 질의 방법을 기반으로 프레임워크 아키텍처를 정의한다.

프레임워크 아키텍처 정의에 앞서, 온톨로지 BIM 기반 지식 서비스 시퀀스 구조를 설계하기 위해, 다음과 같은 지식 정보 질의 시나리오를 가정한다.

Room has A element?
Room → include → (tuple → has → IoT humidity sensor)?

BIM 지식 서비스를 위해서는 우선 BIM 모델을 튜플 구조 기반 LOD인 온톨로지 BIM모델로 변환해야 한다. 변환된 온톨로지 BIM모델은 튜플 기반 LOD 구조를 수용할 수 있는 RDF 데이터베이스에 저장된다.

온톨로지 BIM 데이터베이스에 대한 추론 등 질의를 위해서는 표준 질의 언어가 필요하다. 이를 위해, 표준 질의 언어로 SPARQL을 적용한다.

SPARQL 언어는 LOD 기반 BIM 모델에서 지식 정보 질의에 대한 결과를 담기 위해, 그래프 검색을 수행한다. 검색언어로 기술된 코드는 온톨로지 BIM 데이터베이스를 확장할 수 있도록, CRUD(create, read, update, delete) 연산자를 제공해야 한다. Figure 7은 기술된 시나리오를 기반으로 정의한 시퀀스 구조이다.

온톨로지 BIM 기반의 시맨틱 검색은 그래프 링크에 해당하는

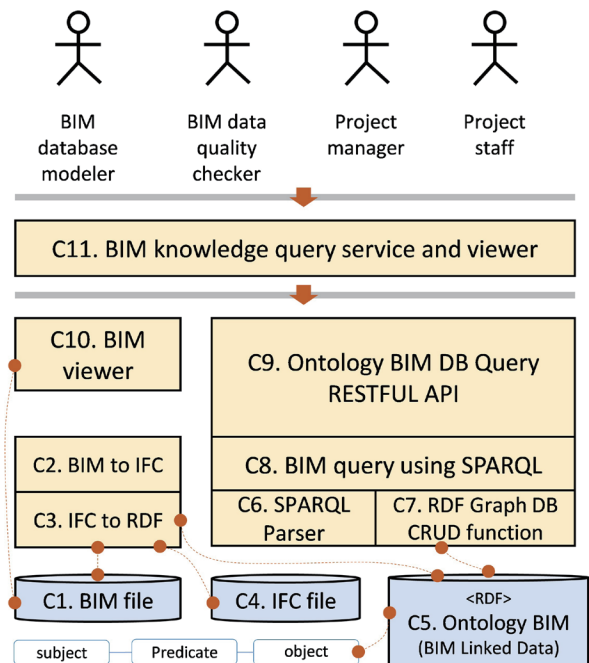


Figure 8. Ontology BIM-based knowledge service framework architecture

Table 4. Ontology BIM-based knowledge service framework component

ID	Component functions
C1	BIM file database
C2	BIM to IFC mapping
C3	IFC to RDF mapping
C4	IFC file database
C5	Ontology BIM database using RDF
C6	SPARQL Parser for parsing knowledge information query string
C7	CRUD function for searching and updating Ontology BIM database
C8	BIM query service using SPARQL
C9	RESTful API, endpoint for supporting function call from the external system.
C10	Viewer to render BIM geometry
C11	BIM knowledge services

술어 관계도 포함해 지식 검색을 지원해야 한다. 지식 검색은 데이터 마이닝(Data Mining) 도구로 작동될 수 있다.

그러므로, 텍스트에서 추출한 사실 데이터의 그래프 모델에서 지식을 질의하는 서비스를 가능하게 한다. 데이터 마이닝 대상은 객체를 설명하는 메타 데이터(Meta data)가 포함된 워드, 문서, 도면 등이 될 수 있다. 이런 데이터는 ETL(Extract, Transform and Load) 도구를 이용해 추출할 수 있다.

Figure 8은 앞서 분석한 기능을 정의한 프레임워크 아키텍처이다. Table 4는 앞서 설계한 프레임워크의 컴포넌트와 기능들을 정의한다.

5. 프로토타입 구현 및 고려사항 도출

5.1 프로토타입 구현 및 테스트

앞서 정의된 프레임의 효과를 분석하기 위해, 이를 기반을 한 프로토타입을 개발하였다. Table 5는 구현된 프레임워크의 컴포넌트를 기술한 것이다.

Table 5. Framework component implementation

Component	Implementation
C1, C2	IFC parser
C3	IFCtoRDF based on Java
C4, C5, C6, C7	Apache Jena
C8, C9	Apache Jena Fuseki
C10, C11	IFC.js viewer, node.js, Javascript

프레임워크의 각 컴포넌트 구현은 오픈소스를 활용한다. BIM 객체 정보 확인을 위한 질의 전략 및 속성 객체 검색은 SPARQL과 Javascript로 구현되었다. 예를 들어, 온톨로지 BIM 맵핑은 오픈소스인 IFCtoRDF 도구를 사용해, 튜플 형식 파일 형식인 TTL(Turtle) 파일로 변환되었다. TTL파일은 RDF저장소인

Apache Jena Fuseki에서 관리된다. Apache Jena는 정보 질의와 갱신을 위한 SPARQL 1.1 표준과 그래프 기반 질의 프로토콜을 제공한다.

Apache Jena Fuseki는 외부 시스템 접속 및 서비스 개발을 위한 endpoint인 RESTFUL API와 데쉬보드를 지원한다. Apache Jena는 PREFIX로 정의된 IFC namespace 정의를 인식하고, 사용자 입력된 SPARQL 질의어를 해석한다(Figure 9).



Figure 9. Ontology BIM-based BIM information query example

제안된 프레임워크의 정보모델 연결성 및 확장성을 확인하기 위해, 개발된 프로토타입에 대한 테스트 항목은 다음과 같이 정한다.

- A. 데이터 검색 기능에 대한 기본 테스트를 위한 온톨로지 BIM 정보 질의 성능 테스트
- B. 정보 모델 연결성 및 확장성 확인을 위한 온톨로지 BIM 확장성 테스트

5.2 온톨로지 BIM 정보 질의 성능 테스트

BIM 객체 클래스 정보 질의의 테스트를 위해, buildingSMART international에서 제공한 IFC 샘플을 변환해, RDF 데이터베이스에 등록한 후, 다음과 같이 SPARQL언어로 질의를 실행해 보았다.

```
SELECT ?subject (2)
WHERE
{ ?subject rdfs:subClassOf ifc:IfcBuildingElement }
```

실행 결과, IfcBuildingElement의 하위 클래스를 Figure 10과 같이 얻을 수 있었다.

BIM 객체의 속성 정보를 체크하기 위해, 미리 준비한 질의식(1)을 Figure 10과 같이 실행해 보았다. SPARQL로 RDF로 변환된 온톨로지 BIM모델에 질의를 하면(Q1), 질의문을 해석하여, 모델의 그래프 구조를 탐색한다. 일치하는 데이터가 있으면 튜플 형식으로 결과를 리턴하고(Q2), 결과에 포함된 속성과 값을 출력한다(Q3, Q4). 출력된 결과를 보면, BIM의 창호 객체 속성에 대한 질의가 제대로 수행된 것을 확인할 수 있다(Figure 11).

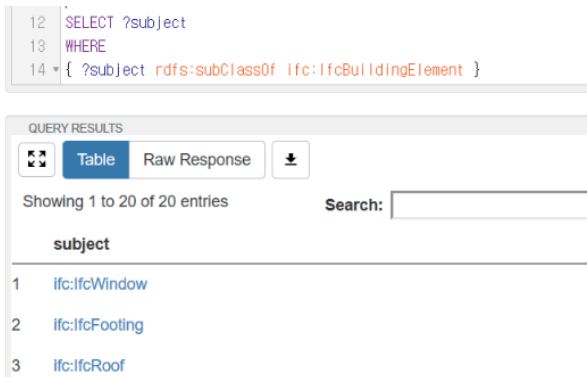


Figure 10. Ontology BIM-based query results (BIM element class query)

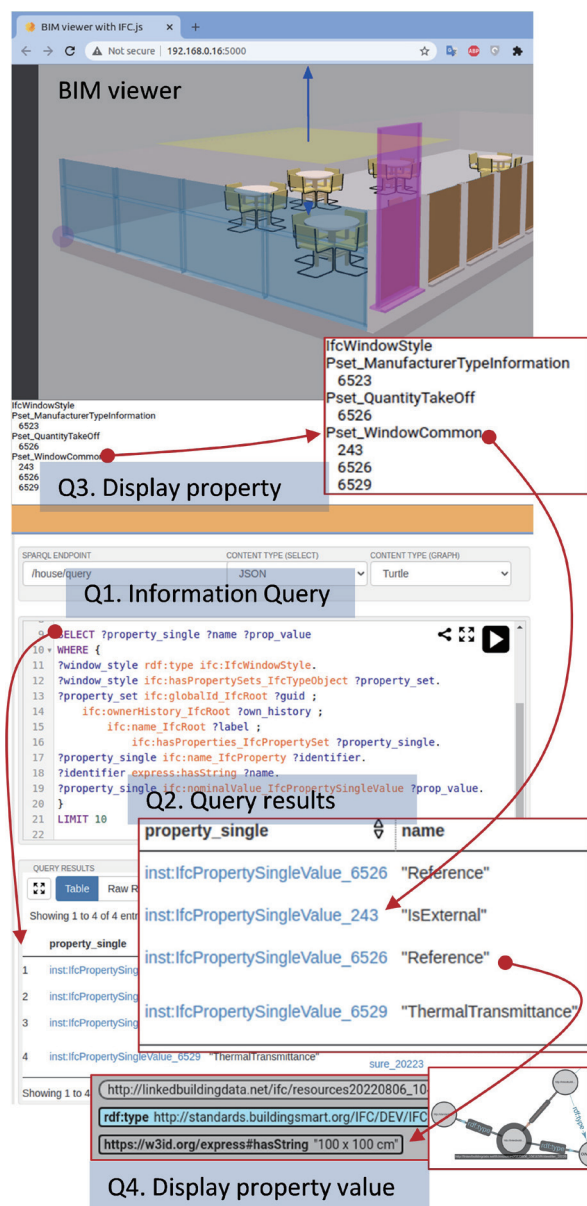


Figure 11. Ontology BIM-based query results (BIM window element property query)

앞서 정의된 BIM 정보 질의 언어(1, 2)는 BIM 모델 정보 추출 및 무결성 확보를 위한 데이터 품질 룰 체크(rule check)에 필수적인 요소이나, 현재 현업에서 사용하는 방식은 BIM 모델링 소프트웨어에서 정보 수동 확인, 엑셀과 같이 출력된 파일을 통한 수동 확인, 별도 정보 검색 프로그램 개발이다. 온톨로지 BIM으로 변환된 후 정보 질의 방식은 앞서 확인한 것과 같이 BIM 정보 검색 및 추출 단계가 표준화되어 별도 개발이나 수작업이 불필요한 것을 확인할 수 있었다. 참고로, 온톨로지 BIM에서 필요한 정보를 검색해 결과를 얻는 데 걸린 시간은 1초 이내였다(Intel i9-12900H 2.90 GHz, Ubuntu OS 환경).

5.3 온톨로지 BIM 확장성 테스트

맵핑된 온톨로지 BIM 연결성과 확장성을 테스트해보기 위해, IFC의 Project 정보와 관련된 지식 정보 구조를 확장해 본다. 이를 위해, 다음과 같이, Project 객체의 이해당사자 데이터 구조를 다음 SPARQL 명령을 이용해 추가·확장해 본다.

```

INSERT DATA {
  inst:IcfText_44415 rdf:type ifc:IcfText;
  express:hasString "Object M company".
}

```

(3)

SPARQL의 INSERT DATA문 실행 결과는 기술된 문장에 부합되는 튜플을 온톨로지 모델에서 검색한 후, 명시된 값으로 해당 튜플의 값을 갱신한다. Figure 12는 온톨로지 BIM 데이터베이스에 INSERT DATA 문 실행 및 결과이다.

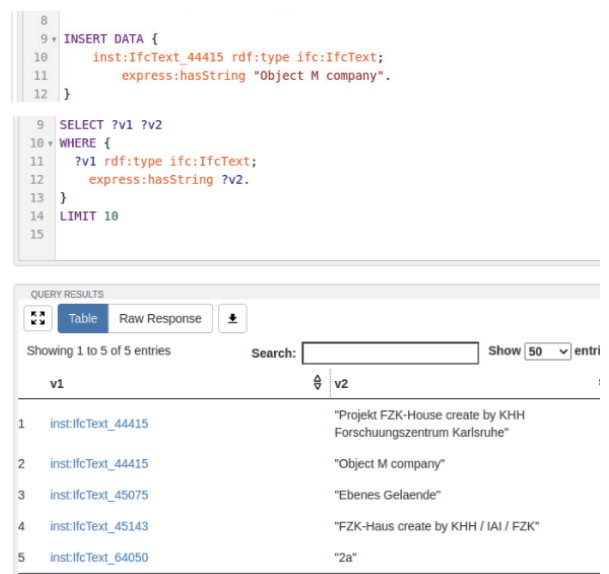


Figure 12. Ontology BIM-based update query and results

기존 방식의 경우, 요구사항 변경에 따른 BIM 정보모델 및 외부 데이터셋 스키마가 변경되면, 관련 스키마와 서비스 로직을 재개발해야 했으나, 결과와 같이, 최초 변환된 온톨로지 BIM에 대한 스키마 수정 및 데이터 마이그레이션 등 별도의 개발 작업 없이, 지식 정보 구조가 그래프 연결 방식으로 확장된 것을 확인할 수 있었다. 예를 들어, 같은 방식으로 BIM 객체요소를 기준으로 외부 시설물 관리 데이터나 IoT 센서와 연결해 관리하고자 하는 경우, 온톨로지 BIM 정보모델에 대한 스키마 변경 및 개발 작업 없이 정보를 추가, 검색, 확장할 수 있다.

5.4 온톨로지 BIM 개발 시 고려사항 도출

앞서 테스트한 결과를 확인해 보면, 온톨로지 BIM은 다음과 같은 장점이 있음을 알 수 있다.

S1. 온톨로지 BIM은 데이터 스키마가 표준적인 튜플 기반 그래프 구조로 정의되므로 취하므로, 데이터 구조 확장성이 RDBMS에 비해 뛰어나다.

S2. RDBMS는 정의된 스키마 구조에 따라 질의 형식 구조가 다르나, Ontology BIM은 튜플 구조 기반 질의 형식을 따르므로, 표준적이며, 정형적이다.

S3. 표준적인 그래프 형식 데이터 구조로 모델이 정의되므로, 지식 서비스를 구현할 때, 지식 질의와 관련된 비즈니스 로직이 RDBMS처럼 데이터베이스 스키마 변경에 따라 재개발될 필요가 없다는 것을 의미한다.

S4. 아울러, 정형화된 튜플 기반 구조로 인해, 데이터마이닝 프로세스를 적용하기 용이하므로, LSTM(Long Short-Term Memory)과 같은 딥러닝 기반 추론에 필요한 정형화된 학습데이터로 가공하기 쉽다.

S5. 지식 정보 갱신 기능의 경우에도 온톨로지 BIM의 경우는 스키마 변경없이 지식 추가나 수정이 가능하다. RDBMS로 표현된 BIM은 추가되는 정보 형식이 다를 경우, 스키마를 수정해야 한다. 이는 필연적으로 비즈니스 로직의 재개발을 요구한다.

S6. 데이터 연결의 경우, Ontology BIM을 표현하는 저장소가 LOD기반 RDF형식을 취하고 있으므로, 데이터 구조 확장이 쉽고, 실시간 데이터 소스의 경우, URL로 지정하기가 용이하다.

S7. 도메인 지식이 표현되는 문맥의 경우, Ontology BIM은 namespace를 정의한 후, 그 namespace 내의 용어를 정의하는 방식을 취하므로, 그 용어에 대한 관점과 의미를 명확히 정의할 수 있다. RDBMS의 경우, 문맥은 데이터 CRUD시 별도의 추가적 제약조건으로 이를 명시해야 한다.

앞서 언급한 장점이 있는 반면, 온톨로지 BIM 기반 지식 서비스를 구현하기 위해서는 다음과 같은 부분을 고려할 필요가 있다.

R1. LOD 기반 모델로 인한 복잡한 그래프 연결 구조로 인해, 검색식이 RDBMS SQL문에 비해 복잡하다. 그러므로, 검색식을

축약하거나, 검색식 사전정의 방법을 제공하거나, 라이브러리화할 방법이 필요하다.

R2. 맵핑될 BIM 모델의 용량이 크고 복잡할 경우, 변환된 그래프의 검색 복잡도가 높아지므로, 정보 질의 성능이 저하될 수 있다. 그러므로, 절적인 인덱싱 및 캐쉬 기법이 필요하다.

R3. 변환된 그래프 구조가 과도하게 복잡한 경우, 이를 경량화할 필요가 있다.

R4. 복잡한 정보 질의 전략을 자동화할 필요가 있다. 현재는 RDF로 변환된 BIM 모델의 구조를 조사한 후 질의식을 정의해야 하나, RDF 문법을 모르는 사용자도 질의식을 얻을 수 있도록, 질의식을 자동 생성하는 도구 개발이 필요하다.

6. 결론

이 연구는 기존 BIM 모델을 확장성과 연결성이 높은 온톨로지 모델로 변환하기 위해, 온톨로지 모델 맵핑 방법을 정의하고, 맵핑된 온톨로지 BIM 모델에서 의사결정에 필요한 의미 정보를 질의하기 위해, 온톨로지 개념을 이용한 지식 정보 질의 방법을 제안하였다. 아울러, 프레임워크 구성요소를 도출하기 위해, 온톨로지 BIM 기반 지식 서비스 프로세스를 분석하고, 이를 바탕으로, 온톨로지 BIM 기반 지식 서비스 프레임워크 아키텍처를 정의하였다. 제안한 방법을 사용할 경우, 표준성, 확장성 등의 장점이 있었다.

건설 분야에서 BIM 기반 온톨로지 모델을 사용한 지식 서비스는 아직 초기 단계이다. 향후, 연구 내용을 바탕으로 인공지능 기술을 활용한 BIM 온톨로지 모델 기반 지식 응용 서비스를 개발하여, 효과를 정량화하고, 제안한 프레임워크 아키텍처를 개선할 계획이다.

감사의 글

This research was supported by a grant "Scan To BIM Technology Development 3D Urban Building Model Process Automation" by the Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.

References

- Delgoshaei, P., Heidarinejad, M., Austin, M. A. (2022). A Semantic Approach for Building System Operations: Knowledge Representation and Reasoning. *Sustainability*, 14(10).
- Hor, A. H., Sohn, G. (2021). Design and Evaluation of a Bim–Gis Integrated Information Model Using Rdf Graph Database. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 8. pp.175–182.
- Jiang, L., Shi, J., Wang, C. (2022). Multi–ontology fusion and rule development to facilitate automated code compliance checking using BIM and rule–based reasoning. *Advanced Engineering Informatics*, 51.
- Kang, T. (2018). Development of a conceptual mapping standard to link building and geospatial information. *ISPRS International Journal of Geo–Information*, 7(5).
- Khuvilai, E., Kwon, T. H., Lee, S. H. (2020). Integration of Extended IFC–BIM and Ontology for Information Management of Bridge Inspection. *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 33(6), pp.411–417.
- Kim, M. S., Park, D. W., Lee, Sang. Yul., Kim, D. S., Ryu, J. Ho. (2018). A Study about BIM Data Structuring for Artificial Neural Network Focusing on Building Information Ontology. *Design Convergence Study*, 17(1), pp.29–46.
- Sobhkhiz, S., Taghaddos, H., Rezvani, M., Ramezaniapour, A. M. (2021). Utilization of semantic web technologies to improve BIM–LCA applications. *Automation in Construction*, 130
- Schlachter, A., Rasmussen, M. H., Karlshøj, J. (2022). Using Linked Building Data for managing temporary construction items. *Automation in Construction*, 139.