

분산 자원을 활용한 전력망 안정화 서비스 개념적 모델 아키텍처 설계

김진오¹⁾, 김영민¹⁾, 이주연^{1)*}

1) 아주대학교 시스템공학과

Conceptual model architecture design for power grid stabilization service using distributed resources

Jin Oh Kim¹⁾, Young Min Kim¹⁾, Joo Yeoun Lee^{1)*}

1) Department of Systems Engineering, Ajou University

Abstract: Efforts to respond to climate change are being made in various ways around the world, and in the energy field, continuous research and pilot projects are underway through new and renewable energy, efficient power grid management, and power grid services. Systems are in place to realize these efforts, and the systems created allow for better effectiveness. When implementing a system, systems engineering methodology helps design a more systematic system and can provide verification accuracy and uniformity through intuitive connectivity. In this paper, the original requirements of the power grid stabilization system and the architecture of the system's essential constraints are constructed as a conceptual model and the boundaries and flows between components are defined. By utilizing distributed resources such as EV(Electric Vehicle) and ESS(Energy Storage System) in the power service platform system, we plan to design and build a next-generation power service system that can participate in the power stabilization market and implement a system necessary to respond to climate change in the future.

Key Words: Architecture. Electric Vehicle. Electric Power Service. conceptual model. Grid stabilization

Received: April 26, 2024 / **Revised:** June 1, 2024 / **Accepted:** June 5, 2024

*Corresponding Author: Joo Yeoun Lee / Ajou University / jooyeoun325@ajou.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

기후변화에 대응하기 위한 노력은 이미 전 세계적으로 다양한 방법을 통해 이루어지고 있다. 파리 협약을 통한 국제적인 협약 체결을 시작으로 지구의 온도 상승을 산업화 이전 대비 2도 이내로 제한하는 것을 목표로 신에너지 발굴 및 활용, 재생가능 에너지의 확대, 전기차 및 대중교통의 활성화, 에너지의 효율 향상, 탄소 포집 및 저장, 탄소배출 제약 등 여러 분야에서 다양한 노력을 하고 있다.[9]

신재생 에너지 설비, 소형 에너지 저장 장치, EV(Electric Vehicle) 및 EVC(EV Charger) 등 다양한 분산 전원 증가로 각국의 전력망은 이에 대한 변동성과 수요예측에 대한 어려움을 겪고 있으며, 역전류 및 전력 품질에 대한 문제를 극복하고자 정책적으로는 에너지사용 규제, 홍보 및 교육 경제적으로 전력망 안정화시장 참여 독려 및 수익금 정산 등이 있다.[4],[5]

정책과 경제적인 방향을 완성하기 위해서는 기술적인 내용이 필요한데, 이에 해당하는 것이 지능형 전력망 시스템 및 해당 시스템과 연계된 여러 시스템을 통한 모니터링, 제어 등 전력망 안정화와 연관된 시스템이다.[1] 변동성이 큰 에너지의 공급 및 수요예측과 전력 품질에 안정성을 효율적으로 관리하기 위해서는 유연하고 정확한 시스템이 필요하다. 지능형 전력망과 연계된 시스템들은 실시간성, 상호연계성, 보안성, 안정성 등을 고려하여[26] 전력망과 유기적인 소통이 되어야 하는데, 이를 요구사항 정의에서부터 검증단계까지 전통적인 문서방식의 설계를 진행하는 경우 중간에 발생 되는 설계 변경이나 기능 변경에 따른 제약조건 및 영향도를 단번에 파악하기 어렵다.[3],[15]

시스템공학에서는 이러한 부분을 보완하기 위해 MBSE(Model-based system engineering)의 필요성을 강조하였는데, MBSE 방법론을 활용하여 전력망 안정화 서비스 시스템의 원천 요구 사항과 시

스템 내부 경계에 대한 정의, 필수 제약사항 아키텍처 설계에 반영함으로써 보다 가시적으로 모델 간의 연관성을 도출하고,[8],[19] EV 및 EVC 분산 자원을 포함하여 향후 상세설계 단계 및 기능 구현 단계에서의 정확성과 명확성을 높이고자 한다.

1.2 선행연구

국내 공공기관과 민간기업에서 전력망 안정화 시스템을 만들기 위한 노력은 지속되어 왔다. 국내에서는 2009년부터 2013년 제주도 구좌읍에서 스마트그리드 실증단지를 최초 시범사업을 하였고, 이를 바탕으로 2016년부터 2018년까지 거점 마련을 위한 전국 대도시를 대상으로 확산 사업을 진행하였다. 정부는 2019년부터 2025년까지 전력망 안정화 시장확대 사업을 추진 중에 있으며, 2026년부터 2030년까지 전국확산을 목표로 연구 및 사업 추진 중에 있다.[18] 분산 자원 중 하나인 EV를 활용한 V2G(Vehicle-to-grid)에 대한 연구도 다양한 측면에서 이루어지고 있는데, V2G 기술과 실증연구 동향에 대한 연구,[14] EV의 활용 용도별 충전 패턴을 중심으로 자원 활용 선별 및 양방향 충전을 활용한 수요반응 활용에 대한 시범연구,[17] 스마트 그리드 환경에서의 네트워크 구조 및 보안위험 식별 및 방안,[11] 비용 최적화 관점에서의 에너지 교환 의사 결정[16] 등 다양한 관점에서의 연구가 지속되고 있다. 본 논문은 이러한 연구 결과 등을 바탕으로 플랫폼화가 가능한 기능 집합 시스템을 개발하기 위한 모델 기반 개념적 설계 내용을 제시하고자 한다.

2. 전력 서비스 개요

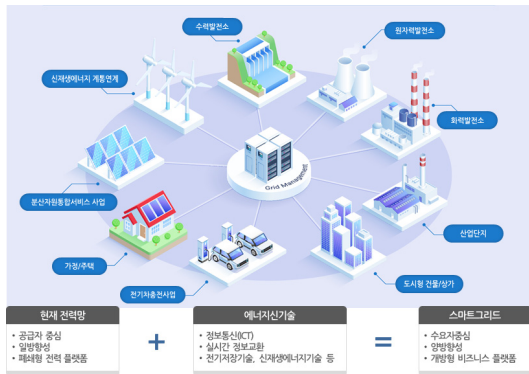
2.1 수요 반응 차세대 전력망

전력망과 정보기술이 접목된 수요 반응 차세대 전력망은 전기 수요를 조절하여 전력 공급과 수요 간의 균형을 유지하는 시스템이다. 이는 전기 사용량이 많은 시간대나 긴급 상황에서 전력 수요를 줄

이는 것으로 이루어진다.

전기 수요를 줄이는 방법에는 여러 가지가 있는데 예를 들어, 조명 등의 일부 전기 기기를 꺼서 전력 사용량을 줄이거나, 공장에서 생산을 일시 중단하여 전기 사용량을 줄이는 등의 방법이 있다. 이렇게 전력 수요를 줄이는 경우 전력 공급과 수요 간의 균형이 유지되어 전력망이 안정적으로 운영된다.[25]

이러한 수요 반응 제어를 수행하기 위해 다양한 분산 전원을 활용할 수 있는데, 현재 태양광 발전기, 에너지 저장 시스템 등이 주로 활용되고 있으며, 재 활용된 폐배터리, 유휴 상태의 EV를 활용하는 방안도 지속 연구가 되고 있다.



[Figure 1] 차세대 전력망

수요 반응 전력망은 전력 회사나 전력 소비자 모두에게 이점을 제공한다. 전력 공급 회사는 전력 수급 조절을 위해 불필요한 전력 생산을 줄이고, 전력 공급 안정성을 유지할 수 있다. 전력 소비자는 전기 요금을 절감하고, 전력 사용량에 대한 정보를 얻을 수 있어 전기 사용량을 조절하거나 에너지 절약할 수 있다.

또한, 수요 반응 전력망은 에너지사용 효율을 증가시키고, 환경 문제를 해결하는 데에도 큰 역할을 할 수 있다.[23] 이를 통해 전력 공급의 안정성과 지속 가능한 발전을 추구할 수 있다.

2.2 DR 제도

“DR(Demand Response)”은 전력 소비자들이

전력 수요가 최대인 시기에 전력 소비를 줄이는 것을 의미한다. 이를 통해 전력 수요와 공급 간의 균형을 유지하고 전력 시스템의 안정성을 높이는 것을 목적으로 한다. 전력망에서는 수요예측을 기반으로 전력 공급을 조절하는데, 수요가 예측보다 큰 경우 전력 공급이 부족해지거나 전력망의 안정성이 저하될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 수요가 예측보다 큰 시기에는 전력 소비를 줄이는 쪽으로 대처하는 것을 말한다.



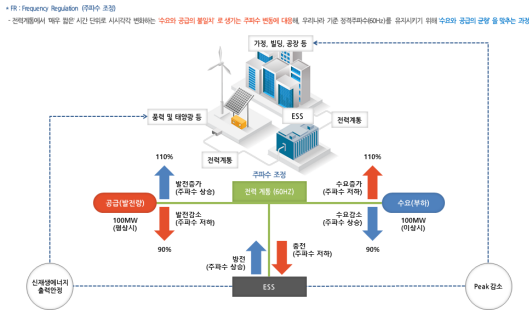
[Figure 2] Demand Response

DR 제도는 일반적으로 전력 공급자가 소비자들에게 인센티브를 제공하면서 이루어지는데, 이를 통해 전력 공급자는 수요예측을 초과하는 전력 수요를 줄일 수 있고, 소비자들은 인센티브를 받으며 에너지 비용을 절감할 수 있다. 전력망에서 DR은 전력 소비자들과 전력 공급자들 간의 협력과 약속으로 이루어지기 때문에 전력 수요를 조절에 있어 매우 효과적이다.[27] 이를 통해 전력 공급의 안정성을 높이면서 에너지 비용을 절감하는 것이 가능하다.

2.3 FR 제도

“FR(Frequency Regulation)”은 전력망에서 발생하는 주파수 변화에 대처하여 전력 공급의 안정성을 유지하는 제도를 말한다. 전력망은 수십 개의 발전소, 수천 개의 전력 변압기, 수백 수천만 개의 소비자들이 연결되어 있는데, 공급 대비 많은 수요에 의해 주파수 변동이 발생할 수 있다. 따라서 전력망의 안정성을 유지하기 위해서는 이러한 변동에 대처하는 기능이 필요하다. 전력망에서 주파수 높고 낮

음의 변동을 감지하면, 전력 발전소에서 발전량을 조절하거나 소비자 측에서 수요를 조절하는 등의 방법을 통해 전력 공급의 안정성을 유지한다.



[Figure 3] Frequency Regulation

예를 들어, 전력망에서 주파수가 낮아지면, 발전소는 전력 생산량을 늘리고, 주파수가 올라가면 전력 생산량을 줄이는 방식으로 전력 공급을 유지한다. 전력망에서 FR은 전력 공급의 안정성을 유지하기 위해 매우 중요하다. 이를 위해 전력망은 발전소와 전력 변압기를 연결하는 감시 시스템을 구축하여 주파수 변동을 감지하고, 이를 기반으로 FR 기능을 수행하는데, 이러한 기능은 전력 공급의 안정성을 높이는 데 매우 효과적이며, 전력망의 안정성을 보장하는 데 큰 역할을 한다.

2.4 가상발전소

“가상발전소(Virtual Power Plant, VPP)”란 분산된 발전 시스템을 하나의 통합된 시스템으로 운영하는 개념을 말한다.[12] 일반적으로 VPP는 신재생 에너지 발전전력과 전력 그리드와 연결된 소비자의 수요전력 포함한다. VPP는 인터넷과 같은 네트워크를 통해 분산된 발전기와 에너지 저장 장치를 연결하고, 전력 그리드와 연결된 소비자들의 전력 수요 예측 및 조절 기능을 제공한다. 이러한 VPP 시스템은 전력 공급 업체가 전력 수요와 공급을 조정하고, 에너지 효율성을 높이고, 재생 가능 에너지를 통합하여 전력 그리드의 안정성을 개선할 수 있다.[13]

가상발전소는 재생 에너지 발전 시스템의 분산화

로 인해 발생하는 문제점을 해결할 수 있다. 예를 들어, 태양광 발전 시스템은 일몰 시간 이후 발전량이 감소하며, 풍력 발전 시스템은 바람이 불지 않는 경우 발전량이 감소하는데, 이러한 문제를 해결하기 위해 VPP는 다양한 재생 에너지 발전 시스템을 통합하여 전력 공급 업체가 전력 수요와 공급을 조정할 수 있다.

또한, VPP는 전력 그리드의 안정성을 향상시키고, 전력 수요 및 공급을 효율적으로 관리할 수 있다. 전력 수요가 많은 시간대에 VPP는 전력 그리드의 부하를 감소시키고, 전력 공급이 부족한 시간대에는 에너지 저장장치에서 저장된 전력을 사용하여 전력 공급을 유지할 수 있는 것이 그 한 예다. 따라서, VPP는 분산된 발전 시스템을 하나의 통합된 시스템으로 운영하여 전력 공급 업체가 전력 수요와 공급을 조정하고, 전력 그리드의 안정성을 개선하는데 매우 유용한 개념이다.

3. 모델 기반 전력 서비스 시스템 설계

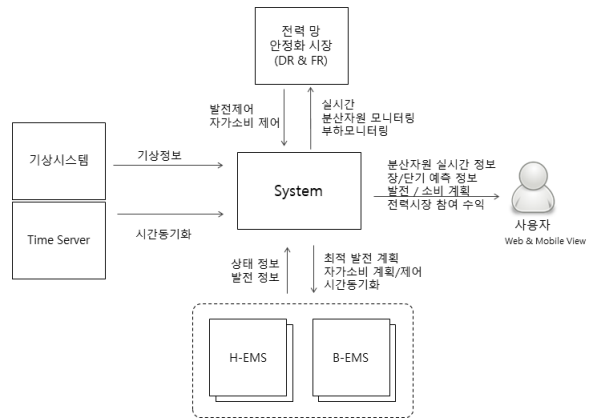
3.1 시스템 설계 절차

전체 시스템 관점에서 시스템의 목적 및 이해관계자와 시스템의 성능 및 보안 등 공통적인 요구사항을 정의하고 하위에 주요 기능 동작 범위로 서브 시스템을 분류한다. 분류한 서브 시스템을 1Depts의 모델로 구성하여 각 서브 시스템의 요구사항을 정의한다.[28] 각각의 서브 시스템들은 요구사항을 만족하기 위한 Component들의 그룹으로 구성하며, 각 Component의 고유 기능과 연결 관계를 정의한다. 정의한 관계 구성에 우선순위와 프로세스 흐름의 순서를 정의하고 E2E(End to End) 시나리오를 검토한다.

3.2 시스템 구성

본 시스템은 전력망 안정화 시스템을 중심으로 기상시스템과 시간 정보를 참조해서 전력망 안정화 시장에 참여하고, 하부 EMS(Energy Management

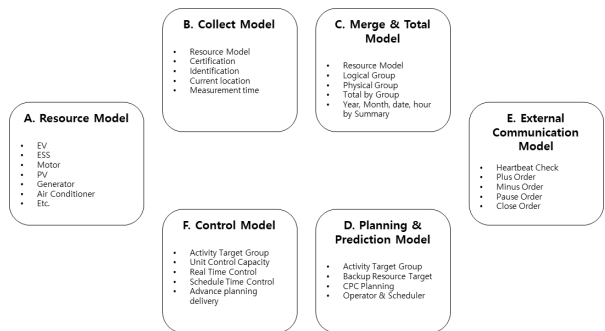
System)간의 인터페이스를 통한 데이터 수집 및 분산 자원 제어가 그 주 기능이며 특히, 분산 자원 중에 소비자의 EV 및 EVC를 포함하여 활용하는데 그 특징이 있다. EV의 입출차 스케줄을 통한 예상 스케줄링 및 EVC를 모니터링하고, 이에 대한 실시간 정보와 운영계획 및 전력량, 태양광 발전정보, 수익에 대한 정보 등 예측 정보와 시장 참여 시 얻는 실제 수익 및 기대 비용을 사용자에게 Web 또는 Mobile로 제공하는 UI(User Interface)를 포함한다.[10] [Figure 4]는 전체 구성에서의 전력망 안정화 시스템과 연관된 다른 시스템들을 표현한 전반적인 시스템 개요를 나타낸 것이고,[22] 전력망 안정화 시스템의 이해당사자와 이해 당사자 입장에서의 관점, 그리고 대략적인 시스템 컨텍스트는 [Figure 5]와 [Figure 6]을 통해 나타났다.



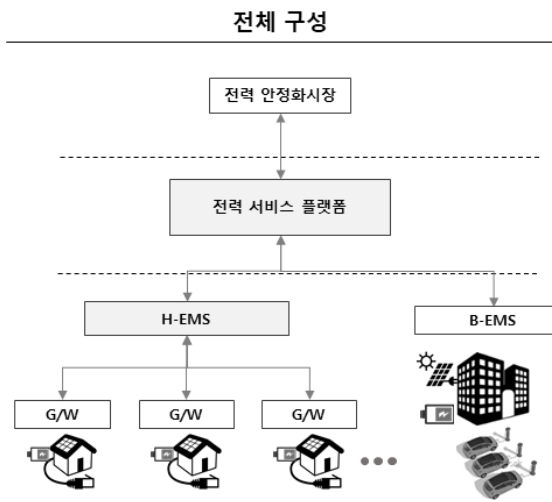
[Figure 6] System Context

3.3 기능별 모델 구성

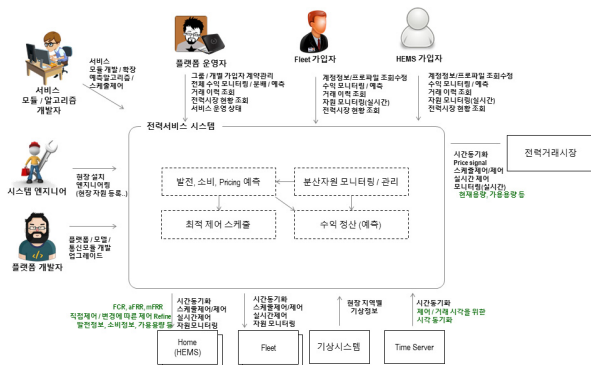
전력망 안정화 시스템의 1Depts의 모델은 6가지로 구성해 볼 수 있다.



[Figure 7] Platform Models



[Figure 4] 시스템 개요



[Figure 5] Stakeholders

A. EV 및 ESS를 포함한 다른 분산 자원의 속성을 정의하는 Resource Model 모델은 자원 자체의 원래 속성과 측정되는 데이터의 속성을 모두 포함한다. 예를 들어 고유 시리얼 넘버, 자원의 스펙, 전력 및 전력 사용량과 전압 주파수 같은 것들을 말한다.

B. 자원 데이터의 수집 및 인증, 식별 시간 동기화 등을 관리하는 Collect Model 모델은 주기적으로 수집되는 자원들의 데이터를 Time-serial 형태로 관리하며 주기적으로 Data Base에 저장하는 역할을 한다.[7]

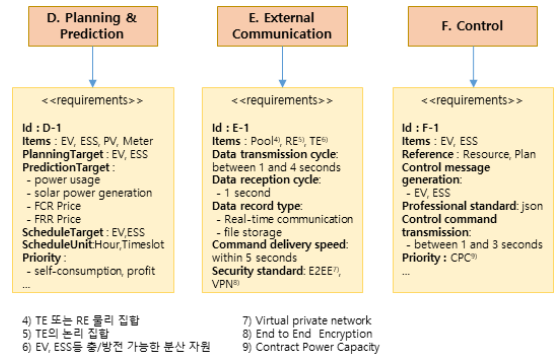
C. 저장된 데이터를 자원별, 지역별, 기간별 통계 및 집계 처리를 수행하는 M&T(Merge&Total)

Model은 데이터의 통계를 통해 유의미한 데이터를 생성하며, 부가 정보를 창출하는 역할을 한다.

D. 전력망 안정화 시스템에서 측정하고 관리하는 중요한 정보들을 예측하고 자원의 동작 방식을 계획하는 P&P(Planning&Prediction) Model은 최적화된 자원의 가동을 계획하고 전력망 안정화시장 참여시 수익 극대화를 실현 할 수 있도록 알고리즘 체계를 포함한 모델을 말한다.

E. 전력망 안정화 시장에 입찰하고 참여 시장에서 응동(수요 조정 및 주파수 조정)에 대한 신호를 수신 및 현 자원의 응동 상태를 송신 기능을 담당하는 External Communication Model은 현 자원의 상태 데이터를 실시간으로 안정적으로 송신하고 이에 대한 데이터 로그를 기록하며 주로 외부 시스템과의 인터페이스를 담당한다.

F. 전력망 안정화시장 참여시 자원의 출력량을 분배하고 제어 명령을 전달하는 Control Model은 Resource Model과 Collect Model, P&P Model을 참조하며 특정 자원의 현재 상황을 파악하여 계획된 정보를 바탕으로 시장 계약 용량을(Contract Power Capacity, CPC) 충족하기 위해 제어하는 역할을 한다.



[Figure 10] Requirements by Models(2)

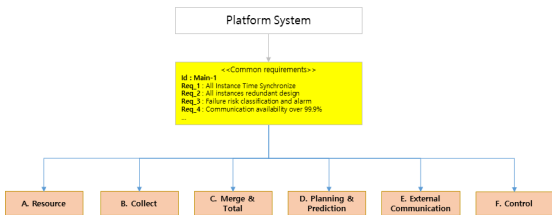
[Figure 8,9,10]은 전력망 안정화 시스템의 공통 요구사항과 각 모델 단위의 메인 요구사항을 표현했다. 공통 요구사항과 메인 요구사항은 시스템 관점에서의 요구사항과 이해관계자 관점에서의 요구사항을 포함한다. 각 모델의 메인 요구사항을 바탕으로 하위의 설계 모델이 구성되며, 하위의 설계 모델은 각각의 요구사항을 다시 정의한다.[21]

1Depts 단계의 요구사항은 정성적 또는 정량적으로 명확하기보다 다음 단계에서 해야 할 내용을 누락 하지 않고 정의하는 것이 중요하다. 상위 모델부터 하위 모델에 이르기까지 반복적인 과정을 거쳐 최하위의 기능이 도출되며, 도출된 기능 및 성능 요구사항 간에 흐름과 순서, 검증 방법을 정의한다.

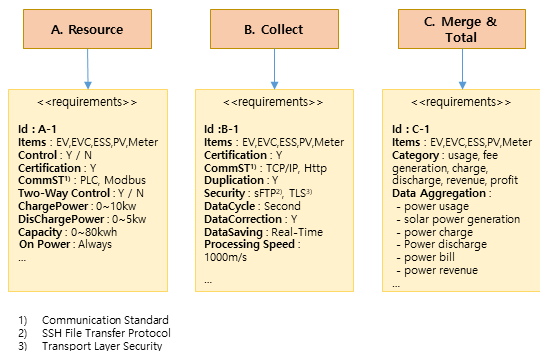
3.4 기능 간 연계 및 흐름

시스템 하위의 EMS 시스템은 EMS 시스템 내부 자원에 대한 데이터를 정의된 Resource Model의 규격을 참고하여 실시간으로 측정 및 생성된 정보를 Collect Model로 전송한다. Collect Model은 수집된 데이터를 식별하고 분류하여 실시간 Time-series 형태의 데이터로 편성한다.

M&T Model은 Collect Model에서 편성 및 분류된 정보를 특정 주기마다 시간별, 일자별, 지역별, 항목별 등 정보관점에 따라 집계하고 통계한다. P&P Model은 M&T Model을 참고하여 사용량, 충·방전량, 입·출차, SOC(State of Charge) 변화량 등을 예측하고 전력망 안정화 시장에 참여 가능 자원 및 참여가능 시장 및 시간을 계획한다. P&P

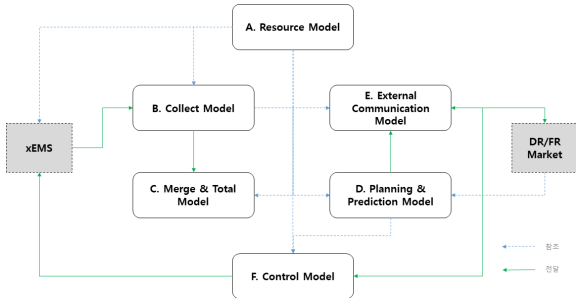


[Figure 8] Common Requirements by Models(1)



[Figure 9] Requirements by Models(1)

Model에서 계획된 결과를 활용하여, External Communication Model은 전력망 안정화 시장에 참여 하기 위해 시장 확인 및 입찰, 입찰 변경, 낙찰 확인 기능을 수행하고 시장 참여시 응동량을 Control Model로 전달하며, 참여 중인 자원의 실시간 데이터를 시장으로 송신한다.



[Figure 11] Model 간의 연계 및 흐름

External Communication Model로부터 신호를 받은 Control Model은 P&P Model과 Collect Model을 참조함으로써 사전 계획한 응동 계획과 현재 자원의 운영 상태를 비교하여 계획 대비 정상 동작 상태를 판단하고 순간 장애나 고장으로 인해 미 동작 자원이 있는 경우 xEMS(EverytingEMS)로 예비 자원 활성화 명령을 전송한다. 각 Model의 기능 연계와 흐름은 전력망 안정화시장 참여시 모든 사이클이 실시간 반복 동작하며, 참여 중이 아닐 때는 Control Model 경우만 유휴 상태로 대기한다.

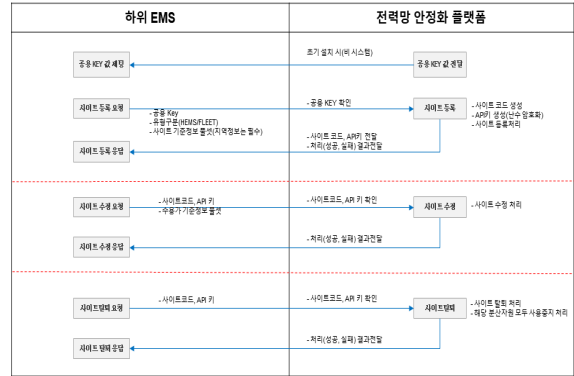
정의 된 모델들은 각각의 개별 인스턴스로 구현 예정이며, 모델 연계 간 통신 규격은 IEC61158 (TCP/IP Modbus), ECMA262 (Json Format), RFC2246(Secure Sockets Layer), RFC5246 (Transport Layer Security) 표준을 활용하여,

각 모델은 독립적인 모듈화 구성을 통해 이식성 (Portability)과 재사용성(Reusability)을 높이고자 하는 것에 특성이 있다. 이러한 아키텍처는 기존에 통합 구성하여 개발된 전력망 안정화 시스템 또는 EMS와는 차이점이라 생각한다.

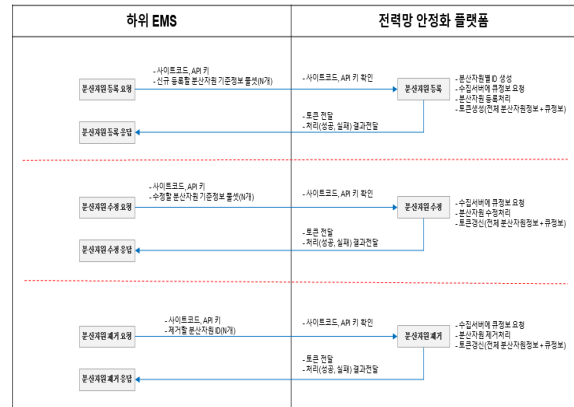
3.5 시스템 보안 정책

전력망 안정화 시스템의 보안성 관점은 시스템을

중심으로 xEMS와 통신하는 Collect Model 부분에 대한 보안, DR/FR Market과 통신하는 External Communication Model 부분에 대한 보안 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다.



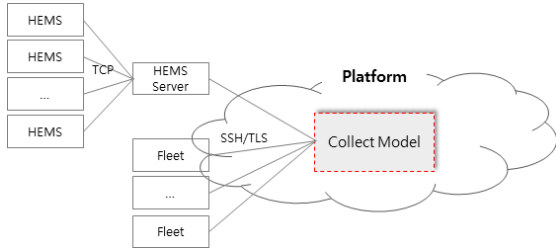
[Figure 12] 하위 EMS 등록 프로세스



[Figure 13] 분산자원 등록 프로세스

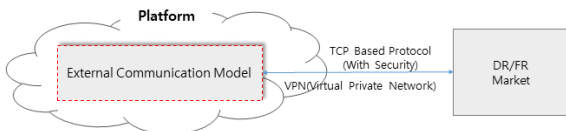
먼저 xEMS와의 연결 시 최초 1회의 한해 내부적으로만 관리하는 식별키를 발부하고 이후 초기 통신이 완료된 이후 자원에 대한 데이터를 전송할 때는 인증키 요청, 인증키 발급, 인증키 만료확인 기능을 Collect Model에 두어 임의의 대상이 무분별하게 시스템에 접근하는 행위를 차단한다. 연결된 EMS는 하위에 놓인 분산자원 등록 프로세스를 통해 플랫폼과 연결된다. EMS 시스템이 아니더라도 분산자원을 컨트롤 할 수 있는 통신 연계 주체(중계기 or 집중기 와 같은 게이트웨이)가 있다면, 인증절차는 활용이 가능하다. 모든 통신은 SSH(Secure Shell) 또는 TLS(Transport Layer Security) 적

용하여 암호화된 데이터를 주고받으면서 안정적인 연결을 유지한다.[2],[6]



[Figure 14] xEMS to Collect Model 보안

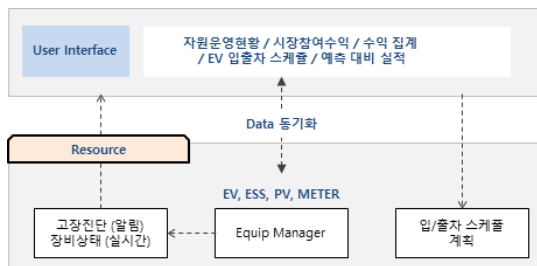
DR/FR Market과 통신하는 External Communication Model에서는 시장과 통신하기 위한 보안 규격으로 VPN(Virtual Private Network) 망을 사용하여 데이터 암호화와 접근성 제어에 대한 보안성을 유지하고 시장 참여 및 참여 중 실시간 응용 명령은 VPN 망 내에서 TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 통신으로 구성한다.



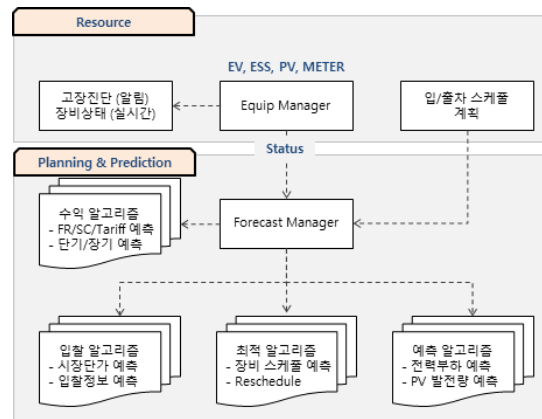
[Figure 15] External Communication Model to Market 보안

3.6 시스템 아키텍처 뷰

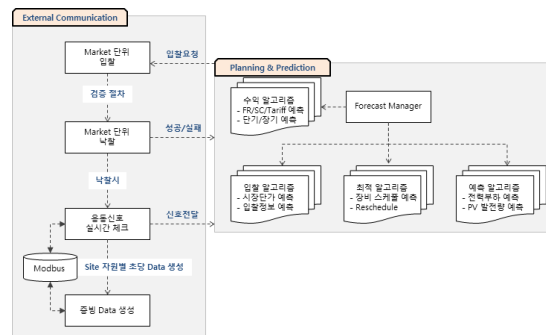
3.1~3.5의 구성 요소들을 아키텍처 View 관점의 C&C(Component-and-Connector) View와 같이 나타내면 [Figure 16,17,18,19]와 같다.



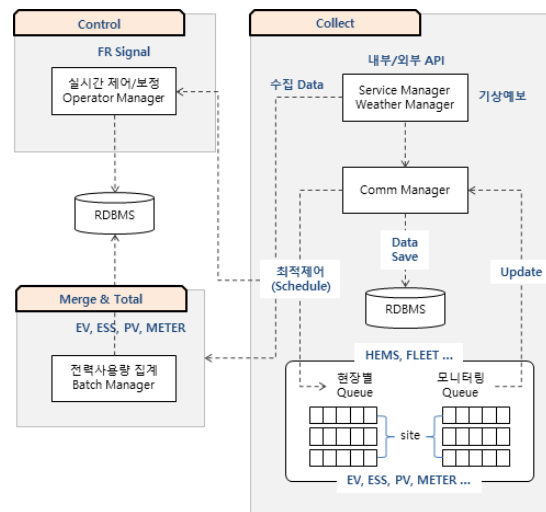
[Figure 16] C&C View(1)



[Figure 17] C&C View(2)



[Figure 18] C&C View(3)



[Figure 19] C&C View(4)

1Depts 모델의 하위에 구성될 Components를 나타내며 각 Component 또한 그 특성에 맞는 Model을 가질 수 있다. 대략적인 Component 단위를 표현하고 Component 간에 필요한 연결 관계를

표현했다. 이는 현재 아키텍처 설계단계에서 모두 도출된 것이 아니라 다시 각 Component의 특성에 따라 기능을 분해하고 필요한 Model을 구성하면서 더 상세한 설계를 진행 한다.[20],[24] 본 논문에서는 시스템 기본 구성요소에서 주요 부분에 대한 설계를 담은 것으로 이후 상세 설계단계에서는 이보다 훨씬 세세하게 나뉜 설계 Model과 흐름도를 작성한다.

설계해야 할 대상은 [Figure 20]과 같다.



[Figure 20] Models Subject by Layer Area

4. 결론

본 논문에서는 전력망 안정화 시스템의 필수 구성요소와 제약조건에 대한 아키텍처를 개념적 모델 관점으로 설계하였다. 하나의 시스템을 기능적 관점의 모델 단위로 상세화하고 그 모델은 기능적 관점으로 하위 모델 또는 컴포넌트를 포함하고 있는 구조로 설계 방식을 표현하였다. 본 논문에서의 설계 시스템은 각 가정이나 건물에서의 EV와 ESS 등 분산 자원 및 전력 사용량 모니터링을 참조하여 전력망 안정화시장에 활용함으로써 전체적인 전력망 안정화에 기여하고 이를 바탕으로 수익을 창출해 낼 수 있는 전력망 안정화 시스템이다. 기존에 전력 계통 운영 방식은 일시적인 수요감축을 통해 전력망 안정화에 기여했다면 본 시스템은 양방향 충·방전이 가능한 EV와 ESS를 주 자원으로 활용할 수 있다는 점에서 그 차이점이 있다. EV, ESS 등 분산 자원을 활용하면 전력 소모설비의 수요감축으로 대응하는 것보다 유연한 대처가 가능하다.

또한 설계한 시스템은 모델 단위로 분리 설계함으로써 External Communication Model의 Customizing을 통해 각국의 전력 안정화시장 시스템에 종속되지 않고 다른 국가 전력망 시장에서도 활용이 가능한 시스템이다. 다음 연구는 본 논문에서의 설계안을 바탕으로 전력망 안정화시장에서 EV 및 ESS 등 분산 자원에 대한 상세설계와 최적 제어 방안 및 기술 증명 관련 연구를 진행하고자 한다. 개념적 모델 설계 완료 이후 한 단계 더 나아가

References

1. 곽태균, 김기현, 강경우, 이진식, 고재훈, 도심형 전력 클라우드 서비스 모델 활성화를 위한 규제 개선 방안 연구, 대한전기학회 추계학술대회 논문집 p265, 2020.
2. 김수영, 김병섭, 손석호, 서지훈, 김윤근, 강동재, 멀티 클라우드 서비스 공통 플랫폼 설계 및 구현, 멀티미디어학회논문지 24권 제1호 p75-94, 2021.
3. 김진일, 염충섭, 신중욱, 정부지원 과제의 시스템 엔지니어링 적용 교훈 : 사례연구, Journal of Korea Society of Systems Engineering, Vol. 12, No. 2, 2016.
4. 김희철, 홍호표, 소규모 분산자원의 효율적 운용을 위한 가상발전소 플랫폼 개발, 디지털융복합연구 19권 제11호 p365-371, 2021.
5. 김호영, 송진술, 신광수, 김철환, 국내외 Vehicle-to-Grid(V2G) 실증 현황 및 전망, 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집 p89, 2022.
6. 박세준, 박연철, 이용준, 개인정보보호를 위한 Azure 클라우드 보안 아키텍처 구성, 한국산학기술학회논문지 22권 제9호 p156-162, 2021.
7. 양현, 김종범, 최성곤, 에너지 데이터 수집을 위한 소프트웨어 플랫폼, 한국통신학회 동계종합학술 발표회 논문집 p509-510, 2019.

8. 윤태훈, 박영원, 조명섭, 송하석, 아키텍처 프레임워크를 활용한 모델기반 시스템 엔지니어링, 시스템엔지니어링학술지 vol.6 No2, p21-27, 2011.
9. 외교부, 전자정부 누리집, 외교정책(기후변화협상), 2024, 다음에서 검색됨 (https://www.mofa.go.kr/www/wpge/m_20150/contents.do)
10. 이모세, 강민수, 김홍준, 김재현 스마트시티를 위한 실시간 데이터 처리 아키텍처, 한국통신학회논문지 제46권 제2호, p401-409, 2021.
11. 이성욱, 스마트 그리드환경에서 전기자동차 양방향 충전기술의보안과 개인정보 보호에 관한 연구, The Journal of the Convergence on Culture Technology, vol. 6 p441-448, 2020.
12. 이승준, 신진호, 스마트시티 에너지플랫폼 소프트웨어 프레임워크 및 운영포털 개발, 대한전기학회 학술대회 논문집 p65-66, 2021.
13. 이창훈, 주택 AMI 빅데이터 플랫폼 및 서비스 개발 동향, 대한전기학회 학술저널 전기의 세계 제70권 제8호 p9-16, 2021.
14. 이현구, 손홍관, 하태현, 이성준, 김대경, 배정효. V2G 기술과 실증연구 동향. 한국자동차공학회 춘계학술대회, p2203-2205, 2011.
15. 진태환, 신기열, 전기자동차 충전 중개사업자 모델의 전력계통 안정화 서비스 시장에서의 잠재성, 한국자동차공학회 논문집 27권 제11호 p839-846, 2019.
16. 차재연, 김경주, 박형근, 한국통신학회 논문지 제48권 제5호 p600-606, 2023.
17. 최진영, 박은성, 스마트그리드 환경에서 전기자동차 배터리를 이용한 V2G 활용방안에 관한 연구, 대한전기학회 논문지 제63권 제1호 p40-45, 2014.
18. 한국스마트그리드사업단, Homepage, 사업성과, 2024 다음에서 검색됨 (https://www.smartgrid.or.kr/mobile/sub03/sub01_3.php)
19. Chao YU, Qing LI, Kui LIU, Yuwen CHEN, Hailong WEL., Industrial Design and Development Software System Architecture Based on Model-Based Systems Engineering and Cloud Computing, Annual Reviews in Control vol. 51 p401-423, 2021.
20. H Izl M., Wirsing, M, Towards a System Model for Ensembles, Lecture Notes in Computer Science, vol 7000. Springer, Berlin, Heidelberg 2011.
21. H. Muccini and K. Vaidhyanathan, Software Architecture for ML-based Systems: What Exists and What Lies Ahead, IEEE/ACM 1st Workshop on AI Engineering – Software Engineering for AI (WAIN), p121-128, doi: 10.1109/WAIN52551.2021.00026, 2021.
22. Mahapatra, B., Nayyar, A. Home energy management system (HEMS): concept, architecture, infrastructure, challenges and energy management schemes. Energy Syst 13, p643-669, 2022.
23. M. F. Zia, M. Benbouzid, E. Elbouchikhi, S. M. Muyeen, K. Techato and J. M. Guerrero, “Microgrid Transactive Energy: Review, Architectures, Distributed Ledger Technologies, and Market Analysis,” in IEEE Access, vol. 8, p19410-19432, 2020.
24. M'hamed Rahmouni, Chaymae Talbi, Soumia Ziti, “Model-driven architecture: generating models from Symphony framework”, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol. 30, No. 3, p1659-1668, 2023.
25. Panda , C. K. ., & Panda, C., Intelligent Grid Management for Power and Energy Supply and Distribution. International Journal of

- Intelligent Systems and Applications in Engineering, 11(3), pp. 238-245. 2023.
26. Satrio Pradana, Jae Cheon Jung, Software Reliability of Safety Critical FPGA-based System using System Engineering Approach, Journal of Korea Society of Systems Engineering, Vol. 14, No. 2, 2018.
27. S. Chen and C. -C. Liu, From demand response to transactive energy: state of the art, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, vol. 5, no. 1, p10-19, 2017.
28. Shamsnaz Virani Bhada, Rahul Krishnan, A Model Centric Framework and Approach for Complex Systems Policy, IEEE SYSTEMS JOURNAL, VOL. 15, NO. 1, 2021.