

마이크로그리드 계통 분석을 위한 에너지 서비스 인터페이스 구조 설계

노수지, 김민호, 임정택, 함경선, 김태형

한국전자기술연구원

sjro@keti.re.kr, minhokim@keti.re.kr, jtlim@keti.re.kr, ksham@keti.re.kr, thkim@keti.re.kr

Design of an Energy Service Interface Architecture
for Microgrid System Analysis

Suji Ro, Minho Kim, Jeongtake Lim, Kyung Sun Ham, Taehyoung Kim

Korea Electronics Technology Institute

요약

본 논문은 마이크로그리드 해석을 계통 자체 분석과 연계 설비 분석의 두 영역으로 구분하고, 이를 통합적으로 지원하는 웹 기반 분석 플랫폼을 설계하고 구현하였다. 계통 분석 시스템은 구성도 및 시뮬레이션 결과를 기반으로 전력망의 연계 타당성과 운영 안정성을 평가한다. 설비 시뮬레이션 시스템은 RTDS 및 P-HILS 장비와 연계하여, 가상 또는 실제 DUT의 시계열 동작 데이터를 생성하고 웹 상에서 시각화할 수 있도록 구성하였다. 제안된 플랫폼은 마이크로그리드 내 주요 구성요소에 대한 통합 해석을 가능하게 하며, 사용자 인터페이스를 통해 사용성을 높인 점에 의의가 있다. 향후에는 분석 결과의 정확도 검증 및 다양한 장비 환경을 지원할 수 있는 구조 확장을 목표로 한다.

I. 서론

현대 전력 시스템은 전통적으로 중앙 집중형의 대규모 발전 및 광역 송전망을 기반으로 구축되어 왔다. 그러나 최근 재생에너지의 보급이 확대되고 에너지 자립률이 증가함에 따라, 특정 지역이나 단위 시설에서 자율적으로 전력을 생산·소비할 수 있는 마이크로그리드(Microgrid) 개념이 주목받고 있다. 마이크로그리드는 분산 자원을 기반으로 독립적으로 운영되는 소규모 전력 시스템으로, 계통과의 연계 운전과 독립 운전이 모두 가능하다는 특징을 가진다.[1]

마이크로그리드 계통을 안정적으로 설계하기 위해서는 계통 분석이 필수적이다. 특히 태양광이나 풍력 터빈 등의 재생에너지원을 전원 공급원으로 사용하는 마이크로그리드의 경우 전력 안정성을 확보하기 위해서는 계통 설계에 대한 타당성 검토가 중요하다.[2] 계통 분석 시에는 전력 흐름, 전압 안정성, 주파수 유지, 고장 시나리오 대응 등의 다각적 요소를 통합하여 평가해야 하는데, 이러한 계통 해석은 일반적으로 OPAL-RT, RTDS(Real-Time Digital Simulator)와 같은 전문 시뮬레이션 도구를 통해 수행된다. 그러나 이러한 장비들은 접근성이 낮고 비용 부담이 크며, 고도의 운용 지식을 요구하는 경우가 대다수이므로 일반 사용자가 활용하기 어렵다는 한계를 지닌다.[3]

이에 본 논문에서는 마이크로그리드 계통 시뮬레이션을 효율적으로 수행하기 위한 에너지 서비스 인터페이스 구조를 설계하였다. 이때, 마이크로그리드를 분석 기법에 따라 두 가지로 분류하는데, 첫 번째는 계통 자체에 대한 분석, 그리고 두 번째는 계통에 연계되는 설비의 시뮬레이션 분석으로 분류하여 이를 통합적으로 제공할 수 있는 구조를 제안한다.

II. 본론

1. 마이크로그리드 해석 구조 및 아키텍처

본 논문에서는 마이크로그리드 해석을 ‘계통에 대한 해석’과 ‘계통에 연

계되는 설비에 대한 해석’의 두 축으로 구분하고, 이를 바탕으로 한 웹 기반 분석 시스템의 아키텍처를 설계하였다.

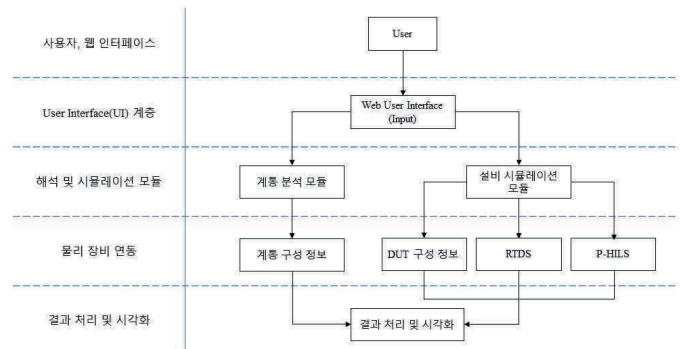


그림 1 마이크로그리드 계통 분석 서비스 계층별 구조도

사용자는 웹 인터페이스를 통해 계통 분석 또는 설비 시뮬레이션을 선택하고 입력을 수행한다. 분석 모듈은 입력값을 바탕으로 계통 구성 정보 또는 DUT 구성 정보를 처리하며, 설비 시뮬레이션의 경우 RTDS 및 P-HILS 장비와 연동된다. 모든 분석 결과는 웹 인터페이스를 통해 시계열 그래프 또는 표 형태로 출력된다.

2. 계통 분석 시스템의 구현

마이크로그리드의 두 가지 분석 기법 중 첫 번째에 해당하는 계통 분석 시스템은 마이크로그리드 전력망 구성의 타당성을 평가한다. 기존의 계통 시스템들은 일반적으로 복잡한 전력 해석 도구를 기반으로 운영되며, 사용자 인터페이스가 직관적이지 않은 등의 한계가 존재한다. 이에 해당 시스템은 계통 구성도와 측정 데이터를 기반으로 계통을 정량적으로 평가할 수 있는 웹 기반의 시스템을 구성하였다.

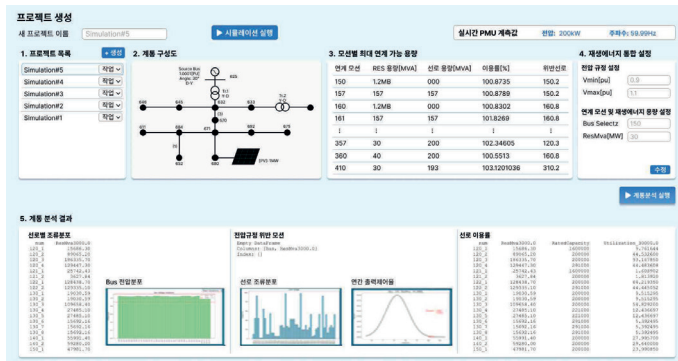


그림 2 계통 분석 시스템 인터페이스

시스템 인터페이스의 상단부는 분석을 실행하고자 하는 계통의 토폴로지를 시각화한 ‘계통 구성도’, 시나리오를 모션(Motion) 단위로 분류하여 계통 상태별로 연계 가능한 용량을 가시화하는 ‘모션별 최대 연계 가능 용량 차트’, 그리고 전압 규정, 연계 모션, 재생에너지 용량을 입력할 수 있는 ‘재생에너지 통합 설정’ 카드로 구성하였다. 입력을 완료하고 분석을 실행하면, 입력된 전압 규정과 시뮬레이션으로 계산된 실제 부하를 비교하여 각 모션의 정격용량 위반 여부가 판단되며, 과부하가 발생한 송전선로를 막대 그래프 형태로 출력한다. 또한 선로별 조류분포, 이용률, 그리고 연간 출력제어율 등을 도식화하여 제공한다.

3. P-HILS 설비 중심의 실시간 시뮬레이션 시스템 구현

마이크로그리드의 해석은 계통 자체의 분석에 국한되지 않으며, 계통에 연계되는 설비를 분석하고 시뮬레이션에 연계하는 통합적인 시스템이 필요하다. 이를 위해, 본 논문에서는 RTDS 및 P-HILS(Power Hardware-in-the-Loop Simulation) 등 실제 물리적 장비를 연동하여, 웹 플랫폼 상에서 실시간 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 활용할 수 있는 시스템을 제안한다.

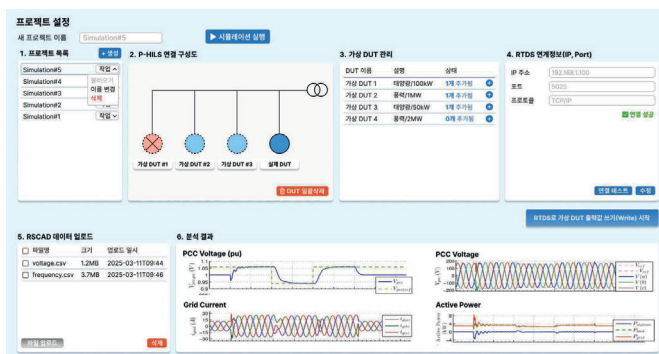


그림 3 P-HILS 연계 분석 시스템 인터페이스

제안된 웹 인터페이스는 크게 시뮬레이션 프로젝트 입력을 설정할 수 있는 상단부와 결과를 출력하는 하단부로 나뉜다. 상단부에서는 시뮬레이션에 활용될 가상 DUT(Device Under Test)의 종류 및 용량 등 주요 스펙을 입력할 수 있는 ‘가상 DUT 관리’ 카드가 제공된다. 사용자가 가상 DUT를 설정하면, 해당 정보는 ‘P-HILS 연결 구성도’ 카드에서 시각적으로 표현되며, 계통 내 연계된 형태로 구성도를 확인할 수 있다. 해당 구성도는 실제 DUT와의 연계도 지원하도록 설계되어 있으므로, 사용자는 가상 자원뿐만 아니라 실제 장비를 함께 구성하여 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 구성이 완료되면 사용자는 RTDS 통신에 필요한 IP, 포트, 프로토콜 등의 정보를 입력하고, 연결 상태를 사전에 점검할 수 있다. RTDS 실행

을 통해 DUT의 시뮬레이션이 수행되면, 시계열 형태의 출력 데이터가 생성된다. 출력 항목에는 전압, 주파수, 발전기 출력, 부하 흐름 등의 주요 전력 계통 지표가 포함된다. 생성된 시뮬레이션 결과는 플랫폼 상에 업로드할 수 있으며, 업로드된 데이터는 그래프 형태로 시각화되어 제공된다.

본 시스템은 계통 자체의 해석에 국한되지 않고, 계통에 연계된 장비의 동작 특성까지 분석할 수 있도록 지원한다. 또한, 일반적으로 접근성이 낮은 물리적 장비들을 웹 기반 인터페이스를 통해 보다 사용하기 쉽게 제공함으로써 활용성을 높이는 데에 의의가 있다.

III. 결론

본 논문에서는 마이크로그리드의 해석을 계통 자체에 대한 분석과 계통에 연계되는 설비에 대한 분석의 두 영역으로 구분하고, 이를 통합적으로 지원할 수 있는 웹 기반 분석 플랫폼을 설계하였다. 첫 번째로 제안된 계통 분석 시스템은 계통 구성도 및 입력 파라미터를 종합한 시뮬레이션을 통해 재생에너지 연계 전력계통의 안정도를 평가할 있도록 하였다. 두 번째로, P-HILS 기반 실시간 시뮬레이션 시스템은 RTDS 및 실제 DUT 장비를 연계하여, 설비 단위에서의 분석 및 결과 시각화를 가능하게 하였다.

본 연구의 의의는 기존의 단편적인 분석 도구들과 달리, 마이크로그리드 환경에서 계통과 설비를 통합적으로 분석할 수 있는 구조를 제안하고, 이를 사용자 친화적인 웹 인터페이스를 통해 구현하였다는 데에 있다. 특히 물리적 장비와의 연계를 포함한 시뮬레이션 기능을 웹 상에서 제공함으로써, 고도화된 분석 장비의 진입 장벽을 낮추는 데에 기여할 수 있다.

향후에는 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 높이기 위해 분석 정확도에 대한 검증 절차를 추가하고, 제어 전략 연계 기능을 확장할 계획이다. 또한, RTDS와 같은 특정 장비에 대한 의존도를 줄이기 위해, 다양한 하드웨어 환경에서도 적용 가능한 구조로 개선하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술연구원원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-0023170, 분산형 재생에너지 시스템 개방형 통합 플랫폼 개발)

참 고 문 헌

- [1] Vandoorn, T. L., Vasquez, J. C., de Koning, D. M., Guerrero, J. M., and Vandevelde, L., "Microgrids: Hierarchical Control and an Overview of the Control and Reserve Management Strategies," IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 7, no. 4, pp. 42 - 55, Dec. 2013.
- [2] Bacha, S., Picault, D., Burger, B., Etxeberria-Otadui, I., and Martins, J., "Photovoltaics in Microgrids: An Overview of Grid Integration and Energy Management Aspects," IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 9, no. 1, pp. 33 - 46, Mar. 2015.
- [3] C. Rehtanz and X. Guillaud, "Real-Time and Co-Simulations for the Development of Power System Monitoring, Control and Protection," OPAL-RT White Paper, TU Dortmund University and Ecole Centrale de Lille, pp. 1 - 30, 2015.