

독립형 마이크로그리드에서 신재생에너지 최적구성 알고리즘에 관한 연구

우상민*, 이성훈**, 곽형근***, 김성열****, 손현일*****, 김진오+

*한양대학교 전기공학과(coolwsm@hanyang.ac.kr), **한국수자원공사(shlee@kwater.or.kr), ***한양대학교
전기공학과(venice53@hanyang.ac.kr), ****한양대학교 전기공학과(psl@hanyang.ac.kr),
*****한양대학교 전기공학과(hison@hanyang.ac.kr), +한양대학교 전기공학과(jokim@hanyang.ac.kr)

A Study on Optimal Hybrid-Renewable Energy Configuration of Islanded Microgrids

Woo, Sang-Min*, Lee, Sung-Hun**, Kwag, Hyung-gun***, Kim, Sung-Yul****, Son, Hyun-Il*****,
Kim, Jin-O+

*Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University(coolwsm@hanyang.ac.kr),

**Green Technology Research Center K-water (shlee@kwater.or.kr),

***Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University(venice53@hanyang.ac.kr),

****Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University(psl@hanyang.ac.kr),

*****Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University(hison@hanyang.ac.kr),

+Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University(jokim@hanyang.ac.kr)

Abstract

At the moment, with an interest in renewable energy sources (RES) that continue to grow its penetration will be expected to considerably increase in the future power system. However, this penetration of RES leads to new challenges to be solved in electric power systems. In this paper, optimal configuration of renewable energy resources and operation strategy is presented. By using this

methodology for allocation of the optimal sizes and types, system operational efficiency and stability of the microgrid will be maximized.

Keywords : 신재생에너지원(Renewable energy sources), 마이크로그리드(Micro-grid), 최적구성(optimal configuration), 운영전략(operation strategy)

1. 서론

원자력 발전에 대한 안정성 문제, 신흥국가들의 경제성장으로 촉발되는 에너지 가격 상승, 지구온난화를 포함한 환경문제 등으로 인해 기존 전력산업구조의 기반은 점차 그 이점을 줄여가고 있는 반면, 미래에너지를 대체할 수단으로서 안전하고 깨끗한 신재생 에너지가 각광을 받고 있다.

이와 함께 분산전원에 대한 관심이 어느 때보다 고조되고 있지만, 현실적인 여러 조건으로 인해 보급이 제한되고 있는 실정이다. 제약되는 이유로는 크게 신재생에너지 원이 갖는 출력의 불확실성과 그 경제성의 미비를 꼽을 수 있다.

또한, 기존 전력시스템에 신재생에너지 보급의 확산은 전력품질 저하, 고조파 발생, 부하와 발전과의 불균형 등 많은 문제를 야기시킨다.

기존의 전력시스템은 발전소에서 생산된 전기를 소비자에게 전달하는 단방향 구성이었다면, 소규모 태양광 발전소, 풍력 발전 등의 개입으로 인해 직접 전기를 생산하여 공급자 역할까지 하는 프로슈머가 등장하였으며, 전체 전력시스템 네트워크의 효율을 증대시키기 위한 대안으로서 마이크로그리드가 꼽히고 있다.

지금까지는 FIT지원 제도의 영향으로 이러한 제약조건들을 고려하지 않고 설치를 해왔지만 더욱더 많은 보급, 확대를 이끌어 내기 위해서는 보다 효율성과 안정성을 고려한 보다 면밀한 검토가 필요하다.

본 논문에서는 각 신재생에너지의 특성과 서로간의 보완관계 등을 검토하여 효율성과 안정성을 고려한 최적화된 운영전략에 맞게 독립형 마이크로그리드를 구성해보도록 한다.

2. 독립형 마이크로그리드 구성

마이크로그리드의 구성은 풍력발전, 태양광,

출력조절 가능한 배터리, 디젤 발전기 등으로 이루어져 있고, 구성도는 그림 1과 같다.

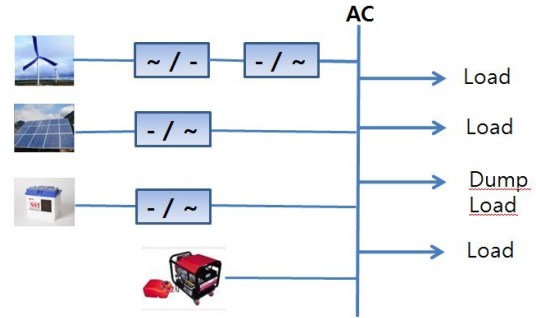


그림 1. 마이크로그리드의 구성도

3. 신재생에너지 최적구성 알고리즘

3-1 신재생에너지의 발전량 모델링

최적 구성을 수행하기 위해서 기상조건에 따른 출력량을 산정해야 한다. 태양광 및 풍력 발전은 기상조건에 따른 함수로 표현되며 이는 식 (1),(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{pv} = \eta_{pv} \times N_{pvp} \times N_{pvs} \times V_{pv} \times I_{pv} \quad (1)$$

단일 태양광 패널의 Input parameter(일사량, 온도 등)에 대한 출력특성에 관한 모델을 먼저 수립한 후 이에 대해 직렬과 병렬로 연결된 태양광 패널의 개수를 고려하여 전체 태양광 단지의 출력량을 계산한다. MPPT(Maximum Power Point Tracking)기법을 이용한 최적화된 point에 해당하는 V_{pv} 와 I_{pv} 를 도출하여 출력특성에 계산하여 반영한다.

$$P_w = \eta_w \times \eta_g \times 0.5 \times \rho_a \times C_p \times A \times V_r^3 \quad (2)$$

풍력발전기는 기본적으로 바람에너지를 전기에너지로 변환해주는 장치로서, 그 출력특성이 풍속에 의해 좌우된다고 할 수 있다. 그

리고 이외에 풍력발전기 블레이드가 차지하는 면적과 공기밀도, 윈드 터빈의 전력계수와 효율, 발전기의 효율을 통해 출력을 계산한다. 추후, 실제 적용할 풍력발전기 모델에 있어서는 cut-in & cut-out speed를 고려한다.

모델링한 신재생에너지의 총발전량은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(t) = \sum_{h=1}^{n_h} P_h + \sum_{w=1}^{n_w} P_w + \sum_{s=1}^{n_s} P_s \quad (3)$$

3-2 목적함수

본 논문에서는 독립된 계통에서 kWh당 생산비용을 최소화하는 신재생에너지의 최적의 조합을 구성하는 것을 목적으로 한다. 이를 식으로 나타내면 식(3)과 같다.

$$COE = \frac{C^{cap} + C^{rep} + C^{o\&m} + C^{fuel} + C^{grid}}{production(kWh)} \quad (4)$$

처음 설치하는 단계에서부터 교체비용, 운용 및 유지비용, 연료비용, 그리드 대체 비용에 이르기까지 모든 비용을 합산한다. 이를 단위 발전량으로 나눈 COE(Cost of Electricity) 개념을 사용하여 목적함수의 최적화를 수행, 발전단가가 가장 낮은 때의 최적화된 신재생에너지 구성을 찾는 것을 목적으로 한다.

초기 투자비용을 자본회수계수 개념을 적용하여 전체의 프로젝트 기간에 대한 연간 투자비로 계산한다. 이는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다. CRF는 자본 회수 계수이다.

- Capital Cost

$$C^{cap} = CRF(r, n) \sum_i^m C_i^{cap} R_i \quad (5)$$

교체비용은 식(5) 과 같이 나타낼 수 있고 이는 감채기금계수, 잔존가치도 고려하여 산

출한다.

- Replacement Cost

$$C^{rep} = \sum_{i=1}^m R_i C_i^{rep} F_i^{rep} SFF(r, L_i^{DG}) - \sum_{i=1}^m S_i SFF(r, L_{proj}) \quad (6)$$

년간 유지관리 비용은 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

- Annualized O&M cost

$$C^{o\&m} = \sum_{i=1}^m C_i^{o\&m} A_i 8760 \quad (7)$$

- Annualized Fuel Cost

디젤 발전기와 같이 연료를 소모하는 발전기의 운영에 들어가는 연료비용이며 식(7)과 같이 나타낸다.

$$C^{fuel} = \sum_{t=1}^{8760} P_{fuel}(t) C_{fuel}(t) \quad (8)$$

계통과 연계 시 모자라는 전력을 계통으로부터 공급받을 때 드는 비용이다. 본 논문에서는 독립된 계통으로 모의 하였기 때문에 사례연구에 포함되지 않았다.

- Annualized Grid Cost

$$C^{grid} = \sum_{t=1}^{8760} P_{grid}(t) C_{grid}(t) \quad (9)$$

3-3 제약조건

- 최대 설치 가능량

$$P_{pv} \leq P_{pv}^{max}, P_{wind} \leq P_{wind}^{max} \quad (10)$$

신재생에너지의 설치 시 환경이나 부지등 최대 설치 가능량이 제한되고 이를 제약조건으로 나타내었다.

○ 배터리의 기술적인 제약조건

$$SOC_{max} = 100\%$$

$$SOC_{min} = 30\%$$

배터리 수명이 급격하게 떨어지는 것을 방지하기 위한 대책으로 SOC(State Of Charge) 개념을 도입, 배터리 모델의 특성에 따라 배터리 충전량의 상한, 하한 값을 제약조건으로 정해주었다.

○ Overproduction

$$P_{bat}(t-1) + \min(P_{ch,max}, P_{net}) = P_{bat}(t) \quad (11)$$

운영적인 측면을 고려한 에너지 저장장치 활용에 있어 배터리 특성에 따른 충전량에 대한 현실적인 고려. 배터리에 충전되는 충전량은 최대충전용량과 신재생에너지원 발전량에서 수요량을 뺀 값 사이에서 작은 양을 충전함. 이 때 배터리의 충전변환효율 또한 고려해 주어야 한다.

○ Overdemand

$$P_{bat}(t-1) - \min(P_{ch,max}, P_{net}) = P_{bat}(t) \quad (12)$$

배터리는 신재생에너지원이 매우지 못한 수요부족분을 충족시켜주어야 함. 이때 배터리로부터 방전되는 방전량은 배터리 최대방전용량과 수요량에서 신재생에너지 발전량을 뺀 값 사이에서 작은 양을 방전함. 이 때 또한 배터리의 방전변환효율을 고려해 주었다.

4. 사례연구

독립형 마이크로그리드를 구성하기 위해 우리나라 서해 도서지역을 대상으로 수집된 자료를 바탕으로 진행하였다. 서해 도서지역의 최대부하 300KW를 산정하여 우리나라 계절별, 요일별 전기수요패턴을 분석한 보고

서를 바탕으로 도서지역의 부하율, 수요패턴에 맞게 1년 8760시간의 부하량을 재구성하였다.

신재생에너지 출력량을 산정하기 위해 사례연구에 사용된 기상데이터는 그림2, 3과 같다.

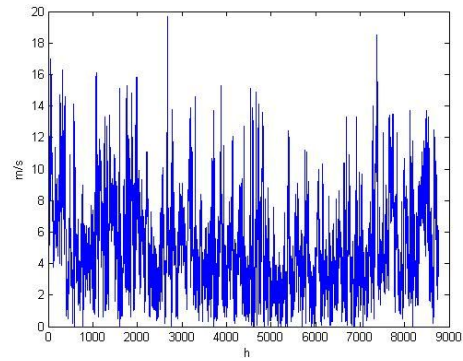


그림2. 풍속데이터

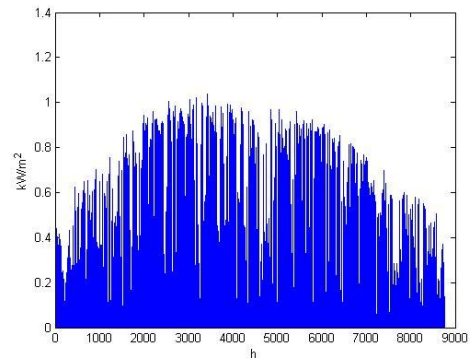


그림3. 일사량데이터

본 논문에서 제안한 최적구성 알고리즘에 기반 하여 해당 지역을 대상으로 모의를 실행한 결과는 다음과 같다.

태양광 644kW

풍력발전 1246kW

배터리 492kW

하루평균 디젤 발전량 1507kWh

COE(Cost of Electricity) 227won/kWh

입력 파라미터로 넣은 해당지역의 기상조건은 년 평균풍속이 5.2m/s로서 다른 지역에

비해 바람자원이 더 풍부할 뿐만 아니라 좀 더 균일한 특성을 보여 안정성과 효율성 측면에서 이점을 가지므로 다른 발전원 대비 시설용량이 커짐을 알 수 있다.

민감도 해석을 통한 경제성 분석 결과 에너지 저장장치인 배터리는 발전원인 태양광, 풍력발전기보다 가격 대비 설비용량에 있어 더 큰 영향을 미치는 것을 확인해 볼 수 있었다. 이는, 배터리가 실질적으로 발전을 하는 것이 아닌 신재생에너지의 간헐적인 특성을 보완해주고 잉여에너지를 저장하는 보조적인 기능을 하는 것으로서 가격에 따른 차이가 클 수 밖에 없음을 보여주고 있다. 그리고 배터리 가격을 고정시켜 두고, 배터리의 성능과 수명에 영향을 미치는 stress factor 와 같은 인자들을 고려하여 운영전략을 구성함으로써 실질적으로 배터리에 소요되는 비용을 낮추는 효과를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

우리나라 서해 도서지역을 선정하여 독립형 마이크그리드를 구성한 결과, 기존 디젤 발전시스템의 발전단가가 450원/kWh 인 것에 비하여 신재생-디젤-에너지저장장치 하이브리드 발전 시스템을 도입할 경우의 최적 구성 시스템의 발전단가는 215원/kWh로 LPSP 신뢰도에 따른 안정적인 전력공급과 품질을 유지하면서 보다 경제성 있는 대안으로 활용될 수 있음을 보여주었다.

운영전략에 있어 장기적인 관점에서의 스케줄링과 아울러 부하예측, 태양광, 풍력발전 출력예측, 배터리 충방전 전략 등을 세분화하여 단기 스케줄링을 보완한다면 최적구성시스템의 효율성과 신뢰성 또한 더욱 제고될 것이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원 (과제번호 09지역기술혁신 B-01)에 의해 수행되었음

참 고 문 헌

1. ALI KEYHANI, Design of Smart Power Grid Renewable Energy Systems, Wiley 2011
2. Math Bollen, Integration of Distributed Generation on the Power System, Wiley 2011
3. 고종민, 송재주, etc. 전력소비자의 단기 수요예측을 위한 전력소비패턴과 환경요인과의 관계분석, KIEE Vol.59 2010
4. 장하나, 김수덕, 도서지역 전화사업과 신재생복합 전력시스템 보급의 경제성분석, 한국산업조직학회, 2005
5. Francois Giraud, Steady-State Performance of a Grid-Connected Rooftop Hybrid Wind-Photovoltaic Power System with Battery storage, IEEE Energy Conversion, Vol.16 2001
6. Y.M. Atwa, Optimal Renewable Resources Mix for Distribution System Energy Loss Minimization, IEEE Power Systems, Vol.25 2010
7. Changsong Chen, Optimal Allocation and Economic Analysis of Energy Storage System in Microgrids, IEEE Power Electronics, Vol,26 2011
8. Rodolfo Dufo-Lopez, Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms, Solar Energy 79(2005) 33-46