

## 데이터 기반의 예측을 통한 분산전원 연계 ESS 최적 운영방안

The optimal operation of energy storage systems with distributed generators by using the data-based prediction method

---

저자 (Authors)	김법수, 니키타 루셋스키, 콘스탄틴 슈스터존, 데니스 시도로프, 김인수 Beopsoo Kim, Nikita Rusetskii, Konstantin Shusterzon, Denis Sidorov, Insu Kim
출처 (Source)	<a href="#">대한전기학회 학술대회 논문집</a> , 2021.7, 218-219 (2 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">대한전기학회</a> The Korean Institute of Electrical Engineers
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10609652">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10609652</a>
APA Style	김법수, 니키타 루셋스키, 콘스탄틴 슈스터존, 데니스 시도로프, 김인수 (2021). 데이터 기반의 예측을 통한 분산전원 연계 ESS 최적 운영방안. 대한전기학회 학술대회 논문집, 218-219.
이용정보 (Accessed)	인하대학교 165.***.19.35 2021/10/20 15:35 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## 데이터 기반의 예측을 통한 분산전원 연계 ESS 최적 운영방안

김법수\*, 니키타 루셋스키\*\*, 콘스탄틴 슈스터존\*\*\*, 데니스 시도로프\*\*\*, 김인수\*  
 인하대학교\*, 이르쿠츠크 국립 과학기술대학교\*\*, 러시아과학원 시베리아에너지연구소\*\*\*

### The optimal operation of energy storage systems with distributed generators by using the data-based prediction method

Beopsoo Kim<sup>1</sup>, Nikita Rusetskii<sup>2</sup>, Konstantin Shusterzon<sup>3</sup>, Denis Sidorov<sup>3</sup>, Insu Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Inha University ([insu@inha.ac.kr](mailto:insu@inha.ac.kr)), <sup>2</sup>Irkutsk National Research and Technical University, <sup>3</sup>Energy Systems Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

**Abstract** - This paper presents a modeling methodology that predicts data-based power demand and System Marginal Price (SMP) through empirical data published by the Korea Power Exchange and Korea Meteorological Administration. A plan to establish an operation plan that links Energy Storage Systems (ESS) connected to distributed generators to the grid is considered through the greedy algorithm based on prediction results. Through this, it is expected that we can solve the power operation problem through the efficient operation of distributed power sources linked to the Energy Storage System (ESS). Also, to check the system's effect, simulation is performed in the test system through Simulink, and the result is verified.

#### 1. 서 론

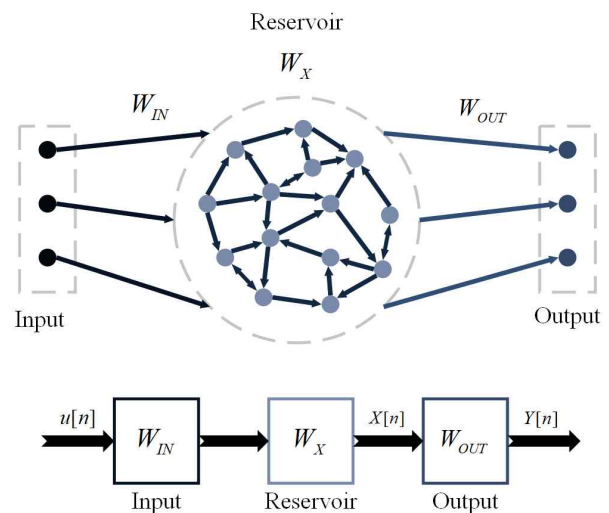
현대 전력망에서 다양한 스케줄링 및 운용기법의 도입은 전력망의 안정도와 신뢰도를 향상했다. 특히 이는 한세기전에 만들어진 고객 수요에 따라 수십 년 동안 재구축되어온 중앙집중적 발전을 기반으로 한 송전-배전을 구축한 전력망에서 매우 크게 이바지해왔으나, 사회가 복잡화, 다양화됨에 따라 전력망 또한 복잡, 다양화되었다. 이러한 전력망의 복잡화 및 다양화로 인하여 나타나는 문제인 전력 품질, 전력시장과의 복잡한 상호작용을 기존의 전력계통이 해결하지 못하고 있다. 이를 위한 대안으로서 분산 전원이 학연산을 중심으로 적극적으로 도입되고 있는데, 국제협약 및 여러 환경 이슈들로 인하여 신재생에너지를 기반으로 한 분산 전원을 도입하고 있는 현실이다. 그러나, 이러한 신재생에너지원의 특성상 발전량이 일정치 않고 확률적 움직임을 보이는 특징을 지니게 되는데, 이를 극복하기 위하여 ESS를 도입하여 계통에 통합하는 연구를 진행해왔다 [1].

따라서, 본 논문에서는 한국전력거래소와 기상청이 발간한 제주도의 실증자료를 바탕으로 계통한계가격을 예측하고 예측 결과를 바탕으로 참여형 소비자가 행동할 때 계통에 미치는 영향을 고찰하고 확인하기 위하여 시뮬링크를 이용하여 시뮬레이션을 수행한다. 이 연구에서 참여형 소비자의 이익을 극대화하고 계통의 문제를 해결 할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 분산 전원의 특성상, 도서/산간지역의 환경 보전 및 내륙지역에 비하여 높은 계통한계가격 문제의 해결에도 이바지할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 Echo State Network (ESN)

순환신경망의 한 종류인 ESN은 2004년 Jaeger와 Hass에 의해 제시된 방법으로서, 저렴한 컴퓨팅 자원과 빠른 학습 시간으로 예측이 가능한 장점이 있으며, 특히 복잡하지 않은 시계열 예측모형에 많이 이용되고 있다.



〈그림 1〉 ESN의 기본구조

##### 2.1.1 작동원리

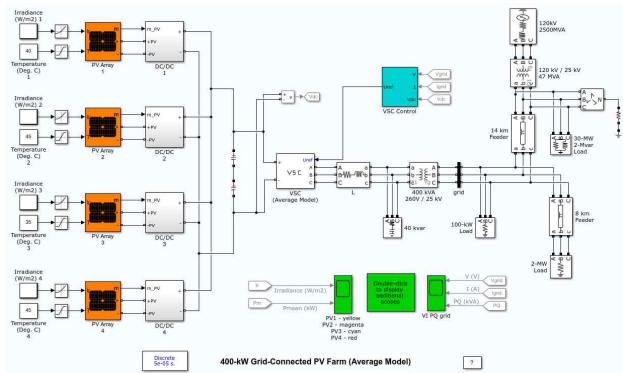
ESN의 구조는 입력-은닉계층-출력계층의 세 단계로서 구성된다. 이때, 은닉계층은 축적 컴퓨팅 (Reservoir computing)이라는 알고리즘을 기반으로 작동하는데, 입력출력함수만 학습시키면 되기 때문에 학습 시켜야 하는 양을 최소화할 수 있는 장점이 있게 된다. 다만, reservoir 내부의 뉴런은 입력에 따라 시변적으로 변해야 하는데 이를 위하여 입력계층에서의 가중치를 이항분포에서 표본을 뽑아 초기화시키는 작업과 reservoir에서의 가중치는 균등분포에서 무작위로 표본을 뽑는 작업을 거치게 된다.

##### 2.2 탐욕 알고리즘 (Greedy algorithm)

탐욕법은 최적의 해를 구하기 위해 사용되는 근사 알고리즘으로서, 매 순간 최적이라고 생각되는 해를 선택하여 진행하는 방법으로 최종적인 해에 도달하게 된다. 이때, 알고리즘을 통하여 구하게 되는 해는 최적의 해에 매우 가까운 값을 구하게 된다. 이때, 탐욕 알고리즘이 잘 작동하기 위해서는 앞의 선택이 이후의 선택에 영향을 주지 않아야 하며, 문제 전체에 대한 최적해가 부분 문제에 대해서도 역시 최적해가 되어야 한다 [2].

##### 2.3 사례연구

본 연구에서는 Mathworks에서 제공하는 400kW PV판 Simulink 모델을 기반으로 하여 ESS와 연계시켰다. 총 4개의 PV어레이로 구성되며, 각 어레이는 100W/m<sup>2</sup>의 일조량에서 최대 100kW를 제공한다. 본 연구에서는 송전선로의 조류 제약조건에서 비교적 자유롭기 위하여 IEEE 14 bus system을 테스트 계통으로써 채택하였다. PV판과 테스트 계통은 파이 모델로 모델링된 8km 길이의 송전선로를 통해 8번 버스와 연결된다.



〈그림 2〉 400kW PV팜 모델

### 3. 결 과

#### 3.1 예측모형 결과

예측모형의 성능을 평가하기 위하여, Mean absolute percentage error (MAPE)가 사용되었다. 전력수요의 예측면에서는 MAPE 기준 5.65%의 오차를, SMP의 기준에서는 13.68%의 오차를 보였으며 일반적으로 단기예측에서 20% 미만의 예측 오차를 보이는 경우 제대로 예측모형을 만들었다고 판단하는데 [3], 이를 기반으로 판단하였을 때 예측모형의 변수 선택과 모형 파라미터 설정이 제대로 되었음을 보여준다.

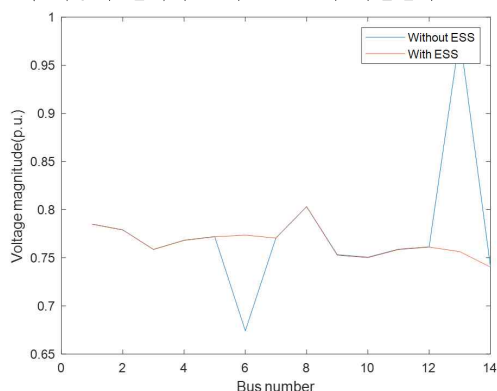
#### 3.2 운용모형 결과

##### 3.2.1 수익 비교

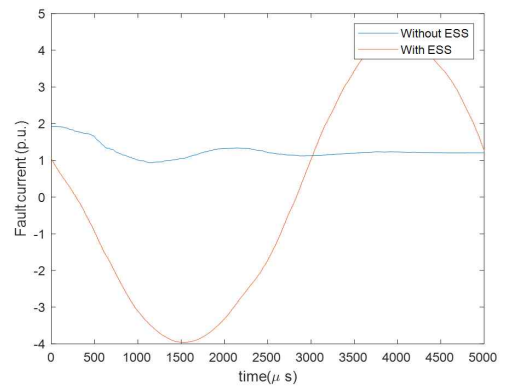
예측 결과를 기반으로 탐욕 알고리즘을 운용하였을 때, SMP 가격이 가장 높은 10일 동안 전력을 시장에 판매하였으며 예측 기간의 예상 수익과 실제 데이터를 기반으로 하였을 때의 수익을 비교한 결과, 탐욕법을 기준으로 판매할 경우, 7,536,263원의 기대수익을 보였고, 실제 데이터를 기반으로 하였을 때는 7,089,384원의 실제 수익을 보일 것으로 보여 6.3%의 오차를 보였다.

##### 3.2.2 계통영향 평가

정상 상태에서 계통에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시뮬링크에서 시뮬레이션을 수행한 결과 6번 버스에서는 전압 프로파일이 개선되었으나 13번 버스에서는 전압이 떨어지는 현상이 발생하였다. 따라서, 단순히 ESS를 투입만 하는 것이 아니라 이와 연계된 유효/무효전력의 제어가 같이 동반되어야 할 것으로 보인다. 또한, 계통에 고장을 모의하여 5000 $\mu$ s 동안 A상의 고장 전류를 관찰한 결과 값이 매우 증가하는 것을 보였으며 다른 연구에서도 이러한 경향이 같게 나타나는 것을 보였는데 [4], 이는 분산 전원과 ESS가 모두 일반적으로 그리드코드를 기반으로 전류원으로서 계통에 연계되는 기술 표준에 기인한다.



〈그림 3〉 ESS가 연계된 경우와의 전압 프로파일 비교



〈그림 4〉 ESS가 연계된 경우와의 고장 전류 비교

### 4. 결 론

본 연구에서는 ESS의 최적 운용계획을 설계하기 위하여 SMP 및 전력수요 예측을 수행하였다. 그 이후, 탐욕 알고리즘을 기반으로 운영계획을 설계하여 IEEE 14 bus system에서 테스트를 진행하여 운용계획과 ESS가 계통에 미치는 영향을 확인하였다.

본 연구는 다음과 같은 시사점을 제안한다. 첫째, ESN이 단기 예측을 위하여 효과적으로 사용될 수 있음을 시사한다. 일반적으로 전력거래소의 경우 SMP를 예측하기 위하여 이보다 더 다양한 요인들을 사용하여 95% 이상의 정확도를 유지한다는 점을 고려한다면 본 연구에서는 기상 데이터와 SMP 데이터만을 가지고 효과적으로 예측을 수행하였음에도 높은 정확도를 보였다. 다음으로 참여형 소비자는 그리드에 영향을 주지 않고 이익을 얻을 수 있다는 점에서 고무적이라 할 수 있다. 그림 3에서 전압 프로파일은 6번과 13번 버스를 제외하고는 변화를 보이지 않았다. 본 논문에서는 Volt/var 제어 및 계통제어를 고려하지 않았는데, 실제 계통은 이보다 더 안정적이고 강건하다는 점을 고려한다면, 참여형 소비자는 계통에 영향을 미치지 않고 이득을 얻을 수 있다는 점은 고무적이라 할 것이다. 다만, 그림 4에서와 같이 고장이 발생할 때 고장 전류의 값이 매우 증대되는 만큼 사고 시의 운용 전략에 대한 수립이 요구된다.

#### 감사의 글

This study is supported by National Research Foundation of Korea Basic Science Research Program (NRF-2019R1F1A1061259)

#### [참 고 문 헌]

- [1] D. Sidorov et al., "A Dynamic Analysis of Energy Storage With Renewable and Diesel Generation Using Volterra Equations," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 16, no. 5, pp. 3451 - 3459, 2020, doi: 10.1109/TII.2019.2932453.
- [2] R. Neapolitan, Foundations Of Algorithms, 5th ed. USA: Jones and Bartlett Publishers, Inc., 2014.
- [3] Martins, Simone & Ribeiro, Celso. (2006). Metaheuristics and Applications to Optimization Problems in Telecommunications. 10.1007/978-0-387-30165-5\_4.
- [4] S. K. Chaudhary, "Control and Protection of Wind Power Plants with VSC-HVDC Connection," 2020.