마이크로그리드 구축 시 ESS에 의한 신재생에너지 출력 제한률 분석

이승민*, 이도헌*, 김호민*, 김일환**
제주대학교 풍력공학부*, 제주대학교 전기공학과**

Analysis of the Penetration Limit Rate of Renewable Energy with ESS on the Implementation of Microgrid in Chuja Island

SEUNGMIN-LEE*, DOHEON-LEE*, Homin Kim*, Eel-Hwan Kim**
Faculty of Wind Energy Engineering Graduate School, Jeju National University*
Department of Electrical Engineering, Jeju National University**

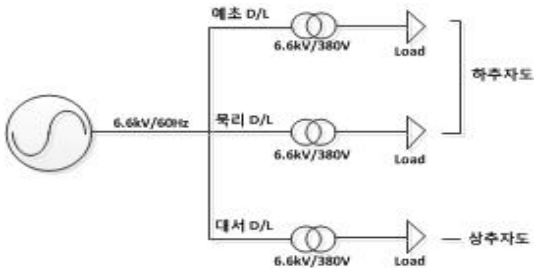
Abstract - 최근 정부에서는 우리나라 전 도서에 신재생에너지와 에너지저장장치(ESS)를 결합한 마이크로그리드 구축 사업을 계획하고 있기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이때 분산전원 도입 시 부적절한 용량산정은 신재생 발전제한 혹은 전력공급부족 등을 유발하며, 이는 발전효율 저하 및 계통전력수급에 문제를 야기한다. 따라서 본 논문에서는 부하의 수요전력을 고려한 분산전원의 적절한 용량산정를 도출하기 위하여 제주특별자치도의 추자도를 실증사이트로 정하여 실제 부하패턴과 기상데이터를 가지고 신재생에너지원과 ESS의 용량별 신재생발전 출력 제한률을 분석하고자 한다. 출력 제한률은 MATLAB 프로그램을 통해 분석하였으며, 그 결과를 통해 추자도의 마이크로그리드화를 위한 분산전원의 적정용량을 나타내고자 한다.

1. 서 론

마이크로그리드는 신재생 에너지원등 다양한 분산전원이 연결되는 시스템으로, 청정에너지를 이용하는 미래의 전력시스템으로 주목받고 있다. 오늘날 전 세계적으로 마이크로그리드에 대한 관심과 사업이 널리 확산되고 있고 또한 정부도 우리나라 전 도서지역을 신재생에너지와 에너지 저장장치를 결합한 마이크로그리드화를 추진하고 있다. 현재 국내 120여개의 도서지역의 경우 전력망이 내륙과 연결되어 있지 않기 때문에, 전력공급을 위해 발전단가가 비싼 디젤 발전기를 사용하고 있다. 디젤의 연료비 및 유지관리 비용이 지속적으로 증가하고 또한, 높은 생산원가에 반해 저렴한 요금으로 도서지역의 디젤발전 의존도는 점차 커지는 추세이다. 이에 따라 정부는 이를 해결하고자 독립형 마이크로그리드 사업을 진행중에 있다. 이는 울릉도를 필두로 도서지역에 독립형 마이크로그리드를 구축하여, ESS와 다양한 분산전원을 통해 전력공급을 함으로써 도서지역의 디젤발전 의존도를 줄이고자 함이다. 이는 고갈되지 않는 태양광, 풍력과 같은 친환경적인 에너지를 효율적으로 이용하고, ESS를 통해 피크부하에 대한 전력공급의 유연성을 확보해 전체 전력계통의 에너지 효율을 극대화시킨다. 전력계통의 에너지 효율 극대화를 위해서는 각 분산전원의 운전방법과 계통의 수요부하에 맞는 적절한 용량의 분산전원설비 도입이 필수적이다. 부적절한 용량의 분산전원은 신재생발전원의 과도한 출력제한을 유발하고 이는 신재생발전의 효율을 감소시킨다. 따라서 본 논문에서는 추자도 마이크로그리드 구축 시, 실제 기상데이터와 전력수요 패턴을 이용하여 신재생 발전원과 ESS의 용량에 따른 샌재생에너지의 출력 제한률을 분석하고 이를 토대로 적절한 신재생발전원과 ESS의 용량을 산정하고자 한다[1].

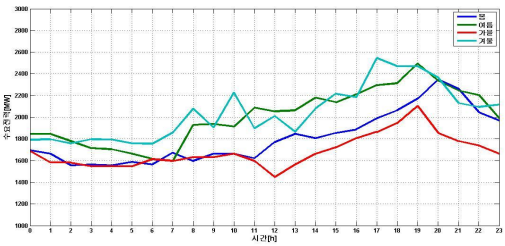
2. 본 론

2.1 추자도 전력계통



<그림 1> 추자도 전력계통

추자도에 설치되어 운용되고 있는 추자 내연발전소는 총 7대의 디젤발전기로 이루어져있으며 각 발전기는 정격전압이 6,600V인 용량 1,000kW 4대와 500kW 3대로 총 5,500kW로 구성되어 있다. 안정적인 출력운용을 위하여 각각의 발전기들은 정격용량에 약 80%씩 운전을 하고 있다. 그리고 전력계통은 그림 1과 같이 구성되어 계통의 부하특성에 맞게 운용되며 예초, 대서, 묵리 D/L을 통해 전력을 공급되고 있다. 이때 계통의 배전전압은 6.6kV이며, 변압기를 통해 380V로 변압되어 수용가에 전력을 공급하고 있다.



<그림 2> 추자도 계절별 전력수요

추자도는 평균 1,607kW, 최대 2,529kW의 수요 부하를 갖으며, 계절별 전력수요 패턴은 그림2와 같이 여름철과 겨울철 전력수요가 크며 가을철에 전력수요가 적다. 또한 매년 가정용 태양광설비가 점차적으로 증가하여 전력수요가 줄어드는 추세이다.

2.2 추자도 마이크로그리드 운영방안

추자도의 우수한 기상조건을 기반으로 마이크로그리드 구축을 위해 풍력발전설비와 태양광발전설비 그리고 ESS가 도입된다. 이때, 계통의 안정성을 위해 디젤발전원을 주 전원으로 하고 신재생원과 ESS가 보조전원으로 동작하도록 한다.

추자도 마이크로그리드의 전력계통 운용은 계통의 전력수요 및 전압, 주파수와 신재생발전의 출력을 분석하여 계통의 현 상태를 파악한 후 출력제어가 가능한 발전원의 제어가 진행된다. 먼저 디젤발전의 출력을 일정하게 하고 신재생 발전의 출력에 대한 부족한 부하량을 ESS가 공급하게 된다. 이때 에너지저장장치의 전력공급 수행가능 여부를 판별하여 디젤발전의 출력을 제어하며, 계통의 전력량이 비대해질 경우 신재생발전의 출력을 제한하여 전력계통의 안정적인 운용을 수행한다[2].

2.3 ESS용량에 따른 신재생에너지 출력 제한률

신재생 에너지의 출력 제한률을 분석하기 위해 실제 추자도 계통의 전력수요와 도입될 신재생발전원의 출력, 디젤출력을 이용한다. 이에 따라 그림 2를 근거로 하여 2014년 1년간의 전력 수요값을 모의하였다. 또한, 풍력발전기는 N사의 100kW모델을 기준하여 Power Curve에 준하여 실제 풍속에 따른 1년간의 출력을 도출하였으며, 태양광발전기는 실제 일사량에 따라 태양광 패널의 기울기 30°를 적용하여 "국내 태양에너지 자원 분석 및 측정기술연구"에 의거하여 단위용량 100kW로 1년간의 출력을 도출하였다[3],[4].

위 데이터를 기반한 디젤 발전기의 일정 출력값은 식(1)을 통해 산정된다.

$$P_{DG} = Average(P_{load} - P_{RES(W.T+PV)}) \quad (1)$$

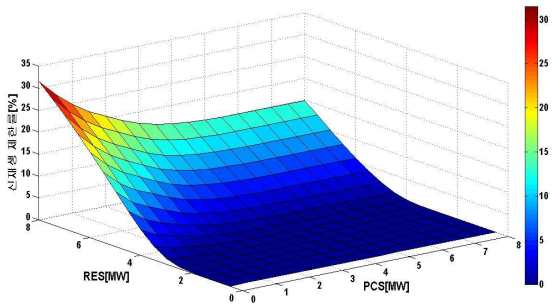
여기서,

P_{DG}	:	디젤 발전기 출력	[MW]
P_{load}	:	수요 전력	[MW]
$P_{RES(W.T+PV)}$	:	신재생발전 출력합(풍력+태양광)	[MW]

식(1)은 실제 추자도의 전력수요에서, 풍력발전출력과 태양광발전출력의 총합을 뺀 값을 평균하여 디젤발전의 정출력 값을 매일 마다 다르게 산정한다. 이에 따라 풍력발전설비와 태양광발전설비의 비율을 풍력발전 70%, 태양광발전 30%로 가정하여, ESS의 PCS 용량과 신재생발전의 용량에 따른 신재생에너지 출력 제한률을 도출하였다.

3. 모의 실험 결과

풍력발전설비와 태양광발전설비를 포한한 신재생에너지 설비용량(RES)과 ESS의 PCS 용량을 각각 0~8MW로 하여 MATLAB 프로그램을 이용하여 각각의 출력 제한률을 분석하였다. 이때 ESS의 용량은 산업통상자원부의 지침인 4시간과 6시간으로 각각 용량을 산정하였다.

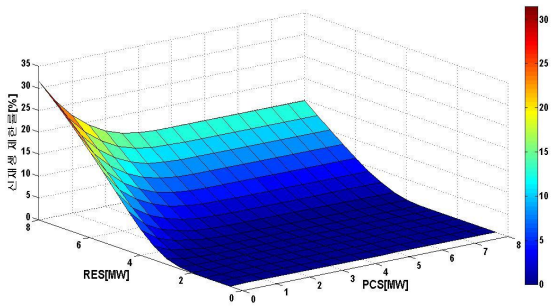


<그림 3> 4시간을 고려한 ESS 용량

<표 1> 4시간을 고려한 ESS 용량

		ESS의 PCS용량[MW]								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
RES [MW]	0									
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1.28	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	5.78	2.92	1.42	0.71	0	0	0	0	0
	5	12.47	7.49	4.64	3.12	2.48	2.34	2.32	2.30	2.27
	6	19.45	13.27	9.75	7.33	6.27	5.96	5.90	5.88	5.86
	7	25.80	19.18	15.19	12.19	10.87	10.43	10.33	10.29	10.28
	8	31.51	24.80	20.61	17.40	15.76	15.13	14.98	14.96	14.95

그림 3은 신재생발전 최대출력의 4시간 연속충전이 가능한 ESS의 용량과 신재생에너지의 용량에 따른 신재생 발전 제한률을 분석한 결과이며 이를 표1에 나타내었다.



<그림 4> 6시간을 고려한 ESS 용량

<표 2> 6시간을 고려한 ESS 용량

		ESS의 PCS용량[MW]								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
RES [MW]	0									
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1.28	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	5.78	1.89	0.71	0	0	0	0	0	0
	5	12.47	5.61	3.11	2.38	2.32	2.29	2.27	2.27	2.24
	6	19.45	10.94	7.26	6.07	5.90	5.87	5.84	5.81	5.78
	7	25.80	16.61	12.12	10.59	10.33	10.29	10.26	10.23	10.21
	8	31.51	22.27	17.26	15.35	14.99	14.96	14.93	14.91	14.89

그림 4는 신재생발전 최대출력의 6시간 연속충전이 가능한 ESS의 용량과 신재생에너지의 용량에 따른 신재생 발전 제한률을 분석한 결과이며 이를 표2에 나타내었다. 표 1, 2를 보면 ESS의 설치가 안되었을 때 31.51%의 최대 제한률이 나타남을 확인할 수 있으며, ESS의 용량이 커짐에따라 제약률이 감소함을 확인할 수 있다. 또한, 제한률이 0인 부분이 신재생발전원의 효율이 최대인 구간임을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 효과적인 추자도의 마이크로그리드 구축을 위한 ESS의 용량과 신재생발전원의 용량에 따른 신재생발전원의 출력 제한률을 분석하였다. 신재생발전원의 출력 제한률은 실제 전력수요 패턴과 실제 기상데이터를 기반으로 가상의 2014년 추자도 전력수요와 풍력발전출력, 태양광출력을 도출하여 MATLAB 프로그램을 이용하여 분석하였으며, 이에 따라 각 ESS 용량별 신재생발전원의 효율이 최대인 구간을 도출하였다. 본 논문의 신생생 제한률 분석은 향후 추자도의 마이크로그리드 구축 시와 더불어 기타 도서지역의 마이크로그리드 구축 시에도 분산전원의 경제적이고 효율적인 용량산정에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

[감사의 글]

본 연구는 2012년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력양성사업(과제번호:20094020200020) 및 「풍력 발전설비 평가용 실증단지 확장개발」과제(과제번호:2012T100201731)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

[참 고 문 헌]

[1] 이덕수, 성병철, 김수남, “도서지역 마이크로그리드 시스템 설계 개선에 관한 연구”, 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, p147-148, 2014.11.7.-11.8.

[2] Han Minxiao, Su Xiaoling, Lin Shaobo, Zhao Zhengkui, “Transient analysis and control for microgrid stability controller”, PowerTech(POWERTECH), 2013 IEEE Grenoble, p1-6, 16-20 June 2013.

[3] 산업자원부, “국내 태양에너지 자원 분석 및 측정기술 연구”

[4] 기상청 국가기후데이터 센터