



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

추자도 지역의 분산전원 도입을
고려한 에너지저장장치 용량산정

濟州大學校 大學院

風力工學部 風力電氣·制御시스템專攻

李 度 憲

2015 年 8 月

추자도 지역의 분산전원 도입을 고려한 에너지저장장치 용량산정

指導教授 金 鎬 民

李 度 憲

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2015 年 8 月

李度憲의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ①

委 員 _____ ①

委 員 _____ ①

濟州大學校 大學院

2015 年 8 月

Determination of ESS Capacity for
Introducing the Distributed Generation
Facilities in Chuja Island

Lee Do-Heon
(Supervised by professor Ho Min Kim)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

MAJOR OF WIND POWER ELECTRICITY AND CONTROL
SYSTEM ENGINEERING
FACULTY OF WIND ENERGY ENGINEERING

2015. 8.

목 차

그림 목차	iii
표 목차	v
SUMMARY	vi
I. 서 론	1
II. 추자도 전력계통 현황	2
2.1 추자도 부하	2
2.2 추자도 전력설비	3
III. 분산전원설비의 모델링	5
3.1 분산전원설비 종류	5
3.2 분산전원설비의 모델링	7
IV. 추자도의 마이크로그리드용 에너지저장장치 용량산정	16
4.1 추자도 계통 모델링 및 해석	16
4.2 에너지저장장치 용량산정	24
4.3 결과 및 고찰	31
V. 결 론	35
참 고 문 헌	37

그림 목 차

그림 1 추자도지역 부하중별현황	2
그림 2 추자도지역 평균 및 최대전력 현황	3
그림 3 추자도 전력계통도	3
그림 4 디젤발전기 모델	8
그림 5 배터리 등가모델	9
그림 6 리튬이온배터리 방전곡선	10
그림 7 배터리 및 전력변환장치 구성도	11
그림 8 태양광시스템 모델	12
그림 9 태양광시스템 등가모델	12
그림 10 영구자석형 동기발전기 모델	13
그림 11 풍력발전시스템의 전력변환장치 모델	13
그림 12 풍력발전시스템 가변입력풍속	14
그림 13 발전기 측 전압 및 전류	14
그림 14 계통 측 전압 및 전류	14
그림 15 추자도 전력계통 PSCAD/EMTDC 모델	16
그림 16 2014년 12월 15일 추자도 계통의 실제 수요전력	17
그림 17 추자도 계통의 유효전력, 전압, 주파수 컴퓨터해석결과	17
그림 18 추자도 마이크로그리드 PSCAD/EMTDC 모델	18
그림 19 추자도의 계절별 부하특성	19
그림 20 2014년 2월 2일 추자도 마이크로그리드의 유효전력 컴퓨터해석	19
그림 21 2014년 2월 2일 추자도 마이크로그리드의 주파수 컴퓨터해석	19
그림 22 2014년 2월 2일 추자도 마이크로그리드의 전압 컴퓨터해석	20
그림 23 2014년 7월 9일 추자도 마이크로그리드 유효전력 컴퓨터해석	20
그림 24 2014년 7월 9일 추자도 마이크로그리드의 에너지저장장치 잔존용량 컴퓨터해석	21
그림 25 2014년 7월 9일 추자도 마이크로그리드의 주파수 컴퓨터해석	21
그림 26 2014년 7월 9일 추자도 마이크로그리드의 전압 컴퓨터해석	21
그림 27 추자도 마이크로그리드의 전력계통 운영전략 흐름도	23
그림 28 추자도 마이크로그리드 최소부하 시 주파수 변동량	25
그림 29 추자도 마이크로그리드 최대부하 시 주파수 변동량	26
그림 30 에너지저장장치 4시간 고려 시 신재생에너지 제한율	27
그림 31 에너지저장장치 6시간 고려 시 신재생에너지 제한율	28
그림 32 에너지저장장치 8시간 고려 시 신재생에너지 제한율	29

그림 33 에너지저장장치 10시간 고려 시 신재생에너지 제한율 30

표 목 차

표 1 추자도지역 발전기 및 변압기 현황	4
표 2 추자도지역 전력설비 구성요소	7
표 3 추자도 마이크로그리드 주파수 변동량	31
표 4 신재생에너지 연간 제한율	33

SUMMARY

In this dissertation, the modeling of distributed generation facilities for the power system of Chuja island is performed for the energy independence and carbon-free island. The electric power facilities are modeled with consideration of renewable grid code and power source regulation. Through the modeling result, the most stable configuration of electric power facilities is proposed.

In the simulation, the wind turbine system, photovoltaic system and ESS implement the PQ control, and diesel generator implement the CVCF control.

The microgrid modeling of Chuja island is proceeded with consideration of two points of view for the frequency variation and the depression rate of renewable energy by using the PSCAD/EMTDC simulation program and MATLAB.

1) Analysis of the frequency variation on the capacity of distributed generation.

2) Analysis of the depression rate of renewable energy on the capacity of distributed generation.

The capacity of renewable energy and ESS have been estimated with consideration of the constant power range of diesel generator and the stabilization of Chuja power system. By extension of renewable energy, the capacity range of ESS has been proposed.

This research is considered to contribute widely to capacity estimation of electric power facilities for stand-alone microgrid in the future.

I. 서 론

2011년 일본의 원전사고, 리비아 사태와 같은 중동의 정전불안으로 인해, 화석 연료 가격의 지속적인 상승요인이 산재해 있다. 이러한 국제 유가의 급격한 상승 요인으로 화석연료를 사용하는 화력발전 연료비의 변동성 또한 증대되고 있다. 이에 따라 도서 지역 발전원가에서 연료가 차지하는 비중은 더욱이 증가하는 추세이다. 연료비 증가의 대안으로 도서 지역에 신재생에너지의 적용을 통한 연료비절감 방안이 요구되는 실정이며, 최근 국내에는 스마트그리드에 대한 연구가 진행되면서 마이크로그리드에 대한 관심이 높아지고 있다.

국내의 경우 ‘저탄소 녹색성장’ 국가발전 패러다임 발표 이후, 신재생에너지 중심의 ‘그린에너지산업 전략’을 제시하였고, 뿐만 아니라 신재생 에너지 관련 예산을 대폭 확대하고 있다. 이에 소규모 도서에 최적화된 마이크로그리드에 대한 조성계획이 논의되고 있다 [1].

이러한 추세에 부응하여 제주특별자치도에서는 2013년 가파도 마이크로그리드 구축을 기점으로, 2015년 추자도 에너지 자립 섬 구축을 추진하는 등 ‘탄소 없는 섬’ 사업에 박차를 가하고 있다. 제주도 북서쪽에 위치한 추자도는 제주도 부속 섬 가운데 가장 큰 부하를 가지고 있으며, 2014년 기준 최대부하 2,529 kW 평균 부하 1,607 kW에 대해 총 5,500 kW의 디젤발전 설비를 통해 계통 운용되고 있다. 하지만 ‘탄소 없는 섬’을 구축하기 위해서는 풍력, 태양광 등과 같은 신재생 에너지원과 이를 안정적으로 저장하고 공급할 수 있게 하는 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS) 도입이 필요하다. 따라서 「제주 추자도 에너지 자립섬 구축」에서는 2015년 12월까지 추자도내 디젤발전과 신재생에너지를 이용한 하이브리드 시스템 구축을 목표로 하고 있다 [2].

본 논문에서는 현재 추자도에서 운용되고 있는 내연 발전소의 운전특성을 분석하고 부하의 특성에 따른 안정적인 전력공급을 위한 마이크로그리드 방안을 제안한다. 또한, 전력계통 및 전력전자 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 제안된 마이크로그리드 방안에 대해 컴퓨터 해석을 수행하고, 그 결과를 토대로 타당성을 입증하고자 한다.

Ⅱ. 추자도 전력계통 현황

2.1 추자도 부하

추자도의 계약종별 현황은 그림 1과 같이 대부분의 전력을 주택용으로 사용하고 있으며, 일반적인 계약전력은 해수담수화 980 kW, 체육관 200 kW, 초등학교 150 kW, 수협 2,584 kW, 군부대시설 450 kW, 폐기물소각장 400 kW, 기타 700 kW로 구성되어 있다.

또한, 추자도의 부하는 그림 2와 같이 2009년 기준 평균 소비전력이 1,811 kW, 최대 소비전력 3,015 kW로 제주 부속 섬 가운데 가장 큰 부하를 가지고 있다. 하지만 최근 가정용 태양광발전의 설치 증가로 인해 전력피크시간의 발전부담을 감소시켜 최대전력이 점차 감소하는 추세로 2014년에는 평균 소비전력이 1,607 kW, 최대 소비전력 2,529 kW로 매년 평균 3.8 %가 감소하는 형태를 나타내고 있다.

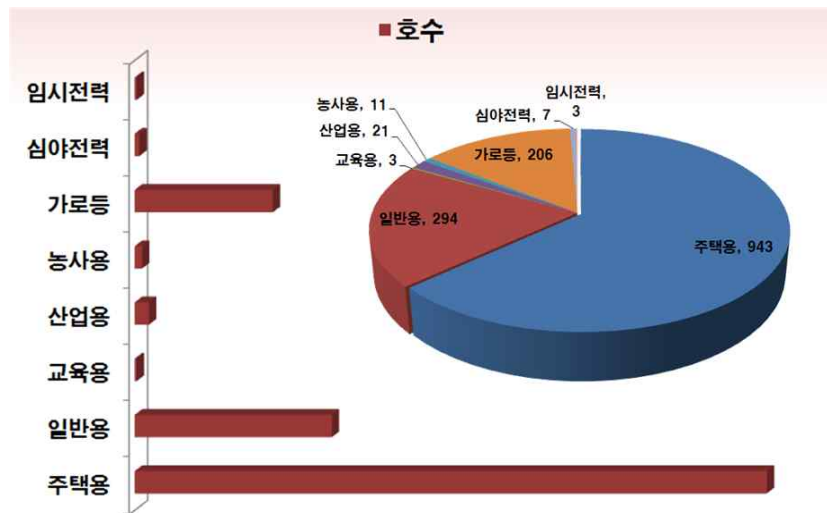


그림 1. 추자도지역 부하종별현황



그림 2. 추자도지역 평균 및 최대전력 현황

2.2 추자도 전력설비

추자도 계통의 전력설비는 그림 3과 같이 추자 내연 발전소와 계통연계를 위한 차단기 및 변압기, 수용가로 구성된다. 상추자도 대서리에 설치되어있는 추자 내연발전소는 디젤 발전기 7대로 구성되며, 계통의 부하특성에 맞게 운용되어 예초, 대서, 묵리 D/L을 통해 전력을 공급한다.

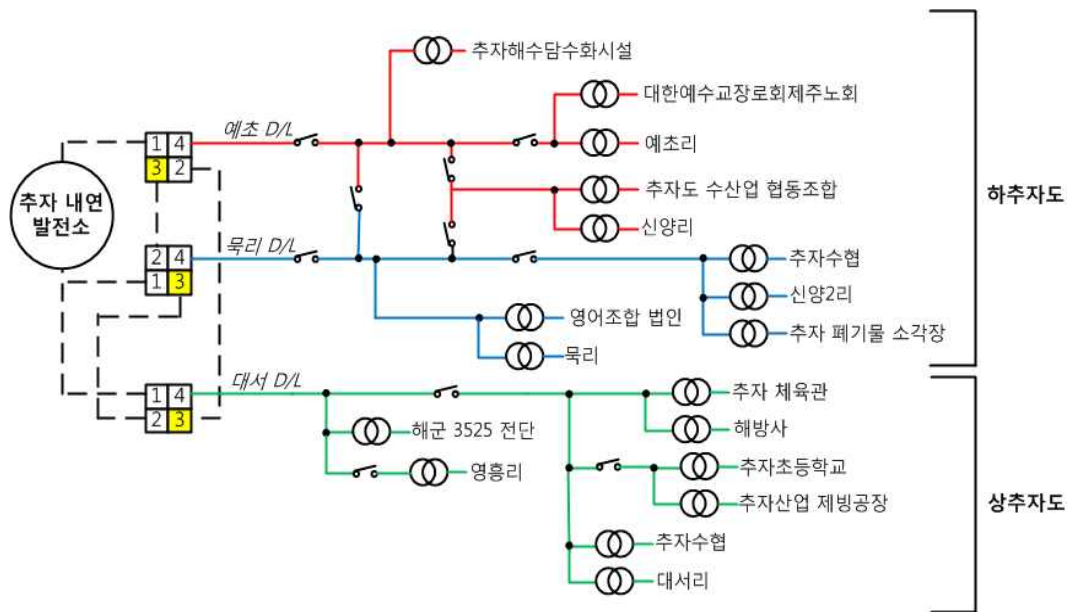


그림 3. 추자도 전력계통도

추자도의 전력공급의 주요 역할을 하는 내연발전소는 정격전압이 6.6 kV인 용량 1,000 kW 4대와 500 kW 3대로 구성되어, 총 5,500 kW 발전용량을 가지고 계통의 전력공급을 담당한다. 주변압기의 경우 정격전압 6.6 kV, 용량 2,000 kVA 1대, 6,250 kVA 2대가 설치되어 총 14,500 kVA로 구성되어있다. 또한 각 발전기는 정격용량의 약 80 %로 운용이 되고 있으며, 부하변동에 따라 예비 발전기의 운전을 통해 계통을 운영하고 있다 [3].

표 1. 추자도지역 발전기 및 변압기 현황

구분		3-1호기	4-1호기	5호기	6호기	7호기	8호기	9호기
발전기	전압(kV)	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
	용량(kW)	1,000	1,000	500	500	500	1,000	1,000
주변압기	용량(KVA)	2,000	6,250	6,250	-	-	-	-
	전압(kV)	6.6	6.6	6.6	-	-	-	-

Ⅲ. 분산전원설비의 모델링과 제어

3.1 분산전원설비 종류

‘마이크로그리드(Microgrid)’는 분산 에너지를 수용하여 소규모 단위로 에너지의 공급과 수요를 관리하는 지역 전력망이다. 또한, 신재생에너지원뿐만 아니라 다양한 분산 에너지를 경제적으로 조합해 해당 구역에 필요한 에너지를 경제적으로 공급하는 지역적 그리드이다. 마이크로그리드는 탄소절감에 기여할 수 있는 신재생에너지의 사용, 에너지 비용 절감, 그리고 정전 없는 원활한 전력공급의 이유로 국가 차원에서 연구·개발이 활발히 진행되고 있다. 마이크로그리드의 일반적인 발전원으로는 태양광발전, 풍력발전, 디젤발전 및 에너지 저장장치가 있다 [4][5].

(1) 디젤발전기

기상조건에 크게 영향을 받는 신재생에너지 발전원과 달리 원하는 출력을 생산할 수 있는 디젤발전기는 대체로 비상 전원으로 가장 많이 사용된다. 일반적인 디젤발전기는 여자기(Exciter)와 조속기(Governor), 터빈으로 구성된다. 여자기는 계자권선에 직류전류를 공급함으로써 출력전압을 유지하거나 조정하며, 조속기는 디젤 발전기가 부하의 증·감에 따라 운전할 수 있도록 발전기의 속도 즉 발전량을 조정하는 역할을 한다.

(2) 에너지 저장장치

에너지저장장치는 리튬전지와 같은 기존의 중소형 2차 전지를 대형화하거나 회전에너지, 압축공기 등 기타 방식으로 대규모 전력을 저장하는 장치이다. 최근 분산전원설비로 이용되고 있는 이차전지의 경우 배터리, BMS(Battery Management System)와 PCS(Power Conversion System)로 구성된다. 에너지저장

장장치는 분산형 전원의 전력을 저장하였다가 정전 시 또는 계통에서 피크부하가 발생 시 수요관리를 목적으로 사용된다. 이러한 에너지 저장장치를 도입함으로써 예비력 확보, 신뢰도 향상, 신재생발전기 계통연계 안정화가 가능하다는 장점을 가지게 된다.

(3) 태양광발전

태양광 발전은 태양전지를 발전소자로 사용하여, 광기전력 효과를 통해 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 시스템이다. 친환경적이며 소음공해가 없으나 날씨, 온도 등 기상 조건에 성능이 민감하게 반응하는 특성을 가진다. 태양광 발전은 태양 전지의 직·병렬연결로 발전 용량을 설계하며, 일반적으로 PV(Photovoltaic) 모듈의 효율을 높이기 위해 최대 출력점 제어(Maximum power point tracking)가 사용된다.

(4) 풍력발전

풍력발전은 바람에너지를 기계적 에너지로 변환하여, 발전기를 통해 전력을 생산하는 시스템이다. 국내·외 전력계통망에 널리 이용되고 있으나 기상조건에 상당히 민감한 특성을 가지고 있으며, 특히 풍속과 풍향에 따라 출력변동이 심한 특성을 가지고 있다.

풍력발전기는 발전기의 형태에 따라 크게 DFIG(Doubly fed induction generator, PMSG(Permanent magnetic synchronized generator), SCIG(Squirrel cage induction generator)로 나누어진다. 하지만 마이크로그리드와 같은 독립계통에서는 대체로 외부로부터 별도의 여자전류가 필요 없고, 가용풍속범위가 넓으며, 자체기동(Black start)이 가능한 PMSG가 사용된다.

3.2 분산전원설비의 모델링

본 논문에서 제안한 추자도 마이크로그리드는 디젤발전기, 풍력발전기, 태양광발전기, 에너지저장장치로 구성된다. 추자도 전력계통의 안정적인 전력수급을 위해서는 유·무효 전력제어 뿐만 아니라 주파수 및 전압을 조정할 수 있어야 하며 또한, 주전원 역할을 할 수 있는 설비가 필요하다. 따라서 디젤발전기는 부하 및 출력 변동에 능동적으로 제어가 가능한 CVCF(Constant voltage constant frequency)제어를 수행하도록 설계되었으며, 에너지저장장치와 풍력발전기 및 태양광발전기는 유·무효전력 기준값을 검출하여 제어하는 PQ(Active/Reactive power)제어를 수행하도록 설계되었다.

표 2는 본 논문에서 적용된 추자도 발전설비들의 내부 구성과 각각의 전기적 값들을 나타낸다.

표 2. 추자도지역 전력설비 구성요소

발전설비		구분	값
영구자석형동기 발전기	발전기	용량	100 kW
		교류전압	0.4 kV
		주파수	11.72 Hz
	전력변환장치	용량	150 kVA
		직류전압	0.8 kV
		계통 측 교류 전압	0.4 kV
태양광발전기		용량	100 kW
		교류전압	0.38 kV
배터리 에너지저장장치	배터리	종류	Li-Ion
		직류전압	1.2 kV
		교류최대전류	2.04 kA
	전력변환장치	용량	1,000 kVA
		주파수	60 Hz
		교류전압	0.6 kV
디젤발전기		용량	1,000 * 4 kVA
		정격전압	6.6 kV
		정격전류	0.1093 kA
		용량	500 * 3 kVA
		정격전압	6.6 kV
		정격전류	0.0547 kA

(1) 디젤발전 모델링

본 논문에 사용된 디젤발전기는 실제정수를 적용하여 추자도 지역 디젤발전기 출력과 유사한 특성을 도출할 수 있도록 하였으며, 그림 4와 같이 PSCAD/EMTDC 내의 디젤발전기 라이브러리를 이용하여 모델링되었다. 모델링된 총 7기의 디젤발전기는 병렬로 연결되어 출력된다 [7].

PQ, Droop, CVCF 제어가 가능한 디젤발전기는 조속기와 여자기를 이용하여 출력 제어를 한다. 조속기는 계통에 필요한 유효전력을 제어하며, 여자시스템은 발전기 계자 권선에 직류전류를 공급하여 발전기 출력 단자전압을 일정하게 유지 또는 조정한다. 단자 전압 조정은 전력계통에 발생하는 진동을 억제하여 안정도를 향상시키며, 발전소의 변압기 고압 측인 송전전압 제어를 수행하여 전압을 안정시킴으로써 부하 단에서 전력용 콘덴서와 동기 조상기 기능을 병행하기도 한다 [6].

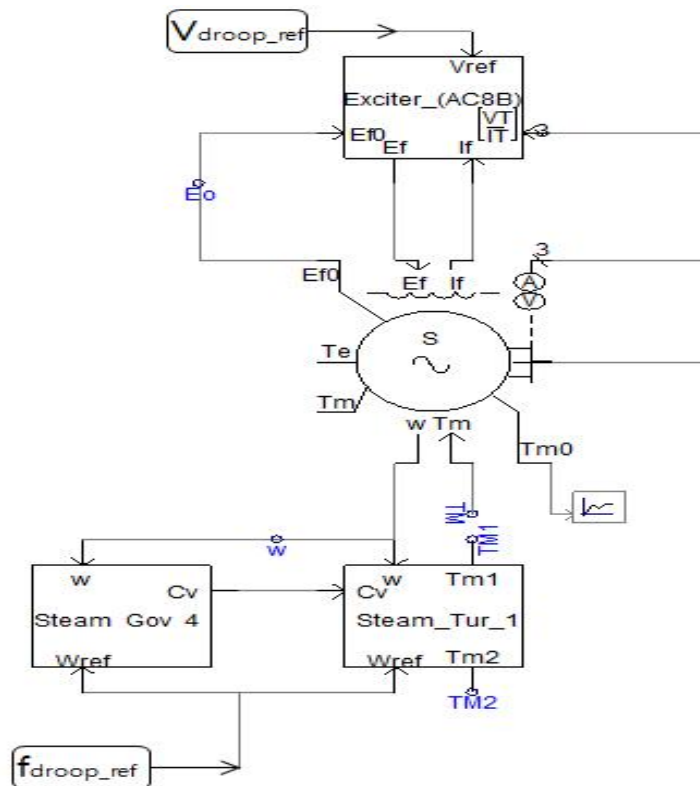


그림 4. 디젤발전기 모델

(2) 에너지저장장치 모델링

배터리 에너지 저장장치는 크게 배터리 부분과 전력변환장치로 나뉜다. 배터리 모델은 공칭전압 3.6 V 50 Ah의 정격용량을 갖는 리튬이온 배터리를 기준으로 모델링되었다. 배터리는 Shepherd nonlinear battery model을 참조하여 그림 5와 같이 가변전원과 고정저항을 이용하여 모델링 되었으며, 비선형 모델인 배터리의 방전공인 식(1)을 참조하여 직류 가변전원의 입력으로 사용했다 [9].

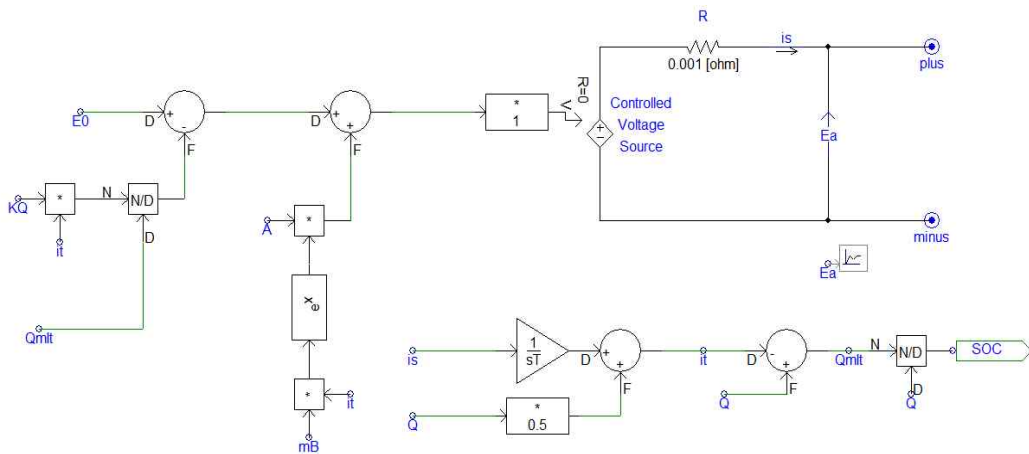


그림 5. 배터리 등가모델

$$E = k \cdot \frac{Q \cdot i \cdot t}{Q - i \cdot t} + A \cdot \exp(-B \cdot i \cdot t) \quad (1)$$

여기서,

E	: 배터리 단자전압	[V]
E ₀	: 배터리 기준전압	[V]
A	: 지수함수의 계수	[V]
B	: 지수함수 역 시정수	[Ah ⁻¹]
Q	: 배터리 용량	[Ah]
k	: 분극 상수	[V/Ah]
R	: 내부 직렬 저항	[Ω]
i	: 배터리 방전전류	[A]
t	: 방전 시간	[h]

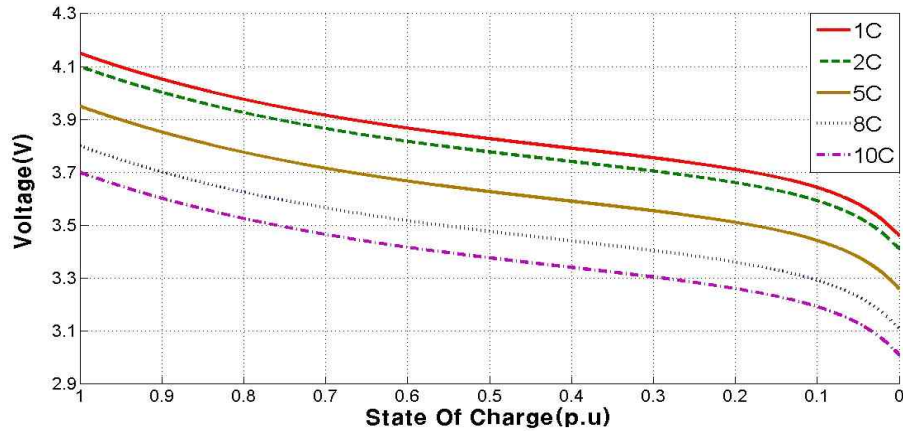


그림 6. 리튬이온배터리 방전곡선

그림 6은 식(1)로 부터 만들어진 배터리의 방전특성 곡선을 나타낸다. 이 곡선은 배터리에서 50 Ah의 정전류 방전을 통한 전압과형을 나타낸다. 리튬이온 배터리의 특성상 SOC(State of Charge)가 0.2 ~ 0.8 구간에서 전압이 선형적인 특성을 보이며 다른 구간에서는 비선형적인 특성을 보인다. 배터리의 완전충전, 완전방전을 방지하고, 제어하기 위해 전압이 선형적인 특성을 보이는 SOC의 0.2 ~ 0.8 구간에서 배터리가 동작되도록 설계되었다. 여기서, SOC는 최대 용량에 대한 에너지가 충전된 정도를 지표로 나타내는 것으로 0에서 1사이를 나타낸다. SOC가 1에 근접하다는 것은 배터리 용량만큼 에너지가 축적되어 있다는 것이고, SOC가 0에 근접한다는 것은 배터리 에너지가 방전되었다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 배터리마다의 SOC제어 특성이 다르므로 0 ~ 1 까지를 선형적인 구간으로 가정하여 전기적인 배터리 용량만을 고려하여 설계되었다.

그림 7은 에너지저장장치의 전력변환장치로 3상 전압원 인버터 1대와 LCL필터로 설계되었다. 배터리가 주 전원으로 운전하는 경우 기준 주파수 및 전압을 제공하는 것이 가능해야 하므로 인버터에서 전압제어를 수행한다. 제어를 위한 위상각은 계통전압이 아닌 60 Hz의 정격 주파수를 기준하여 제어된다. 에너지저장장치의 출력 제어 방법으로 전압제어모드와 전류제어모드로 분류된다. 전압제어모드는 전압, 주파수 유지를 위해 계통의 잉여 또는 부족전력을 전력변환장치에서 임의로 충·방전 시행 하는 방법이다. 전류제어모드는 전압, 주파수 유지 기

능이 없고 EMS(Energy management system)에서 지령 받은 일정전력을 충·방전하는 방법(정출력 제어)이다 [8]. 본 논문에서는 디젤이 계통의 전압과 주파수를 유지시키는 전압제어모드를 수행하므로, 에너지저장장치가 부하변동에 따라 전력을 출력하는 전류제어모드를 수행하도록 설계되었다.

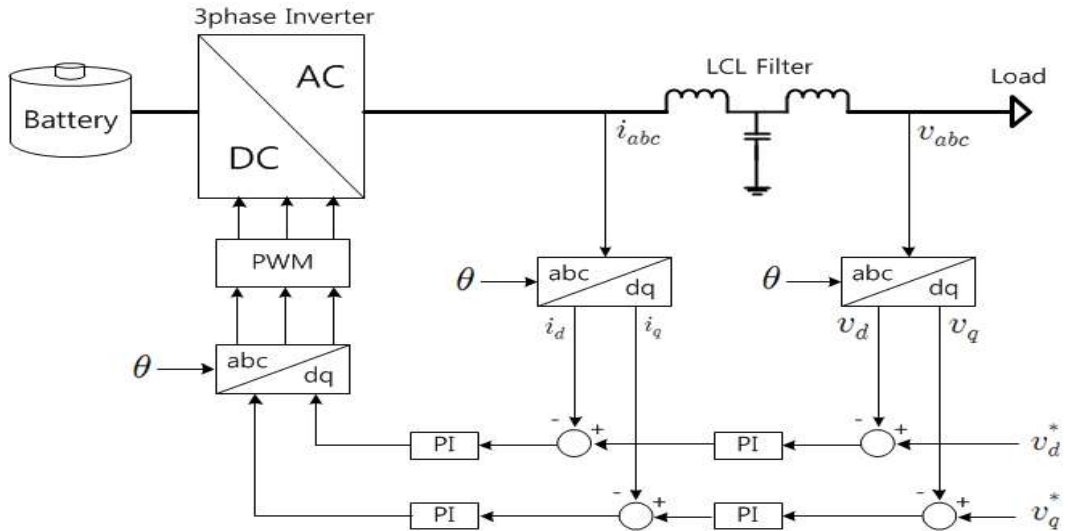


그림 7. 배터리 및 전력변환장치 구성도

(3) 태양광발전 모델링

그림 8은 PSCAD/EMTDC 프로그램 내의 라이브러리를 이용하여 설계된 태양광 모델이다. 본 논문에서는 시뮬레이션 모델을 단순화하기 위하여 실제 태양광 모델과 유사한 결과를 갖는 전류원으로 등가 모델링하여 유효전력을 전류로 변환하고 가변 전류원의 기준 전류값으로 사용하여 출력이 발생하도록 그림 9와 같이 설계하였다. MPPT제어를 통해 출력 전압 지령값을 제어하고 DC/DC컨버터를 통해 일사량과 온도에 따른 전압변동을 최소화하며, 역률이 1로 제어되므로 무효전력은 발생하지 않도록 모델링하였다 [10].

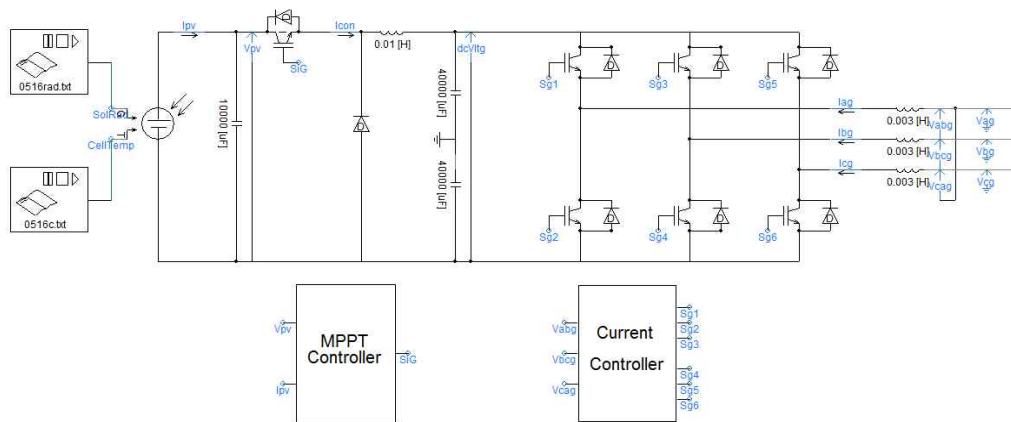


그림 8. 태양광시스템 모델

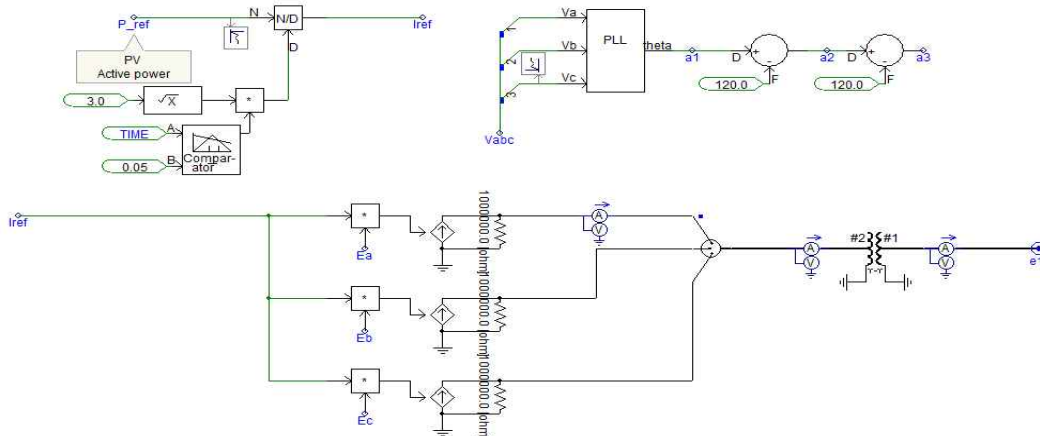


그림 9. 태양광시스템 등가모델

(4) 풍력발전 모델링

풍력발전의 경우 마이크로그리드에 적합한 영구자석형 동기발전기로 선택하여 설계되었다. 발전기 모델은 그림 10과 같이 구성되었으며, 출력특성곡선을 이용한 출력 값이 토크 값으로 변환되어 발전기의 입력으로 사용된다. 그림 11의 전력변환장치에서 인버터제어기는 DC 링크 전압제어 및 역률제어를 수행하고 컨버터제어기에서 출력특성곡선을 이용한 최적 운전점에서 운전하도록 전류 제어가 수행되었다.

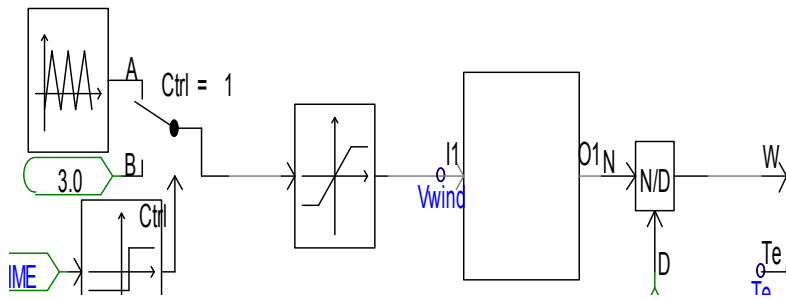


그림 10. 영구자석형 동기발전기 모델

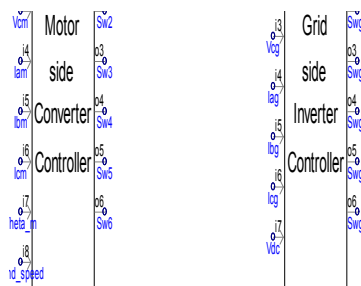


그림 11. 풍력발전시스템의 전력변환장치 모델

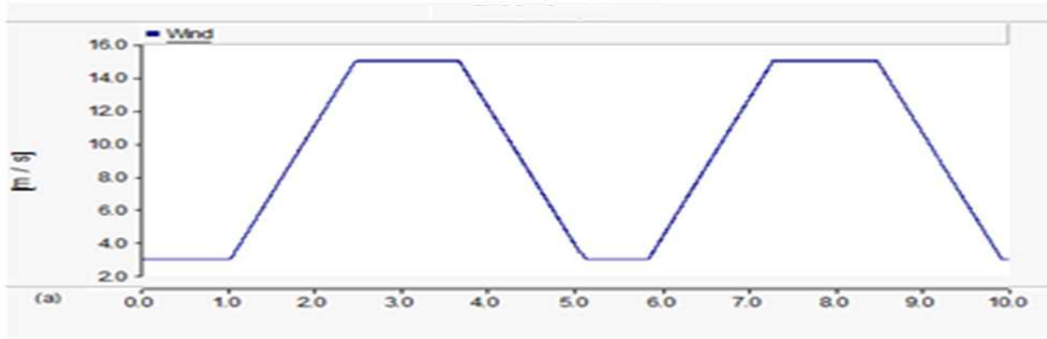


그림 12. 풍력발전시스템 가변입력풍속

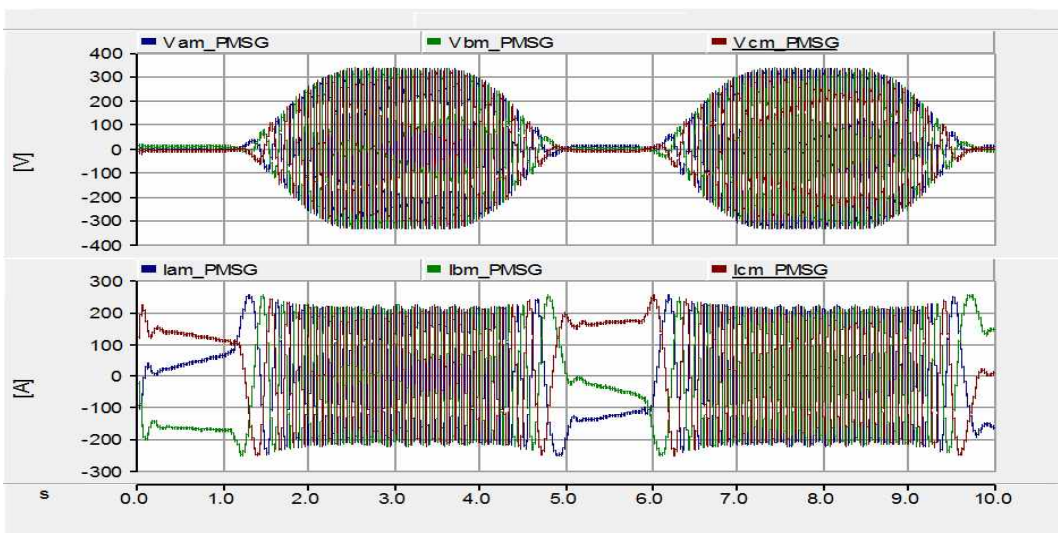


그림 13. 발전기 측 전압 및 전류

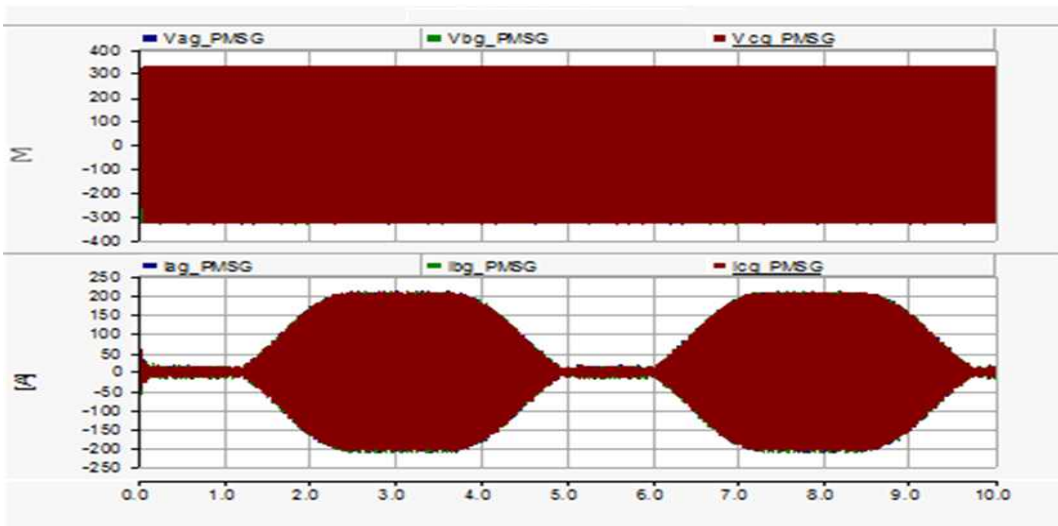


그림 14. 계통 측 전압 및 전류

풍력발전기의 출력을 증명하기위해 풍속의 경우 선형적 가변값을 가정하여 그림 12와 같이 진행되었다. 또한 그림 13과 그림 14는 영구자석형 풍력발전기의 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 영구자석형 동기발전기의 출력 전압과 주파수는 회전속도에 비례하는 특성을 갖기 때문에 계통에 직접적인 연결이 불가능하여 동기발전기와 계통사이에 전력변환장치를 설치하여 가변 전압, 가변 주파수의 발전기 출력을 일정전압, 일정 주파수로 변환하여 계통에 공급하도록 한다 [11].

IV. 추자도의 마이크로그리드용 에너지저장장치 용량산정

4.1 추자도 계통 모델링 및 해석

(1) 추자도 전력계통 모델링

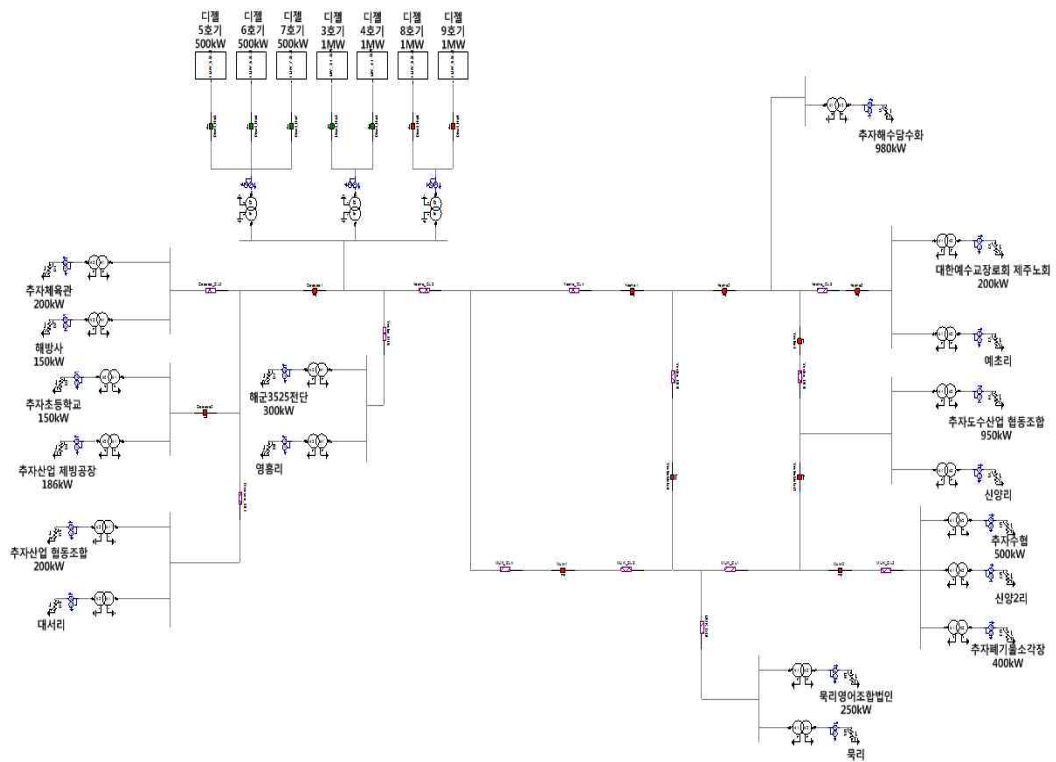


그림 15. 추자도 전력계통 PSCAD/EMTDC 모델

그림 15는 추자도 전력계통을 PSCAD/EMTDC 프로그램을 통해 모델링한 결과이다. 계통 모델링은 실제 변압기 및 선로정수를 고려하여 수행하였으며 수용가 또한 실제 부하를 고려하여 설계되었다.

시뮬레이션 프로그램은 전력시스템의 전반적인 현상을 해석할 수 있으며 각종 동기 및 유도 발전기, 전력전자 소자, 제어 시스템, 회전기기 등의 모델이 내장되어 있어 전력시스템의 다양한 현상들을 구현할 수 있는 PSCAD/EMTDC 프로그램이 사용되었다 [3].

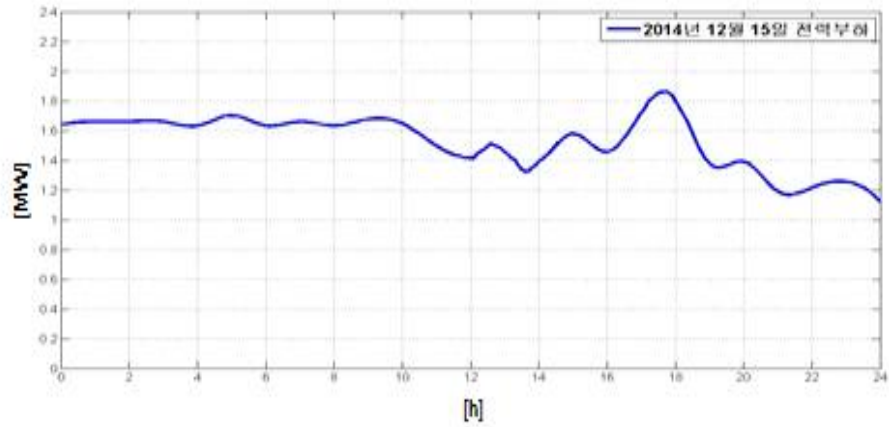


그림 16. 2014년 12월 15일 추자도 계통의 실제 수요전력

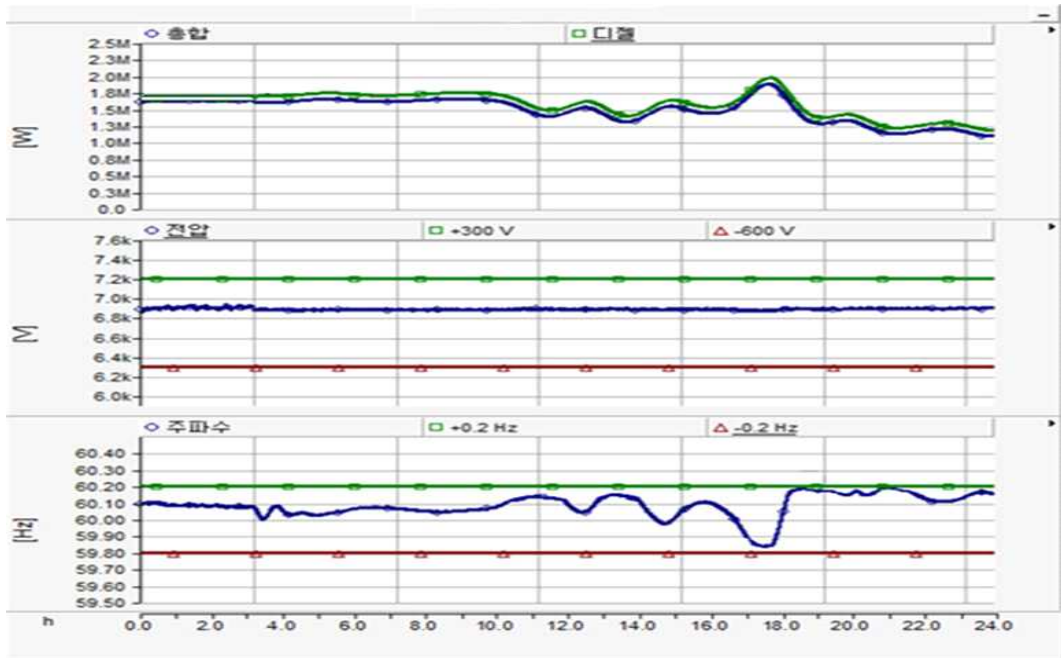


그림 17. 추자도 계통의 유효전력, 전압, 주파수 컴퓨터해석결과

그림 16은 추자도 계통을 검증하기에 앞서 실제 2014년 12월 15일의 추자도 부하를 나타낸다. 이를 기반으로 추자도 계통을 모델링한 결과 그림 17과 같이 최대 1,860 kW, 최소 1,200 kW에 대해 디젤발전이 출력함이 확인되었으며, 주파수와 전압이 「송·배전용 전기설비 이용규정」에서 규정한 안정적인 범위 내에서 유지됨을 확인할 수 있다.

(2) 추자도 마이크로그리드 모델링

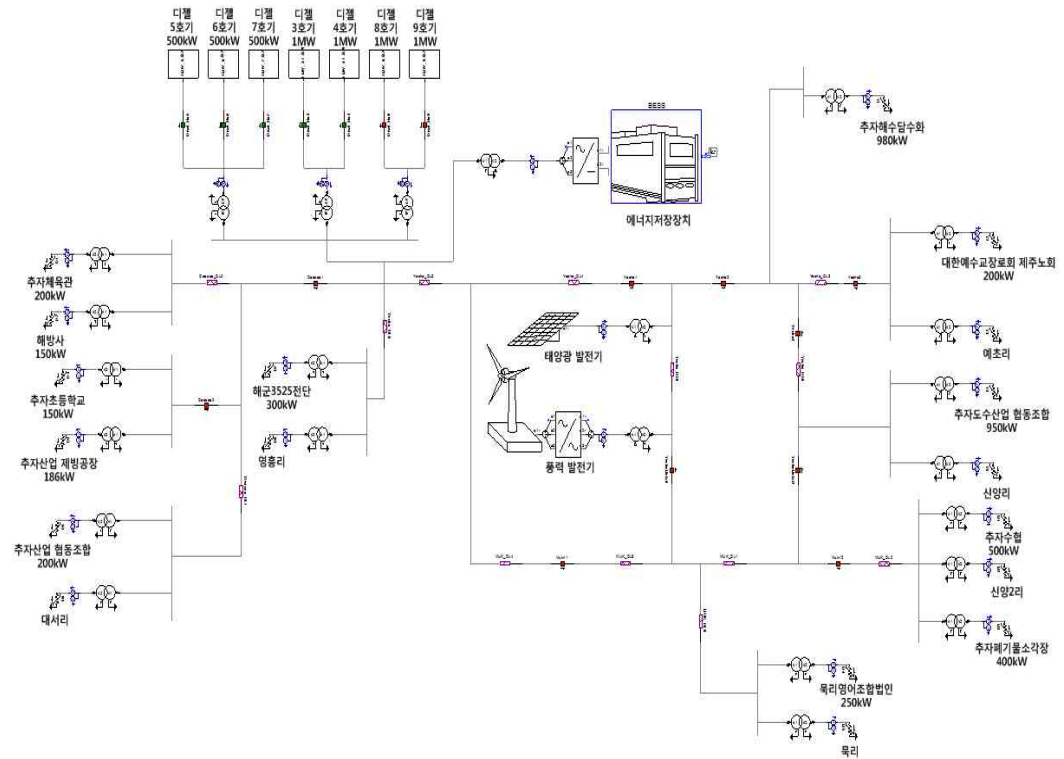


그림 18. 추자도 마이크로그리드 PSCAD/EMTDC 모델

추자도 마이크로그리드는 총 5,500 kW의 디젤발전을 주 전원으로 하고 신재생과 에너지저장장치가 보조전원으로 동작하도록 설계되었다. 에너지저장장치의 경우 전력계통 안정을 위해 발전소 내에 설치되었으며, 풍력발전과 태양광의 경우 「추자도 에너지 자립섬」에 참고하여 배치되었다. 또한 신재생발전기의 비율은 풍력발전 70 %, 태양광발전 30 %로 가정되었으며, 에너지저장장치는 1,000 kW/4,000 kWh로 모델링되었다. 이와 같은 설비용량으로 4.2절에서 신재생발전 최대 8,000 kW, 에너지저장장치 8,000 kW/80,000 kWh까지의 경우의 수에 따른 결과가 도출되었다. 또한, 그림 18은 구축된 추자도 마이크로그리드 모델링을 나타낸다.

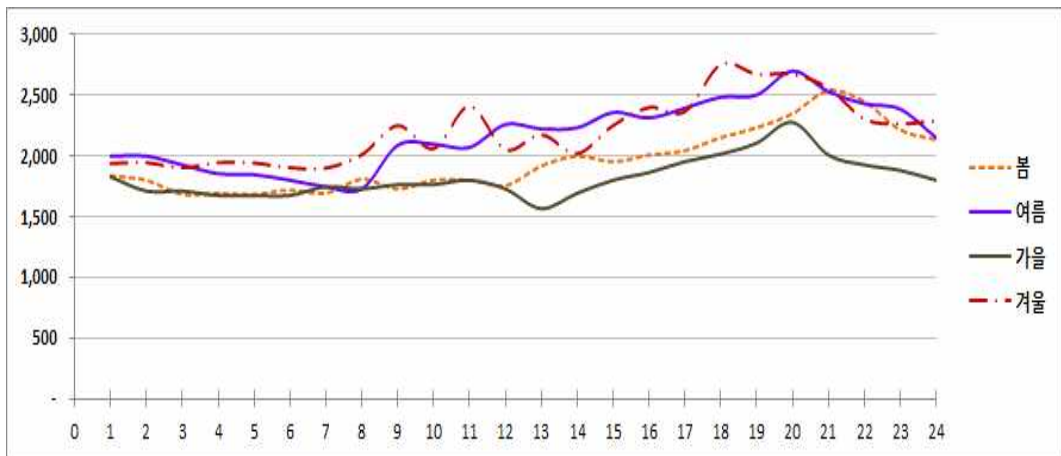


그림 19. 추자도의 계절별 부하특성

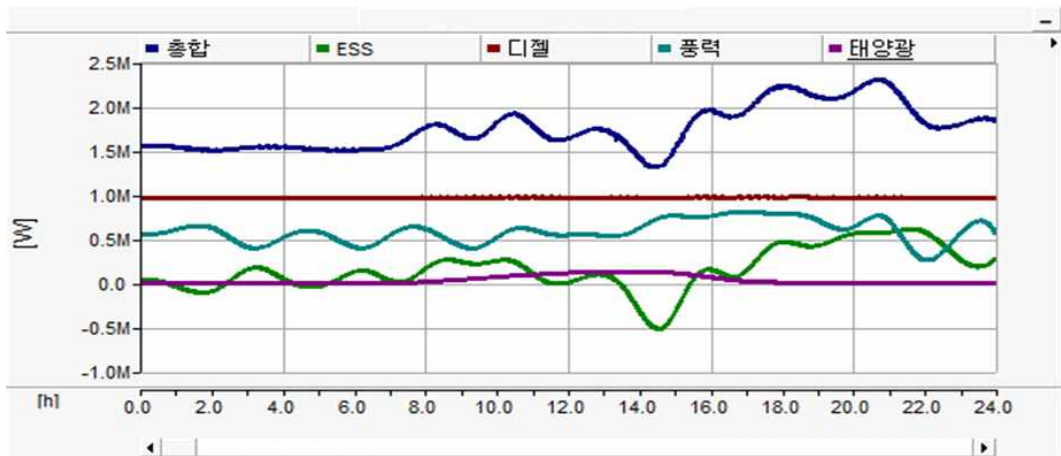


그림 20. 2014년 2월 2일 추자도 마이크로그리드의 유효전력 컴퓨터해석

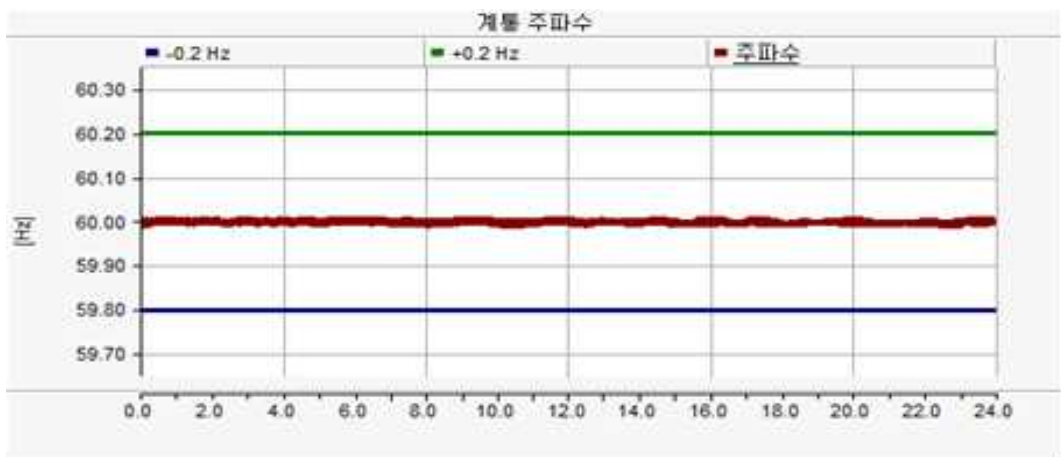


그림 21. 2014년 2월 2일 추자도 마이크로그리드의 주파수 컴퓨터해석

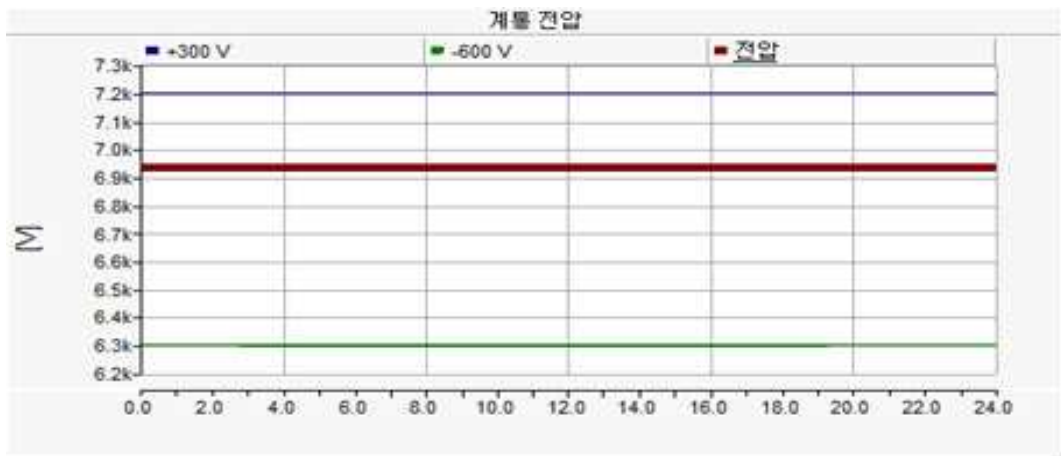


그림 22. 2014년 2월 2일 추자도 마이크로그리드의 전압 컴퓨터해석

그림 19는 추자도의 계절별 실제 전력수요현황을 나타낸다. 추자도의 최대부하는 겨울철에 발생하며, 최소부하는 가을철에 발생하는 것을 확인할 수 있다.

그림 20은 추자도지역 2014년 2월 2일 전력수요에 따른 유효전력 컴퓨터해석 결과이다. 실제 추자도 겨울철 전력 수요와 유사한 부하에 따라 디젤발전이 일정 출력운전을 하고 있으며, 신재생발전에 따라 에너지 저장장치가 응동하는 것을 확인할 수 있다. 이에 따른 계통 주파수 및 전압은 그림 21과 그림 22을 통해 「송·배전전기설비이용규정」에 의거하여 안정범위 내에서 유지되고 있는 것을 확인할 수 있다.

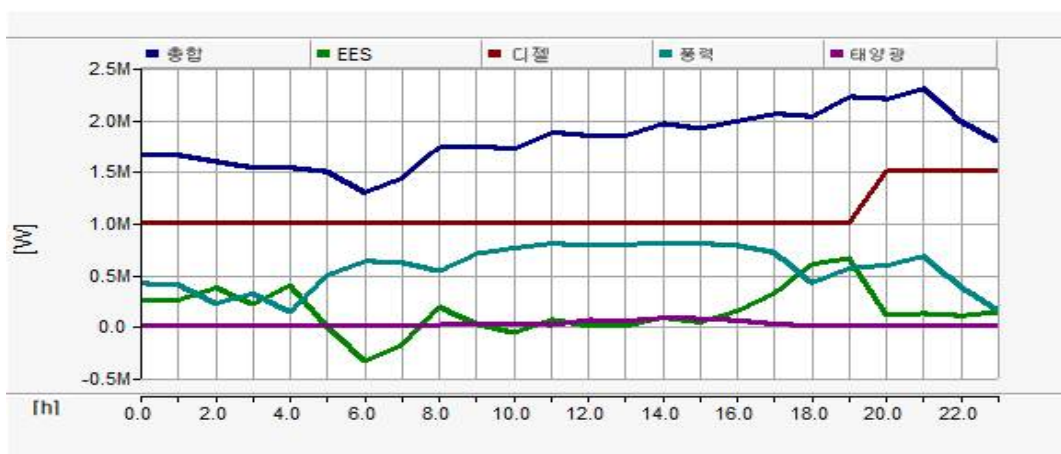


그림 23. 2014년 7월 9일 추자도 마이크로그리드 유효전력 컴퓨터해석

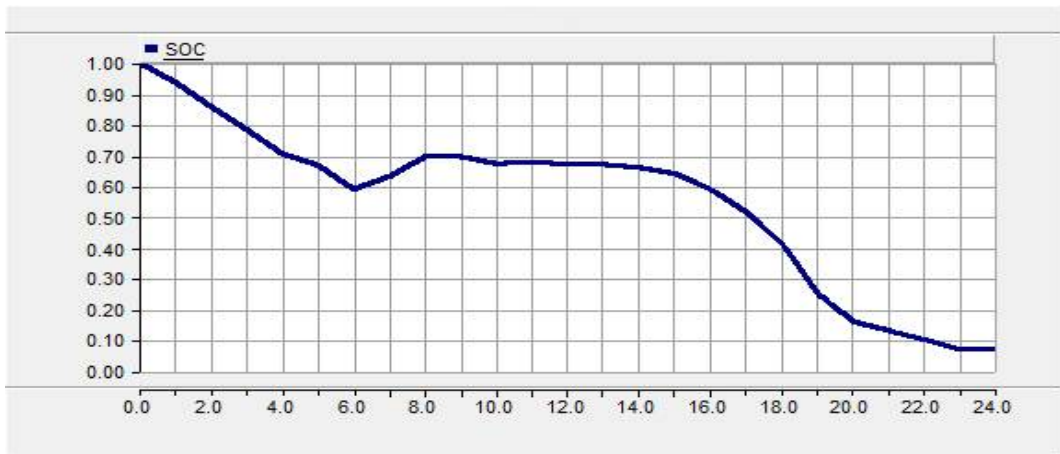


그림 24. 2014년 7월 9일 추자도 마이크로그리드의 에너지저장장치 잔존용량 컴퓨터해석

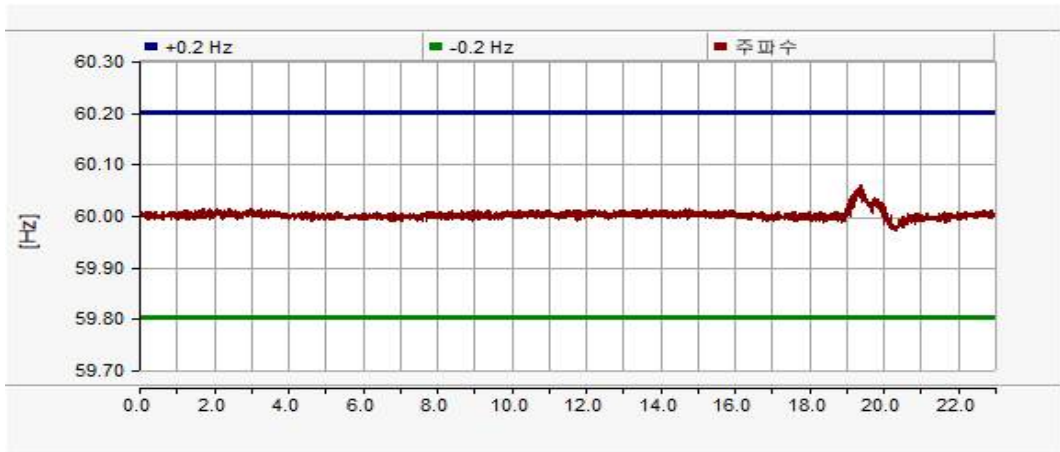


그림 25. 2014년 7월 9일 추자도 마이크로그리드의 주파수 컴퓨터해석

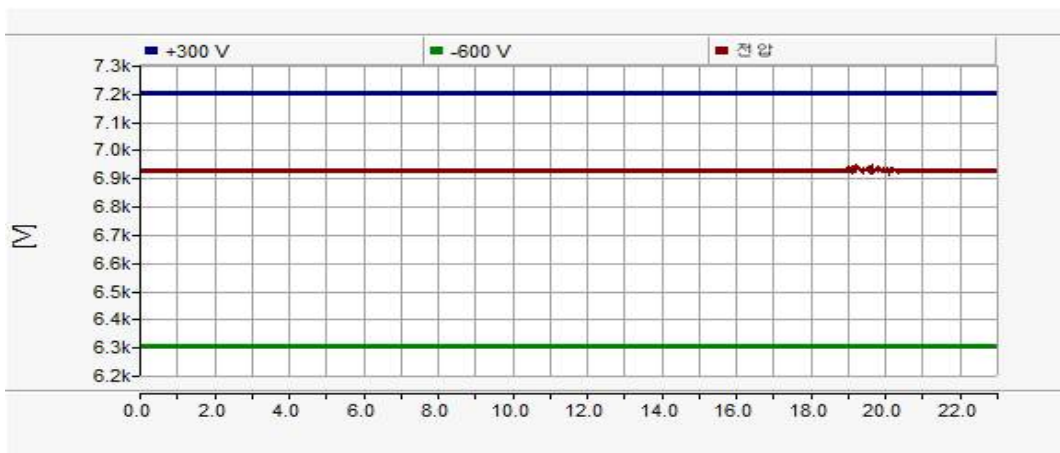


그림 26. 2014년 7월 9일 추자도 마이크로그리드의 전압 컴퓨터해석

추자도 마이크로그리드의 안정적인 운영을 위해서는 에너지저장장치의 잔존용량에 따라 디젤발전기의 출력제어가 요구된다. 이에 따라 그림 23은 에너지저장장치 잔존용량의 변동이 큰 2014년 7월 9일을 기준한 추자도 마이크로그리드의 유효전력 컴퓨터해석을 나타낸다. 2014년 7월 9일 19시부터 에너지저장장치의 잔존용량에 따라서 일정출력중인 디젤발전이 출력변동을 하는 것을 확인할 수 있다. 그림 24의 잔존용량의 경우 기존 0.8 ~ 0.2를 1 ~ 0으로 가정하여 컴퓨터해석을 진행하였다.

또한 그림 25와 그림 26는 2014년 7월 9일의 추자도 마이크로그리드의 분산전원설비의 출력변동에 따른 계통 주파수 및 전압을 나타내고 있으며, 출력변동에 따라서 주파수 및 전압이 국내 「송·배전전기설비이용규정」 내에 부합하는 것을 확인할 수 있다.

(3) 추자도 전력계통의 분산전원 운영방안

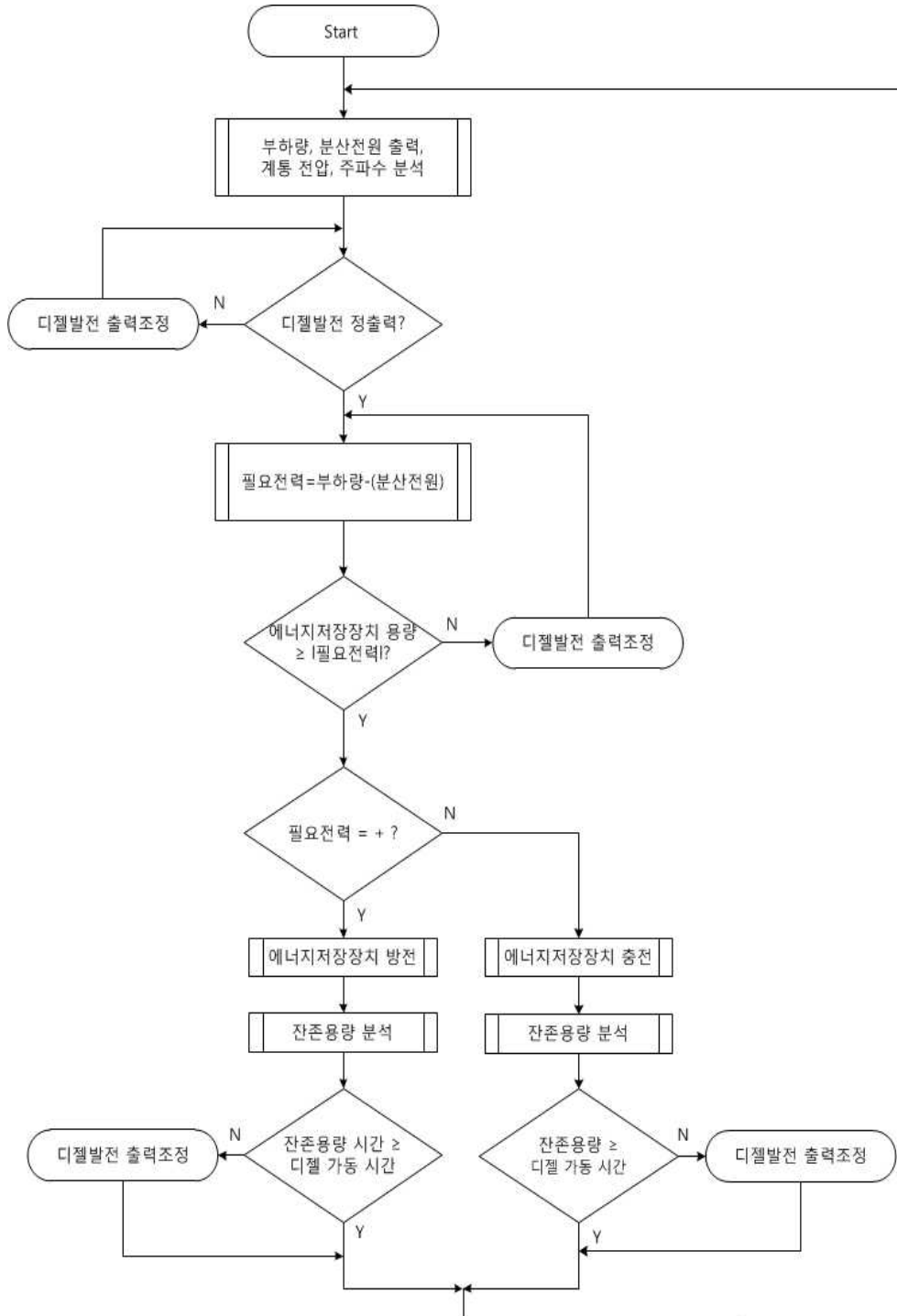


그림 27. 추자도 마이크로그리드의 전력계통 운영전략 흐름도

추자도 전력계통 운용은 일반적인 분산전원운영에 의거하여, 컴퓨터 해석을 통해 수행된다. 전력 계통의 부하량 및 전압, 주파수와 신재생발전의 출력을 분석하여 계통의 현재 상태를 파악한 후 출력제어가 가능한 발전원의 제어가 진행된다. 먼저 디젤발전의 출력을 일정하게 하고 신재생 발전 출력에 대한 부족한 부하를 에너지저장장치가 공급하게 된다. 이때 에너지저장장치의 전력공급 수행가능 여부가 판별되어 디젤발전의 출력이 제어되며, 계통의 전력량이 비대해질 경우 신재생발전의 출력을 제한하여 전력계통의 안정적인 운용을 가능하도록 한다. 그림 27은 추자도 전력계통의 운영 흐름도를 나타낸다.

4.2 에너지저장장치 용량산정

마이크로그리드의 분산전원 용량산정을 위해서는 출력 변동에 따른 전력계통의 전력품질분석 뿐만 아니라 신재생발전의 발전량에 대한 제한을 분석이 필요하다. 이에 따라 본 논문에서는 4.1절의 컴퓨터 해석결과와 MATLAB 프로그램을 이용한 주파수 변동량과 신재생발전 제한율의 분석을 통한 분산전원의 용량산정이 진행되었다.

(1) 추자도 전력 부하량에 따른 주파수 변동량 분석

추자도 전력계통은 2014년 최대, 최소부하가 각각 2,529 kW, 1,026 kW이며, 각각의 부하에 따라 추가 설치되는 분산전원설비 용량의 검토가 필요하다. 이에 따라 본 논문에서는 추자도 전력계통의 부하를 최대부하일 경우와 최소부하일 경우로 나누어 풍력발전과 태양광발전으로 구성된 신재생발전의 출력을 1 pu에서 0 pu로 감소시켜 에너지저장장치의 전력변환장치 용량에 따른 주파수 변동량을 분석하였다 [12].

가. 추자도 최소부하 시

추자도 전력계통의 최소부하 시 신재생발전의 출력을 1 pu에서 0 pu 감소시킨 결과, 설비용량이 신재생발전 8,000 kW, 에너지저장장치 8,000 kW일 경우 주파수변동이 1.46 Hz로 최대가 되고 신재생발전 1,000 kW, 에너지저장장치 1,000 kW일 경우 주파수변동이 0.15 Hz로 국내 「송·배전전기설비이용규정」에 모두 부합하는 것을 확인하였다. 이에 따라 신재생발전의 용량과 에너지저장장치의 전력변환장치 용량이 같은 점에서 안정적인 주파수 범위를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 또한 추자도 부하특성에 따라 전력변환장치의 용량이 커지더라도, 대용량의 신재생발전 출력이 변동할 경우 주파수에 악영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 이러한 신재생발전(RES)와 에너지저장장치의 전력변환장치(PCS)의 용량비율에 따른 주파수 변동량 결과는 그림 28을 통해 확인할 수 있다.

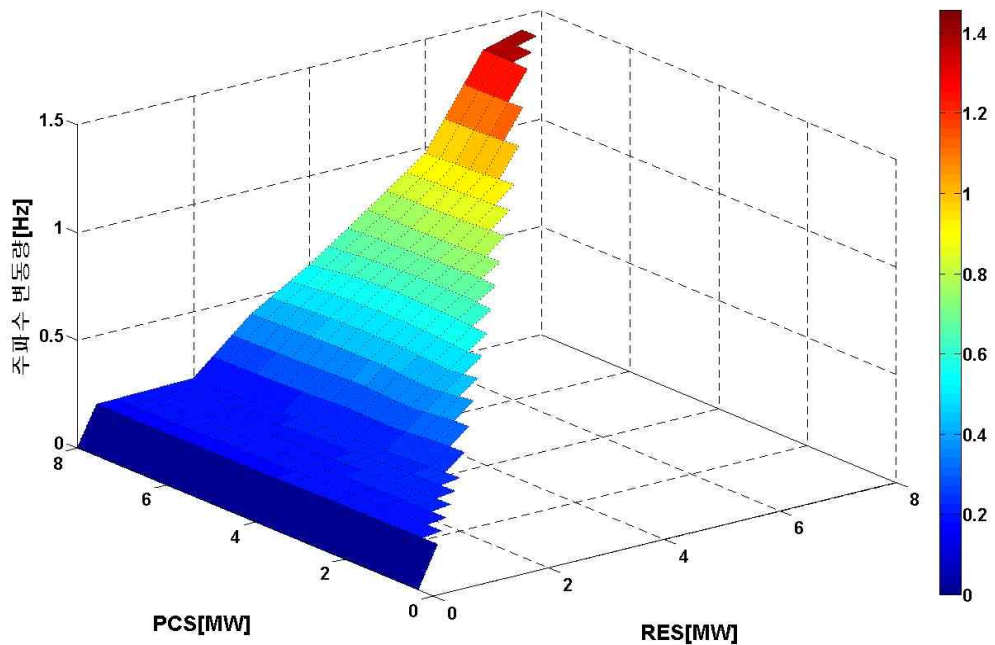


그림 28. 추자도 마이크로그리드 최소부하 시 주파수 변동량

나. 추자도 최대부하 시

추자도 전력계통의 최대부하 시 신재생발전의 출력을 1 pu에서 0 pu로 감소시킨 결과 최소부하 시에 비해 주파수 변동이 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 설비용량이 신재생발전 8,000 kW, 에너지저장장치 6,000 kW일 경우 1.71 Hz가 되어 최대주파수 변동을 보였으며, 신재생발전 1,000 kW, 에너지저장장치 1,000 kW일 경우 0.15 Hz가 되어 최소주파수 변동을 보여 국내 「송·배전전기설비이용규정」 내에서 모두 부합하는 것을 확인할 수 있다. 이는 신재생발전출력이 변동되었을 때, 에너지저장장치가 공급해야하는 출력 변동폭에 따라 주파수 변동도 커지는 것을 그림 29를 통해 확인할 수 있다.

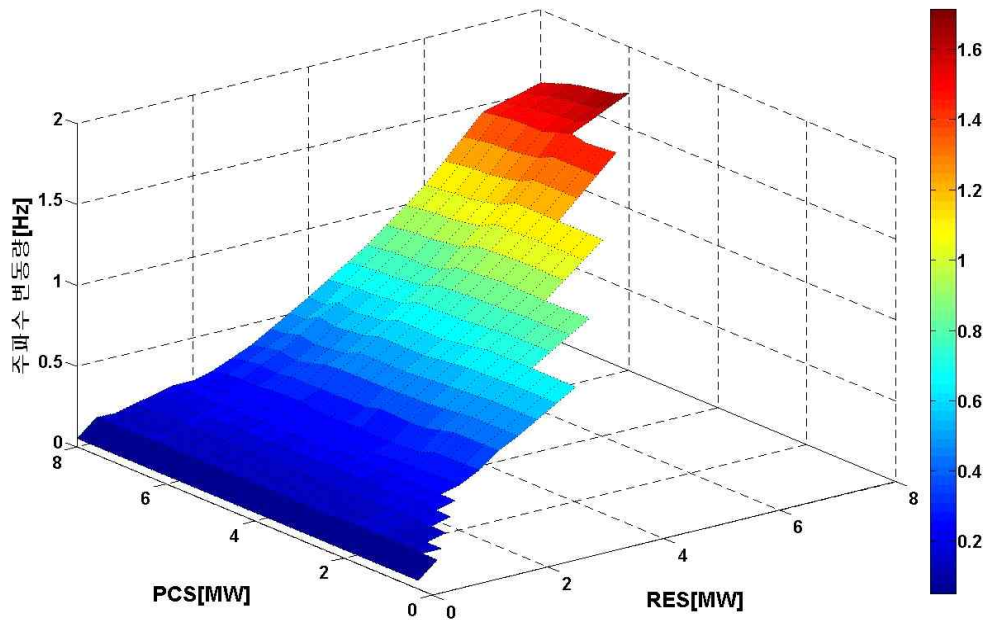


그림 29. 추자도 마이크로그리드 최대부하 시 주파수 변동량

(2) 추자도 연간 전력 부하량에 따른 신재생발전 제한율

추자도 전력계통의 신재생발전 및 에너지저장장치의 용량을 산정하기 위해서는 전력계통의 품질뿐만 아니라 신재생발전 출력량의 제한되는 정도 또한 중요한 요소이다. 따라서 본 논문에서는 추자도 전력계통의 연간 부하량을 분석하고 추자도 지역 풍속 및 일사량, 온도에 근거하여, 에너지저장장치의 용량과 설치된 신재생에너지용량을 기준으로 신재생발전의 출력 제한정도인 제한율이 분석되었다. 또한, 에너지저장장치의 용량 기준은 산업통상부 지침에 따라 4시간을 기준으로 최대 10시간까지의 용량에 따른 분석이 진행되었다. 본 시뮬레이션 결과는 에너지저장장치의 실제 사용하는 전기적인 용량만이 고려되었으며 추후 SOC를 고려한 추가 용량산정이 필요하다.

가. 신재생 출력량에 따른 에너지저장장치 4시간 고려 시

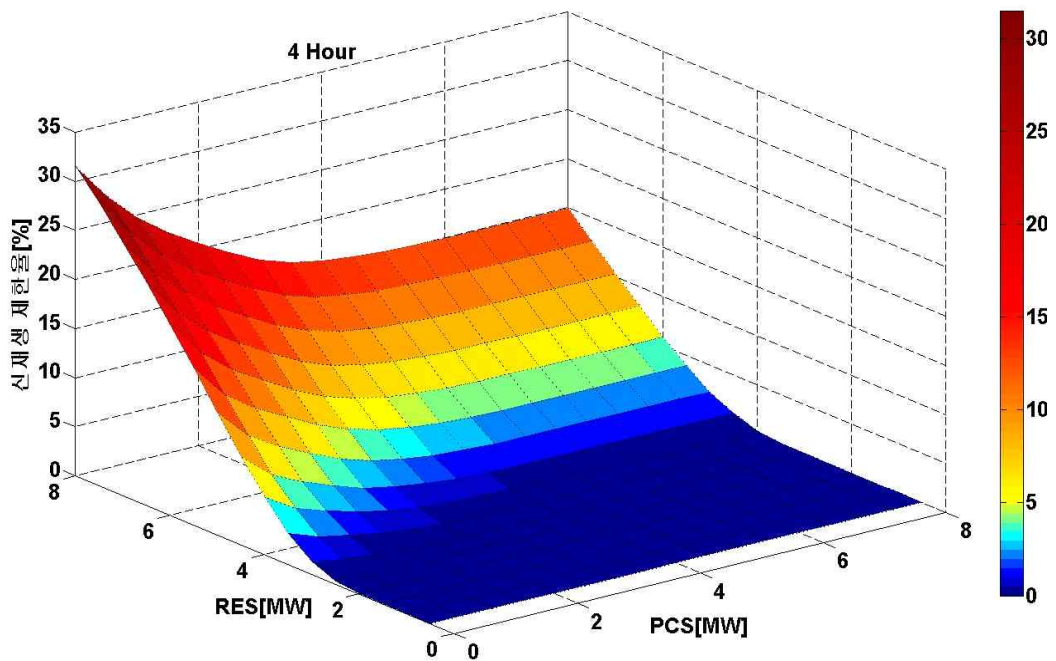


그림 30. 에너지저장장치 4시간 고려 시 신재생에너지 제한율

그림 30은 신재생발전 최대출력의 4시간 연속 충전이 가능한 에너지저장장치의 용량과 신재생에너지의 용량에 따른 신재생발전 제한율이 분석된 결과이다. 에너지저장장치가 없고 신재생발전이 8,000 kW일 경우 발전량이 약 30 %이상 제한되는 것으로 분석되었다. 또한, 에너지저장장치의 전력변환장치가 4,000 kW 이상에 신재생발전이 4,000 kW일 경우 연간제한율이 0 %가 되어 최소가 되는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라서 에너지저장장치가 없을 시 제한율이 최대가 되며 에너지저장장치 및 전력변환장치의 용량이 증가될수록 제한율이 감소되는 것을 확인할 수 있다.

나. 신재생 출력량에 따른 에너지저장장치 6시간 고려 시

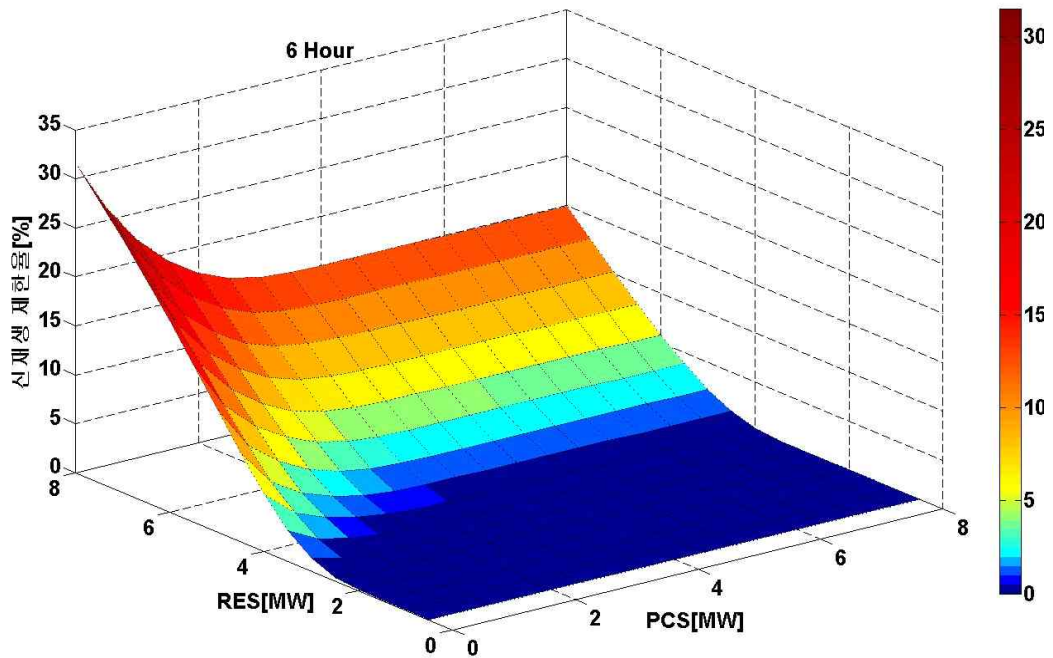


그림 31. 에너지저장장치 6시간 고려 시 신재생에너지 제한율

그림 31은 신재생발전 최대출력의 6시간 연속 충전이 가능한 에너지저장장치의 용량과 전력변환장치의 용량 변화에 따른 신재생발전 제한율이 분석된 결과이다. 위의 4시간을 고려한 경우와 마찬가지로 에너지저장장치가 없을 시 제한율

이 최대가 되며 에너지저장장치의 전력변환장치가 3,000 kW이상에 신재생발전이 4,000 kW일 경우 연간제한율이 0 %가 되어 최소가 되는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라서 에너지저장장치 및 전력변환장치의 용량이 증가될수록 제한율이 감소되는 것을 확인할 수 있다.

다. 신재생 출력량에 따른 에너지저장장치 8시간 고려 시

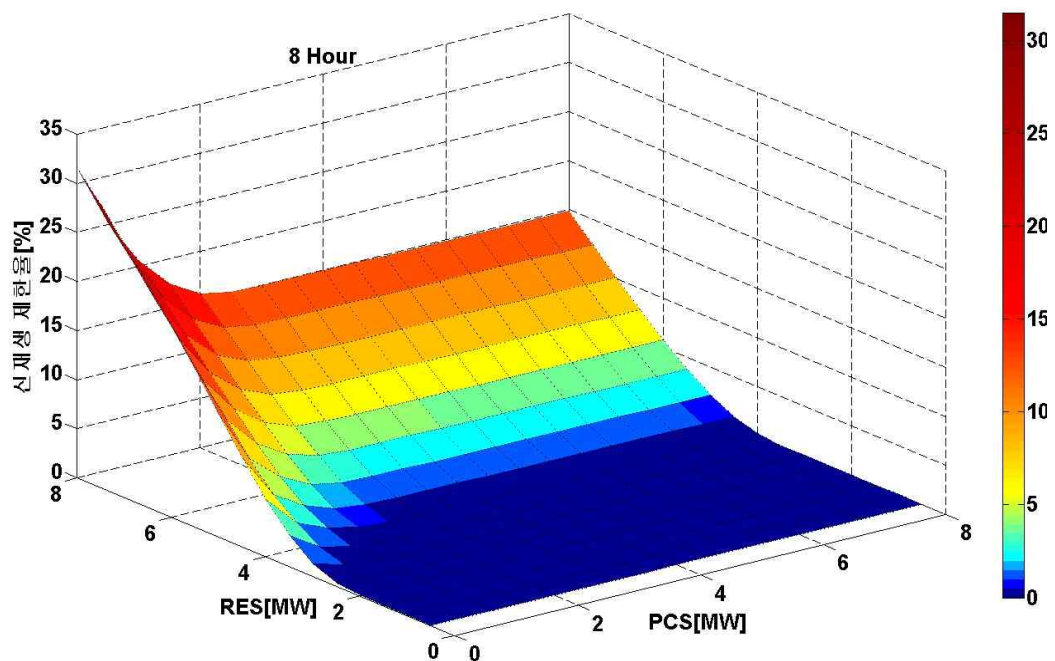


그림 32. 에너지저장장치 8시간 고려 시 신재생에너지 제한율

그림 32는 신재생발전 최대출력의 8시간 연속 충전이 가능한 에너지저장장치의 용량과 전력변환장치의 용량 변화에 따른 신재생발전 제한율이 분석된 결과이다. 위의 4, 6시간을 고려한 경우와 마찬가지로 에너지저장장치가 없을 시 제한율이 최대가 되며 에너지저장장치의 전력변환장치가 2,000 kW이상에 신재생발전이 4,000 kW일 경우 연간제한율이 0 %가 되어 최소가 되는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라서 에너지저장장치 및 전력변환장치의 용량이 증가될수록 제한율이 감소되는 것을 확인할 수 있다.

라. 신재생 출력량에 따른 에너지저장장치 10시간 고려 시

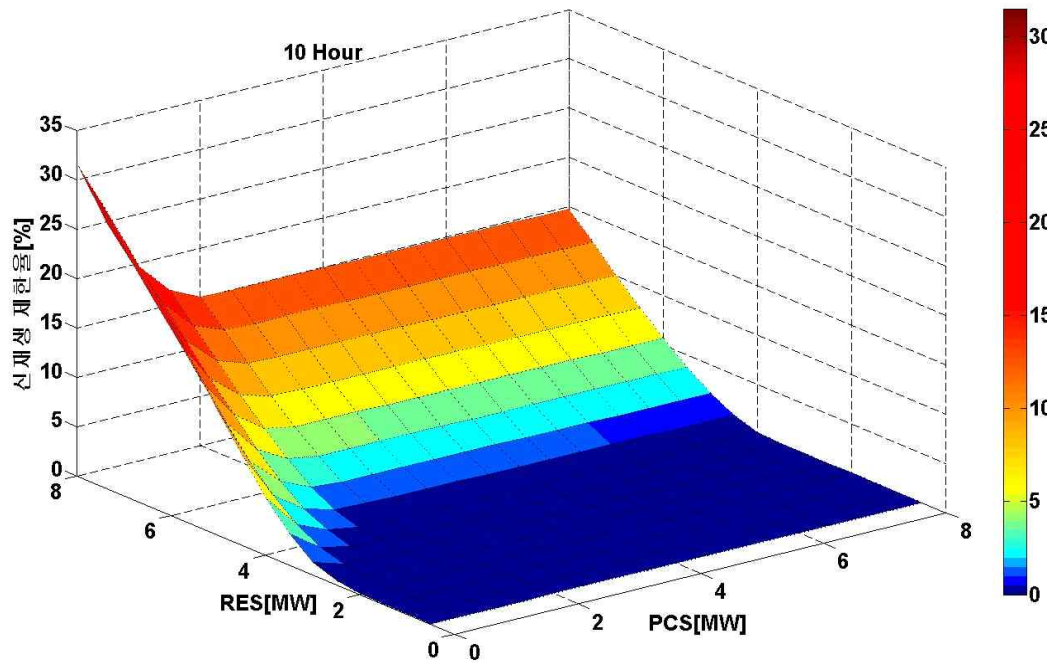


그림 33. 에너지저장장치 10시간 고려 시 신재생에너지 제한율

마지막으로 그림 33은 신재생발전 최대출력의 10시간 연속 충진이 가능한 에너지저장장치의 용량과 전력변환장치의 용량 변화에 따른 신재생발전 제한율이 분석된 결과이다. 위의 4, 6, 8시간을 고려한 경우와 마찬가지로 에너지저장장치가 없을 시 제한율이 최대가 되며 에너지저장장치 및 전력변환장치의 용량이 증가될수록 제한율이 감소되는 것을 확인할 수 있다.

4.3 결과 및 고찰

표 3. 추자도 마이크로그리드 주파수 변동량 (단위 : [Hz])

신재생에너지[kW] 에너지저장장치[kW]		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
		1000	최대부하	0.15	0.29	0.51	-	-	-
	최소부하	0.19	-	-	-	-	-	-	-
2000	최대부하	0.16	0.28	0.49	0.70	-	-	-	-
	최소부하	0.19	0.24	-	-	-	-	-	-
3000	최대부하	0.14	0.27	0.48	0.70	0.93	-	-	-
	최소부하	0.19	0.23	0.45	-	-	-	-	-
4000	최대부하	0.15	0.25	0.46	0.69	0.92	1.20	-	-
	최소부하	0.18	0.22	0.42	0.61	-	-	-	-
5000	최대부하	0.15	0.24	0.45	0.66	0.93	1.19	1.54	-
	최소부하	0.18	0.22	0.44	0.62	0.79	-	-	-
6000	최대부하	0.15	0.25	0.44	0.66	0.90	1.16	1.51	1.71
	최소부하	0.18	0.20	0.40	0.63	0.78	0.99	-	-
7000	최대부하	0.15	0.23	0.38	0.59	0.83	1.12	1.48	1.64
	최소부하	0.18	0.19	0.39	0.62	0.77	0.98	1.38	-
8000	최대부하	0.15	0.23	0.36	0.57	0.80	1.09	1.45	1.54
	최소부하	0.18	0.19	0.38	0.58	0.77	0.97	1.38	1.46

4.1절에서 추자도의 마이크로그리드 구축을 위해 제안된 발전설비의 도입을 가정하여 발전설비의 전력흐름 및 전력품질을 분석하였다. 또한 4.2절에서 추자도 최대·최소 부하 시, 신재생발전 출력의 최대변동에 대한 주파수 변동 결과를 표 3과 같이 나타내었다.

현재 추자도 전력계통의 경우 디젤발전이 주전원역할을 하며, 수용가 부하의 변동에 따라서 전력을 공급하고 있다. 이러한 전력계통에 신재생발전설비의 증설은 화석연료사용량 및 탄소배출량 감소가 될 수 있는 장점을 가지게 된다. 하지만 신재생발전의 출력은 환경 및 기상상황에 따라 크게 변하기 때문에 이를 보상해주기 위한 에너지저장장치가 필요하다. 따라서 에너지저장장치의 용량과 신재생발전의 총 용량에 따른 주파수 변동이 분석되었다. 이때, 추자도 최대·최소 부하에 따라 고려되어야하는 설비의 용량이 다르므로 두 가지 상황을 모두 고려하여 컴퓨터 해석을 진행하였으며, 진행된 결과 공통적으로 신재생발전 설비 용량이 커질수록 그리고 에너지저장장치의 용량이 작아질수록 주파수변동이 증가되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 신재생발전 4000 kW, 에너지저장장치 4,000 kW일 경우와 같이 추자도 전력계통의 최대부하 및 최소부하를 공통으로 만족할 수 있는 범위 내에서 분산전원설비용량을 산정하는 것이 국내 「송·배전용 전기설비 이용규정」에 부합하는 것을 확인할 수 있다.

표 4. 신재생에너지 연간 제한율

(단위 : [%])

		신재생에너지[kW]							
에너지저장장치[kW]		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
1000	4시간	0	0	0	2.92	7.48	13.27	19.17	24.79
	6시간	0	0	0	1.89	5.61	10.93	16.61	22.26
	8시간	0	0	0	1.35	4.56	9.52	15.03	20.62
	10시간	0	0	0	0.99	3.93	8.69	14.15	19.72
2000	4시간	0	0	0	1.42	4.64	9.74	15.19	20.61
	6시간	0	0	0	0.70	3.11	7.26	12.11	17.26
	8시간	0	0	0	0	2.48	6.22	10.85	15.69
	10시간	0	0	0	0	2.31	5.90	10.34	15.08
3000	4시간	0	0	0	0.71	3.11	7.32	12.19	17.40
	6시간	0	0	0	0	2.37	6.06	10.58	15.35
	8시간	0	0	0	0	2.31	5.89	10.32	14.98
	10시간	0	0	0	0	2.28	5.86	10.27	14.96
4000	4시간	0	0	0	0	2.47	6.27	10.86	15.76
	6시간	0	0	0	0	2.31	5.89	10.33	14.98
	8시간	0	0	0	0	2.27	5.85	10.27	14.95
	10시간	0	0	0	0	2.27	5.81	10.24	14.92
5000	4시간	0	0	0	0	2.34	5.95	10.42	15.13
	6시간	0	0	0	0	2.28	5.86	10.28	14.95
	8시간	0	0	0	0	2.27	5.81	10.24	14.92
	10시간	0	0	0	0	2.22	5.77	10.20	14.88
6000	4시간	0	0	0	0	2.31	5.89	10.33	14.98
	6시간	0	0	0	0	2.27	5.83	10.26	14.93
	8시간	0	0	0	0	2.24	5.77	10.20	14.89
	10시간	0	0	0	0	2.16	5.77	10.15	14.84
7000	4시간	0	0	0	0	2.29	5.87	10.29	14.96
	6시간	0	0	0	0	2.27	5.80	10.23	14.91
	8시간	0	0	0	0	2.19	5.77	10.17	14.86
	10시간	0	0	0	0	2.11	5.72	10.11	14.80
8000	4시간	0	0	0	0	2.27	5.85	10.27	14.95
	6시간	0	0	0	0	2.241	5.777	10.20	14.89
	8시간	0	0	0	0	2.145	5.754	10.14	14.83
	10시간	0	0	0	0	2.050	5.675	10.07	14.77

표 4는 신재생발전설비의 용량과 에너지저장장치 용량이 변동되었을 때, 신재생발전의 출력이 제한되는 정도를 나타낸다. 이는 4.2절에서와 같이 에너지저장장치의 용량을 신재생발전 최대출력의 4, 6, 8, 10시간 연속 충전할 수 있도록 용량을 설정하여 분석되었으며, 신재생발전의 출력이 제한되는 제한율의 범위를 가상으로 모의 해석한 결과이다.

또한, 표 3과 표 4를 토대로 신재생발전의 출력제한이 없는 범위 내에서 신재생발전 및 에너지저장장치 용량이 산정되고, 제안된 모든 경우가 주파수 변동에 대해 「송·배전용 전기설비 이용규정」에 의거하여, 이상상태 시 57.5~62 Hz 범위 내에 모두 부합되므로 두 가지 결과의 공통 범위에 한하여 용량이 산정되는 것이 타당할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 논문에서는 제주도 추자면 추자도를 모델로 선정하여 현재 지역 내의 부하 변동에 따른 디젤발전의 특성이 고려된 마이크로그리드 구축을 위한 분산전원설비들의 용량 산정 및 운영방안을 제안하였다. 현재 계통 구성에 따라 제안된 발전설비의 용량에 따라 국내 송배전 설비용규정인 「배전용 전기설비 성능기준」과 「신재생발전기 계통연계기준」을 고려하여 계통의 영향이 분석되었다. 또한, 신재생발전설비의 용량 및 에너지저장장치의 용량에 따라 신재생발전 제한량을 통해 제한율을 분석하였으며 다음과 같은 결론이 도출되었다.

- 1) 현재 국내에서는 ‘에너지 자립 섬’ 및 ‘탄소 없는 섬’에 대한 관심이 급증하여 화석연료 사용을 최소화시키기 위한 연구가 진행 중에 있다. 따라서 추자도 내의 디젤발전기가 정출력 운전할 때 신재생발전 출력변동을 최대로 모의한 결과, 에너지저장장치의 용량에 따라 계통의 주파수변동에 영향이 있음을 확인하였다.
- 2) 전력계통의 전력품질 뿐만 아니라 설비의 설치용량에 대해 계통으로 출력을 제한없이 공급할 수 있는 것이 중요하다. 따라서 연간 부하패턴 및 계절별 환경자원을 기준으로 신재생발전용량 및 에너지저장장치의 용량변동에 따른 연간 신재생발전 제한율을 분석하여 각 설비의 적절한 전기적 용량을 확인하였다.
- 3) 위의 내용을 종합한 결과 풍력발전 및 태양광발전을 포함한 신재생발전의 용량은 에너지저장장치의 용량에 비례하여 설정하는 것이 옳을 것으로 사료된다. 또한, 에너지저장장치의 응답이 늦거나 제한될 경우 디젤발전의 출력변동으로 인해 계통 주파수의 악영향을 주는 것을 확인하였다. 이에 따라 계통 내에 설치되는 신재생발전설비의 용량을 효율적으로 산정하기 위하여, 각 설비용량에 대해 제한되는 정도를 분석하여 전기적 용량으로 제안하였

다. 이는 에너지저장장치의 경우 제조사마다 보증하는 배터리용량이 다르므로 실제 사용하는 용량만이 고시되었다.

따라서 실제 현장에서는 배터리 효율 및 SOC가 고려되어 용량이 산정되어야 한다. 본 논문에서 제안한 두 가지 경우가 고려되어 추자도 마이크로그리드 구축에 적용된다면 보다 안정적인 설비용량을 산정되는데 기여될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사, “도서지역 디젤발전 신재생 접목을 위한 기준 정립 및 타당성 연구,” 2012. 2.
- [2] 에너지 신산업 협의회 독립형 마이크로그리드 분과, “제주 추자도 에너지 자립섬 구축 추진,” 2014. 12.
- [3] 전우실업주식회사, “추자도 사업소 현황”, 2013. 1.
- [4] CERT, Integration of Distributed Energy Resources: The CERTS MicroGrid Concept, LBNL-50829, 2003.
- [5] Lasseter, T. H., “MicroGrids,” IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, pp.146-149, 2001.
- [6] Wujong Lee, Gyubeom Shin, Hanju Cha, “Control and Analysis of Diesel Generator in Stand-Alone Microgrid,” Journal of Power Electronics, pp 355-356, July 2014.
- [7] USER’S GUIDE on the use of PSCAD/EMTDC, 2011.
- [8] Jin Kyung-Min, Kim Seong Hyun, Kim Eel-Hwan, “Estimation of minimum BESS capacity for regulating the output of wind farms considering power grid operating condition in Jeju Island,” Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 33, No. 4, pp 39-45, Aug. 2013.
- [9] Seung-Mo Kim, Seung-Jin Oh, Jong-Hak Lee, Jae-Min Ahn, Kyung-Min Jin, Byung-Gi Kwon, Chang-Ho Choi. POSCO ICT, “The application and Verification of the 2MVA BESS with Wind farm in Microgrid of Gapado. Jeju,” Trans. KIPE, Nov. 2013.
- [10] Anthony W. Ma, “MODELING AND ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH A DISTRIBUTED ENERGY STORAGE SYSTEM,” the Faculty of California Polytechnic State University, Master of Science in Electrical Engineering, 2012.
- [11] Ahmed A. Daoud, Sobhy S. Dessouky, Ahmed A. Salem, “Control

Scheme of PMSG Based Wind Trubine for Utility Network Connection,”
Environment and Electrical Engineering(EEEIC), May 2011.

- [12] KEPCO 한국전력, “송·배전용 전기설비 이용규정 : 별표 4 배전용 전기설
비 성능기준,” 2014.

감사의 글

기대와 걱정을 가지고 시작한 석사과정의 어느덧 마무리단계에 접어들어 졸업을 하게 되었습니다. 전력전자 연구실생활을 하며 이 시간까지 저에게는 학문의 길 뿐 아니라 생장의 시간이었고 감사한 삶이었습니다. 그 시간 동안 옆에서 도와주신 많은 분들이 아니었다면 지금 이 순간을 누릴 수 있었을까요?

이러한 결실을 맺기까지 부족하지만 저를 지도해주신 김일환 교수님을 향한 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 부족한 저에게 많은 기회를 주시고 경험할 수 있도록 격려와 지도 덕분에 석사과정을 끝까지 마칠 수 있었습니다. 진심으로 감사드립니다. 석사과정동안 삶의 자세와 많은 조언을 아끼지 않으시고 때로는 선배와 같은 마음으로 따뜻하게 지도해주신 김호민 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

풍력대학원 학생들에게 아낌없는 지원을 해주시고 지도해주신 허종철 교수님, 고경남 교수님, 학부 시절 전공에 대한 흥미를 유도해 주시며 열정적으로 가르침을 주셨던 좌종근 교수님, 오성보 교수님 그리고 저의 논문 심사를 맡아주시고, 소중한 충고와 조언을 해주셨던 김세호 교수님, 김호찬 교수님께도 감사드립니다.

저에게 공학자의 마음가짐과 책임감을 느끼게 해주셨던 김재홍 박사님 또한 항상 웃음으로 맞아주시며 격려와 조언을 아끼지 않으셨던 김도진 박사님, 부창진 박사님께도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 친형과 같이 생각해주시던 진홍이형, 대현이형, 익수형, 명석이형 모두 너무 감사합니다. 또한 저에게 학문의 열정과 흥미를 느끼게 해주신 승현이형, 동완이형, 지한이형 그리고 하나부터 열까지 부족한 부분을 알려주려 부단히 노력한 왓나우딩 박사님에게도 감사하다는 말을 전하고 싶습니다.

또한 앞으로 전력전자 연구실을 이끌어 갈 후배들인 승민, 상현, 철준이에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 학과를 운영하는데 항상 최선을 다하는 고평강, 박승민 조교 선생님들과 자신감을 일깨워주신 지형이형, 사일이형, 동우형, 레탄 등에게도 감사하다는 말을 하고 싶습니다.

항상 응원해주는 미정이, 졸업해서 각자의 길을 걷고 있는 전기공학과 동기 친구들에게도 고마움을 전하고 싶습니다. 마지막으로 모든 투정을 사랑으로 보듬어 주고 졸업까지 옆에서 지켜준 우리 가족에게도 감사하고 사랑한다는 말을 전해주고 싶습니다. 이 외에 제가 미처 언급하지 못한 고마운 분들이 너무나 많습니다. 그분들의 이름을 모두 새기지 못함을 죄송하게 생각하며, 대신 제 깊은 감사의 말로 이 글을 마칠까합니다. “진심으로 감사드립니다.”

2015년 8월

이 도 현 올림