

전력 비즈니스 플랫폼 기반의 전력 도메인 온톨로지 구축 및 추론 방법 (The Method of Power Domain Ontology Construction and Reasoning based on Power Business Platform)

홍택은*, 유경호*, 김판구**

(Taekeun Hong, Kyungho Yu, Pankoo Kim)

요약

2010년 “스마트그리드 국가로드맵”을 시작으로 세계 최초의 국가 단위 스마트그리드 구축을 목표로 지능형전력망 기본계획 및 시행계획을 통해 스마트그리드 2030을 내세우며, 전력 인프라와 정보·통신 인프라가 융합된 고효율 차세대 전력망 구축이 진행되고 있다. 본 논문에서는 시행 계획의 표준인 “스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵”의 상위 개념모델과 하위 개념모델을 바탕으로 전력 비즈니스 플랫폼 기반의 전력도메인 온톨로지를 구축하고자 한다. 온톨로지는 지식을 개체의 속성과 개체 간 관계를 정의함에 따라 계층적 구조를 고려하기 때문에 스마트그리드 개념 모델을 표현하고 활용하기에 적합하나 이와 관련된 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 개념 모델을 상위 온톨로지와 하위 온톨로지로 구분하여 상위 온톨로지를 스마트그리드 관련 분야에 대한 대분류로 정의하고 하위 온톨로지를 상위 온톨로지에 대한 세부적인 시스템 및 기능으로 정의하여 온톨로지를 구축한다. 뿐만 아니라 전력계통에서 발생할 수 있는 다양한 상황의 시나리오를 구성하고 추론 엔진과 질의를 통해 유의미한 추론 결과를 도출했다. 이를 통해 본 논문에서 구축한 전력도메인 온톨로지로서 실제 상황에서 발생하는 문제를 대비하거나 해결하는 데 활용 가능성을 보인다.

■ 중심어 : 전력 비즈니스 플랫폼 ; 온톨로지 ; 전력 도메인 ; 전력계통

Abstract

Starting with the “Smart Grid National Road Map” in 2010, the Smart Grid 2030 was introduced through the basic plan and implementation plan of the intelligent power grid with the goal of building the world’s first national smart grid. In this paper, we intend to build a power domain ontology based on the power business platform based on the upper and lower conceptual models of the “Smart Grid Interoperability Standard Framework and Roadmap”, the standard of implementation plan. Ontology is suitable for expressing and utilizing the smart grid conceptual model because it considers hierarchical structure as knowledge defines the properties of entities and relationships between entities, but there is no research related to them. Therefore, in this paper, the upper ontology was defined as a major category for smart grid-related fields, and the lower ontology was defined as detailed systems and functions for the upper ontology to construct the ontology. In addition, scenarios in various situations that could occur in the power system were constructed and significant inference results were derived through inference engines and queries.

■ keywords : Power Business Platform ; Ontology ; Power Domain ; Electric Power System

I. 서론

2010년 “스마트그리드 국가로드맵”을 통해 전력 인프라와 정보·통신 인프라가 융합된 고효율 차세대 전력망 구축을 위한 스마트그리드 2030을 내세우며, 지능형 전력망, 지능형 소비자, 지능형 운송, 지능형 신재생, 지능형 전력서비스로 구성된 5대

분야별 실행 로드맵을 목표로 하는 국가 차원의 종합적 스마트그리드 계획이 발표되었다. 이는 한국형 스마트그리드를 구축하기 위한 첫 단계이며, 비즈니스 분야별로 영역을 구분하여 5대 분야를 선정하였다[1]. 국가 단위의 스마트그리드를 구축하는데 시스템 구축 시간 및 비용 감축과 다양한 시스템, 도메인 간 상호연동성을 보장할 수 있는 환경 제공과 같은 표준화 프레임워크를 위한 “스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드

* 정회원, 조선대학교 컴퓨터공학과 박사과정

** 정회원, 조선대학교 컴퓨터공학과 교수

본 연구는 한국전력공사의 2018년 기초연구개발 과제 연구비에 의해 지원되었음(과제번호: R18XA06-16)

접수일자 : 2020년 06월 22일

게재확정일 : 2020년 06월 23일

교신저자 : 김판구, e-mail : pkkim@chosun.ac.kr

맵 1.0"이 2012년에 발표되었다. 이는 표준화 기반의 구축을 위하여 스마트그리드 상호 운용성 확보와 표준화가 필요한 부분에 대한 참조 모델 정의 및 로드맵과 관련된 내용으로 구성되어 있다[2]. 국가 차원의 스마트그리드 구축은 3단계로 진행되며, 2012년에 “제1차 지능형전력망 기본계획 및 시행계획” 수립을 통해 2016년까지 거점도시의 스마트그리드 구축을 목표로 하고 이를 성공적으로 수행하기 위한 비전 및 전략과 관련된 내용이 발표되었다[3]. 2017년에는 “스마트그리드 상호운용성 프레임워크 2.0”를 발표하며, 스마트그리드 산업 육성 및 보급·확산에 필요한 분야별 표준 프레임워크를 제시했다. 이는 스마트그리드 시스템을 구성하기 위한 요소들과 구성요소 간의 정보·통신 인터페이스, 이와 관련된 표준을 제시하며, 표준 적용 및 현황 분석을 통한 표준화 로드맵 개발을 목표로 한다[4]. 2018년에는 “제2차 지능형전력망 기본계획”을 통해 이전까지의 지능형전력망 주요 실적에 대해 분석하였으며, 2018년부터 2022년까지의 계획을 발표했다[5]. 이처럼 한국의 스마트그리드는 2010년부터 2030년까지 국가 단위의 스마트그리드를 구현하는 것을 목표로 하고 있으며, 이는 세계 최속이다. 세계 각 국가에서도 각 국가에 적합한 스마트그리드 개념 및 모델에 대한 연구개발이 진행되고 있으나 한국의 스마트그리드는 스마트그리드를 비즈니스 플랫폼으로 공식화하였고 전기차 충전 인프라를 지능형 운송으로 정의하여 별도의 도메인으로 구성하였으며, 발전 및 공급 측면에서 친환경 기반의 신재생에너지와의 연계에 높은 비중을 두었다는 점을 가장 큰 차이점으로 볼 수 있다[6]. 본 논문에서는 국가 차원에서 진행되고 있는 스마트그리드 구축에서 비즈니스 플랫폼으로 정의한 스마트그리드를 전력 도메인 기준으로 온톨로지를 구축하고 전력계통에서 발생할 수 있는 상황을 가상 시나리오를 통해 추론하여 전력계통 관계자들에게 유의미한 정보를 제공하기 위한 방법을 제안한다.

2장에서는 전력 도메인 온톨로지 구축에 활용한 스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵 2.0과 온톨로지에 대해 기술하며, 3장에서는 전력 비즈니스 플랫폼 온톨로지 구축 방법에 대해 기술한다. 4장에서는 온톨로지 추론 결과에 대해 기술하며, 5장에서 결론 및 향후연구로 마무리한다.

II. 관련연구

스마트그리드 상호운용성 확보와 표준화 기반구축을 위해 “스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵 1.0”을 발간하였으며[2], 사용자의 활동성을 증대시키고 스마트그리드의 시스템별 적용 표준을 제시하기 위해 “스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵 2.0”을 발간했다[3]. 이를 통해 스마트그리드 산업 육성 및 보급·확산에 필요한 분야별 표준 프레임워크를 제시하였으며, 스마트그리드를 구성하

는 주요 요소를 개념적으로 구분하여 도메인별 비즈니스, 기능적 사항을 고려한 시스템을 구성하는 가이드라인을 제시했다. 한국 스마트그리드 개념모델을 상위 개념모델과 하위 개념모델로 분류하였으며, 상위 개념모델은 4가지 개념적 도메인으로써 한국 스마트그리드 시장 모델을 기반으로 비즈니스 역할을 통해 정의했다. 하위 개념모델은 상위 개념모델로부터 하위 개념의 기술도메인 모델로써 구체적인 기술영역의 역할로 정의했다.

온톨로지는 인간이 공유하는 개념을 명확하고 명시적으로 정의하여 추론 및 정보검색에 활용하는 지식처리 기술 중 하나이다. 기존 데이터베이스는 자원 표현의 한계를 가지고 있으며, 개체별 관계를 고려하지 않기 때문에 컴퓨터가 의미정보를 이해할 수 없으나 온톨로지는 개체의 관계를 고려하기 때문에 자원을 식별하고 추론이 가능하다. 뿐만 아니라 개체의 정보 및 관계를 계층 구조와 구문의 규칙을 통해 정의하기 때문에 상호운용성을 통해 유사한 특징을 갖는 자원에 재사용 또는 확장이 용이하다는 장점을 가진다[7]. 따라서 온톨로지는 한국 스마트그리드 표준 프레임워크를 모델링함으로써 각 도메인의 의미정보를 고려하여 정의하고 도메인 간 관계를 정의하며, 계층으로 표현하기에 적합하나 이와 관련된 연구는 전무한 실정이다.

본 논문에서는 “스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵 2.0”을 바탕으로 상위 개념모델과 하위 개념모델을 상위 온톨로지와 하위 온톨로지로 정의하여 전력 비즈니스 플랫폼 기반의 전력 도메인 온톨로지를 구축했다. 하위 온톨로지는 국가기간산업에서 가장 중요한 요소인 전력 공급과 관련된 전력계통 부분을 통해 구축 방법에 대해 기술하였으며, 전력계통과 관련된 국제/국내 표준을 이용했다[8-21]. 뿐만 아니라, 다양한 상황에서 전력계통 관계자들이 사고 예방 및 대처에 유의미한 정보를 제공하기 위해 전력계통에서 발생할 수 있는 상황을 가상 시나리오를 통해 추론 결과를 도출한다.

III. 전력 비즈니스 플랫폼 온톨로지 구축

본 장에서는 전력 비즈니스 플랫폼 기반의 전력 도메인 온톨로지 구축에 대한 방법을 기술한다. 상위 온톨로지는 스마트그리드 관련 분야에 대한 대분류이며, 하위 온톨로지는 상위 온톨로지에 대한 세부적인 시스템 및 기능에 대해 정의한다. 온톨로지 구축에 Protege 5.5를 이용했다.

1. 상위 온톨로지

상위 온톨로지는 한국 스마트그리드 시장 모델을 기반으로 한 비즈니스 역할을 통해 정의된다. 상위 온톨로지는 LEVEL 0부터 LEVEL 4까지 총 5개의 계층으로 정의했으며, 그림 1과 같다. 최상위 계층이 되는 LEVEL 0 계층은 전력도메인 클래스로

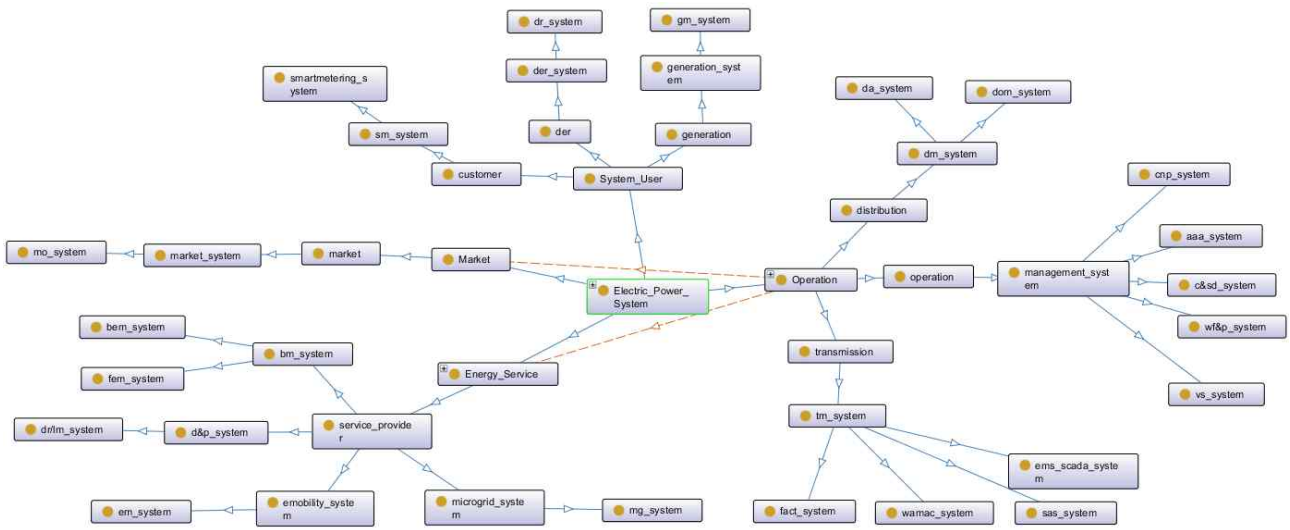


그림 1. 전력 도메인 온톨로지의 상위 온톨로지 (LEVEL 0 ~ LEVEL 4)

정의했으며, 상위 온톨로지의 대분류가 되는 LEVEL 1 계층은 계통 사용자(System_User), 운영(Operation), 시장(Market), 에너지서비스(Energy_Service)로 정의했다.

LEVEL 2 계층은 LEVEL 1 계층의 하위 계층으로 LEVEL 1 계층의 비즈니스에 따라 보다 세분화된 역할과 절차에 따라 정의하였으며, 표 1과 같다.

LEVEL 3 계층은 LEVEL 2 계층의 개념에 따라 물리적으로 비즈니스가 직접 수행되는 시스템으로 정의했으며, 이는 표 2와 같다. LEVEL 4 계층은 각 관리 시스템에 따른 비즈니스적 관점의 구체적이고 다양한 시스템으로 구성되어 있다. 이는 표 3과 같다.

표 1. 상위 온톨로지의 LEVEL 1과 LEVEL 2에 대한 설명

Level 1	Level 2	설 명
계통 사용자 (Grid_User)	발전 (generation)	전기를 생산하는 과정으로 원자력, 수력, 화력, 풍력, 태양열, 지열 등과 같은 다양한 발전 공급원과 관련된 클래스
	분산자원 (der)	기존 전력망과 신재생 발전원, 전기자동차 등과의 안정적인 연계 및 운영과 관련된 클래스
	소비자 (customer)	전력 소비자의 지역 및 에너지 효율과 관련된 서비스 클래스
운영 (Operation)	운영 (operation)	시스템을 안정적이고 신뢰성 있도록 운영하기 위한 클래스
	송전 (transmission)	발전에서 배전에 이르기까지 다수의 변전소를 거치는 전력수송과 관련된 클래스
	배전 (distribution)	송전 이후에 소비자 영역으로 전기를 공급하기 위한 다양한 구조의 배전선로를 거치는 과정과 관련된 클래스
시장 (Market)	시장 (market)	전력 판매를 위해 거래가 이루어지는 과정으로 전력계통의 수요균형을 맞추기 위한 클래스
에너지 서비스 (Energy_Service)	사업자 (service_provider)	사업자가 소비자에게 에너지서비스를 제공하는 과정으로 다양한 종류의 서비스를 제공하는 것과 관련된 클래스

표 2. 상위 온톨로지의 LEVEL 2와 LEVEL 3에 대한 설명

Level 2	Level 3
발전 (generation)	발전 시스템 (generation_system)
분산자원 (der)	분산자원운영시스템 (der_system)
소비자 (customer)	스마트미터링 시스템 (sm_system)
운영 (operation)	관리 시스템 (management_system)
송전 (transmission)	송전관리 시스템 (tm_system)
배전 (distribution)	배전관리 시스템 (dm_system)
시장 (market)	시장 시스템 (market_system)
사업자 (service_provider)	수요및생산(발전)유연 시스템 (d&p_system)
	마이크로그리드 시스템 (microgrid_system)
	이동빌리티 시스템 (emobility_system)
	빌딩관리 시스템 (bm_system)

상위 온톨로지서서 각 클래스의 관계를 표현하는 속성은 3가지이며, 거래 이용 및 조정(tradeAdjustTo), 에너지서비스 제공(ServiceOfferTo), 거래(dealTo)로 LEVEL 1 계층의 클래스 간의 관계이다. 각 클래스의 하위 클래스를 포함하여 관계를 정의하는 domain과 range를 이용하여 하위 클래스 간의 관계도 이와 같은 관계를 상속받는다. 이는 표 4와 같다.

표 3. 상위 온톨로지의 LEVEL 3과 LEVEL 4에 대한 설명

Level 3	Level 4	설 명
발전 시스템 (generation_system)	발전관리 시스템 (gm_system)	발전 시스템의 운영과 관련된 모든 활동 및 기능을 지원하고 관리하는 실시간 정보 시스템
분산자원운영 시스템 (der_system)	분산자원 시스템 (dr_system)	전사적인 분산자원 관리/운영 수행을 통한 감시/유지/관리를 수행하는 시스템
스마트미터링 시스템 (sm_system)	스마트미터링 시스템 (smartmetering_system)	소비자의 계약/요금 같은 기본 기능뿐만 아니라 계량 데이터의 수집/관리/분석을 통한 서비스를 제공하는 시스템
	진단 및 상태감지 시스템 (c&sd_system)	전력계통의 상태를 진단/감지하여 안정적인 운영을 돕는 시스템
	통신네트워크관리 시스템 (cnm_system)	전력도메인온톨로지서 사용되는 광역(WAN), 근거리(LAN), 이웃영역(NAN)과 같은 통신 네트워크를 관리하는 시스템
	시간동기화 시스템 (vs_system)	시스템 내에서 통일된 시간 관리를 보장하기 위하여 클록 마스터 정의, 시간분포/클록동기화 서비스를 지원하는 시스템
	인증,인가,계정 시스템 (aaa_system)	접근하는 대상을 제어하고 제어하기 위한 방법에 대한 장치/서비스를 제공하는 시스템
관리 시스템 (management_system)	기상관측 및 예측 시스템 (wf&p_system)	기상 관측 및 예측을 통해 전력의 공급과 수요를 예측하여 전력계통의 운영계획 수립/운영에 도움을 주는 시스템
	변전소자동화 시스템 (sas_system)	변전소 및 이와 관련된 설비에 대한 보호/모니터링/제어를 수행하는 시스템
	광역정전방지 시스템 (wamac_system)	정전 방지 및 정전 영향을 최소화하고 안정 범위 내에서 부하 증가가 계속되는 상황의 불안정과 붕괴로부터 전력계통을 보호하는 시스템
	EMS SCADA 시스템 (ems_scada_system)	실시간 정보 시스템과 배전 센터에서 송전 자동화에 사용되는 운영 활동 및 기능을 지원하는 시스템
송전관리 시스템 (tm_system)	유연송전 시스템 (fact_system)	동적 전압 제어, 송전 능력 및 안정성 증가, 재생 가능한 전력의 전력망 통합, 전력망의 전력 품질 유지와 같은 기능을 활성화하기 위한 송전 시스템
배전관리 시스템 (dm_system)	배전자동화 시스템 (da_system)	변전소 사이의 기능결합, 접지, 스위치, 연결 분리 장치, 회로 차단기, 급전선과 같은 MV 네트워크 자체에 포함되는 구성요소의 자동화된 동작을 수행하는 시스템
	배전계통운영관리 시스템 (dom_system)	실시간 정보 시스템과 분배 센터 및 제어실에서 자동화와 관련된 모든 운영 활동 및 기능을 지원하는 시스템
시장 시스템 (market_system)	시장운영 시스템 (mo_system)	전력과 관련된 제품을 구매/판매하는데 시장 운영규칙에 따라 구매자와 판매자가 거래를 수행하는 시스템
수요및생산(발전)유연 시스템 (d&p_system)	수요반응/부하관리 시스템 (dr/lm_system)	소비자 구내 도메인에 위치한 스마트 가전 및 에너지 관리 게이트웨이 등과 연계되어 수요와 공급을 관리하는 시스템
마이크로그리드 시스템 (microgrid_system)	마이크로그리드 시스템 (mg_system)	배전과 분산자원 도메인 내에 위치한 전력 및 분산자원을 포함한 전력계통의 운영 및 기능을 지원하는 시스템
이동빌리티 시스템 (emobility_system)	이동빌리티 시스템 (em_system)	계통 운영 측면에서 전기자동차와 같은 이동빌리티를 효율적으로 관리하기 위한 시스템
빌딩관리 시스템 (bm_system)	공장에너지관리 시스템 (fem_system)	제조,공정,설비관리와 같은 공장 운영에서 에너지효율을 향상시키기 위한 모니터링, 데이터 수집/분석을 수행하는 시스템
	빌딩에너지관리 시스템 (bem_system)	빌딩에서 사용하는 에너지의 효율성, 경제성, 안정성을 고려한 운영을 위한 자동제어 최적화, 모니터링, 운영관리와 관련된 시스템

표 4. 상위 온톨로지의 클래스 사이의 관계와 속성

Domain (Subject)	Object property (Predicate)	Range (Object)	설 명
Operation	tradeAdjustTo	Market	거래 이용 및 조정
Operation	tradeAdjustTo	Energy_service	거래 이용 및 조정
Operation	transmitPowerTo	Grid_User	전력 전송
Energy_Service	ServiceOfferTo	Grid_User	에너지서비스 제공
Energy_Service	dealTo	Market	거래

2. 하위 온톨로지

하위 온톨로지는 상위 온톨로지의 최하위 계층인 LEVEL 4 계층에서 해당 시스템이 비즈니스에 따라 실제 운영됨과 관련된 도메인으로 구성되어 있다. 본 장에서는 하위 온톨로지의 일부분으로 전력계통과 관계있는 발전, 변전에 해당하는 시스템을 온톨로지로 구축하는 방법을 기술한다.

가. 발전관리 시스템 온톨로지

발전관리 시스템은 발전 시스템의 운영과 관련된 모든 활동 및 기능을 지원하고 관리하는 실시간 정보 시스템이다. 본 논문에서 발전관리 시스템을 온톨로지로 구축하기 위해서 IEC 61400-25-x: Wind turbines와 KS C IEC 61400-25-x: 풍력터빈을 활용했으며, 표 5는 발전관리 시스템 온톨로지 구축에 참고한 국내/국제 표준 리스트이다.

표 5. 발전관리 시스템 온톨로지 구축에 참고한 표준 리스트

표준번호	표준명
KS C IEC 61400-25-1	풍력 터빈 - 풍력 발전소의 모니터링 및 제어용 통신 - 원리 및 모델에 관한 종합적 기술
KS C IEC 61400-25-5	풍력 터빈 - 풍력 발전소의 모니터링 및 제어용 통신 - 적합성시험
KS C IEC 61400-25-6	풍력 터빈 - 풍력 발전소의 모니터링 및 제어용 통신 - 상태 감시용 논리 노트 클래스와 데이터 클래스
IEC 61400-25-1	Wind energy generation systems - Communications for monitoring and control of wind power plants - Overall description of principles and models
IEC 61400-25-2	Wind energy generation systems - Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models
IEC 61400-25-3	Wind energy generation systems - Communications for monitoring and control of wind power plants - Information exchange models
IEC 61400-25-4	Wind energy generation systems - Communications for monitoring and control of wind power plants - Mapping to communication profile
IEC 61400-25-5	Wind energy generation systems - Communications for monitoring and control of wind power plants - Conformance testing
IEC 61400-25-6	Wind energy generation systems - Communications for monitoring and control of wind power plants - Logical node classes and data classes for condition monitoring

발전관리 시스템 온톨로지는 LEVEL 0 계층부터 LEVEL 4 계층까지 총 5개의 계층으로 구성하였으며, 계층마다 풍력 발전과 관련된 표준을 참고하였고 대부분 데이터와 통신을 이용한 논리 데이터 모델과 관련된 내용으로 구성했다. 그림 2는 발전관리 시스템 온톨로지의 LEVEL 0 계층부터 LEVEL 4 계층까지를 보여준다.

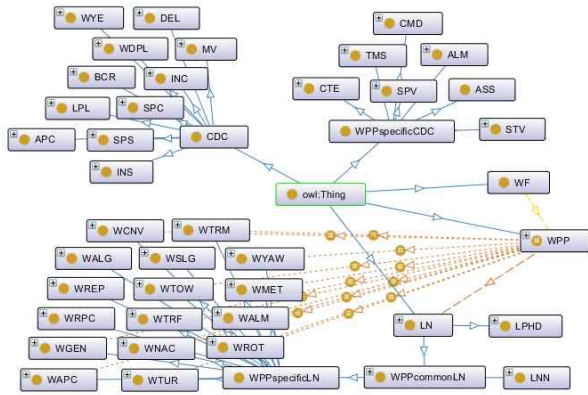


그림 2. 발전관리 시스템 온톨로지의 클래스 (LEVEL 0 ~ LEVEL 4)

최상위 계층이 되는 LEVEL 0은 발전관리 시스템 온톨로지 로 정의했으며, LEVEL 1 계층은 풍력 발전소와 관련된 시설, 기능을 수행하기 위한 논리 단위의 노드, 데이터와 관련된 클래스로 정의했다. 표 6은 발전관리 시스템 온톨로지의 LEVEL 0 계층과 LEVEL 1 계층에 대한 설명이다.

표 6. 발전관리 시스템 온톨로지의 LEVEL 0과 LEVEL 1 에 대한 설명

Level 0	Level 1	설 명
발전관리 시스템 (gm_system)	풍력 발전 지역 (WF)	풍력 발전 지역 정보 클래스
	풍력 발전소 (WPP)	풍력 발전소 정보 클래스
	논리 노드 (LN)	데이터를 교환하는 기능의 최소 부분으로 비즈니스 개념을 수행하기 위한 기능 클래스
	풍력 발전소 특정 공통 데이터 (WPPspecificCDC)	풍력 발전소에 대한 특정 공통 데이터 클래스
	공통 데이터 (CDC)	논리노드의 속성을 정의하기 위한 데이터와 관련된 클래스

LEVEL 2 계층은 역할에 따른 기능을 수행하기 위한 최소 단위로 노드 및 각종 기능을 정의하고 각 노드와 기능의 역할을 정의 하기 위한 데이터 클래스로 구성되어 있다. 풍력 발전 지역 클래스와 풍력 발전소 클래스는 LEVEL 1 계층이 마지막 계층이며, 각 클래스에 해당하는 데이터를 가진다. 표 7은 발전관리 시스템 온톨로지의 LEVEL 1 계층과 LEVEL 2 계층에 대한 설명이다.

논리 노드 클래스는 풍력 발전 프로세스에서 각 기능과 역할을 노드와 관련된 논리적인 물리 장치 클래스와 풍력 발전소 공통 논리 노드 클래스를 하위 클래스로 정의했으며, 풍력 발전소 특정 공통 데이터 클래스는 풍력 발전소에서 발생하는 공통 데이터에 대한 정보를 가지는 클래스를 하위 클래스로 정의했다. 공통 데이터 클래스는 전력계통 온톨로지서 발전, 송전, 배전에서 발생하는 공통 데이터에 대한 정보를 가지는 클래스를 하위 클래스

표 7. 발전관리 시스템 온톨로지의 LEVEL 1과 LEVEL 2 에 대한 설명

Level 1	LEVEL 2	설 명
논리 노드 (LN)	논리적인 물리 장치 (LPHD)	물리적 장치 정보 노드 클래스
	풍력 발전소 공통논리노드 (WPPcommonLN)	풍력 발전소에서 발전에 필요한 기능을 정의한 풍력 발전소에 대한 공통 논리 노드 클래스
풍력 발전소 특정 공통 데이터 (WPPspecificCDC)	설정값 (SPV)	설정값 정보와 관련된 클래스
	상태 값 (STV)	상태 정보와 관련된 클래스
	경보 설정 상태 (ASS)	경보 설정 상태와 관련된 클래스
	이벤트 카운팅 (CTE)	이벤트 발생 횟수와 관련된 클래스
	경보 (ALM)	경보 데이터와 관련된 클래스
	명령 (CMD)	명령 데이터와 관련된 클래스
	상태 타이밍 (TMS)	시기에 따른 상태 데이터와 관련된 클래스
공통 데이터 (CDC)	3상 시스템 (DEL)	3상 시스템의 상 사이에 관련된 측정 값.
	이진 카운터 판독 (BCR)	이진 카운터 판독 정보와 관련된 클래스
	3상 시스템 접지 (WYE)	3상 시스템의 상 사이의 접지 관련 측정 값.
	측정 값 (MV)	측정값 정보와 관련된 클래스
	장치 명판 (WDP)	장치명판의 정보와 관련된 클래스
	정수 제어 (INC)	제어 가능한 정수값
	단일 지점 제어 (SPC)	제어가능한 단일 지점
	논리 노드 명판 (LPL)	논리 노드 명판 정보와 관련된 클래스
	정수 상태 (INS)	정수 상태와 관련된 클래스
	아날로그 프로세스 제어 (APC)	제어 가능한 아날로그 프로세스 값
단일점 상태 (SPS)	단일점 상태와 관련된 클래스	

로 정의했다. 논리 노드 클래스와 공통 데이터 클래스는 LEVEL 2 계층이 최하위 계층이다.

LEVEL 3 계층은 풍력 발전소의 실제 기능과 관련 있는 노드들에 대한 클래스로 논리 노드0 클래스와 풍력 발전소 특정 논리 노드 클래스로 정의했다. 표 8은 이를 설명한다.

표 8. 발전관리 시스템 온톨로지의 LEVEL 2와 LEVEL 3 에 대한 설명

Level 2	Level 3	설 명
풍력 발전소 공통 논리 노드 (WPPcommonLN)	논리 노드0 (LNN0)	논리 장치의 공통 정보 클래스
	풍력 발전소 특정 논리 노드 (WPPspecificLN)	풍력 발전소에서 발전에 필요한 기능을 정의한 풍력 발전 특정 논리 노드 클래스

LEVEL 3 계층의 논리 노드(0)은 논리장치의 공통 정보를 가지고 있으며, 풍력 발전소 특정 논리 노드는 풍력 발전에서만 발생하는 풍력 터빈과 관련된 정보를 가지는 클래스이다. 논리 노드(0)은 LEVEL 3 계층이 최하위 계층이다.

LEVEL 4 계층은 풍력 발전 표준에서 기술된 논리 노드 종류가 풍력 터빈과 풍력 발전소와 관련 있는 부분의 데이터 정보를 이용하여 정의했으며, 표 9와 같다.

표 9. 발전관리 시스템 온톨로지의 LEVEL 3과 LEVEL 4에 대한 설명

Level 3	Level 4	설명
풍력 발전소 특정 논리 노드 (WPPspecificLN)	WTOW	풍력 터빈 타워 정보
	WMET	풍력 발전소의 기상 정보
	WALG	풍력 터빈의 아날로그 로그 정보
	WALM	풍력 발전소의 경보 정보
	WTRM	풍력 터빈 전송 정보
	WCNV	풍력 터빈 변환기 정보
	WYAW	풍력 터빈의 요잉(yawing) 정보
	WTRF	풍력 터빈의 변압기 정보
	WGEN	풍력 터빈의 발전기 정보
	WNAC	풍력 터빈 나셀(nacelle) 정보
	WAPC	풍력 발전소의 유효 전력 제어 정보
	WTUR	풍력 터빈의 일반 정보
	WROT	풍력 터빈의 로터(rotor) 정보
	WSLG	풍력 터빈의 상태 로그 정보
	WRPC	풍력 발전소의 무효 전력 제어 정보
WREP	풍력 터빈의 보고서 정보	

발전관리 시스템 온톨로지서 각 클래스의 관계를 표현하는 속성은 3가지이며, 그림 3과 같다.

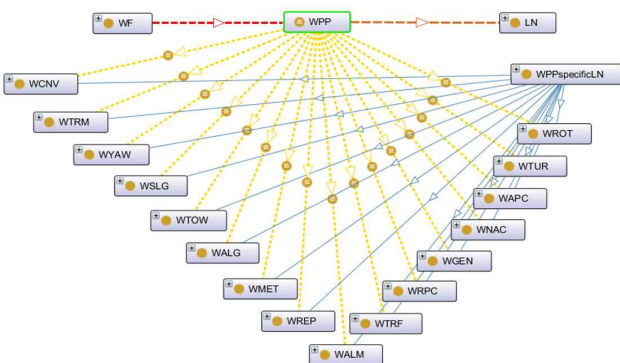


그림 3. 발전관리 시스템 온톨로지의 클래스 간 관계와 속성

공통 논리 노드를 가짐(hasCommonLN)이 주황색 점선이고 특정 논리 노드를 가짐(hasSpecificLN)이 노란색 점선, 풍력발전소

를 가짐(hasWPP)이 빨간색 점선이다. 각 클래스의 하위 클래스를 포함하여 관계를 정의하는 domain과 range를 이용하여 하위 클래스 사이도 이와 같은 관계에 대한 속성을 상속받는다.

나. 변전소자동화 시스템 온톨로지

변전소자동화 시스템은 전력계통에서 변전과 관련된 시스템으로써 변전소 및 이와 관련된 설비에 대해 보호/모니터링/제어를 수행한다. 변전소자동화 시스템 온톨로지는 데이터모델을 활용하여 기능 역할을 하는 논리노드와 논리노드 사이에 주고받는 데이터의 형식을 정의하는 통신 표준화를 참고하여 구축했다.

본 논문에서 변전소자동화 시스템을 온톨로지로 구축하기 위해서 KS C IEC 61850-x: 변전소 통신 네트워크 및 시스템을 활용했으며, 표 10은 변전소자동화 시스템 온톨로지 구축에 참고한 국내 표준 리스트이다.

표 10. 변전소자동화 시스템 온톨로지 구축에 참고한 표준 리스트

표준번호	표준명
KS C IEC 61850-5	변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 기능 및 장치 모델을 위한 통신 요구사항
KS C IEC 61850-7-1	변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 변전소와 급전장비의 기본 통신구조 - 원리 및 모델
KS C IEC 61850-7-2	변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 변전소와 급전장비의 기본 통신 구조 - 추상 통신 서비스 인터페이스(ACSI)
KS C IEC 61850-7-3	변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 변전소와 급전장비의 기본 통신 구조 - 공통 데이터 클래스
KS C IEC 61850-7-4	변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 변전소와 급전장치의 기본 통신 구조 - 호환 논리 노드 클래스와 데이터 클래스

변전소자동화 시스템 온톨로지는 LEVEL 0 계층부터 LEVEL 6 계층까지 총 7개의 계층으로 구성했고 각 계층마다 변전소 통신 네트워크 및 시스템과 관련된 표준을 참고했으며, 대부분 데이터와 통신을 이용한 논리 데이터 모델과 관련된 내용으로 구성했다. 그림 4는 변전소자동화 시스템 온톨로지의 LEVEL 0 계층부터 LEVEL 4 계층까지를 보여준다.

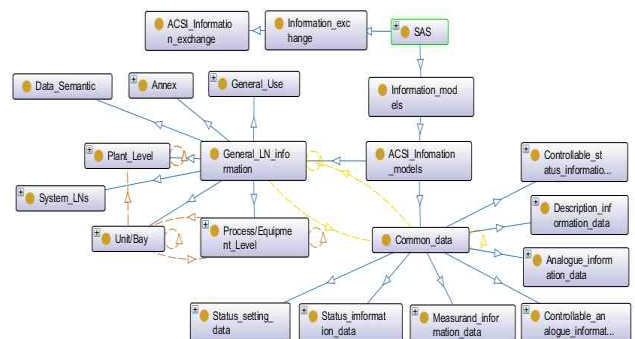


그림 4. 변전소자동화 시스템 온톨로지의 클래스 (LEVEL 0 ~ LEVEL 4)

최상위 계층이 되는 LEVEL 0은 변전소자동화 시스템 클래스로 구성했으며, LEVEL 1 계층은 변전소자동화 시스템에서 발생하는 데이터를 잘 관리하기 위한 기능과 관련된 정보 모델 클래스와 정보를 효율적으로 전달하기 위한 기능과 관련된 정보 모델 클래스로 구성된다. 표 11은 변전소자동화 시스템 온톨로지의 LEVEL 0 계층과 LEVEL 1 계층을 보여준다.

표 11. 변전소자동화 시스템 온톨로지의 LEVEL 0과 LEVEL 1에 대한 설명

Level 0	Level 1	설명
변전소자동화 시스템 (sas_system)	정보 모델 (Information model)	정보모델링에 관련 정보를 가진 클래스
	정보 교환 (Information exchange)	정보교환과 관련된 기능 노드들이 정의된 클래스

LEVEL 2 계층은 추상 정보 모델링의 개념을 기반으로 하여 변전소자동화 시스템에서 발생하는 데이터를 모델링하는 추상통신 정보 모델링 클래스와 정보 교환을 위한 추상통신 정보 교환 클래스로 구성되며, 표 12와 같다.

표 12. 변전소자동화 시스템 온톨로지의 LEVEL 1과 LEVEL 2에 대한 설명

Level 1	Level 2	설명
정보 모델 (Information model)	추상통신 정보 모델링 (ACSL_Information_models)	정보모델링에 관련 정보를 가진 클래스
정보 교환 (Information exchange)	추상통신 정보 교환 (ACSI_Information_exchange)	정보교환과 관련된 기능 노드들이 정의된 클래스

데이터를 변전소자동화 시스템 내에서 관리하는 부분에 중점을 두기 위해 추상통신 정보 교환은 LEVEL 2 계층까지만 정의했으며, LEVEL 3 계층에서는 추상통신 정보 모델링의 하위 클래스로 기능의 역할을 하는 일반적인 논리 노드 정보 클래스와 논리 노드가 공통으로 사용하는 데이터에 관한 공통 데이터 클래스를 정의했다. 표 13은 변전소자동화 시스템 온톨로지의 LEVEL 2 계층과 LEVEL 3 계층에 대한 설명이다.

표 13. 변전소자동화 시스템 온톨로지의 LEVEL 2와 LEVEL 3에 대한 설명

Level 2	Level 3	설명
추상통신 정보 모델링 (ACSL_Information_models)	일반적인 논리 노드 정보 (General_LN_information)	변전소 어플리케이션과 관련된 장치와 정보 모델을 규정하고 논리 노드 이름과 데이터 이름, 논리 노드와 데이터 간 관계를 다루는 class
	공통 데이터 (Common data)	변전소 어플리케이션에 관련된 공통된 속성 타입과 데이터를 다루는 class

LEVEL 4 계층에서는 일반적인 논리 노드 정보 클래스의 하위 클래스로 변전소자동화 시스템의 물리적인 각 부분의 기능에 따라 분류하여 클래스를 정의했으며, 변전소자동화 시스템에서 발생하는 데이터에 따라 공통 데이터 클래스를 정의했다. 표 14은 변전소자동화 시스템의 LEVEL 4 계층을 설명한다.

표 14. 변전소자동화 시스템 온톨로지의 LEVEL 3과 LEVEL 4에 대한 설명

Level 3	LEVEL 4	설명
일반적인 논리 노드 정보 (General_LN_information)	시스템 논리 노드 (System_LNs)	시스템 논리 노드 정의/제어/동작 및 논리 장치와 논리 노드를 구현하는 물리장치에 대한 정보를 가진 클래스
	유닛/베이 (Unit/Bay)	물리적인 계층인 Unit/Bay 계층에서 작동하는 기능과 관련된 논리 장치와 노드에 관한 정보를 가진 클래스
	일반적인 사용 (General_Use)	일반 참조와 관련된 정보를 다루는 클래스
	처리/장비 계층 (Process/Equipment_Level)	process 계층에서 작동하는 기능과 관련된 논리 장치와 노드, 장비에 관한 정보를 가진 클래스
	시맨틱 데이터 (Data_Semantic)	의미적인 데이터를 정의하는 노드에 관한 클래스
	부록 (Annex)	부가적인 정보를 제공하는 클래스
공통 데이터 (Common data)	공장 단계 (Plant_Level)	공장 단계에서 요구되는 기능에 대한 논리 노드 클래스
	상태 정보 데이터 (Status information data)	상태 정보를 위한 공통 데이터를 정의하는 클래스
	제어가능한 상태 정보 데이터 (Controllable status information data)	기본적인 제어가능 상태 정보를 정의하는 클래스
	아날로그 정보 데이터 (Analogue information data)	기본적인 아날로그 데이터를 정의하는 클래스
	설명 정보 데이터 (Description information data)	기본적인 설명정보를 정의하는 클래스
	제어가능한 아날로그 정보 데이터 (Controllable analogue information data)	기본적으로 제어가능한 아날로그 정보를 정의하는 클래스
	상태 설정 데이터 (Status setting data)	기본적으로 설정가능한 상태 데이터에 대해 정의하는 클래스
측정량 정보 데이터 (Measurand information data)	기본 측정량 정보에 대해 정의함.	

LEVEL 5 계층에서는 변전소자동화 시스템에서 기능에 해당하는 부분에 대해 각 부분을 논리 노드로 정의하기 위한 클래스와 공통 데이터의 하위 클래스를 세분화하여 구체적으로 정의하기 위한 클래스로 구성되며, LEVEL 4 계층의 시맨틱 데이터는 논리 노드로 표현하지 않기 때문에 LEVEL 5 계층에서 정의하지 않는다. 표 15는 변전소자동화 시스템 온톨로지의 LEVEL 4 계층과 LEVEL 5 계층을 설명한다.

표 15. 변전소자동화 시스템 온톨로지의 LEVEL 4과 LEVEL 5에 대한 설명

LEVEL 4	LEVEL 5	설 명
시스템 논리 노드 (System_LNs)	L	논리노드
유닛/베이 (Unit/Bay)	C	제어
	P	보호기능
	R	보호관련기능
	A	자동 제어
	M	제측 및 측정
일반적인 사용 (General_Use)	G	일반
처리/장비 계층 (Process/Equipment_Level)	S	센서와 감시
	X	개폐기
	T	제기용변성기
	Y	변압기
부록 (Annex)	LN_extension_Rule	논리 노드 확장 규칙
	Data_extension_Rule	데이터 확장 규칙
	Modeling_Example	모델링 예시
공장 단계 (Plant_Level)	I	인터페이스
상태 정보 데이터 (Status information data)	방향성 보호 활성화 정보 (ACD)	방향성 보호 활성화 정보와 관련된 클래스
	기본 상태 정보 템플릿 (BSIT)	기본 상태 정보 템플릿
	이진 카운터 판독 (BCR)	이진 카운터 판독 정보와 관련된 클래스
	이중점 상태 (DPS)	이중점 상태와 관련된 클래스
	정수 상태 (INS)	정수 상태와 관련된 클래스
	보호 활성화 정보 (ACT)	보호 활성화와 관련된 클래스
	보안 위반 카운팅 (SEC)	보호 위반 정보와 관련된 클래스
	단일점 상태 (SPS)	단일점 상태와 관련된 클래스
제어가능한 상태 정보 데이터 (Controllable status information data)	기본적인 제어가능 상태 정보 템플릿 (BCSIT)	기본적인 제어가능 상태 정보 템플릿
	이진 제어 시스템 위치 정보 (BSC)	이진 제어 시스템 정보와 관련된 클래스
	제어가능 이중점 (DPC)	제어 가능한 이중점 상태 정보와 관련된 클래스
	제어가능 정수 상태 (INC)	제어가능한 정수 상태 정보와 관련된 클래스
	정수 제어 시스템 위치 정보 (ISC)	정수 제어 시스템 정보와 관련된 클래스
제어가능 단일점 (SPC)	제어가능한 단일점 정보와 관련된 클래스	
아날로그 정보 데이터 (Analogue information data)	아날로그 설정 (ASG)	아날로그 설정과 관련된 클래스
	기본적인 아날로그 설정 템플릿 (BCAIT)	기본적인 아날로그 설정 템플릿
	설정 곡선 (CURVE)	곡선상 정보와 관련된 클래스

설명 정보 데이터 (Description information data)	기본적인 설명 정보 템플릿 (BDIT)	기본적인 설명 정보 템플릿
	곡선 형태 설명 (CSD)	곡선의 형태 정보와 관련된 클래스
	장치 명판 (DPL)	장치 명판과 관련된 클래스
	논리 노드 명판 (LPL)	논리 노드 명판과 관련된 클래스
제어가능한 아날로그 정보 데이터 (Controllable analogue information data)	제어가능 아날로그 설정점 정보 (APC)	제어가능한 아날로그 설정점 정보와 관련된 클래스
	기본적인 제어가능 아날로그 정보 템플릿 (BCAIT)	기본적으로 제어가 가능한 아날로그 정보 템플릿과 관련된 클래스
상태 설정 데이터 (Status setting data)	기본적인 상태 설정 템플릿 (BSSIT)	기본적으로 상태가 설정 가능한 템플릿과 관련된 클래스
	정수 상태 설정 (ING)	정수 상태와 관련된 클래스
	단일점 설정 (SPG)	단일점 상태와 관련된 클래스
측정량 정보 데이터 (Measurement information data)	기본 측정량 정보 템플릿 (BMIT)	기본 측정량 정보 템플릿과 관련된 클래스
	복소수 측정값 (CMV)	복소수 측정값과 관련된 클래스
	3상 시스템 (DEL)	상 대 상값을 나타내는 3상 시스템에서 측정된 값과 관련된 클래스
	DEL의 고조파값 (HDEL)	3상 시스템의 고조파 값과 관련된 클래스
	고조파값 (HMV)	고조파 값과 관련된 클래스
	WYE의 고조파값 (HWYE)	3상 시스템 동시값의 고조파값과 관련된 클래스
	측정값 (MV)	측정값과 관련된 클래스
	샘플값 (SAV)	샘플값과 관련된 클래스
	시퀀스 (SEQ)	시퀀스값과 관련된 클래스
	3상 시스템 동시값 (WYE)	상 대 그라운드 값을 나타내는 3상 시스템에서 동시 측정된 값과 관련된 클래스

LEVEL 6 계층은 LEVEL 3 계층인 일반적인 논리 노드 정보의 하위 계층에 상속된 클래스의 하위 클래스만 존재하며, LEVEL 5 계층의 노드 및 기능과 관련된 실제 기능과 관련된 클래스에 대해 정의한다.

변전소자동화 시스템 온톨로지서 각 클래스의 관계를 표현하는 속성은 3가지이며, 그림 5와 같다. 데이터교환을 가진 (hasExchangeData)이 노란색 점선이고, 프로세스 버스를 통과함(hasProcessBusThrough)이 주황색 점선, 스테이션 버스를 통과함(hasStationBusThrough)이 빨간색 점선이다. 각 클래스와 하위 클래스를 포함하여 관계를 정의하는 domain과 range를 이용하여 하위 클래스 사이도 이와 같은 관계에 대한 속성을 상속받는다.

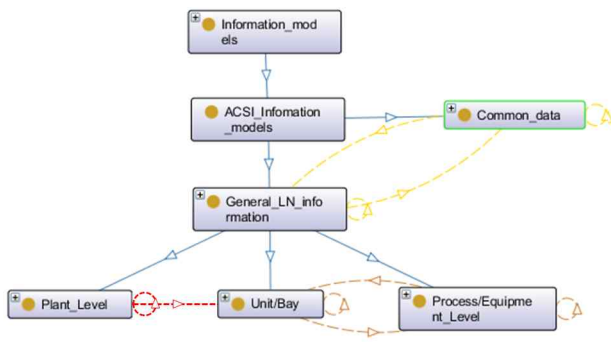


그림 5. 변전소자동화 시스템 온톨로지의 클래스 간 관계와 속성

IV. 온톨로지 추론 결과

본 장에서는 전력계통 비즈니스에서 발생 가능한 다양한 상황에서 기구축한 전력도메인 온톨로지를 통해 추론한 결과를 기술한다. 총 30개의 시나리오를 통해 온톨로지 추론 결과를 도출했다. 발전관리 시스템 15개, 변전소자동화 시스템 15개의 시나리오를 작성했으며, 추론엔진으로 Apache Jena를 사용했다 [22]. 시나리오에 따라 도출하고자 하는 결과를 쿼리로 작성하고 이를 추론하기 위해 SPARQL을 이용했고[23] 전력통계정보 시스템에서 제공하는 데이터를 사용하여 추론의 결과로 도출했다[24]. 표 16, 표 17은 발전과 관련된 시나리오와 추론 결과를 보인다.

표 16. 가상 시나리오에서 발전 관련 추론 결과(1)

시나리오	정부는 신재생에너지 생태계 조성을 위해 신재생에너지 발전기를 보급 및 확대해 나가고 있다. 그래서 기존에 설치된 신재생에너지 발전기가 정상 가동되고 있는지 점검하고자 한다.																																	
쿼리	신재생에너지 발전원 중 수력 발전에 해당하는 발전기 이름과 발전량 추론																																	
SPARQL																																		
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> PREFIX generator: <http://www.semanticweb.org/yugungho/ontologies/2020/3/untitled-ontology-73#> SELECT ?powersystem ?gen_name ?gen_quantity WHERE { ?i generator:haspowersystem ?powersystem_id. ?powersystem_id generator:data_powersystem ?powersystem FILTER (?powersystem = "수력") ?i generator:haselectricgenerator ?y. ?y generator:data_electricgenerator ?gen_name. ?i generator:hasgenerationquantity ?z. ?z generator:power_value ?gen_quantity } ORDER BY asc(?gen_quantity) LIMIT 10																																		
결과																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>powersystem</th> <th>gen_name</th> <th>gen_quantity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>"강원"</td><td>"0.0"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>2</td><td>"강릉"</td><td>"0.0"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>3</td><td>"탈진소수력"</td><td>"6.639"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>4</td><td>"탈진소수력"</td><td>"39.99165"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>5</td><td>"수력"</td><td>"341.77954"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>6</td><td>"무주양구 수수력"</td><td>"564.59503"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>7</td><td>"수력"</td><td>"849.23063"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>8</td><td>"만물소수력"</td><td>"1215.6969"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>9</td><td>"수력"</td><td>"1267.1893"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>10</td><td>"영양양구수수력"</td><td>"1406.5104"^^xsd:float</td></tr> </tbody> </table>	powersystem	gen_name	gen_quantity	1	"강원"	"0.0"^^xsd:float	2	"강릉"	"0.0"^^xsd:float	3	"탈진소수력"	"6.639"^^xsd:float	4	"탈진소수력"	"39.99165"^^xsd:float	5	"수력"	"341.77954"^^xsd:float	6	"무주양구 수수력"	"564.59503"^^xsd:float	7	"수력"	"849.23063"^^xsd:float	8	"만물소수력"	"1215.6969"^^xsd:float	9	"수력"	"1267.1893"^^xsd:float	10	"영양양구수수력"	"1406.5104"^^xsd:float
powersystem	gen_name	gen_quantity																																
1	"강원"	"0.0"^^xsd:float																																
2	"강릉"	"0.0"^^xsd:float																																
3	"탈진소수력"	"6.639"^^xsd:float																																
4	"탈진소수력"	"39.99165"^^xsd:float																																
5	"수력"	"341.77954"^^xsd:float																																
6	"무주양구 수수력"	"564.59503"^^xsd:float																																
7	"수력"	"849.23063"^^xsd:float																																
8	"만물소수력"	"1215.6969"^^xsd:float																																
9	"수력"	"1267.1893"^^xsd:float																																
10	"영양양구수수력"	"1406.5104"^^xsd:float																																

발전 관련 첫 번째 시나리오로 신재생에너지 생태계 조성을 위한 신재생에너지 발전기 보급 및 확대를 위한 기존의 신재생에너지 조사를 위해 신재생에너지 발전원 중 수력 발전에 해당하는 정보를 확인하는 SPARQL 및 추론 결과로 발전소의 발전원(powersystem)과 발전소의 이름(gen_name), 발전소의 발전량(gen_quantity)을 도출했다.

표 17. 가상 시나리오에서 발전 관련 추론 결과(2)

시나리오	여름에 무더운 날씨로 인해 전국의 전기 사용량이 급증하였다. 그래서 발전량을 증가시킬 수 있는 원자력 발전기의 발전 용량, 발전량, 최대전력과 송전량을 알아보하고자 한다.																																																						
쿼리	발전원이 원자력에 해당하는 발전기를 모두 출력하고 해당 발전기의 발전용량, 발전량, 최대전력, 송전량 추론																																																						
SPARQL																																																							
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> PREFIX generator: <http://www.semanticweb.org/yugungho/ontologies/2020/3/untitled-ontology-73#> SELECT ?gen_name ?powersystem ?gen_capacity ?gen_quantity ?max_power ?trans_quantity WHERE { ?i generator:haspowersystem ?powersystem_id. ?powersystem_id generator:data_powersystem ?powersystem FILTER (?powersystem = "원자력") ?i generator:haselectricgenerator ?y. ?y generator:data_electricgenerator ?gen_name. ?i generator:hasgenerationcapacity ?z. ?z generator:power_value ?gen_capacity. ?i generator:hasgenerationquantity ?AA. ?AA generator:power_value ?gen_quantity. ?i generator:hasmaximumpower ?BB. ?BB generator:power_value ?max_power. ?i generator:hasmaximumpower ?CC. ?CC generator:power_value ?trans_quantity }																																																							
결과																																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>gen_name</th> <th>powersystem</th> <th>gen_capacity</th> <th>gen_quantity</th> <th>max_power</th> <th>trans_quantity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>"원자력"</td><td>"1000000.0"^^xsd:float</td><td>"4851580.0"^^xsd:float</td><td>"1056666.0"^^xsd:float</td><td>"1056666.0"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>2</td><td>"원자력"</td><td>"700000.0"^^xsd:float</td><td>"4280157.0"^^xsd:float</td><td>"687655.0"^^xsd:float</td><td>"687655.0"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>3</td><td>"원자력"</td><td>"550000.0"^^xsd:float</td><td>"5844742.0"^^xsd:float</td><td>"1304241.0"^^xsd:float</td><td>"1304241.0"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>4</td><td>"신월성1"</td><td>"1000000.0"^^xsd:float</td><td>"9019502.0"^^xsd:float</td><td>"1059120.0"^^xsd:float</td><td>"1059120.0"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>5</td><td>"한울"</td><td>"1000000.0"^^xsd:float</td><td>"6195148.0"^^xsd:float</td><td>"1050000.0"^^xsd:float</td><td>"1050000.0"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>6</td><td>"한울"</td><td>"1000000.0"^^xsd:float</td><td>"7746993.0"^^xsd:float</td><td>"1050000.0"^^xsd:float</td><td>"1050000.0"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>7</td><td>"월성2"</td><td>"700000.0"^^xsd:float</td><td>"1928976.4"^^xsd:float</td><td>"687921.0"^^xsd:float</td><td>"687921.0"^^xsd:float</td></tr> <tr><td>8</td><td>"신곡리"</td><td>"1000000.0"^^xsd:float</td><td>"9173561.0"^^xsd:float</td><td>"1052469.0"^^xsd:float</td><td>"1052469.0"^^xsd:float</td></tr> </tbody> </table>	gen_name	powersystem	gen_capacity	gen_quantity	max_power	trans_quantity	1	"원자력"	"1000000.0"^^xsd:float	"4851580.0"^^xsd:float	"1056666.0"^^xsd:float	"1056666.0"^^xsd:float	2	"원자력"	"700000.0"^^xsd:float	"4280157.0"^^xsd:float	"687655.0"^^xsd:float	"687655.0"^^xsd:float	3	"원자력"	"550000.0"^^xsd:float	"5844742.0"^^xsd:float	"1304241.0"^^xsd:float	"1304241.0"^^xsd:float	4	"신월성1"	"1000000.0"^^xsd:float	"9019502.0"^^xsd:float	"1059120.0"^^xsd:float	"1059120.0"^^xsd:float	5	"한울"	"1000000.0"^^xsd:float	"6195148.0"^^xsd:float	"1050000.0"^^xsd:float	"1050000.0"^^xsd:float	6	"한울"	"1000000.0"^^xsd:float	"7746993.0"^^xsd:float	"1050000.0"^^xsd:float	"1050000.0"^^xsd:float	7	"월성2"	"700000.0"^^xsd:float	"1928976.4"^^xsd:float	"687921.0"^^xsd:float	"687921.0"^^xsd:float	8	"신곡리"	"1000000.0"^^xsd:float	"9173561.0"^^xsd:float	"1052469.0"^^xsd:float	"1052469.0"^^xsd:float
gen_name	powersystem	gen_capacity	gen_quantity	max_power	trans_quantity																																																		
1	"원자력"	"1000000.0"^^xsd:float	"4851580.0"^^xsd:float	"1056666.0"^^xsd:float	"1056666.0"^^xsd:float																																																		
2	"원자력"	"700000.0"^^xsd:float	"4280157.0"^^xsd:float	"687655.0"^^xsd:float	"687655.0"^^xsd:float																																																		
3	"원자력"	"550000.0"^^xsd:float	"5844742.0"^^xsd:float	"1304241.0"^^xsd:float	"1304241.0"^^xsd:float																																																		
4	"신월성1"	"1000000.0"^^xsd:float	"9019502.0"^^xsd:float	"1059120.0"^^xsd:float	"1059120.0"^^xsd:float																																																		
5	"한울"	"1000000.0"^^xsd:float	"6195148.0"^^xsd:float	"1050000.0"^^xsd:float	"1050000.0"^^xsd:float																																																		
6	"한울"	"1000000.0"^^xsd:float	"7746993.0"^^xsd:float	"1050000.0"^^xsd:float	"1050000.0"^^xsd:float																																																		
7	"월성2"	"700000.0"^^xsd:float	"1928976.4"^^xsd:float	"687921.0"^^xsd:float	"687921.0"^^xsd:float																																																		
8	"신곡리"	"1000000.0"^^xsd:float	"9173561.0"^^xsd:float	"1052469.0"^^xsd:float	"1052469.0"^^xsd:float																																																		

발전 관련 두 번째 시나리오로 전기 사용량 급증에 따른 추가 발전을 위한 기존 발전원들의 조사를 위해 발전원 중에서 원자력에 해당하는 정보를 확인하는 SPARQL 및 추론 결과로 발전소의 이름(gen_name), 발전소의 발전원(powersystem), 수용량(gen_capacity), 발전량(gen_quantity), 최대 전력(max_power), 송전량(trans_quantity)을 도출했다.

표 18, 표 19는 배전과 관련된 시나리오와 추론 결과를 보인다.

배전 관련 첫 번째 시나리오로 광주시에서 새로운 주거단지 조성을 위한 배전 설비를 위해 기존에 설치된 변압기 조사를 위해 2016년부터 2018년 사이에 광주지역에서 보유한 변압기의 정보를 확인하는 추론식 및 결과로 해당 지역(area)과 년도(year), 가공 변압기의 용량(capacity_pro), 지중 변압기 용량(capacity_under), 변압기의 총 개수(total_trans)를 도출했다.

표 18. 가상 시나리오에서 배전 관련 추론 결과(1)

시나리오	2019년 광주시에서는 새로운 주거단지 조성을 계획하고 있으며 주거 단지에 필요한 배전 설비 요청을 한국전력 측에 전달하였다. 한국전력에서는 새로운 주거단지가 건설 될 경우 필요한 변압기 용량과 수량을 최근 3년도 내역을 통해 예측해보고자 한다.			
쿼리	2016~2018년 사이에 '광주' 지역에서 보유한 형태별(가공,지중) 변압기 용량과 총 변압기 수량 검색			
SPARQL				
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> PREFIX distri: <http://www.semanticweb.org/yugyungho/ontologies/2020/3/untitled-ontology-93#> SELECT ?area ?year ?capacity_pro ?capacity_under ?total_trans WHERE { ?i distri:hasarea ?x. ?x distri:data_area ?area. FILTER (?area = "광주") ?i distri:hasyear ?y. ?y distri:data_year ?year. ?i distri:hascapacity_process ?z. ?z distri:data_MVA ?capacity_pro. ?i distri:hascapacity_underground ?aa. ?aa distri:data_MVA ?capacity_under. ?i distri:hasquantity_total ?bb. ?bb distri:data_EA ?total_trans }				
결과				
area	year	capacity_pro	capacity_under	total_trans
1 "광주"	"2017"^^xsd:integer	"1880"^^xsd:integer	"511"^^xsd:integer	"36722"^^xsd:integer
2 "광주"	"2016"^^xsd:integer	"1851"^^xsd:integer	"502"^^xsd:integer	"36319"^^xsd:integer
3 "광주"	"2018"^^xsd:integer	"1914"^^xsd:integer	"540"^^xsd:integer	"37263"^^xsd:integer

표 19. 가상 시나리오에서 변전 관련 추론 결과(2)

시나리오	송전선로에서 낙뢰 사고 등 이상상태가 발생하면 재빠르게 선로를 차단하여 발생하는 문제를 해결하기 위해 현재 각 지역별 설치된 가공·지중 가스절연부하개폐기에 대한 정보를 알아보고자 한다.		
쿼리	2017년도 각 지역별 가공 가스절연부하개폐기, 지중 가스절연부하개폐기 수량 검색		
SPARQL			
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> PREFIX distri: <http://www.semanticweb.org/yugyungho/ontologies/2020/3/untitled-ontology-93#> SELECT ?area ?year ?insulated_pro ?insulated_under WHERE { ?i distri:hasyear ?y. ?y distri:data_year ?year. FILTER (?year = "2017"^^xsd:integer) ?i distri:hasarea ?x. ?x distri:data_area ?area. ?i distri:hasinsulated_load_switch_process ?z. ?z distri:data_EA ?insulated_pro. ?i distri:hasinsulated_load_switch_underground ?aa. ?aa distri:data_EA ?insulated_under. }			
결과			
area	year	insulated_pro	insulated_under
1 "진남"	"2017"^^xsd:integer	"5357"^^xsd:integer	"2282"^^xsd:integer
2 "민천"	"2017"^^xsd:integer	"2492"^^xsd:integer	"4434"^^xsd:integer
3 "중북"	"2017"^^xsd:integer	"5039"^^xsd:integer	"1738"^^xsd:integer
4 "중남"	"2017"^^xsd:integer	"4207"^^xsd:integer	"2692"^^xsd:integer
5 "부산"	"2017"^^xsd:integer	"3053"^^xsd:integer	"4485"^^xsd:integer
6 "중북"	"2017"^^xsd:integer	"7817"^^xsd:integer	"1033"^^xsd:integer
7 "강원"	"2017"^^xsd:integer	"5804"^^xsd:integer	"1934"^^xsd:integer
8 "울산"	"2017"^^xsd:integer	"1599"^^xsd:integer	"1204"^^xsd:integer
9 "대전"	"2017"^^xsd:integer	"1458"^^xsd:integer	"4210"^^xsd:integer
10 "광남"	"2017"^^xsd:integer	"5296"^^xsd:integer	"1196"^^xsd:integer
11 "경기"	"2017"^^xsd:integer	"12793"^^xsd:integer	"17790"^^xsd:integer
12 "세종"	"2017"^^xsd:integer	"466"^^xsd:integer	"364"^^xsd:integer
13 "대구"	"2017"^^xsd:integer	"4220"^^xsd:integer	"2207"^^xsd:integer

배전 관련 두 번째 시나리오로 송전선로에서 이상상태가 발생할 경우 사고가 발생하는 것을 방지하기 위해 전력을 차단하고 문제 해결에 집중하는 데 도움을 주는 가스절연부하개폐기에 대한 정보를 확인하는 SPARQL 및 추론 결과로 해당 지역(area)과 년도(year), 가공 가스절연부하개폐기의 수량(insulated_pro), 지중 가스절연부하개폐기의 수량(insulated_under)을 도출했다.

온톨로지 추론 결과를 통해서 본 논문에서 구축한 전력 도메인 온톨로지가 정상적으로 잘 작동함을 알 수 있었으며, 다양한 상황에 해당하는 시나리오에서 전력계통 관계자가 온톨로지 추론을 통해 얻고자 하는 정보를 정확하게 도출할 수 있음을 보였다. 뿐만 아니라, 다양한 상황으로 구상한 30개의 시나리오의 추론 결과가 의도했던 질의의 결과와 전부 일치했다.

V. 결론 및 향후연구

2010년 “스마트그리드 국가로드맵”을 시작으로 세계 최초로 국가단위의 스마트그리드 구축을 목표로 스마트그리드 2030을 내세운 지능형 전력망, 지능형 소비자, 지능형 운송, 지능형 신재생, 지능형 전력서비스로 구성된 5대 분야별 실행 로드맵 수립을 통해 전력 인프라와 정보·통신 인프라가 융합된 고효율 차세대 전력망 구축에 노력을 기하고 있다. 이를 위해 스마트그리드 상호운용성 확보와 표준화 기반구축을 위해 “스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵” 1.0과 2.0을 발간하며 전력 관련 사용자들에게 가이드라인을 제시하는 노력도 계속되고 있다. 따라서 본 논문에서는 “스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵”의 상위 개념모델과 하위 개념모델을 바탕으로 전력 비즈니스 플랫폼 기반의 전력도메인 온톨로지를 구축하였다. 온톨로지는 지식의 개념을 명확하고 명시적으로 정의하여 추론 및 정보검색에 활용하는 지식처리 기술이며, 이를 정의하기 위해 개체의 속성과 개체 간 관계를 고려하기 때문에 기존 데이터베이스가 갖는 자원 표현의 한계를 극복한다. 따라서 계층적 구조로 가이드라인이 제시된 스마트그리드 개념 모델은 온톨로지로 구축하기 아주 적합하나 이와 관련된 연구는 진무한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 전력 비즈니스 플랫폼 기반의 전력 도메인 온톨로지 구축 및 추론 방법에 관해 제안했다. 상위 온톨로지와 하위 온톨로지로 구분하여 전력도메인 온톨로지를 구축하였으며, 상위 온톨로지는 스마트그리드 관련 분야에 대한 대부분 류이고 하위 온톨로지는 상위 온톨로지에 대한 세부적인 시스템 및 기능으로 본 논문에서는 발전관리 시스템 온톨로지와 변전소자동화 시스템 온톨로지를 하위 온톨로지를 예로 구축 방법을 기술한다. 그뿐만 아니라 본 논문에서 하위 온톨로지 구축 방법으로 기술한 발전관리 시스템 온톨로지와 변전소자동화 시스템 온톨로지와 같은 전력계통에서 발생 가능한 다양

한 상황의 시나리오를 구성하고 전력통계 데이터를 바탕으로 추론 엔진인 Jena와 SPARQL을 통해 발생한 문제에 대한 예방/해결에 도움을 줄 수 있는 유의미한 결과를 추론했다. 그 결과로 본 논문에서 구축한 전력도메인 온톨로지가 정상적으로 잘 작동함을 보이며, 다양한 상황으로 구상한 30개의 시나리오에서 추론 결과가 모두 의도한 결과로 도출됨을 확인했다. 이를 통해 다양한 상황에서 발생하는 문제를 해결하는데 전력도메인 온톨로지를 활용할 수 있음을 증명했다.

향후 연구로 하위 온톨로지에 다른 세부 시스템을 온톨로지 로 구축하기 위한 시스템 분석 및 온톨로지 구축에 관한 연구를 수행할 예정이며, 한국전력데이터센터에서 제공하는 데이터로 추론이 가능한 온톨로지 구축 방법을 연구할 예정이다.

REFERENCES

- [1] 지식경제부, “스마트그리드 국가로드맵,” 2010년 1월
- [2] 지식경제부 기술표준원, “스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵 1.0,” 2012년 4월
- [3] 지식경제부, “제1차 지능형전력망 기본계획,” 2012년 7월
- [4] 국가기술표준원, “스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵 2.0,” 2017년
- [5] 산업통상자원부, “제2차 지능형전력망 기본계획,” 2018년 8월
- [6] 강세일, “스마트그리드 산업 생태계 모델,” *전기의 세계*, 제68권, 제11호, 28-32쪽, 2019년 11월
- [7] 서우진, 유경택, “시맨틱 웹을 이용한 온톨로지 기반의 정보검색 시스템 설계 및 구현,” *디지털융복합연구*, 제17권, 제1호, 209-217쪽, 2019년 1월
- [8] 에너지 기술심의회, *KS C IEC 61400-25-1, 풍력 터빈 - 제25-1부: 풍력 발전소의 모니터링 및 제어용 통신- 원리 및 모델에 관한 종합적 기술*, 2016년
- [9] 에너지 기술심의회, *KS C IEC 61400-25-5, 풍력 터빈 - 제25-5부: 풍력발전단지의 모니터링 및 제어용 통신 - 적합성시험*, 2018년
- [10] 에너지 기술심의회, *KS C IEC 61400-25-6, 풍력 터빈 - 제25-6부: 풍력발전소의 모니터링 및 제어용 통신 - 상태감시용 논리 노드 클래스와 데이터 클래스*, 2016년
- [11] IEC TC 88, *IEC 61400-25-1, Wind energy generation systems - Part 25-1: Communications for monitoring and control of wind power plants - Overall description of principles and models*, 2017.
- [12] IEC TC 88, *IEC 61400-25-2, Wind energy generation systems - Part 25-2: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models*, 2015.
- [13] IEC TC 88, *IEC 61400-25-3, Wind energy generation systems - Part 25-3: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information exchange models*, 2015.
- [14] IEC TC 88, *IEC 61400-25-4, Wind energy generation systems - Part 25-4: Communications for monitoring and control of wind power plants - Mapping to communication profile*, 2016.
- [15] IEC TC 88, *IEC 61400-25-5, Wind energy generation systems - Part 25-5: Communications for monitoring and control of wind power plants - Compliance testing*, 2017.
- [16] IEC TC 88, *IEC 61400-25-6, Wind energy generation systems - Part 25-6: Communications for monitoring and control of wind power plants - Logical node classes and data classes for condition monitoring*, 2016.
- [17] 전력기기 기술심의회, *KS C IEC 61850-5, 변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 제5부: 기능 및 장치 모델을 위한 통신 요구사항*, 2017년
- [18] 전력기기 기술심의회, *KS C IEC 61850-7-1, 변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 제7-1부: 변전소와 급전장치의 기본 통신 구조 - 원리 및 모델*, 2016년
- [19] 전력기기 기술심의회, *KS C IEC 61850-7-2, 변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 제7-2부: 변전소와 급전장치의 기본 통신 구조 - 추상 통신 서비스 인터페이스(ACSI)*, 2016년
- [20] 전력기기 기술심의회, *KS C IEC 61850-7-3, 변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 제7-3부: 변전소와 급전장치의 기본 통신 구조 - 공통 데이터 클래스*, 2016년
- [21] 전력기기 기술심의회, *KS C IEC 61850-7-3, 변전소 통신 네트워크 및 시스템 - 제7-4부: 변전소와 급전장치의 기본 통신 구조 - 호환 논리 노드 클래스와 데이터 클래스*, 2016년
- [22] Apache Jena(2020), <https://jena.apache.org/index.html> (accessed Jun., 19, 2020).
- [23] 정동원, Yixin Jing, 백두권, “온톨로지 추론 모델에 독립적인 SPARQL 추론 질의 처리를 위한 재작성 알고리즘,” *정보과학회논문지: 데이터베이스*, 제35권, 제6호, 505-517쪽, 2008년 12월
- [24] 전력통계정보시스템(2020), <http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/> (accessed Jun., 19, 2020).

 저 자 소 개



홍택은(정회원)

2015년 조선대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
2017년 조선대학교 소프트웨어융합공
학과 석사 졸업.
2017년~현재 조선대학교 컴퓨터공학과
박사과정.

<주관심분야 : 자연어처리, 지능형정보처리, 딥러닝>



유경호(정회원)

2017년 조선대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
2019년 조선대학교 컴퓨터공학과
석사 졸업.
2019년~현재 조선대학교 컴퓨터공학과
박사과정.

<주관심분야 : 인공지능, 자연어처리>



김관구(정회원)

1988년 조선대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
1990년 서울대학교 컴퓨터공학과
석사 졸업.
1994년 서울대학교 컴퓨터공학과
박사 졸업.
2007년~현재 조선대학교 컴퓨터공학과
교수.

<주관심분야 : 지능형정보처리, 시맨틱 웹, 온톨로지,
자연어처리, 데이터 마이닝 등>