

건물 에너지 절감을 위한 공조 설비 온톨로지 모델 설계 및 구성

신슬비, 김남호, 지영민, 권동우*

한국전자기술연구원

{seulbi0108, namho0941, ym.ji, dwkwon}@keti.re.kr

Design and Implementation of an Ontology Model for HVAC Systems toward Building Energy Efficiency

Seulbi Shin, Namho Kim, Youngmin Ji, Dongwoo Kwon*

Korea Electronics Technology Institute (KETI)

요약

본 논문은 기존 건물 관리 시스템의 데이터 사일로 및 상호운용성 부족 문제를 해결하기 위해, 건물 내 공간, 설비, 센서 간의 관계를 통합적으로 표현하기 위한 RDF 기반 온톨로지 모델을 구성했다. ASHRAE 223P를 중심으로 REC, QUDT, WoT TD 등 다수의 온톨로지를 융합하여, 공간 구조 표현부터 장치의 상태 정보까지 포함하는 일관된 의미 체계를 제안했다. 제안된 모델은 SPARQL 질의를 통해 제안한 온톨로지 모델이 공간별 에너지 절감 기반 분석에서 효과적임을 검증했다.

I. 서론

건물의 효율적인 운영과 에너지 절감을 위해서는 다양한 설비와 센서로부터 수집되는 데이터를 활용한 분석이 필수적이다. 이를 위해서는 데이터의 구조적 관계를 명확히 정의하고, 정보를 일관된 방식으로 활용할 수 있는 기반이 필요하다.

그러나 기존의 건물 관리 시스템은 데이터 간의 관계적 표현이 부족하다. 이는 시스템이 데이터를 설비 단위로 수집하고 처리하기 때문으로, 이러한 구조에서는 서로 다른 설비나 센서 간의 정보 교환이 원활하지 않아 데이터가 고립되는 데이터 사일로 현상이 발생한다. 더 나아가, 설비나 시스템이 서로 다른 형식으로 데이터를 관리하면서 상호운용성 부족 문제가 나타날 수 있다 [1]. 이에 따라 공간 기반 제어나 설비 간 연동과 같은 고도화된 제어가 제한된다.

기존 문제를 해결하기 위해서는 데이터 간 관계를 명확히 표현하고, 정보를 일관되게 표현할 수 있는 데이터 모델이 요구된다. 온톨로지(ontology)는 특정 도메인 내의 개체와 속성, 관계를 명시적으로 정의하는 개념적 데이터 모델이다. 이질적인 시스템이나 데이터 소스 사이에 존재하는 표현 불일치를 완화하여, 상호운용성을 보장한다 [2].

본 논문에서는 건물 내 공간, 설비, 센서 간 관계를 통합적으로 표현하기 위한 온톨로지 모델을 제안한다. 제안 모델은 ASHRAE 223P(S223)를 기반으로, 부동산 핵심 온톨로지(Real Estate Core, REC)와 물리량·차원·단위·유형(Quantities, Units, Dimensions and Data Types, QUDT) 온톨로지, 월드 와이드 웹 컨소시엄(World Wide Web Consortium, W3C)의 사물 기술 명세(Web of Things Thing Description, WoT TD) 온톨로지를 결합하여 RDF 기반의 건물 구조를 설계했다.

설계에 기반이 되는 ASHRAE 223P는 건물 데이터에 대한 시맨틱 태그 지정 분류 표준으로 건물 시스템과 건물에 들어가는 설비의 구성 요소 표현의 기초를 제공한다. 여기에 공간 및 부동산 속성 표현에 특화된 REC 온톨로지와 센서 데이터의 물리적 수량, 단위, 차원을 표준화하는 QUDT 온톨로지를 통합하여 데이터의 의미적 상호운용성을 확보했다. 또한, WoT TD를 활용하여 센서 등 IoT 장치의 속성과 인터페이스를 표준 방

식으로 기술함으로써 물리적 세계와 디지털 모델 간의 연결을 강화했다. 이처럼 다양한 표준 기술을 융합함으로써 건물 내 요소들을 포괄적으로 기술하고, 데이터 기반의 지능형 모델 구현을 위한 견고한 기초를 마련했다.

II. 본론

본 논문에서는 건물 내 공간, 설비, 환경센서 간의 관계를 의미적으로 표현하기 위해 ASHRAE 223P, REC, QUDT, WoT TD 온톨로지를 조합하여 RDF 기반 온톨로지 모델을 설계했다. 그림 1은 온톨로지 모델을 도식화한 그림이다. 공간과 장치 간의 계층적 구조와 포함 관계를 표현하고 있다.

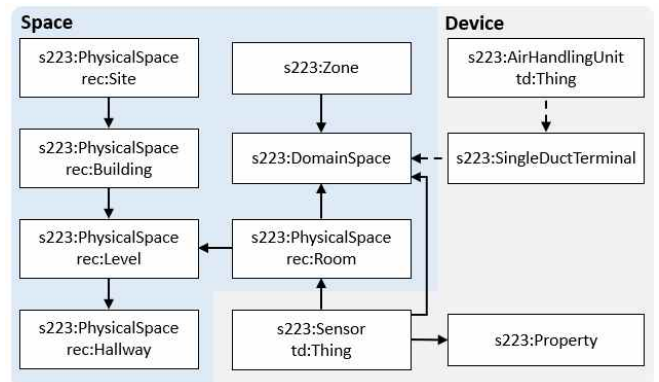


그림 1 온톨로지 모델의 공간 및 장치 계층 구조

1. 온톨로지 모델 설계

건물 내 공간의 구조적 관계를 명확히 표현하는 것은 설비나 센서 데이터의 의미적 연결을 정의하기 위한 필수 요소이다. 공간 구조는 ASHRAE 223P의 s223:PhysicalSpace, s223:DomainSpace, s223:Zone 개념을 기반으로 정의하여, 장치의 설치 위치 같은 단순한 공간 정보가 아니라 AHU(Air Handling Unit)가 담당하는 공조 제어 범위까지 모델에 포함한

다. 이러한 구조를 통해 데이터를 공조 제어 범위별로 구분하여, 에너지 관리 및 효율 분석에 활용할 수 있다.

ASHRAE 223P 온톨로지는 물리적 포함(s223:contains) 관계를 중심으로 공간 계층을 정의하지만, 세부 공간의 기능적 구분이나 사용 목적에 대한 속성은 제한적이다. 모든 공간을 PhysicalSpace로 정의하여, 공간의 용도나 기능 차이를 구분하기 어렵기 때문이다. 이를 보완하기 위해 REC 온톨로지의 속성을 활용했다. REC는 공간의 기능이나 사용 유형 등을 기술할 수 있어, 실제 공간의 용도 및 설비 배치와 같은 정보를 구체적으로 표현할 수 있다. 또한 공조 제어 영역을 명확히 표현하기 위해 DomainSpace와 Zone 개념을 적용했다. DomainSpace는 AHU가 서비스하는 공조 영역을 나타내며, 특정 PhysicalSpace에 속한다. Zone은 한 개 이상의 DomainSpace를 제어 단위로 묶어, 건물 내 공조 설비의 운전 범위와 제어 경계를 정의한다.

설비 정보는 공조 설비를 중심으로 구성 요소의 관계와 동작 특성을 표현한다. AHU는 s223:AirHandlingUnit 클래스로 정의되며, 팬, 댐퍼 등 하위 구성 요소를 s223:hasConnectionPoint 및 s223:contains 속성으로 연결한다. 이를 통해 설비 내부의 구성 관계를 계층적으로 기술하여, 각 요소가 공기 흐름이나 제어 신호 측면에서 수행하는 기능을 명확히 구분한다. 이러한 하위 구성 요소가 영향을 끼치는 DomainSpace와 연결되어, 특정 구역의 환경 변화가 어떤 설비의 제어에 반영되는지 추적할 수 있다.

환경센서는 공간 내 온도, 습도, 이산화탄소 등의 데이터를 측정하는 구성 요소이며, s223:Sensor 클래스로 정의된다. 관측 결과를 통해 공조 설비의 운전 상태 분석이나 쾌적도 평가에 필요한 정보를 제공한다.

모든 장치는 WoT TD 온톨로지의 td:Thing 인스턴스이며, 속성값 조회(td:PropertyAffordance), 제어 명령(td:ActionAffordance), 이벤트 처리(td:EventAffordance) 방법을 명시한다. 해당 표현을 통해 장치의 제어 및 데이터 접근 방식을 온톨로지 내에서 일관되게 관리할 수 있으며, WoT TD 기반의 다른 서비스와의 연동도 가능하다.

장치의 동작 상태나 측정값은 s223:Property 클래스를 통해 표현한다. Property는 센서가 관측하거나 장치가 제어하는 속성을 의미하며, QUDT 온톨로지를 활용하여 물리량(qudt:QuantityKind)과 단위(qudt:Unit)를 명확히 정의함으로써 장치 간 표현 방식의 차이를 줄이고 데이터의 의미적 일관성을 확보할 수 있다.

해당 모델을 통해 개별 센서 데이터가 공간적 맥락과 설비 운전 상태와 함께 통합 관리되며, SPARQL 질의를 통해 공간 단위, 설비 단위, 시간 단위의 복합 분석이 가능하다.

2. 온톨로지 모델 구성

앞 절에서 제시한 설계를 기반으로, 제안한 모델이 실제 건물 데이터를 일관된 구조로 표현할 수 있는지를 검증하기 위해 AHU와 환경센서가 설치된 5층 사무실 공간을 대상으로 온톨로지 모델을 구성했다. 모든 데이터는 Apache Jena Fuseki 서버에 RDF 형태로 저장되어 있으며, SPARQL 엔드포인트를 통해 공간, 설비, 센서 간 관계 질의를 수행한다.

그림 2는 Fuseki 서버에서 수행한 SPARQL 질의 결과를 나타낸다. SPARQL 질의를 통해 채실자가 존재하면서 실내 온도가 26°C 이상인 공간의 AHU 명칭과 설정 온도를 확인할 수 있었다. 이러한 질의는 센서로부터 수집된 관측 데이터가 공간 단위로 연결되고, 다시 해당 공간을 담당하는 설비 인스턴스로 추적되는 데이터 흐름을 기반으로 수행된다. 이를 통해 제안한 온톨로지 모델이 공간별 에너지 절감을 위한 데이터 기반 분석에 효과적임을 검증했다.

SPARQL Query

To try out some SPARQL queries against the selected dataset, enter your query here.

Example Queries

Selection of triples Selection of classes

Prefixes

rdf rdfs owl

SPARQL Endpoint

Content Type (SELECT)

/V3_s223+rec/query

JSON

```
7 SELECT DISTINCT
8   ?roomLabel
9   (xsd:double(?temp) AS ?temperature)
10  ?ahuLabel
11  (xsd:double(?tempSet) AS ?AHU_TEMP_SET)
12 WHERE {
13   # (1) 온도 > 26도인 환경센서 -> 방
14   ?envThing a td:Thing ;
15             td:title ?envTitle ;
16             td:hasPropertyAffordance ?tProp .
```

Table

Response 2 results in 0.027 seconds

Simple view

roomLabel	temperature	ahuLabel	AHU_TEMP_SET
1Room 125	"26.79e0"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#double>	AHU-5	"20"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#double>
2Room 127	"25.32e0"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#double>	AHU-5	"20"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#double>

그림 2 SPARQL 질의 결과

III. 결론

본 연구에서는 건물 내 공간, 설비, 센서 간 관계를 통합적으로 표현하기 위한 RDF 기반 온톨로지 모델을 설계했다. ASHRAE 223P를 중심으로 REC, QUDT, WoT TD 온톨로지를 결합함으로써 공간 구조에서부터 장치 제어 및 시계열 데이터까지 일관된 의미 체계를 구축했다. 제안한 모델은 이질적인 건물 관리 시스템 간 데이터 호환성을 향상하고, 관측 데이터와 설비 정보를 통합적으로 활용할 수 있는 기반을 제공한다.

향후 설계된 온톨로지 모델을 실제 건물 환경에 적용하여 장기간 데이터를 축적하고, 이 모델의 실효성을 검증하는 과정이 필요하다. 또한 구축된 온톨로지 모델 위에서 SPARQL 질의를 활용한 에너지 효율이 떨어지는 원인 추론 및 자동 제어 규칙 생성 등의 응용서비스를 개발하여 모델의 활용성을 더욱 확장할 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2020-KP002220)

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (RS-2020-KP002220).

참고 문헌

- [1] 황재영, 안종관, 주호택, 이찬형 and 송재승. "시맨틱 기술을 활용한 글로벌 사물인터넷 상호연동 기술 개발 및 적용" 한국통신학회논문지 42, no.11 (2017) : 2208-2216.doi: https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.11.2208
- [2] M. Kupčik, M. Šír, and Z. Bradáč, "Interoperability through ontologies," IFAC Proceedings Volumes, vol. 45, no. 10, pp. 196 - 200, 2012. doi: 10.3182/20120523-3-CZ-3015.00039