

녹색 에너지 자립섬을 위한 스마트 그리드 운영 프레임워크

박지현[○], 류광렬^{*}

[○]부산대학교 전자전기컴퓨터공학과

e-mail: islabjhp@gmail.com[○], kr Ryu@pusan.ac.kr^{*}

Smart Grid Operating Framework For Renewable Energy Island

Jiheon Park[○], Kwang Ryel Ryu^{*}

[○]Dept. of Electrical and Computer Engineering

● 요약 ●

에너지 자립섬은 외부 전력의 유입이 어려운 상황에서 풍력/태양광 발전과 같은 재생 에너지를 주요 발전원으로 운영하는 섬이다. 에너지 자립섬의 운영을 위해서는 전력 수요와 공급량을 예측하여 발전기, 송배전 시스템, ESS 등의 운영 계획 수립이 필요하며 수요 및 공급의 예측은 기상 상황 및 시간 등의 다양한 요소에 영향을 받으므로 예측이 어렵다. 이러한 특성을 감안하여 효율적인 전력망 운영을 위해 기계 학습을 기반으로 한 스마트 그리드 운영 프레임워크의 활용을 통해 이 문제를 해결하고자 한다. 본 논문에서는 자립섬 운영 계획 수립에 필요한 구성 요소를 파악하고 요소들 간의 연계 관계를 분석하여 운영 시스템의 프레임워크 설계안을 제시한다.

키워드: 스마트 그리드 (smart grid), 프레임워크 (framework), 에너지 자립섬 (renewable energy island)

I. 서론

스마트 그리드 (smart grid)란 전력망에 IT 기술을 접목시켜 에너지 효율을 최대화하기 위한 전력망 (grid)이다. 스마트 그리드는 에너지 효율을 높일 수 있다는 점 때문에 재생 에너지 (renewable energy)와 함께 언급되곤 한다. 재생 에너지는 태양이나 풍력과 같이 자연 에너지원으로부터 얻을 수 있는 에너지를 말하며, 환경오염을 발생 시키지 않아 녹색 에너지라고도 불린다.

본 논문에서 대상으로 하는 환경은 스마트 그리드가 구축된 녹색 에너지 자립섬이다. 섬은 외부 전력망과 독립적이면서 기본적으로 재생 에너지원에 의해 전력을 공급받고, 유사시를 대비해 연료를 사용하는 예비 발전기를 갖추고 있다. 일반적인 발전소와는 달리 재생 에너지는 기상과 같은 제어 불가능한 요소의 영향을 많이 받기 때문에 기존과는 다른 운영 시스템이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 환경에서 효율적인 전력망 운영을 위한 계획을 도출할 수 있는 스마트 그리드 운영 프레임워크를 제안한다. 먼저 시스템은 그리드 내의 각종 센서들로부터 얻은 정보로 현재 상황을 인지 할 수 있어야 한다. 그리고 앞으로의 상황을 예측할 수 있어야 하며, 현재 상황과 예측된 상황을 토대로 계획을 세우게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 전력망 운영 계획 수립에 대한 기존 연구와 문제점에 대해 살펴본다. 3장에서 요구 사항을 분석하고 지능형 상황 인지 프레임워크를 제안한 뒤, 4장에서 사례 연구를 통한 프레임워크 적용 예를 보인다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

일반적인 운영 계획은 전력망 구성 요소들의 제어 계획이 되나, 운영 계획을 장기적인 관점에서 생각해보면 최적 효율을 이끌어낼 수 있는 구성 요소들의 규모와 배치를 정하는 것이 된다.

일반적인 운영 계획의 연구로 Mitchell의 연구가 있다. Mitchell은 이 연구에서 시뮬레이션을 통해 풍력/태양광 발전기와 에너지 저장 장치 (ESS, Energy Storage System), 예비 발전기로 구성된 소규모 전력 단위의 운영 계획 생성 및 최적화 방안을 제시하였다 [1]. 이는 본 논문에서의 사례 연구를 수행하기 위한 기초 자료가 되었으나, 예측의 중요성이 적은 소규모 시스템에만 적용할 수 있는 한계가 있다.

구성 요소의 최적 규모 결정 방법으로 Koutroulis의 연구가 있다. Koutroulis는 전력 부하(소비)에 따른 비용을 최소화하기 위해 GA (Genetic Algorithm)를 적용하여 풍력/태양광 발전 시스템의 최적 규모를 계산하는 방법을 제안하였다[2].

* 본 논문은 산업통상자원부 산업융합원천기술개발사업으로 지원된 연구결과입니다 (No.10043907).

본 논문에서 제안하는 프레임워크는 일반적인 운영 계획을 도출하며, 이 과정에 지능형 상황 인지 기법을 적용하였다는 점에서 기존의 연구와 차이가 있다.

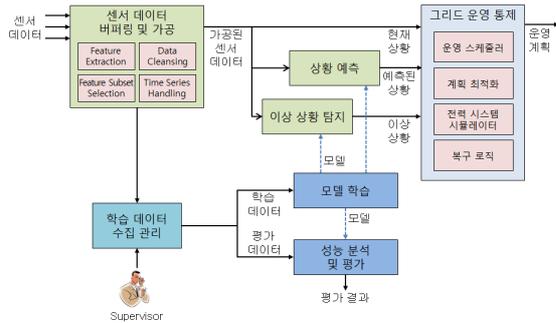


그림 33 스마트 그리드 운영 프레임워크 구조

III. 스마트 그리드 운영 프레임워크

1. 요구 사항 분석

대상이 되는 환경은 스마트 그리드가 적용된 재생 에너지를 사용하는 자립섬이다. 섬은 외부 전력망으로부터 단절되어 있는 자급자족 시스템이다. 전력망 구성요소로는 풍력/태양광 발전기, 예비 발전기, ESS, 송배전 시스템, 소비자가 있다. 모든 구성요소들은 센서를 갖추고 있고, 이들 센서에서 오는 데이터를 받으면 전력망 곳곳의 상태를 알 수 있다. 효율적인 전력망 운영을 위해서는 전력 예비율, 전력망의 안정성, 운영비용 등 고려해야 하는 사항들이 여럿 있다. 운영 시스템의 목표는 이러한 사항들을 최대한 만족 시키도록 발전기나 ESS와 같은 전력망 구성 요소들을 제어하는 것이며, 결국 이는 전력망 운영 계획을 수립하는 것이다.

풍력/태양광과 같은 재생 에너지는 발전량이 일정하지 않고 출력의 조절이 어렵기 때문에, 운영 계획 수립을 위해서는 앞으로의 상황이 어떻게 변할 것인지를 예측해야 한다. 예를 들어, 전력이 부족할지를 알기 위해서는 발전량과 사용량에 대한 예측이 있어야 한다. 만약 전력이 부족할 것이라 예상되면 예비 발전기 투입 준비와 같은 부하 제거 계획을 세워야 할 것이다. 즉, 재생 에너지 기반의 발전기 및 ESS 통합 제어 문제를 위해서는 기상 및 발전기 데이터를 활용한 풍력/태양광 에너지 발전량 예측과, 전력 소비량 및 사용 패턴을 이용한 전력 부하 예측이 필요하다.

그러나 앞서 언급했듯이 재생 에너지는 발전량이 기상의 영향을 받기 때문에 예측이 어렵고 변동 폭이 크다. 비슷하게 전력 소비량 역시 날씨, 요일, 시간대, 주거자의 행동 등 많은 요소에 영향을 받기 때문에 간단하게 예측할 수 없다. 본 논문에서는 기계 학습을 통해 이 문제를 해결할 것을 제안한다. 학습을 통해 발전량과 소비량에 대한 모델을 구축하고, 이를 상황 인지 및 예측에 이용할 수 있다. 또한 전력망의 안정성을 위해 이상 상황을 탐지하는 것이 필요한데, 이때에도 학습을 통해 이상 상황을 판별할 수 있다.

본 논문에서는 이상의 논의된 내용을 바탕으로 스마트 그리드 운영 프레임워크를 제안한다. 프레임워크는 상황 인지 및 예측을

바탕으로 한 운영 계획 수립을 목표로 하며, 이상 상황을 탐지하고 복구 절차를 가동하는 기능을 포함한다.

2. 지능형 상황 인지 프레임워크

프레임워크의 구성은 크게 4개의 파트로 구분할 수 있다. 첫째로, 입력 데이터를 가공하는 부분이 필요하다. 이는 많은 양의 데이터를 다루기 가능한 정도로 축소하고 상황 인지 및 예측의 정확도를 높이기 위해 필요하다. 두 번째로, 학습을 수행하기 위해 데이터를 관리하고 실제 학습을 수행하는 파트가 있어야 한다. 세 번째, 입력 받은 데이터와 학습으로 생성된 모델을 통해 현재 상황을 인지하고 앞으로의 상황을 예측하는 부분이 있어야 한다. 상황을 알아야 그에 맞는 운영 계획을 세울 수 있다. 마지막으로, 현재 상황 및 예측 상황 정보를 통해 실제 계획을 생성하는 파트가 필요하다. 여기서는 계획 최적화 등의 작업을 통해 보다 효율적인 계획을 만들어낸다. 이후의 절에서 각 파트에 대해 상세히 설명한다.

2.1 입력 데이터의 가공

시스템은 전력망의 상황을 인지하기 위해 전력망 곳곳에 위치한 각종 센서들로부터 센싱된 정보를 받아들이야 한다. 운영 시스템은 실시간으로 동작하므로 센싱된 정보들은 일반적으로 시계열 데이터 형태로 들어오며, 전력망의 여러 구성요소들로부터 실시간으로 수집된 데이터이므로 그 양이 막대하다. 입력 받은 데이터는 그 자체에 문제가 있을 수 있는데, 센서의 오동작이나 네트워크 불안정 등으로 인해 데이터가 잘못된 값을 가지거나 누락될 수 있다. 또, 다른 종류의 데이터 간에는 측정된 시간 간격이 다를 수 있고, 하나의 센서에서 들어오는 데이터라 할지라도 간격이 불규칙할 수 있다. 이러한 문제는 각 센서들의 동작 특성에 의해 발생하는 것들이다. 이를 고려하여 올바른 상황 인지를 수행하기 위해서는 입력 받은 데이터에 대한 전처리 과정이 필요하다.

그림 1의 [센서 데이터 버퍼링 및 가공] 모듈에서 이러한 데이터 보정, 속성 처리와 같은 전처리 작업을 수행한다. 데이터 보정에는 데이터의 잘못이나 누락과 같은 비정상 여부를 판단하고 데이터 복구를 수행 'data cleansing' 블록과, 시계열 데이터 마다 해당 데이터를 생성한 센서의 특성을 고려하여 필요한 경우 데이터를 보간하거나 마크업 정보를 추가하는 'time series handling' 블록이 있다. 속성 처리에서는 입력 받은 데이터들의 속성 (features)을 결합하여 새로운 속성을 만들어내는 'feature extraction'과, 학습하는데 필요 없는 속성을 걸러내는 'feature subset selection'이 존재한다. 이러한 과정들을 통해 학습에 불필요한 정보를 정리하고 데이터의 품질을 높임으로써 예측의 정확도를 높이는 데 기여한다.

2.2 학습 데이터 관리와 학습

[학습 데이터 수집 관리] 모듈에서는 학습에 필요한 데이터를 관리하는 역할을 수행한다. Supervisor는 수집한 데이터들이 학습에 사용될 수 있도록 조작하는 역할을 하며, 학습 데이터 및 평가 데이터 관리를 수행하고 필요할 경우 데이터 클래스를 분류하고 레이블을 매기는 작업을 수행한다. [모델 학습] 모듈에서는 학습 데이터를 이용, 기계 학습 알고리즘을 통해 상황 인지 및 예측 등에 필요한

모델을 각각 학습한다. 계절이나 요일 등의 요소에 따른 전력 소비량, 날씨에 따른 발전량, 경우에 따라서는 날씨까지 학습 대상이 될 수 있다. 각각의 용도에 맞게 학습된 모델들은 평가 데이터를 통해 평가된다. 그림 1의 [성능 분석 및 평가] 모듈에 학습한 모델을 평가 데이터를 통해 평가하는 과정이 나타나 있다. 이렇게 얻어진 평가 결과로 관리자는 시스템의 성능을 가늠하고 필요하다면 학습 알고리즘 및 파라미터 조정을 하게 될 것이다. 최종적으로 학습된 모델들은 각각의 목적에 따라 [상황 예측] 모듈이나 [이상 상황 탐지] 모듈에 전달된다.

2.3 상황 인지 및 예측

2.1에서 여러 전처리 과정을 거쳐 가공된 데이터는 [상황 예측] 및 [이상 상황 탐지] 모듈에 전달된다. 가공된 센서 데이터는 환경에 대한 정보를 뜻한다. 각 모듈은 현재의 환경 정보를 가지고 학습된 모델에 따라 현재 상황을 인지하고 미래 환경을 예측한다. 앞으로 전력망 구성요소들을 어떻게 제어할지 결정하려면 미래 상황에 대한 예측이 필수적인데, 이러한 예측을 [상황 예측] 모듈에서 담당한다. 그리고 [이상 상황 탐지] 모듈은 이상 상황이 현재 발생했는지를 판단한다. 두 모듈의 역할은 상이하나 동작 메커니즘은 데이터에 학습 모델을 적용하여 결과를 내놓는 것으로 매우 흡사하다.

2.4 운영 계획 생성

현재 상황 및 인지된 상황, 예측된 상황에 대한 데이터는 [그리드 운영 통제] 모듈에 전달된다. [그리드 운영 통제] 모듈은 여러 상황 데이터를 바탕으로 운영 계획을 생성한다. 이 때 전력 예비율, 전력망의 안정성, 계획의 운용 가능성, 운영비용 등 고려해야 하는 여러 제약들을 최대한 만족하도록 계획을 수립하고 이를 최적화하는 과정이 필요하다. 각각은 그림 1에서 '운영 스케줄러' 및 '계획 최적화' 블록으로 나타나있다. 생성된 계획의 타당성을 검증하기 위해서는

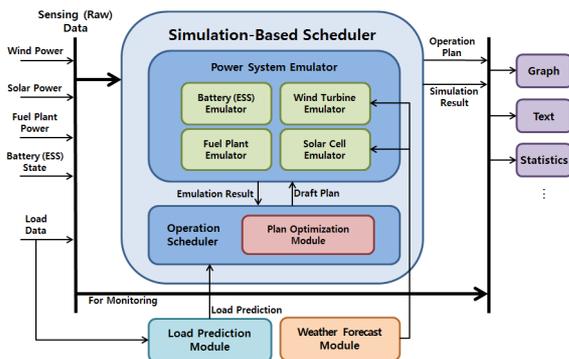


그림 34 그리드 운영 통제 모듈 상세 구조

예측된 환경으로부터 운영 계획 실행 시 예상되는 전력망 구성요소의 상태를 추적할 필요가 있다. '전력 시스템 시뮬레이터'에서는 이러한 운영 계획의 검증을 수행한다. '복구 로직'은 이상 상황이 발생 시 이로부터의 복구를 위한 절차를 담당하며 이상 상황 발생 시 해당 절차에 따라 전력망을 통제한다. 이러한 모듈을 통해 전력망 구성 요소를 제어하는 전력망 운영 계획을 수립할 수 있다.

IV. 사례연구

국내 스마트 그리드는 아직 시범사업 중이고 제한한 프레임워크 역시 연구 단계이기 때문에 실제 스마트 그리드 환경에 적용하기에는 무리가 있다. 아직 공개된 데이터도 없기 때문에 주로 시뮬레이션을 이용하여 사례연구를 진행하였다. 제한한 프레임워크 구조를 적용하여 전력망 안정화를 위한 전력 예비율 유지를 목표로 예비 발전기 운영 계획을 수립한다.

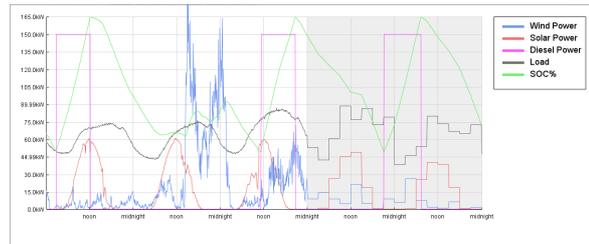


그림 35 도출된 전력망 운영 계획

대상이 되는 환경은 풍력과 태양광 발전으로 섬 전체에 에너지를 공급하는 녹색 에너지 자립섬이며, 구체적인 요소들은 가상으로 설계하였다. 섬 규모는 100가구로 하였고, 가구당 전력 사용량을 비롯해 전력망 구성요소인 풍력/태양광 발전 용량, 예비 발전기 용량, ESS 용량은 실제 값을 바탕으로 하였다. 섬 내에 발전 단지가 있고, 발전기와 ESS는 단지에 위치하는 중앙 집중형 구성으로 가정하였다. 풍력/태양광 발전기의 발전량은 발전기 모델 시뮬레이션을 통해 계산하였다. 시뮬레이션을 위해서는 기상 데이터가 필요한데 이는 기상청의 관측 자료를 이용하였다[3]. 전력 사용량 데이터는 한국전력공사에서 제공하는 통계 자료와 미국 뉴욕의 상세 수요 데이터를 활용하였다[4,5].

생성한 환경 데이터에 제한한 프레임워크로부터 구체화된 시스템을 적용하였다. 그림 1의 [그리드 운영 통제] 모듈의 구체화된 상세 설계는 그림 2와 같다. 운영 시스템은 예비 발전기 운영 계획을 도출하며, 그 중 일부가 그림 3에 나타나있다. 그림 3 오른쪽의 범례에서 'Diesel Power'가 예비 발전기를 나타내는 것으로, 그래프 상에서 예비 발전기 온/오프 계획을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 스마트 그리드가 적용된 녹색 에너지 자립섬을 대상으로, 필요 구성 요소를 파악하여 그리드 운영 시스템을 위한 프레임워크 설계안을 제안하였다. 제안하는 프레임워크는 그리드 구성요소의 센싱 데이터로부터의 상황 인지 및 예측을 통해 보다 많은 양의 정보를 활용하여 그리드 운영 계획을 도출할 수 있다. 이 구조를 실제 스마트 그리드에 직접 적용하기에는 현실적으로 어려움이 있기에 가상 환경을 설계하고 시뮬레이션을 이용해 사례 연구를 수행하였다.

스마트 그리드는 분산 전원 형태의 마이크로 그리드 특성을 가질 수 있는데, 제한한 프레임워크에는 이러한 특성이 반영되지 않았다.

향후 분산 환경에서 적용 가능하도록 확장하는 연구를 진행하면 프레임워크를 보다 다양한 상황에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] K. Mitchell, M. Nagrial, and J. Rizk, "Simulation and optimization of renewable energy systems," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 27, Iss. 3, pp. 177-188, Mar. 2005.
- [2] E. Koutroulis, D. Kolokotsa, A. Potirakis, and K. Kalaitzakis, "Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms," *Solar Energy*, Vol. 80, Iss. 9, pp. 1072-1088, Sep. 2006.
- [3] KMA, <http://kma.go.kr/>
- [4] KEPCO, <http://cyber.kepco.co.kr/>
- [5] NYISO, <http://www.nyiso.com/>