표준 온톨로지 기반 FEMS 지식그래프 구축 및 비교 사례

김말희, 정훈
한국전자통신연구원

mariekim, hjeong@etri.re.kr

A Study on Standard Ontology-based Knowledge Graph Construction and Comparative Case for FEMS Systems

Marie Kim, Jeong Hoon
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문은 공장 에너지 관리 시스템(FEMS: Factory Energy Management System) 데이터를 온톨로지 기반으로 구조화하고, 동일한 온톨로지를 이용하여 서로 다른 사업장의 데이터를 지식그래프로 구축한 사례를 다룬다. 표준 FEMS 기술 개발의 두 실증사이트인 A 사와 B 사의 FEMS 데이터를 대상으로, 동일한 RDF/OWL 스키마를 생성한 후 이를 기반으로 지식그래프(Knowledge Graph, KG)를 생성하였다. 이를 통해 온톨로지 모델의 재사용성, 데이터 일관성, 질의 표준화 가능성을 검증하였다. 결과적으로 동일한 온톨로지 구조를 적용하면 서로 다른 FEMS 시스템에서도 데이터 호환성과 의미적 통합이 가능함을 확인하였다.

Ⅰ. 서 론

공장 에너지 효율화를 위한 FEMS 는 설비 별 전력 사용량을 모니터링하고 분석하는 핵심 인프라이다. 그러나 FEMS 는 구축 기관마다 데이터 구조, 장비 명, 태그 규칙, 관제점 체계가 상이하여 데이터 통합과 분석의 일관성이 저하된다.

최근 이러한 문제를 해결하기 위해 온톨로지를 활용한 지식그래프(KG) 기반 데이터 표현이 주목받고 있다. 온톨로지는 도메인의 개념, 속성, 관계를 표준화된 구조로 정의하여 이기종 시스템 간 의미적 상호운용성을 확보할 수 있다.

본 연구에서는 ETRI 에서 개발한 표준 FEMS[1] 데이터에 대한 온톨로지 스키마를 정의하고, 표준 FEMS 개발 과제의 실증 사이트인 두 회사의 FEMS 데이터를 RDF 형태로 변환하였다. 동일한 스키마를 사용하되, 값만 상이한 구조를 가지도록 구성함으로써 온톨로지 기반 데이터 표현의 일관성과 재사용성을 실증하였다.

Ⅱ. 표준 FEMS 온톨로지 설계

본 연구에서 사용한 표준 FEMS 온톨로지는 그림 1 과 같은 계층 구조를 가진다. MonitoringPoint 는 전력을 포함한 에너지 사용량관련 정보를 수집하는 관제점이다. 하나의 관제점에서는 GEMS3500 과 같은 계측설비를 이용하여 에너지 관련 정보들을 수집 및 관리한다. GEMS3500 과 같은 계측설비는 멀티채널을 지원하여 하나의 장비로 다수의 관제 데이터를 수집할 수 있다. 각 채널은 공장내 하나 이상의 공정설비가 사용하는 에너지 관련 정보(전압 V, 유효전력 KW 등) 들이 수집된다.

다음 그림 1 은 실증 사이트 데이터를 기반으로 정의한 FEMS 데이터 온톨로지 일부이다.

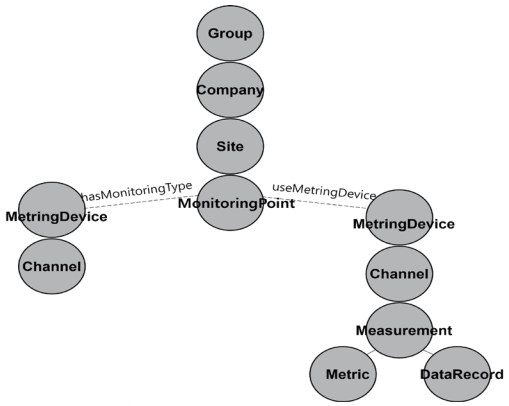

그림 1 FEMS 온톨로지 주요 클래스

온톨로지에 포함된 예시 클래스 정의는 다음과 같다.

```
ex:Company a owl:Class .
ex:Site a owl:Class .
ex:Group a owl:Class .
ex:MonitoringPoint a owl:Class .
ex:MeteringDevice a owl:Class .
ex:Channel a owl:Class .
ex:DataRecord a owl:Class .
```

하나의 스키마 파일을 기반으로 각 실증사이트의 실제 데이터를 활용한 인스턴스를 포함한 지식그래프를 생성했다. 다음은 두 회사의 지식그래프에 포함된 채널정보를 나타낸다.

```
ex:ssjj0_1_정밀금형센터_pm001_gems3500_pm001_1 a ex:Channel ;
    ex:DeviceName "GEMS3500" ;
    ex:TAG "RM01.PM001.01" ;
    ex:belongsTo ex:ssjj0_1_정밀금형센터_pm001 ;
    ex:feederName "[전력] 밀링가공 #1" ;
    ex:ip "10.233.155.219" ;
    ex:port "502" .

ex:wy000_1_옥외변전실_pm001_gems3500_pm001_1 a ex:Channel ;
    ex:DeviceName "GEMS3500" ;
    ex:TAG "SS01.PM001.01" ;
    ex:belongsTo ex:wy000_1_옥외변전실_pm001 ;
    ex:feederName "[전력] MAIN_22.9KV MAIN 차단기" ;
    ex:ip "10.210.1.111" ;
    ex:port "502" .
```

두 지식 그래프 모두 동일한 온톨로지를 기반으로 생성되었으므로, 동일 SPARQL 질의로 데이터 접근이 가능하다. 표준적인 방식으로 데이터 분석 및 추론이 가능해짐으로써 이상진단과 같은 응용 서비스도 효율적으로 개발이 가능해진다[2].

다음 그림 2 는 표준 온톨로지를 정의하고, 이를 기반으로 다양한 회사의 지식그래프를 효율적으로 구축하고 활용하는 절차에 대한 도식이다.

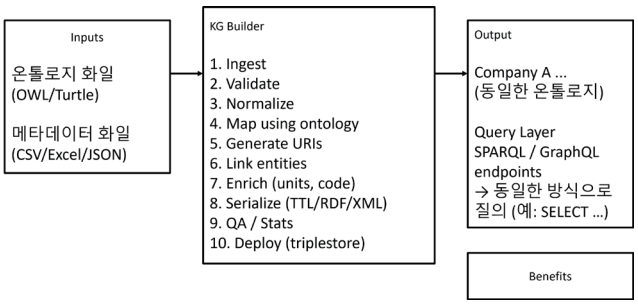

그림 2 지식그래프 구축 및 활용 절차

두 FEMS 의 RDF 데이터는 동일한 SPARQL 질의로 조회가 가능하다. 다음은 지식그래프내 저장된 채널정보(label, ip, port, tag)를 요청하는 질의코드 예시이다.

```
PREFIX ex: <http://example.org/fems/ssjj0#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
SELECT ?channel ?label ?ip ?port ?tag
WHERE {
  ?channel a ex:Channel .
  OPTIONAL { ?channel rdfs:label ?label . }
  OPTIONAL { ?channel ex:ip ?ip . }
  OPTIONAL { ?channel ex:port ?port . }
  OPTIONAL { ?channel ex:TAG ?tag . }
}
ORDER BY ?channel
```

Ⅲ. 결론

본 연구는 표준 온톨로지 스키마를 이용해 서로 다른 사업장의 FEMS 데이터를 RDF 기반 지식그래프로 구축·비교하였다. 동일 스키마를 적용함으로써 데이터 구조의 일관성과 질의 재사용성을 확보하였으며, 향후 SHACL 검증과 LLM-KG 융합 진단 시스템으로 확장 가능성을 확인하였다. 또한 실시간 RDF 스트리밍과 이상 이벤트 추론을 추가하여 온톨로지 기반 FEMS 의 실용성을 강화할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2025 년도 과학기술정보통신부(MSIT)의 재원으로 정보통신기획평가원(IITP)의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-02304333).

참 고 문 헌

[1] 김말희 외, “선택 가능하고 구성 가능한 표준 FEMS 플랫폼 기술,” 한국통신학회 추계종합학술대회, 2022.

[2] 김말희 외, “온톨로지 기반 설명가능성을 제공하는 공장 이상진단,” 한국통신학회 하계학술대회, 2025.