



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

제주지역 풍력발전단지의
에너지저장시스템 운영 및 수익증대
방안에 관한 연구

濟州大學校 産業大學院

風力工學科

李昶協

2016年 6月

제주지역 풍력발전단지의 에너지저장시스템 운영 및 수익증대 방안에 관한 연구

指導教授 金世鎬

李昶協

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2016年 6月

李昶協의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

金鎬民

委員

金豪贊

委員

金世鎬



濟州大學校 産業大學院

2016年 6月

목 차

그림 목차	i
표 목차	ii
SUMMARY	iii
I. 서 론	1
II. 에너지저장시스템 도입배경 및 성산풍력 발전단지 운영현황	3
2.1 제주지역 에너지 저장설비 현황	3
2.2 풍력연계형 에너지저장시스템 도입배경	4
2.3 성산풍력 발전단지 운영현황	6
2.4 풍력연계형 에너지저장시스템 구성 및 설치현황	9
(1) 구성	9
(2) 설치 현황	13
2.5 풍력연계형 에너지저장시스템 운영실적	15
III. 에너지저장시스템 운영 및 수익 증대 개선방안	19
3.1 충·방전 모델링	19
3.2 수익 증대 개선안	22
(1) 순시출력 용량 증대안	22
(2) 충전설정값 변경안	25
(3) 충전시간 변경안	28
3.3 결과 및 고찰	31
IV. 결 론	33
참고문헌	35
감사의 글	36

그림 목차

그림 1 제주도 발전설비 및 에너지저장 설비 현황	4
그림 2 전 세계 에너지저장시스템 프로젝트 현황	5
그림 3 성산풍력 발전단지 터빈 배치도	7
그림 4 성산풍력 발전단지 송전선로 구성도	7
그림 5 성산풍력 연도별 발전량 및 풍속	8
그림 6 풍력연계형 에너지저장시스템 계통구성도	12
그림 7 PMS 방전시간 선택화면	13
그림 8 성산풍력 2단계 발전단지 단선도	13
그림 9 에너지저장시스템 설치 장소	14
그림 10 에너지저장시스템 건물사진 및 구성	14
그림 11 일일 충전 및 방전 운영실적	15
그림 12 일일 가중치 반영 공급인증서	16
그림 13 충·방전 모델링	20
그림 14 충·방전 모델링 방전 후 잔여 배터리 용량	20
그림 15 용량 증대 모델링	23
그림 16 용량 증대 잔여 배터리 용량	23
그림 17 충전설정값 변경 모델링	26
그림 18 충전설정값 변경 방전 후 잔여 배터리 용량	26
그림 19 SMP 정산차액금 비교	28
그림 20 제주지역 평균 SMP	29
그림 21 충전시간 변경 모델링	29
그림 22 계절별 SMP 정산차액금 비교	30

표 목차

표 1 신·재생에너지원별 가중치	6
표 2 성산풍력 발전단지 현황	8
표 3 제주/육지지역 풍력연계형 에너지저장시스템 운영현황	9
표 4 에너지저장시스템 주요 구성 사양	10
표 5 회선당 운전용량 및 최대 선로길이	11
표 6 지역/기간별 방전시간표	11
표 7 월별 계통 운영 충전량 및 방전량	16
표 8 월별 최대부하 시간 방전량 및 가중치 적용 공급인증서	17
표 9 에너지저장시스템 공급인증서 수익금(가중치 5.5적용)	17
표 10 충전 및 방전 SMP 정산차액금	18
표 11 성산풍력연계형 에너지저장시스템 수익총액	18
표 12 충·방전 모델링 수익금	21
표 13 충·방전 모델링 SMP 정산차액금	22
표 14 용량 증대 수익금	24
표 15 용량 증대 SMP 정산차액금	24
표 16 충전 운전조건	25
표 17 충전설정값 변경 수익금	27
표 18 충전설정값 변경 SMP 정산차액금	27
표 19 충전시간 변경 수익금	30
표 20 충전시간 변경 SMP 정산차액금	31
표 21 수익 증대 방안의 결과	32

A Study on Operation and Revenue Increase of the Energy Storage System connected to wind farm in Jeju

Chang-Hyeop Lee

Department of Wind Energy Engineering
Graduate School of Industry
Jeju National University

Supervised by professor Se-Ho Kim
2016. 6.

SUMMARY

This thesis proposes the method of the operation and revenue increasing of the energy storage system connected with the wind farm installed in Jeju island. These days, the remarkable wind farm as the most popular renewable resource has achieved increasingly development and growth.

However, the stability of power grid will be decreased at the same time because the energy generated from the wind turbines could not be

synchronized to peak load in grid. Due to the intermittent power generation of wind turbines, it needs the energy storage system to enhance the stability of power grid with the smart grid technology.

In Korea, according to that a recent battery market has been slightly changed to low price, it has been promoted to construct the energy storage system connected with wind farm since 2015. The most issue to increase the construction of energy storage system connected with wind farm is the part of economic evaluation. But the actual operating data and the research with an economic point of view have not been achieved till now.

Therefore, I proposed the method to increase the economic revenue of the energy storage system connected with a wind farm located at sungsan region

- 1) A case of increasing the capacity of Power Conditioning System by additional investment. (2 MW to 3 MW)
- 2) A case of changing the setting value of charge and discharge. (200 kWh to 100 kWh)
- 3) A case of changing the time of charging. (Change the starting time to charge the energy storage system from completed discharging moment to midnight)

As a result of three cases, the revenue of energy storage system connected wind farm has increased by around three percent. Despite the increase in revenue, additional studies on economics of the energy storage system connected with wind farm in Jeju compared with other places are required.

In this paper, I suggest the predict models as the issues of revenue increase in terms of increasing capacity, changing the setting value of charge and changing the time of charging to increase the number of energy storage systems installed at wind farm in Jeju.

I. 서론

지구온난화에 대한 문제를 해결하기 위한 방안과 분산형전원이 지능형 전력망(Smart Grid)으로 적용되기 위한 방안으로 에너지저장시스템(Energy Storage System: ESS)이 대두되고 있다. 전 세계적으로 에너지저장시스템은 실증사업을 통해 보급이 늘어나고 있다. 미국에서는 전력 노후화로 인한 전력 계통용을, 일본은 원전사태에 따른 비상전원 확보를 위한 가정용을, 유럽의 독일은 신재생 발전용 등의 에너지저장시스템 시장을 발전시키고 있다.

우리나라에서는 전력 최대부하 수요를 감축하기 위하여 건물 및 공장용을 비롯한 다양한 형태의 에너지저장시스템을 사용하고 있다. 그 중 풍력연계형 에너지저장시스템은 풍력발전설비에서 생산된 전력을 일정기간 저장했다가 최대부하 시간에 전력계통으로 방전하여 공급인증서(Renewable Energy Certificate: REC)가중치의 혜택을 받는 설비이다. 최근 국제 배터리가격의 하락으로 인하여 에너지저장시스템 보급이 증가되고 있다[1][2].

현재까지 에너지저장시스템과 관련된 연구는 다음과 같다.

다른 출력특성을 가진 풍력발전단지들에 알맞은 배터리 용량을 산정하고 배터리 에너지저장시스템(BatteryESS: BESS)을 이용하여 출력을 안정화 시키는 방안을 연구한 논문이 있고[3], 배터리 에너지저장시스템만을 사용하는 구성과 배터리와 슈퍼커패시터 에너지저장시스템(Super Capacitor ESS: SCESS)이 복합된 하이브리드 에너지저장시스템(HybridESS: HESS)등 두 가지의 에너지저장시스템의 타당성을 입증하는 연구가 있다[4]. 또한, 제주지역 풍력발전단지의 한계용량이 제3연계선과 대용량 에너지저장시스템이 운용되면 증대된다는 결과를 입증한 논문과[5] 풍력발전 및 태양광발전설비의 용량이 에너지저장시스템에 비례하여 설정하는 것이 효율적이라는 결과를 도출해낸 연구가 있다[6].

현재까지는 주로 용량 산정 및 출력을 안정화시키는 에너지저장시스템의 연구들이 주였으나 에너지저장시스템의 수익성을 따지는 연구가 이루어지지 않았다. 최근 수익을 기반으로 하는 에너지저장시스템 사업이 주목 받고 있기 때문에 경제적 관점에서 실제 운영결과를 바탕으로 한 제주지역에 알맞은 수익형 에너지저장시스템 모델을 연구해 볼 필요성이 있다.

본 논문에서는 제주지역 풍력발전단지 중 성산풍력 2단계 발전단지에 연계되어 운영되고 있는 에너지저장시스템의 도입배경과 현황, 그리고 2016년 1월 1일부터 3월 31일까지의 3개월 간 성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템의 운영실적을 분석하였다. 또한 분석데이터 및 에너지저장시스템이 설치되기 전 성산풍력 2단계 발전단지에서 송전된 2014년 9월 21일부터 2015년 9월 20일까지의 1년 간 출력데이터를 기반으로 향후 1년 간 에너지저장시스템의 예상 충전과 방전 모델링을 수행하였다. 그리고 제주지역 계통에 맞는 에너지저장시스템 운영방안을 제시하기 위해 순시출력 용량 증대, 충전설정값 변경 그리고 충전시간 변경 등 세 가지 개선안을 제시하였다.

II. 에너지저장시스템 도입배경 및 생산풍력 발전단지 운영현황

제주지역은 풍부한 바람자원을 가지고 있기 때문에 풍력발전단지 건설의 좋은 입지 조건을 가지고 있다. 이에 따라 풍력 및 태양광발전과 같은 신에너지 및 재생에너지는 점진적으로 증가추세이다. 이러한 조건에도 불구하고 출력의 변동성을 가진 분산형전원은 전력을 많이 소비하는 최대부하 시간대에 안정적인 전력 공급이 어렵다는 난점이 있다. 이를 보완하기 위해 저부하 시 풍력발전기로부터 충전된 전력을 최대부하 시간대 공급할 수 있는 에너지저장시스템의 전력분배 역할이 필요하다. 본 장에서는 (주)한국남부발전의 생산풍력 2단계 발전단지에 연계되어 운영 중인 에너지저장시스템의 도입배경과 운영현황 및 설비 구성 그리고 운영실적을 살펴보았다.

2.1 제주지역 에너지 저장설비 현황

에너지저장시스템은 전력공급의 변동성 완화를 위한 신재생에너지원 생산전력 통합용, 계통의 실시간 주파수 조정용, 송배전 투자절감용, 최대부하 수요 시 추가 전력 공급용, 수용가(주택/산업)에 분산형 전원 저장용, 수용가 비상전원 공급 장치용으로 구분된다. 이 중 최대부하 수요 시 추가전력 공급용의 종류인 풍력연계형 에너지저장시스템은 저부하 시간대에 풍력발전기에서 생산된 전력을 배터리에 저장하여 최대부하 시간에 방전하는 방식으로 계절 및 지역별 정해진 시간에 방전할 경우 공급인증서 가중치 혜택으로 수익을 내는 장치이다. 시스템의 주요 구성 장치로는 전력저장장치(Battery: BAT), 전력변환장치(Power Conditioning System: PCS), 배터리관리시스템(Battery Management System: BMS), 그리고 전력관리시스템(Power Management System: PMS)으로 이루어져 있다[7].

그림 1은 제주도 발전설비 및 에너지저장설비 현황을 나타낸다. 그림 1에서 확인할 수 있듯이 현재 제주지역의 전력 공급은 한전의 제1, 2 연계선과 제주화력 및 남제주화력 그리고 한림복합발전소에서 담당하고 있다. 풍력발전설비는 101기가 운영 중이고 총 설비용량 215 MW로 제주지역 전체 설비용량 888 MW 중 24%를 차지하고 있다. 또한 그림 1은 최근 준공된 동북풍력 발전단지(30 MW)

와 김녕풍력 발전단지(30 MW)를 포함한 제주도 발전설비 현황을 보여주고 있다. 현재 서부지역 탐라해상풍력 발전단지(30 MW)와 상명풍력 발전단지(21 MW)는 건설 중이고 나머지 해상풍력단지는 인허가 절차를 진행 중이다. 제주지역 에너지저장 설비로는 조건변전소에 주파수 조정 목적의 에너지저장시스템(8 MW)과 성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템(8 MW)이 있다.



그림 1 제주도 발전설비 및 에너지저장 설비 현황

2.2 풍력연계형 에너지저장시스템 도입배경

최근 경제적 위기 속에 지구온난화 문제 해결을 위한 온실가스 감축은 전 세계적으로 큰 화두가 되고 있다. 우리나라와 같은 자원부족 국가에서는 화석연료의 고갈과 에너지 자원의 가격상승 및 에너지 과소비 억제 해결 그리고 안정적인 전력공급이 시급한 문제이다. 그래서 전 세계 국가들은 지능형 전력망(Smart Grid)으로의 변화가 기존의 중앙집중식 전력계통의 문제를 해결해줄 것으로 기대하고 있다. 그리고 에너지저장시스템이 분산형 전원에 도입되면 고효율의 안정적인 계통운영이 가능하게 할 것으로 기대된다. 최근 각국 정부는 에너지저장시스템 실증사업을 통해 설비의 보급을 확산시키고 있으며 중앙정부는 예산지원을 통해 실증사업을 수행하고 보조금 지급과 세금 감면 혜택을 지원하고 있다. 산업계에서도 에너지저장시스템이 성능 및 기술 측면에서 빠른 진전을 보이고 있어

관심을 갖고 있다.

그림 2는 전 세계 에너지저장시스템 프로젝트 현황을 보여주고 있다. 그림 2를 통해 발표된 수와 완공된 프로젝트 수를 비교할 수 있는데 2013년 하반기와 2014년 1분기 보면 같은 기간에 계획된 프로젝트 수의 합이 29건, 완공된 프로젝트 수가 35건이라는 것을 확인할 수 있다. 즉, 최근에는 계획된 프로젝트보다 그 이상의 프로젝트를 수행하고 있음을 그림 2를 통하여 알 수 있다[1].

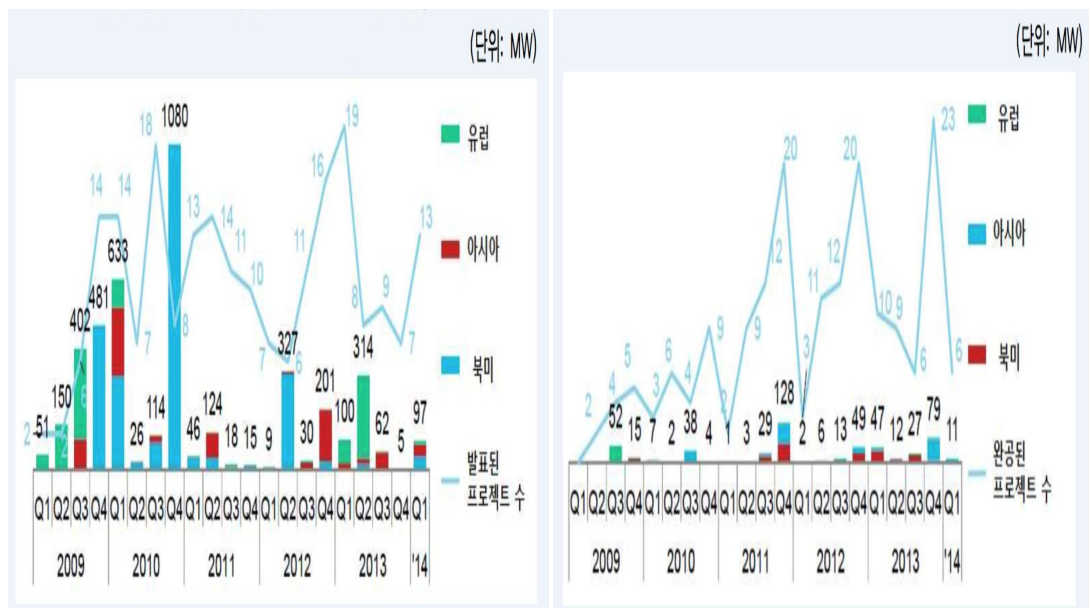


그림 2 전 세계 에너지저장시스템 프로젝트 현황

정부에서는 풍력발전 사업자들에게 표 1과 같이 사업자들이 풍력연계형 에너지저장시스템을 도입하는 년도에 따라 공급인증서 가중치를 차등으로 부여했다. 가중치는 2015년부터 2017년까지 5.5에서 4.5이며 적용설비로는 신재생에너지공급의무화제도 대상의 풍력발전단지에 연계된 에너지저장시스템으로 전원개발이 어려운 사업자들에게 새로운 수익사업이 될 것으로 예상된다[2].

제주도는 에너지저장시스템 보급을 위해 풍력발전 사업 시 에너지저장시스템을 의무적으로 설치하는 조례 도입을 시도하고 있다. 다행히도 현재 배터리 가격이 과거보다 낮아지는 추세이다.

표 1 신·재생에너지원별 가중치

구 분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준	
		설치 유형	세부 기준
태양광 에너지	1.2	일반부지에 설치하는 경우	100 km미만
	1.0		100 kW부터
	0.7		3,000 kW초과부터
	1.5	건축물등 기존 시설물을 이용하는 경우	3,000 kW이하
	1.0		3,000 kW초과부터
	1.5	유지의 수면에 부유하여 설치하는 경우	
	0.25	IGCC, 부생가스	
기타 신·재생 에너지	0.5	폐기물, 매립지가스	
	1.0	수력, 육상풍력, 바이오에너지, RDF전소발전, 폐기물 가스화 발전, 조력(방조제 有)	
	1.5	목질계 바이오매스 전소발전, 해상풍력(연계거리 5 km이하), 수열	
	2.0	연료전지, 조류	
	2.0	해상풍력(연계거리 5 km초과), 지열,조력(방조제 無)	고정형
	1.0~2.5		변동형
	5.5	ESS설비(풍력설비 연계)	'15년
	5.0		'16년
	4.5		'17년

2.3 성산풍력 발전단지 운영현황

제주지역 풍력발전단지 중 성산풍력 발전단지는 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 수산리 일대에 위치하며 (주)한국남부발전이 운영하고 있다. 2009년에 준공된 1단계 발전단지는 2 MW 용량의 베스타스 V80 발전기가 6기(1~6호기)로 구성되며, 2010년 준공된 2단계 발전단지는 2 MW 용량의 4기(7~10호기)로 구성되어 있다. 1단계와 2단계 발전단지의 총 설비용량은 20 MW로 성산지역의 전력을 담당하고 있다. 성산풍력 발전단지 터빈 배치도는 그림 3을 통해 알 수 있다. 각 호기에서 생산된 전력은 지중 구내선로를 통해 성산풍력 2호기 인근 전기실로 모이고 그림 4와 같이 지중 송전선로를 통하여 성산변전소로 송전된다.

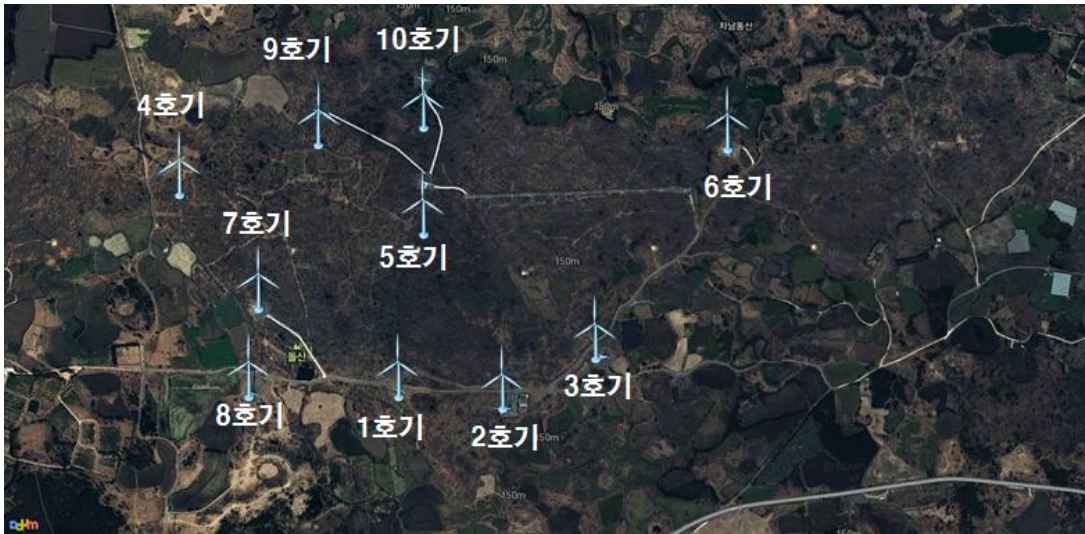


그림 3 성산풍력 발전단지 터빈 배치도

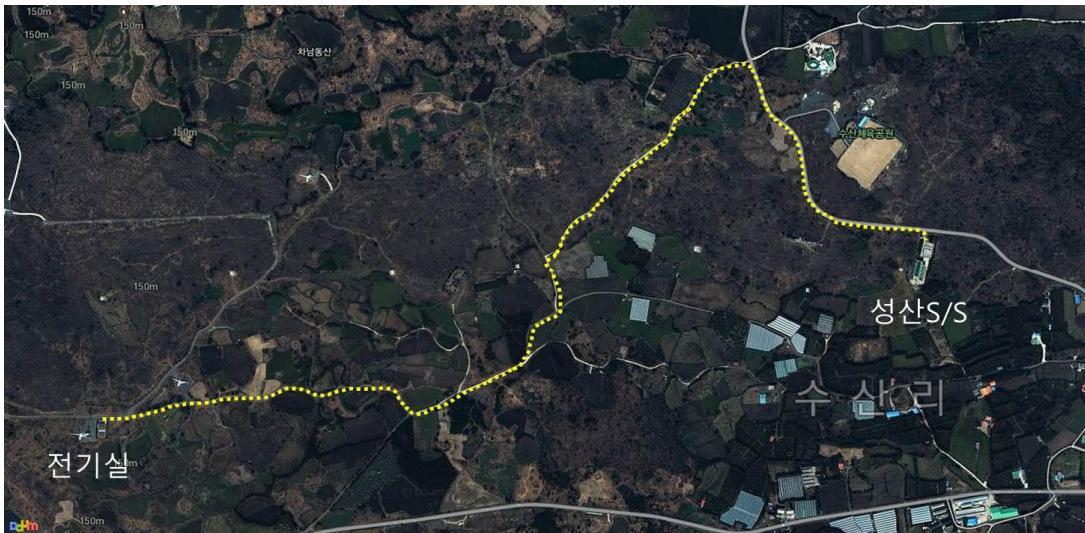


그림 4 성산풍력 발전단지 송전선로 구성도

표 2는 성산풍력 발전단지 현황을 나타낸다. 성산풍력 1, 2단계 발전단지는 준공년도에 따라 발전차액지원제도(Feed In Tariff: FIT)와 신재생에너지공급의무화제도(Renewable Price Service: RPS)로 전력거래가 이루어지고 있으며 성산풍력 2단계 발전단지만 추가적으로 공급인증서를 받고 있다. 성산풍력 2단계 발전설비는 2010년도에 준공된 신재생에너지공급의무화제도 발전설비임을 표 2를 통하여 확인할 수 있다.

표 2 성산풍력 발전단지 현황

발전단지명	설비용량	준공년도	보급제도	계통	선로연계용량	#3주변압기(연계용량)
성산풍력 1단계	12 MW	2009년	FIT	성산 S/S 성풍1 D/L	12 MW	45/60 (25MW) *민간 태양광 포함
성산풍력 2단계	8 MW	2010년	RPS	성산 S/S 성풍2 D/L	8 MW	

그림 5는 성산풍력 발전단지의 최근 5년 간 발전량과 이용률 그리고 평균 풍속을 나타낸 것이다. 그림 5는 해당지역의 연평균 풍속은 약 7 m/s이며 풍력발전사업의 적절한 입지조건을 가졌다고 볼 수 있다. 2010년부터 2015년까지의 평균풍속은 7.1 m/s이었지만 지난해의 평균풍속이 6.6 m/s로 최근 6년 간 최저풍속이었다. 그럼에도 불구하고 성산풍력 발전단지는 연간 약 40 GWh의 전력을 생산하였다.



그림 5 성산풍력 연도별 발전량 및 풍속

2.4 풍력연계형 에너지저장시스템 구성 및 설치현황

현재 풍력연계형 에너지저장시스템을 통해 받는 공급인증서의 가중치 혜택은 신재생에너지의무공급제도의 풍력발전단지에만 적용되며 현 규정으로는 2010년에 준공된 성산풍력 2단계 발전단지(8 MW)만이 연계가 가능함을 표 2를 통해 알 수 있다. 특히 제주지역에서는 (주)한국남부발전이 정부의 신재생에너지사업 활성화에 기여하고 제주도 전력계통의 이바지하고자 선도적으로 “풍력연계형 에너지저장시스템” 도입을 조기 검토하고 2015년 10월에 풍력연계형 에너지저장시스템을 준공하여 공급인증서 5.5에 해당하는 가중치를 받고 있다. 이와 더불어 육지지역에서도 표 3에 나타나듯이 (주)한국남동발전에서 운영 중인 영흥풍력단지와 대명영암풍력 그리고 (주)한국서부발전에서 운영 중인 전남화순풍력은 각각 전력변환장치 4 MW와 전력저장장치 16 MWh의 풍력연계형 에너지저장시스템 설비를 건설하여 운영하고 있다.

표 3 제주/육지지역 풍력연계형 에너지저장시스템 운영현황

지역	발전단지	운영사	단지용량 (MW)	전력변환장치(MW)/ 전력저장장치(MWh)
제주	성산풍력 2단계	(주)한국남부발전	8	2 / 8
육지	영흥풍력 1단계	(주)한국남동발전	22	2 / 8
	영흥풍력 2단계		24	2 / 8
	대명영암풍력	대명GEC	40	4 / 16
	전남화순풍력	(주)한국서부발전	16	4 / 16



(1) 구성

표 4는 성산풍력 연계형 에너지저장시스템의 주요 구성을 나타낸다. 에너지저장시스템은 순시출력을 담당하는 2 MW용량의 전력변환장치와 전력을 저장하는 8MWh용량의 배터리 설비로 구성되어 있다.

공칭전압이 934 Vdc인 배터리는 794~1,050 Vdc 전압범위 내에서 운전된다. 또한 배터리는 리튬이온형 2차 전지가 256개 직렬로 연결되며 Array 132개를 병렬

로 구성된다. 전력변환장치는 전력변환소자(Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT)를 사용하여 교류전력을 직류전력으로 충전하기도 하고 배터리에 충전된 직류전력을 방전시간 때 교류전력으로 변환하여 방전할 수 있도록 하는 설비이다. 이러한 충전과 방전을 자동으로 운전할 수 있는 설비를 PMS라 한다.

표 4 에너지저장시스템 주요 구성 사양

설비명	전력저장장치(BAT)	전력변환장치(PCS)
사진		
용량	8 MWh	2 MW
전압	794~1,050 Vdc (공칭전압 934 Vdc)	750~1,100 Vdc 440/22,900 Vac
종류	리튬이온형 2차 전지 (3.65 Vdc, 68 Ah)	전력변환소자(IGBT)
구성	전지 256직렬, Array 132병렬	1 MW 2기
제작사	(주)삼성SDI	(주)LS산전

성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템의 순시출력을 담당하고 있는 전력변환장치의 설비용량은 다음과 같이 산정하였다. 표 5는 회선당 운전용량 및 최대선로길이를 나타낸다. 22.9 kV용 배전설비의 상시 운전용량은 10,000 kVA로 역률이 1일 때 최대 10 MW연계가 가능하다. 그러므로 순시출력용량은 선로여유가 2 MW 있다고 판단되어 2 MW로 산정하게 되었다. 배터리 용량은 방전시간이 고시되기 전에 검토되어 4시간 연속 방전할 수 있는 8 MWh 용량으로 산정하게 되었다[8].

표 5 회선당 운전용량 및 최대 선로길이

구분	전압별(V)	기준용량(kVA)	회선당 운전용량(kVA)		최대 간선 선로길이(km)
			상시	비상시	
일반 배전설비	6,600	3,000	2,100	-	20
	22,900	10,000	10,000	14,000	33
대용량 배전설비	22,900	15,000	15,000	20,000	30

표 6은 춘계, 하계, 추계, 동계에 따른 지역별 최대부하 시간을 나타낸다. 춘계 기간에 육지지역은 방전시간이 09시부터 12시까지인 반면 제주지역은 19시부터 22시까지로 시간적 차이가 있다. 주목할 점은, 6월 7일부터 9월 20일까지의 하계 기간동안 육지지역은 13시부터 17시까지 4시간 연속 방전을 할 수 있는 반면 제주지역은 13시부터 15시까지와 19시부터 21시까지로 하루 2차례 2시간씩 방전할 수 있다는 점이다[2].

표 6 지역/기간별 방전시간표

구분	기간	최대부하 시간	
		육지지역	제주지역
춘계	3월 17일 ~ 6월 6일	09시 ~ 12시	19시 ~ 22시
하계	6월 7일 ~ 9월 20일	13시 ~ 17시	13시 ~ 15시, 19시 ~ 21시
추계	9월 21일 ~ 11월 14일	18시 ~ 21시	18시 ~ 21시
동계	11월 15일 ~ 3월 16일	09시 ~ 12시	18시 ~ 21시

그림 6은 충전과 방전 계통구성도를 나타낸다. 풍력발전기에서 생산된 전력이 계통으로 나가기 전에 에너지저장시스템으로 충전되는 것을 그림 6을 통하여 확인할 수 있다. 지정된 방전시간에는 풍력연계형 에너지저장시스템의 방전전력이 생산풍력 2단계 발전단지의 전력과 합산되어 생산풍력 2nd D/L을 통해 송전하게

된다. 에너지저장시스템의 방전량은 별도로 계량되어 공급인증서를 받고, 전력거래는 기존에 사용되고 있는 성산풍력 2단계 발전단지 전력량계에서 합산되어 정산된다. 계량지점이 다르기 때문에 성산풍력 2단계 발전단지는 에너지저장시스템이 공급인증서 5.5에 해당하는 가중치를 부여 받으면 성산풍력 2단계 발전단지 계량값에서 에너지저장시스템의 방전량을 가감하고 공급인증서를 발급 받아야 한다. 즉, 추가적인 혜택은 가중치가 5.5가 아닌 4.5에 해당하는 공급인증서를 받는 것을 그림 6을 통하여 확인할 수 있다.

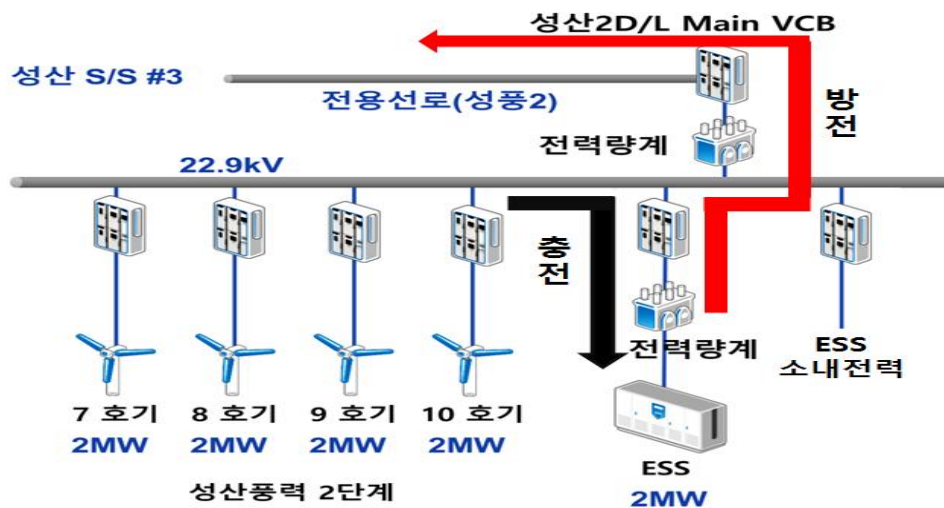


그림 6 풍력연계형 에너지저장시스템 계통구성도

그림 7은 실제 PMS의 충전과 방전시간을 선택할 수 있는 화면이다. 성산풍력 발전단지에 연계된 에너지저장시스템은 미리 설정된 시간으로 충전 운전과 방전 운전이 되며 계절별 달라지는 방전시간에 운전 될 수 있도록 시간 변경이 자유롭다. 에너지저장시스템이 자동적으로 운전 할 수 있도록 하는 설비인 PMS는 배터리의 SOC를 100%까지 충전되도록 하고 충전이 덜 되더라도 방전시간이 되면 계통으로 송전하게 된다. 지정된 시간에 방전이 끝나면 바로 충전모드로 전환되어 충전이 된다.



그림 7 PMS 방전시간 선택화면

(2) 설치현황

설비용량 8 MW의 생산풍력 2단계 발전단지는 7호기부터 10호기까지 베스트사의 V80 기종으로 4기가 운영 중이다. 그림 8은 생산풍력 2단계 발전단지의 단선도를 나타낸다. 그림 8에서 보면 풍력연계형 에너지저장시스템은 추가적으로 선로를 신설하지 않고도 기존의 22.9 kV 고압 진공차단기(Vacuum Circuit Breaker: VCB) 예비용을 활용하여 계통으로 접속할 수 있음을 확인하였다.

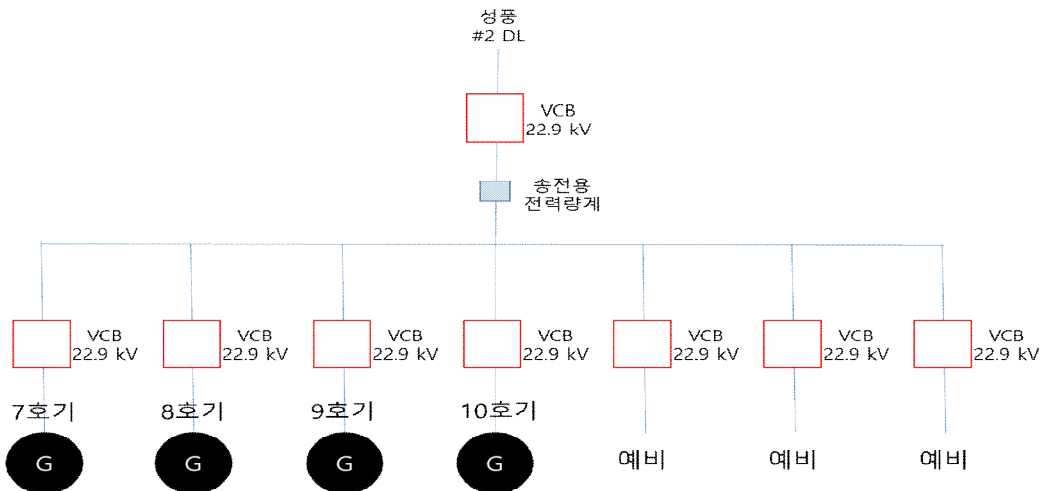


그림 8 생산풍력 2단계 발전단지 단선도

그림 9는 에너지저장시스템의 설치장소를 보여준다. 설치장소는 풍력발전단지에서 생산된 전력이 모이는 성산풍력 전기실에 인접해 있어 계통으로 연계가 수월하다는 장점을 가지고 있다.



그림 9 에너지저장시스템 설치장소

그림 10은 성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템의 외부건물 모습과 내부구성을 보여준다. 내부구성으로는 배터리, PCS, 제어, 자재, 소화룸으로 각각 분류되어 있다. PCS와 BAT룸은 통하여 전력을 저장하고 계통으로 송전하는 역할을 하고 있다.



그림 10 에너지저장시스템 건물사진 및 구성

2.5 풍력연계형 에너지저장시스템 운영실적

성산풍력 2단계 발전단지에 연계되어 운영 중인 에너지저장시스템은 2015년 10월 2일부로 가중치 5.5에 해당하는 공급인증서를 받고 있으며 지난 2016년 1월부터 3월까지의 기간에 충전과 방전 운영실적을 그림 11에서 확인할 수 있다.

그림 11은 지난 3개월 간의 성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템의 충전 운영실적과 방전 운영실적을 나타내며 이를 통하여 일평균 약 4.774 MWh의 전력을 최대부하 시간대에 계통으로 공급하였다는 것을 확인할 수 있다. 하지만 방전 출력이 일정하지 않고 유동적이었고 그 이유로는 겨울철에는 풍속이 높은 최대부하 시간대에 성산풍력발전단지와 에너지저장시스템의 송전량의 합이 20 MWh가 초과되어 이를 방지하기 위해 에너지저장시스템의 출력을 제한하여 송전량의 합이 20 MWh가 초과되지 않도록 하고 있다. 또한 배전계통이 불안정할 때 및 기타 점검을 위할 때의 정지가 반영 되었다.

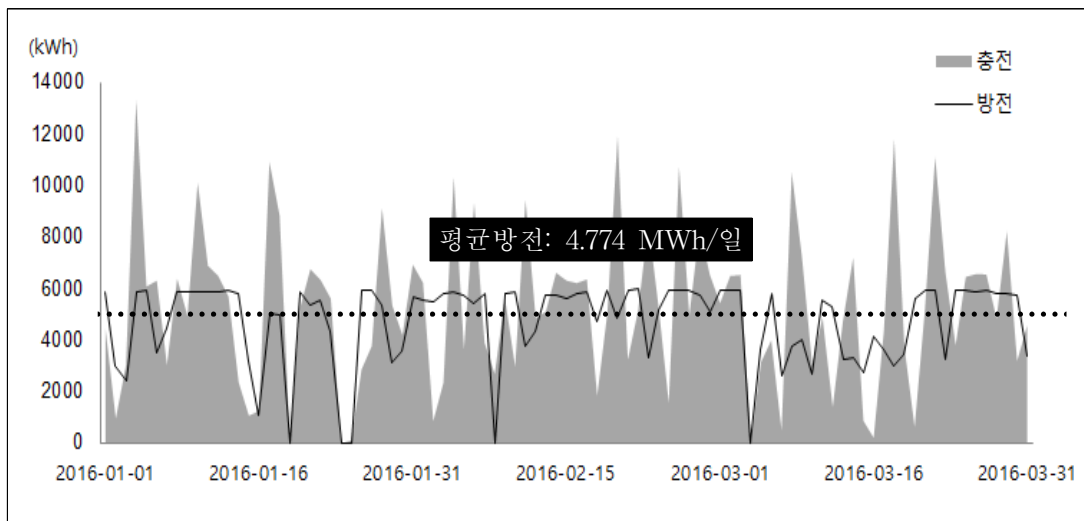


그림 11 일일 충전 및 방전 운영실적

표 7은 지난 3개월 간에 에너지저장시스템의 충전과 방전의 양과 효율을 나타낸다. 성산풍력 2단계 발전단지에서 에너지저장시스템으로 충전은 470.1 MWh하였고 계통으로 송전은 총 434.4 MWh하였음을 표 7을 통해 확인할 수 있다. 충전과 방전량의 값은 에너지저장시스템에 설치된 전력량계 기준이며 효율에는 전기적, 기계적 손실이 포함된 약 90%가 됨을 표 7에 나타나있다.

표 7 월별 계통 운영 충전량 및 방전량

월	충전량(MWh)	방전량(MWh)	효율(%)	비고
2016년 1월	158.8	139.5	87.83	전력량계 기준
2016년 2월	166.2	153.8	92.50	
2016년 3월	154.0	141.1	91.61	
계	470.0	434.4	90.67	

그림 12는 공급인증서에 가중치가 반영된 3개월간의 일일 공급인증서를 나타내었다. 에너지저장시스템이 하루에 방전할 수 있는 시간은 3시간이 하루 최대 32 REC에 해당하는 공급인증서를 확보하였음을 그림 12를 통하여 알 수 있다. 그리고 공급인증서 32 REC는 2014년도 육지 비태양광 REC 기준가격인 61,806 원을 적용하면 약 2 백만 원에 해당하는 금액이다.

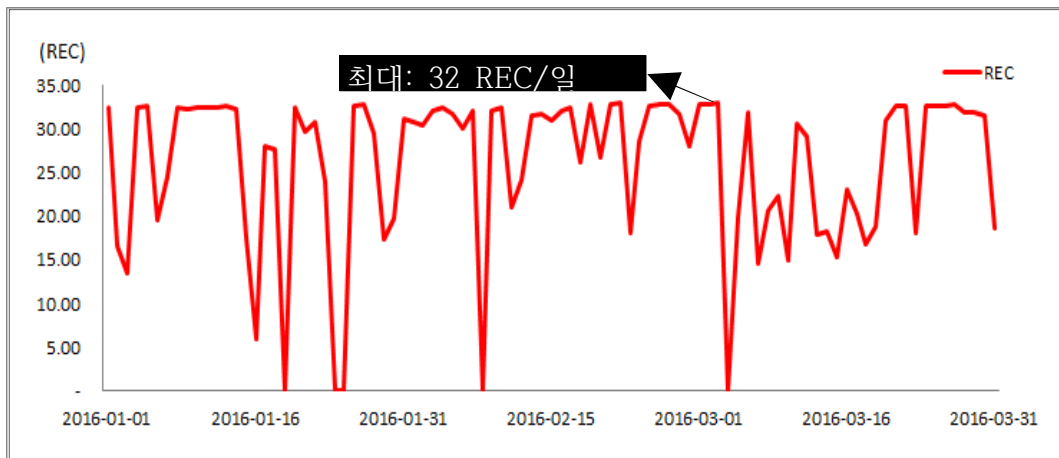


그림 12 일일 가중치 반영 공급인증서

표 8은 에너지저장시스템의 월별 최대부하 시간대에 방전을 한 양과 가중치가 반영된 공급인증서 실적을 나타낸다. 에너지저장시스템이 3개월 간 총 434.4 MWh에 해당하는 배터리의 전력을 최대부하 시간에 계통으로 공급하였고 1월에는 139.5 MWh를, 2월은 153.8 MWh를, 그리고 3월에는 141.1 MWh를 방전하였음을 표 8을 통하여 확인할 수 있다. 그리고 3개월 간의 에너지저장시스템이 확보한 5.5에 해당하는 가중치를 적용한 공급인증서는 총 2,367 REC이다.

표 8 월별 최대부하 시간 방전량 및 가중치 적용 공급인증서

2016년	최대부하 시간 방전량(MWh)	가중치5.5 적용후 공급인증서(REC)
1월	139.5	755
2월	153.8	842
3월	141.1	770
계	434.4	2,365

표 9는 에너지저장시스템의 운영실적중 공급인증서를 통하여 얻을 수 있는 수익을 월별로 나타낸 것이다. 표 9를 통하여 5.5에 해당하는 공급인증서 가중치를 반영한 월별 수익금을 알 수 있는데 1월에는 755 REC에 해당하는 46.7 백만 원을, 2월에는 842 REC에 해당하는 52.0 백만 원을, 3월에는 770 REC에 해당하는 47.6 백만 원의 판매 수익금이 있음을 확인할 수 있다. 그러나 그림 9에서 확인한바와 같이 신재생에너지의무공급제도인 성산풍력 2단계 발전단지는 가중치 1.0에 해당하는 공급인증서를 받기 때문에 성산풍력 2단계 발전단지의 공급인증서에서 에너지저장시스템의 434 REC를 가감하여 계상되어야 한다. 즉, 에너지저장시스템을 통하여 발생한 공급인증서 판매 수익은 3개월 간의 기간 총 1,936 REC에 해당하는 약 120 백만 원이며 기준가격은 2014년도 육지 비태양광에 해당하는 61,086원을 적용하였다.

표 9 에너지저장시스템 공급인증서 수익금(가중치 5.5적용)

2016년	공급인증서(REC)	공급인증서 수익금 (백만원)	비 고
1월	755	46.7	2014년 육지 비태양광 기준가격 ₩61,086
2월	842	52.0	
3월	770	47.6	
소 계	2,367	146.0	
가중치1 가감	- 434	- 26.3	
합 계	1,936	120	

표 10은 에너지저장시스템이 충전과 방전시간대에 전력거래를 통한 금액의 차이를 월별로 나타낸 것이다. 3개월 동안 에너지저장시스템이 충전할 때의 전력거

래 금액은 약 43.1 백만 원이고 방전할 때의 전력거래 금액은 약 41 백만 원으로 충전금액과 방전금액의 차는 약 2 백만 원으로 충전한 금액이 높았음을 표 10을 통하여 알 수 있다. 위 같은 원인으로는 에너지저장시스템이 최대부하 시간대에 방전을 완료한 직후 충전을 할 수 있도록 전환되는데 최대부하 시간 이후인 22시~24시대가 전반적으로 SMP가 낮지 않았고 방전을 하는 최대부하 시간대는 전반적으로 SMP가 높지 않았기 때문이다. 이를 통하여 성산풍력 2단계에 연계된 에너지저장시스템은 해당지역의 낮은 SMP 전력을 충전 할 수 있도록 충전 시간을 변경 되어질 필요가 있음을 표 10을 통하여 예상 할 수 있다.

표 10 충전 및 방전 SMP 정산차액금

2016년	충전금액(백만원)	방전금액(백만원)	SMP 정산차액금(백만원)
1월	15.3	15.0	0.3
2월	14.7	13.8	0.9
3월	13.1	12.3	0.8
계	43.1	41.1	2.0

지난 3개월 간 운영실적 및 수익총액을 종합하면 표 11과 같다. 표 11에서 공급인증서 총 판매 수익금은 약 146.3 백만 원이다. 하지만 기존 성산풍력 2단계가 받던 공급인증서 가중치 1.0에 해당하는 약 26.5 백만 원과 약 2 백만 원의 SMP정산간의 차액을 가감하면 종합수익은 약 117.8 백만 원임을 표 11을 통하여 알 수 있다.

표 11 성산풍력연계형 에너지저장시스템 수익총액

2016년	공급인증서(5.5) 판매금(백만원)	공급인증서(1.0) 판매금(백만원)	SMP 정산차액금 (백만원)	종합 수익 (백만원)
1월	46.7	- 8.5	- 0.3	37.9
2월	52.0	- 9.4	- 0.9	41.7
3월	47.6	- 8.6	- 0.8	38.2
계	146.3	- 26.5	- 2.0	117.8

Ⅲ. 풍력연계형 에너지저장시스템 수익 증대 개선방안

현재 성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템의 배터리 용량은 순시출력이 4시간동안 연속하여 방전할 수 있도록 설계되었다. 하지만 표 6에서 언급하였듯이 최대 공급인증서 가중치를 적용받기 위한 일일 연속 방전시간이 제주지역과 육지지역이 다르게 고시 되었다. 육지지역은 최대 4시간동안 연속으로 방전 할 수 있는 반면에 제주지역은 최대 3시간동안 연속적으로 방전할 수 있어 방전 후에 배터리에 남아 있는 전력 대한 활용이 필요하다.

에너지저장시스템이 충전을 할 수 있도록 하는 기존의 설정값은 저풍속이 갖은 하계기간에 성산풍력 2단계 발전단지에서 생산된 전력을 간헐적으로 충전을 하며 설정된 발전량 이하로는 충전을 하지 않는다. 또한 충전과 방전시간에 발생하는 전력거래금액간의 차액을 최소화 하여야 한다.

모델링에 적용될 기간은 2014년 9월 21일부터 2015년 9월 20일까지인 1년 간이며 데이터는 성산풍력 2단계 발전단지의 송전실적이다. 모델링 수익계상에 적용될 기준가격은 2014년 육지 비태양광 기준가격인 61,086원이고 효율은 표 7에서 확인할 수 있듯이 약 90%로 적용된다. 또한 기타 소내전력 및 손실은 무시하여 모델링과 개선안을 제시하였다.

3.1 충·방전 모델링

그림 13은 성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템이 향후 1년 간 예상한 충전량과 방전량을 성산풍력 2단계 발전단지의 2014년 9월 21일부터 2015년 9월 20일까지의 송전실적을 바탕으로 모델링을 해본 결과 이다. 순시출력 용량은 2 MW이고 충전시작값과 보정값은 각각 200 kWh이다. 성산풍력 2단계 발전단지에서 200 kWh 이상 발전을 하면 에너지저장시스템의 전력변환장치가 충전을 시작하는데 충전을 하는 양은 풍력발전단지에서 발전된 양에서 미리 설정된 200 kWh에 해당하는 전력을 빼고 난 나머지 이다. 모델링을 통해 에너지저장시스템이 연간 약 10,451 REC를 확보를 할 수 있음을 그림 13을 통하여 알 수 있다.

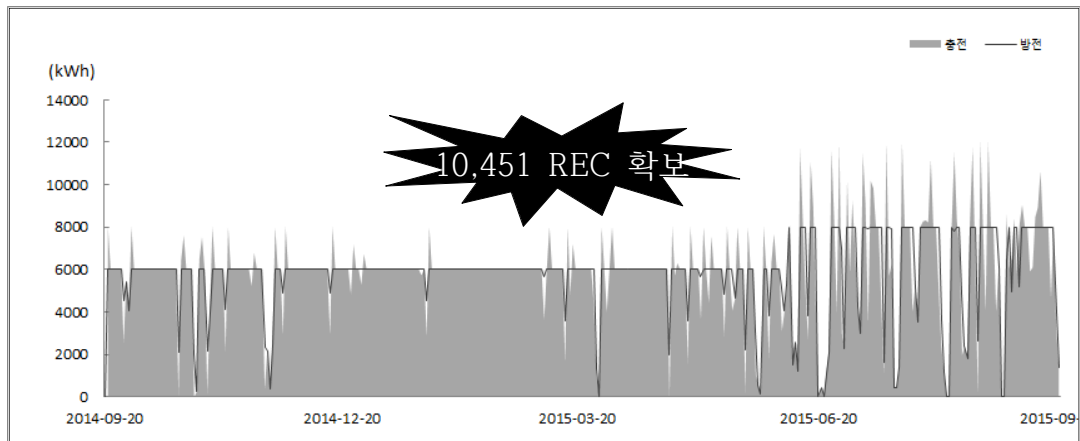


그림 13 충·방전 모델링

그림 14는 그림 13의 충·방전 모델링에서 생산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템이 방전 후 배터리에 남아있는 배터리 잔류용량을 나타낸다. 제주지역의 연속 방전시간은 육지지역과 다른 3시간이다. 하루 최대 4시간 방전할 수 있도록 설계된 생산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템의 방전 후 배터리 용량은 약 646.7 MWh임을 그림 14를 통하여 알 수 있다. 배터리 잔여 용량이 적은 날은 방전시간 전까지 풍속이 충분하지 못하여 에너지저장시스템이 생산풍력 2단계 발전단지로부터 충전을 부족하게 하였음을 그림 14를 통하여 확인할 수 있다. 즉, 수익이 향상되려면 하계기간을 제외한 1시간분의 배터리 용량을 활용 해볼 필요가 있다.

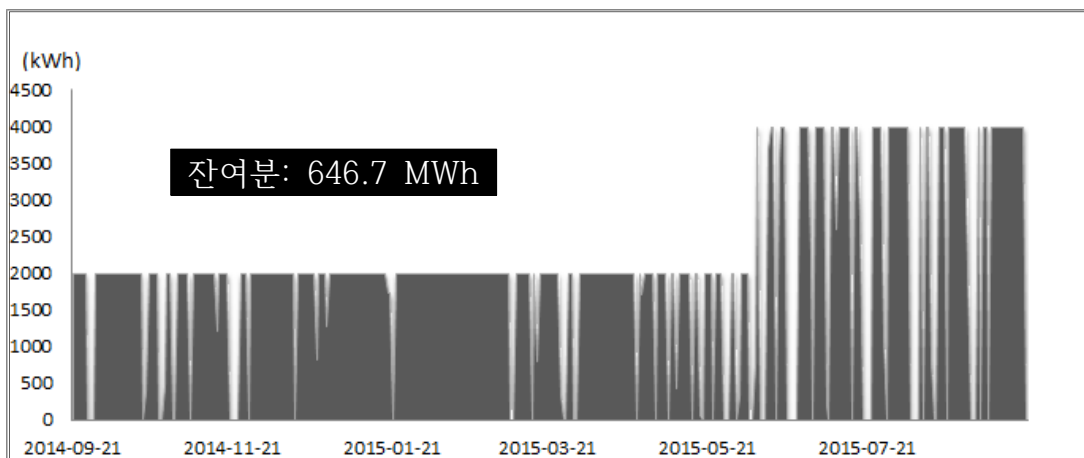


그림 14 충·방전 모델링 방전 후 잔여 배터리 용량

표 12는 생산풍력 2단계 발전단지에 연계된 풍력연계형 에너지저장시스템의 충·방전 모델링을 통하여 계상되어진 수익금을 계절별로 나타낸 것이다. 표 12에서는 에너지저장시스템이 연간 약 2,111.2 MWh를 충전하고 약 1,900.2 MWh를 방전하였음을 알 수 있다. 에너지저장시스템의 충전량과 방전량을 계절별로 살펴보면 추계기간의 충전은 306.6 MWh이며 방전은 274.2 MWh이다. 그리고 동계기간에는 풍속이 높고 기간도 타 계절에 비해 길어 에너지저장시스템이 708.9 MWh를 충전하였고 638.0 MWh를 방전하였다. 또한, 춘계와 하계기간에는 에너지저장시스템이 충전을 각각 448.8 MWh와 646.9 MWh를 하였고 방전을 각각 405.7 MWh와 582.3 MWh를 하였다. 에너지저장시스템의 충·방전 모델링을 통해 발생한 공급인증서와 전력거래의 수익금은 표 12를 통하여 연간 총 504.6 백만 원임을 확인할 수 있다.

표 12 충·방전 모델링 수익금

구분	충전(MWh)	방전(MWh)	REC판매금+SMP정산차액금(백만원)
추계	306.6	274.2	71.8
동계	708.9	638.0	168.7
춘계	448.8	405.8	109.4
하계	646.9	582.3	154.7
계	2,111.2	1,900.3	504.6

표 13은 에너지저장시스템의 충·방전 모델링을 통해 발생되어진 전력거래금액 간의 차액을 나타낸 것이다. 표 13에서는 에너지저장시스템이 충전한 전력거래금액은 총 316.9 백만 원으로 방전시간대 전력거래금액 보다 약 23.8 백만 원 많았음을 알 수 있고 표 13을 통해 알 수 있다. 이를 통해 충·방전 모델링을 한 결과에서는 에너지저장시스템이 충전한 시간대의 SMP가 낮지 않았고 방전한 시간대의 SMP가 높지 않았음을 표 13을 통하여 추론해볼 수 있다. 즉, 에너지저장시스템이 충전과 방전을 할 때 발생하는 전력거래금액의 차액은 연간 총 23.8 백만 원으로 개선이 되어 질 필요가 있다.

표 13 충·방전 모델링 SMP 정산차액금

구분	충전SMP(백만원)	방전SMP(백만원)	방전SMP - 충전SMP(백만원)
추계	59.2	54.8	-4.4
동계	114.9	106.2	-8.7
춘계	58.4	55.0	-3.4
하계	84.4	77.1	-7.3
계	316.9	293.1	-23.8

3.2 수익 증대 개선안

(1) 순시출력 용량 증대안

성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템의 순시출력 용량을 기존에 2 MW에서 3 MW로 증대해보고 수익이 개선되는 것을 살펴보았다. 에너지저장시스템의 순시출력 용량이 증대가 가능하다는 가정이며 충전시작값과 보정값은 각각 200 kWh로 모델링을 해본 결과는 그림 15와 같다. 그림 15에서는 에너지저장시스템이 순시출력을 3 MWh로 운영되면 공급인증서는 이전보다 2,582 REC 증가한 13,033 REC임을 보여 주고 있다. 에너지저장시스템의 순시출력이 3 MW이면 8 MWh에 해당하는 배터리 용량을 2.5시간에 완전 방전시킬 수 있으므로 공급인증서는 당연히 증가되었고 하계기간에는 에너지저장시스템이 하루 최대 방전할 수 있는 용량은 배터리의 용량이 8 MWh임에도 불구하고 12 MWh로 풍속이 좋은 날에는 수익이 향상될 수 있음을 그림 15를 통하여 예상할 수 있음을 도출해냈다.

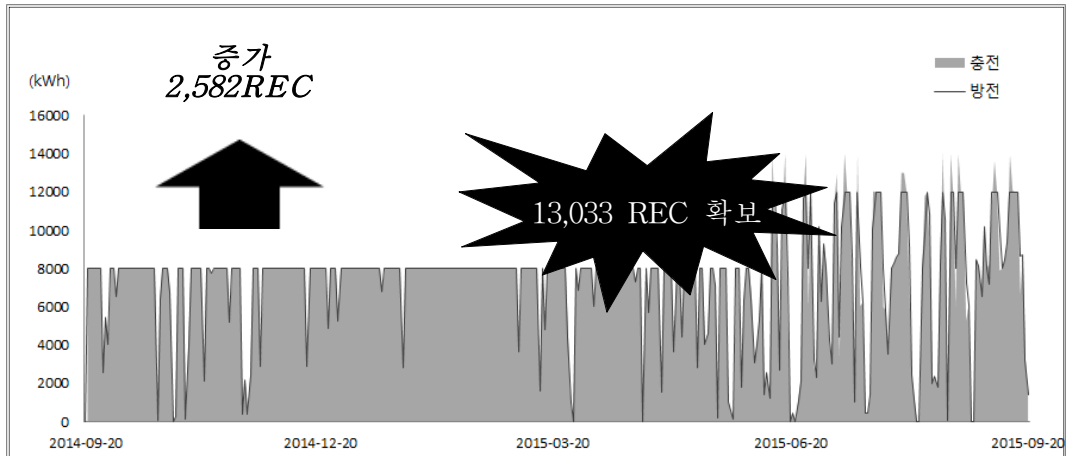


그림 15 용량 증대 모델링

그림 16은 에너지저장시스템의 순시출력 용량을 증대해본 그림 15의 결과를 통해 얻어진 방전 이후 배터리에 남아있는 잔류용량을 나타낸 것이다. 에너지저장시스템의 배터리는 하루 두 번 방전하는 하계기간을 제외하고는 모두 방전되었음을 그림 16을 통하여 알 수 있고 배터리에 남아있는 양은 이전 대비 약 82.54% 감소된 123.4 MWh임을 도출해 낼 수 있다.

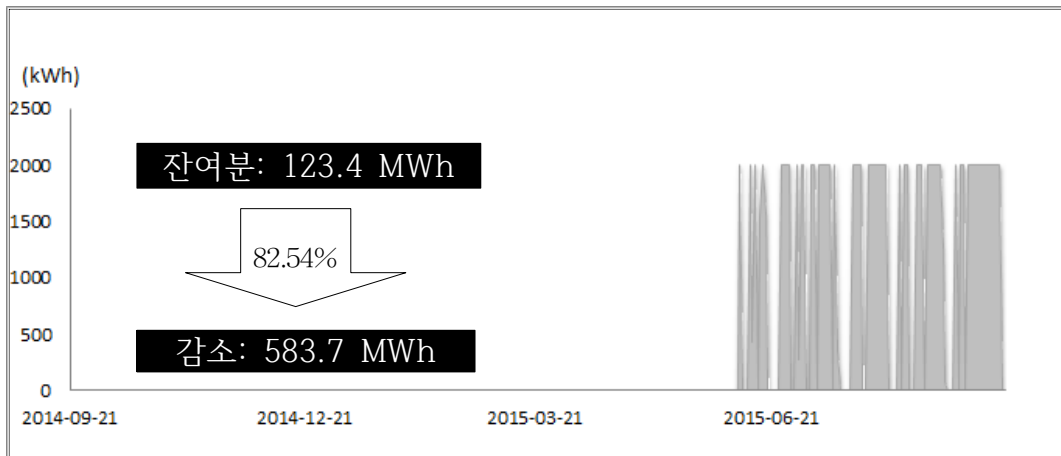


그림 16 용량 증대 방전 후 잔여 배터리 용량

표 14는 에너지저장시스템의 순시출력 용량을 증대해본 개선안에 대한 수익금을 계절별로 나타낸 결과이다. 표 14에서는 에너지저장시스템의 수익금은 전반적

으로 이전보다 향상 되었고 증가된 금액을 살펴보면 추계기간에는 18.9 백만 원 이, 동계기간에는 48.6 백만 원이, 춘계기간에는 22.8 백만 원이, 마지막으로 하 계기간에는 33.8 백만 원에 해당하는 금액이 증가되었으며 총 628.7 백만 원의 공급인증서와 전력거래금액으로 인한 수익이 발생하였음을 확인할 수 있었다.

표 14 용량 증대 수익금

구분	충전(MWh)	방전(MWh)	REC 판매금+SMP 차액금(백만원)	증감액(백만원)
추계	382.0 (▲75.4)	343.8 (▲69.6)	90.7	(▲18.9)
동계	913.3 (▲204.4)	822.0 (▲184.0)	217.3	(▲48.6)
춘계	547.7 (▲98.9)	493.0 (▲87.2)	132.3	(▲22.8)
하계	789.9 (▲143.0)	711.0 (▲128.6)	188.4	(▲33.8)
합 계	2,633.0 (▲521.6)	2,369.7 (▲469.5)	628.7	(▲124.1)

표 15는 에너지저장시스템의 순시출력 용량을 증대하여 모델링 하였을 때 충 전과 방전을 할 때의 전력거래의 차액을 나타낸 것이다. 표 15를 통해 표 14와 비교하여 살펴보면 용량 증대안이 적용된 에너지저장시스템의 방전량이 증가되 면 공급인증서 수익이 증가됨을 표 14를 통해 예상해볼 수 있지만 표 15에 나타 나있는 에너지저장시스템이 충전과 방전을 할 때 발생하는 전력거래금액간의 감 소분은 30.3 백만 원이며 여전히 충전시간에 대한 개선이 필요함을 표 15를 통하 여 추론할 수 있다.

표 15 용량 증대 SMP 정산차액금

구분	방전SMP - 충전SMP(백만원)	증감액(백만원)
추계	-4.9	(▽0.5)
동계	-11.3	(▽2.6)
춘계	-4.8	(▽1.4)
하계	-9.3	(▽2.0)
계	-30.3	(▽6.5)

(2) 충전설정값 변경안

성산풍력 2단계 발전단지에 연계되어 운영 중인 에너지저장시스템의 배터리 충전량은 풍력발전기에서 생산된 전력량에 따라 유동적이다. 표 16은 에너지저장시스템이 충전을 할 때의 운전조건을 나타낸 것으로 총 4가지의 조건으로 충전이 된다. 그중 예를 들면 성산풍력 2단계 발전단지에서 생산된 전력이 200 kWh 이상 이면 전력변환장치인 PCS가 배터리로 충전을 하게 된다. 충전량은 발전된 양에서 보정값에 해당하는 200 kWh를 감한 양을 충전하는데 성산풍력 2단계 풍력발전기에서 260 kWh 발전하면 에너지저장시스템의 PCS는 1대 운전하고 충전량은 발전량에 해당하는 260 kWh에서 미리 설정된 200 kWh에 해당하는 보정값을 가감하면 60 kWh이 됨을 표 16을 통하여 추론해볼 수 있다. 이때, 변동성이 큰 풍력발전기가 순간적으로 풍속이 저하될 때 에너지저장시스템이 계통의 전원을 수전하는 경우는 없어야 한다.

표 16 충전 운전조건

구분	풍력발전량 (kWh)	PCS1	PCS2	운전대수
1	발전량 < 200	0	0	0
2	200 ≤ 발전량 < 400	발전량-보정값	0	1
3	400 ≤ 발전량 < 2200	(발전량 - 보정값)/2	(발전량 - 보정값)/2	2
4	2200 ≤ 발전량	1000	1000	2

*충전시작값: 200 kWh, 보정값: 200 kWh

그림 17은 에너지저장시스템이 전력을 저장할 수 있도록 하는 설비인 전력변환장치의 충전시작값과 보정값을 각각 200 kWh에서 100 kWh로 변경한 모델링의 결과를 보여준다. 그림 17을 통하여 에너지저장시스템이 1년 간 공급인증서를 이전보다 268 REC증가한 10,719 REC를 확보할 수 있음을 알 수 있다.

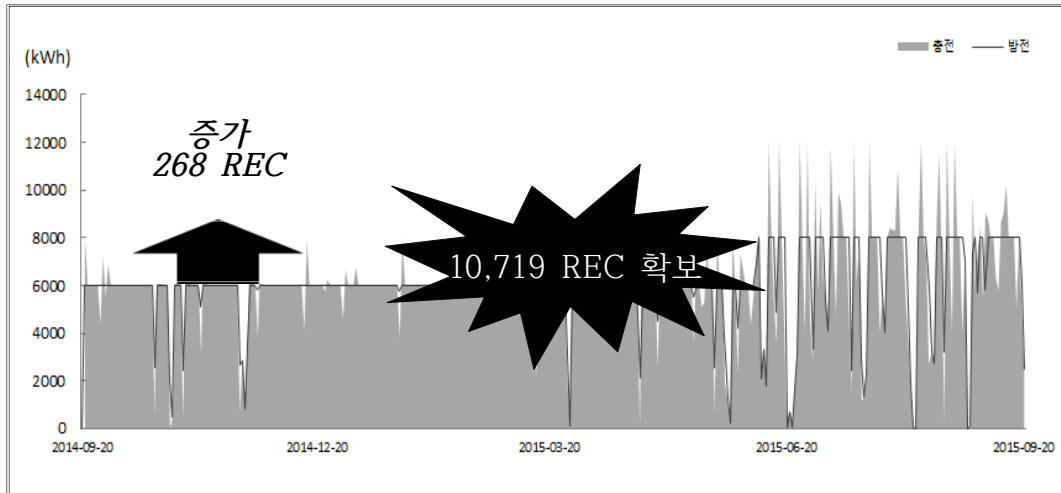


그림 17 충전설정값 변경 모델링

그림 18은 충전설정값이 변경된 에너지저장시스템의 그림 17에서 본 결과를 토대로 배터리에 방전 이후 남아있는 용량을 나타낸 것으로 이전보다 배터리에 남아있는 용량의 합은 3.94%가 증가되어 735 MWh임을 모델링을 통해 알 수 있다. 이 결과를 통해 순시출력 용량을 2 MW 조건에서는 에너지저장시스템이 방전을 완료한 후 남아있는 배터리의 용량을 줄이기는 쉽지 않음을 그림 17을 통하여 예상할 수 있고, 방전 후 남아있는 배터리의 활용이 필요한 시점이다.

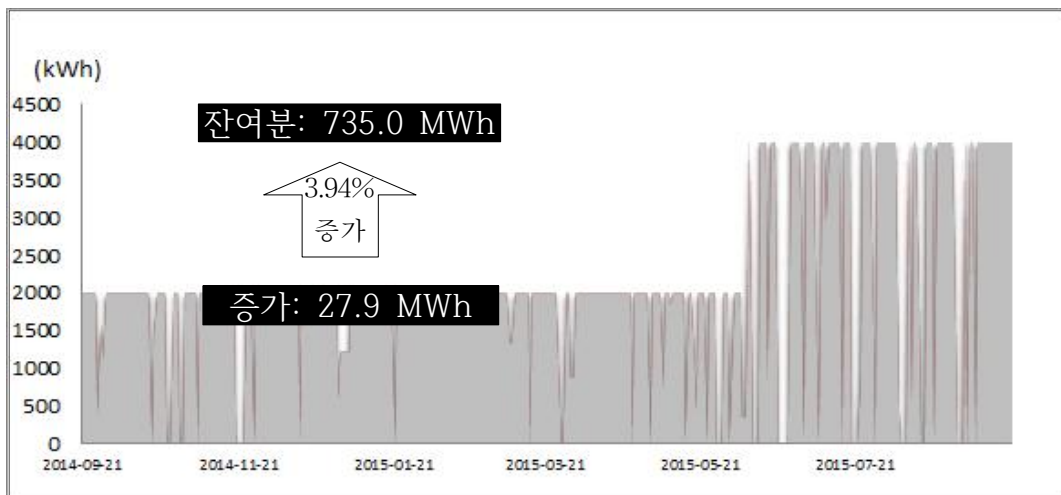


그림 18 충전설정값 변경 방전 후 잔여 배터리 용량

표 17은 에너지저장시스템이 충전을 할 때 설정된 값을 변경해본 모델링의 수익금을 분석한 것으로 계절별 수익을 살펴보면 하계기간 때의 충전량은 30.6

MWh가 증가된 677.6 MWh이고 방전량은 27.9 MWh가 증가된 610.1 MWh임을 표 17을 통하여 알 수 있다. 제주지역에 설치된 에너지저장시스템이 하계기간에는 하루에 두 번 방전을 할 수 있어 그 수익금은 이전 보다 증가되었음을 알 수 있다. 그리고 에너지저장시스템의 충전설정값이 변경되어 모델링해본 결과의 총 수익금은 이전보다 약 12.7 백만 원 증가한 약 517.38 백만 원임을 표 17은 보여 준다.

표 17 충전설정값 변경 수익금

구분	충전(MWh)	방전(MWh)	REC 판매금+SMP 차액금(백만원)	증감액(백만원)
추계	314.5 (▲7.9)	281.3 (▲7.1)	73.57	▲ 1.76
동계	715.5 (▲6.6)	644.0 (▲5.9)	170.34	▲ 1.59
춘계	457.9 (▲9.0)	413.5 (▲7.8)	111.44	▲ 2.00
하계	677.6 (▲30.6)	610.1 (▲27.9)	162.03	▲ 7.34
계	2,165.5 (▲54.2)	1,949.0 (▲48.8)	517.38	▲ 12.69

표 18은 에너지저장시스템이 충전을 할 때 설정된 값을 변경해본 모델링의 결과중 충전과 방전할 때의 전력거래금액을 분석한 것으로 에너지저장시스템의 충전과 방전간의 전력금액 차액은 이전보다 0.87 백만 원 감소한 24.7 백만 원에 해당하는 감소분이 발생했다는 것을 나타내고 있다.

표 18 충전설정값 변경 SMP 정산차액금

구분	방전SMP - 충전SMP(백만원)	증감액(백만원)
추계	-4.67	▽0.22
동계	-8.77	▽0.06
춘계	-3.59	▽0.17
하계	-7.67	▽0.42
계	-24.7	▽0.87

(3) 충전시간 변경안

성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템의 충전과 방전 모델링을 해본 결과 수익을 개선하기 위하여 순시출력 용량증대, 충전설정값 변경을 해보았으나 공통된 사항을 도출해낼 수 있었다. 그림 19는 에너지저장시스템의 개선전 모델링과 순시출력 용량증대 그리고 충전설정값 변경이라는 개선안을 적용했을 때 에너지저장시스템이 충전과 방전간의 전력거래금액간의 차액을 서로 비교해본 것이다. 에너지저장시스템의 충·방전 모델링에 대한 개선안 중 순시출력 용량증대의 연간 SMP 정산차액금은 감소가 된 약 30.3 백만 원이며 충전설정값 변경이라는 개선안에 해당하는 연간 SMP 정산차액금은 감소가 된 약 24.7 백만 원으로 각각 이전보다 6.5 백만 원과 0.88 백만 원 감소분이 더 발생하였음을 그림 19를 통하여 결과를 얻어낼 수 있었고 에너지저장시스템이 충전시간을 변경하면 SMP 정산차액금이 얼마나 개선되는지 분석해볼 필요가 있다.

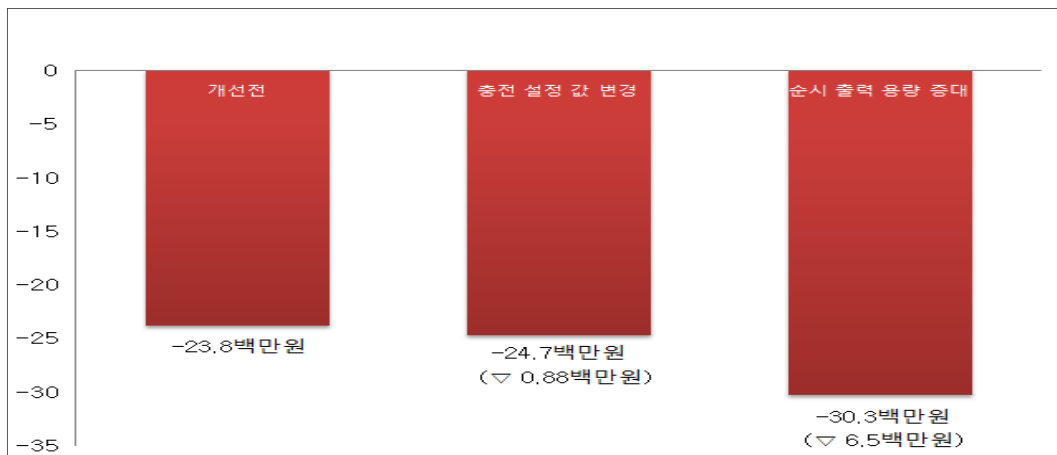


그림 19 SMP 정산차액금 비교

그림 20은 제주지역의 SMP가 2016년 1월 1일부터 3월 31일간의 3개월 동안 발생한 시간별로 평균을 나타낸 것으로 그 금액은 89.67원이다. 그림 20에서는 에너지저장시스템이 충전을 방전 이후에 해당하는 20시~24시간의 SMP가 그 외 시간대보다 높았다는 것을 그림 20을 통해 확인할 수 있다.

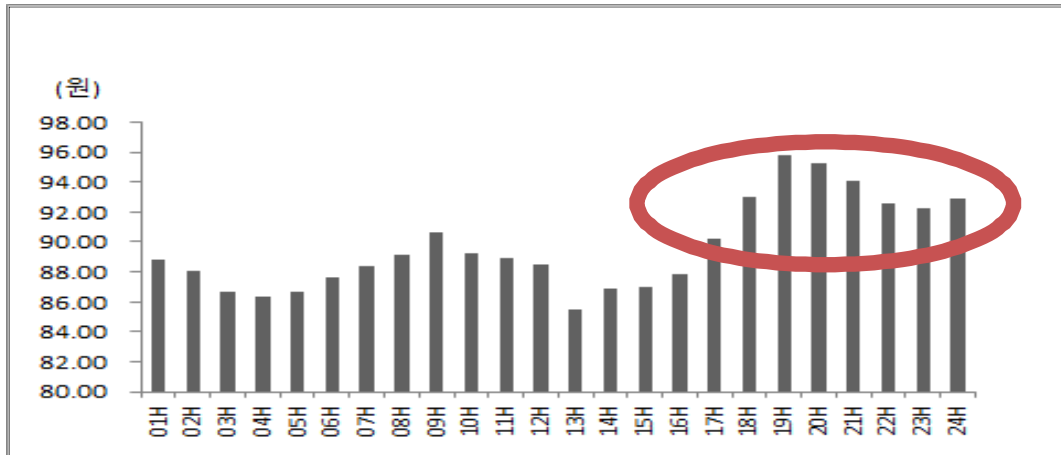


그림 20 제주지역 평균 SMP

그림 21은 그림 20의 결과를 바탕으로 에너지저장시스템이 충전시간을 방전 이후 부터에서 자정 이후로 변경해본 결과로 1년 간 에너지저장시스템의 공급인증서는 이전보다 321 REC감소한 10,130 REC로 금액으로 환산해보면 2014년 육지 비태양광 기준가격에 해당하는 61,806원을 적용 하였을 때 약 19.9 백만 원임을 그림 21로부터 도출할 수 있다.

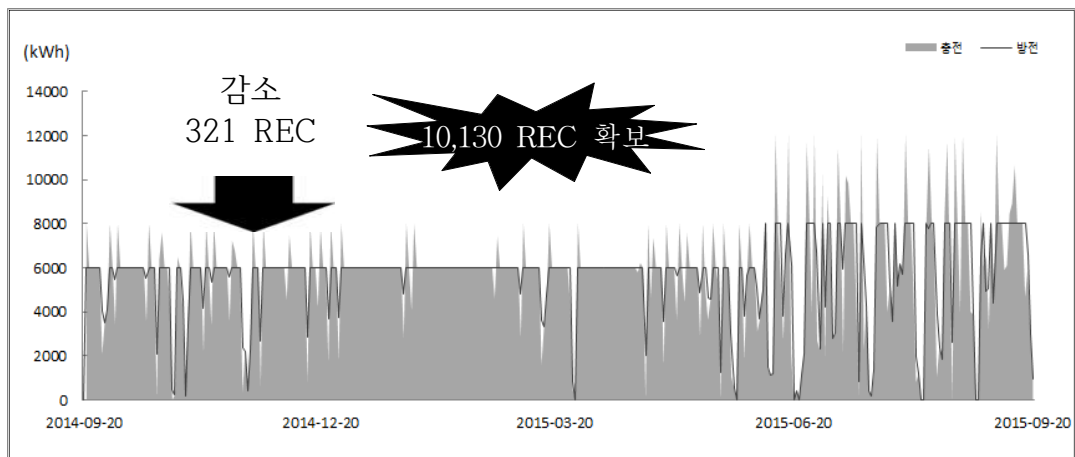


그림 21 충전시간 변경 모델링

표 19는 에너지저장시스템이 충전을 하는 시간을 방전 후부터 자정 이후로 변경할 때의 모델링에 대한 수익금을 나타낸 것으로 전체적인 수익금은 이전 보다

약 0.72 백만 원 감소한 503.96 백만 원임을 알 수 있다. 특히 에너지저장시스템의 충전시간을 변경할 때의 하계기간을 제외한 총 수익금은 약 356.14 백만 원이고 이전보다 약 6.15 백만 원이 증가함을 표 19를 통하여 결과를 얻을 수 있다.

표 19 충전시간 변경 수익금

구분	충전(MWh)	방전(MWh)	REC 판매금+SMP 차액금(백만원)	증감액(백만원)
추계	297.0 (▽9.6)	265.5 (▽8.7)	72.34	▲0.53
동계	694.1 (▽14.8)	626.5 (▽11.5)	173.65	▲4.90
춘계	457.9 (▽2.6)	413.5 (▽41.9)	110.15	▲0.72
하계	677.6 (▽37.9)	610.1 (▽34.1)	147.82	▽6.87
계	2,165.5 (▽64.9)	1,949.0 (▽58.4)	503.96	▽0.72

그림 22와 표 20은 에너지저장시스템이 충전을 방전 이후와 자정 이후로 할 때의 계절별 수익 분석결과를 나타낸 것이다. 그림 22를 살펴보면 동계기간이 충전시간변경 하였을 때가 방전 직후 충전할 때보다 큰 차이의 SMP 정산차액금의 개선점을 확인할 수 있다.

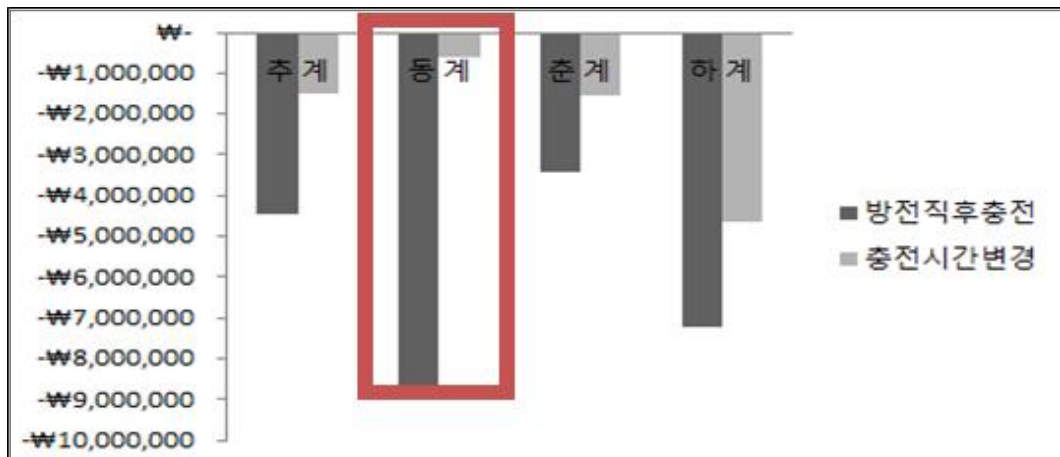


그림 22 계절별 SMP 정산차액금 비교

표 20은 에너지저장시스템이 충전을 할 때의 시간을 방전 이후에서 자정이후로 변경한 결과의 계절별 SMP 정산차액을 나타낸 것이다. 표 20에서는 동계 기간동안 에너지저장시스템이 충전과 방전을 할 때 발생하는 전력거래금액간의 차가 이전보다 8.10 백만 원 줄어들었음을 확인할 수 있다.

표 20 충전시간 변경 SMP 정산차액금

구분	방전SMP - 충전SMP(백만원)	증감액(백만원)
추계	-1.51	▲2.91
동계	-0.61	▲8.10
춘계	-1.53	▲1.88
하계	-4.64	▲2.61
계	-8.29	▲15.5

3.3 결과 및 고찰

제주지역 성산풍력 2단계 발전단지에 연계중인 에너지저장시스템의 2016년 1월 1일부터 3월 31일까지 3개월 간 운영실적을 분석한 결과를 바탕으로 2014년 09월 21일부터 2015년 9월 20일까지 1년 간의 성산풍력 2단계 발전단지 송전데이터를 통해 충전과 방전 모델링을 해보았으며 순시출력 용량증대, 충전설정값 변경, 충전시간 변경의 개선안을 적용해본 결과는 다음과 같다.

(1) 제주지역은 육지지역과 다르게 풍력연계형 에너지저장시스템의 운영은 다르게 되어야 할 필요성이 있다. 순시출력은 고정된 상태로 하계기간에는 하루 최대 4시간을 방전할 수 있음에도 불구하고 하계기간에는 방전시간이 제주지역은 2시간씩 두 번 나뉘었으므로 배터리의 용량은 일일 3시간 기준으로 설계 되어야 제주지역에서는 적절하다고 사료되고 육지지역은 4시간 기준으로 설계될 필요가 있다고 사료된다.

(2) 순시출력 용량증대, 충전설정값 변경, 충전시간 변경의 개선안등의 3가지의 수익 증대안 중 순시출력 용량증대는 에너지저장시스템에 추가적으로 설비를 투자해야 하는 경제적인 문제가 발생하게 되어 수익증대 도출에서 제외하고 나머지 충전설정값 변경, 충전시간 변경의 수익금 비교 결과를 표 21에 나타낸다. 표 21은 풍력연계형 에너지저장시스템이 발생한 공급인증서 판매금과 SMP 정산차액금을 계절별로 수익금이 분석되어 있다. 에너지저장시스템이 동계기간을 제외하고 발생한 수익금은 충전설정값을 변경하는 안이 충전시간을 변경하는 안 보다 높았고 동계기간에는 충전시간 변경하는 안이 충전설정값을 변경하는 안보다 높았음을 표 21을 통하여 결과를 도출해낼 수 있다. 이를 종합해볼 때 성산풍력 2단계에 연계된 에너지저장시스템의 최대수익 증대방안의 수익금은 이전보다 약 3.16%에 해당하는 16 백만 원이 증가한 520 백만 원임을 표 21 수익 증대 방안의 결과를 통하여 알 수 있다.

표 21 수익 증대 방안의 결과

구분	REC 판매금+SMP 정산차액금(백만원)	
	충전설정값 변경	충전시간 변경
추계	(▲ 1.76)	(▲ 0.53)
동계	(▲ 1.59)	(▲ 4.90)
춘계	(▲ 2.00)	(▲ 0.72)
하계	(▲ 7.34)	(▽ 6.87)
계	520 (▲ 16.0) (▲ 3.16%)	

(3) 제주지역에서 풍력연계형 에너지저장시스템이 수익적으로 운영이 되려면 제주지역의 풍속과 SMP를 예측하는 자동시스템이 구축이 필요하다. 이를 통해 충전시기를 조절할 수 있으므로 변동성이 큰 제주지역의 풍속과 SMP 정산차액금의 감소분을 최소한으로 줄일 수 있을 것이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 제주지역 풍력발전단지 중 성산풍력 2단계 발전단지에 연계되어 운영되고 있는 에너지저장시스템의 운영실적을 분석하여 보았다. 그 기간은 에너지저장시스템의 운영이 단기간이므로 2016년 1월 1일부터 3월 31일까지의 3개월 간으로 한정하였다. 또한 에너지저장시스템이 설치되기 전의 성산풍력 2단계 발전단지의 2014년 9월 21일부터 2015년 9월 20일까지의 1년 간 출력데이터를 기반으로 앞으로의 1년 간을 예측할 수 있는 충·방전 모델링을 수행하고 분석해보았다. 그리고 수익 증대를 위하여 세 가지 개선안을 적용하였고 그 결과는 아래와 같다.

첫째, 에너지저장시스템에 충전되어진 전력을 최대부하시간에 전력계통으로 방전시킬 수 있는 순시출력용량을 기존에 보다 증가시켜 충전과 방전 모델링을 해본 결과는 수익을 증대할 수 있는 최대의 방법임에는 틀림없지만 발전사업자들이 추가적으로 설비투자를 하여야하므로 운영상의 경제성을 따져보아야 할 것이다.

둘째, 충전시간을 방전 후에서 자정 후로 옮긴 풍력연계형 에너지저장시스템의 결과가 전체 공급인증서를 감소하게 만들었음에도 불구하고 충전시간에 거래되는 에너지저장시스템의 전력판매금과 방전시간의 거래되는 에너지저장시스템의 전력판매금의 차이가 이전보다 개선 효과가 컸음을 모델링을 통하여 도출해 낼 수 있었다.

셋째, 현재 일일 최대방전시간 기준의 용량으로 운영되는 성산풍력 2단계 발전단지에 연계된 에너지저장시스템이 고려해야 할 사항은 하계기간을 제외하고 하루 3시간동안 방전을 한 후 배터리에 남아있을 최대 1시간분의 배터리 용량의 적절한 활용 방법이다. 이는 추후 비교 연구를 통하여 경제적인 방법을 도출해 볼 필요가 있다.

넷째, 저풍속의 발전량을 충전할 수 있게 하는 충전설정값의 변경 개선안은 하계기간의 충전과 방전을 증가되었음을 알 수 있었다. 다른 기간에 비해 수익개선 효과가 있었음을 알 수 있었으며 저풍속시 계통의 전원이 에너지저장시스템으로 충전되지 않도록 감시가 필요하다.

이번 연구를 통해 제주지역에 맞는 모델링 연구해보고자 노력하였지만 단기간의 결과를 토대로 제주지역의 수익을 증대시키는 모델을 완성하기는 아직 이른다. 앞으로 에너지저장시스템의 운영결과를 향후 2~3년 간의 충분한 데이터를 활용하여 아래와 같은 추가적인 연구가 이루어져야 할 필요가 있다.

1) 육지와 제주지역은 풍력연계형 에너지저장시스템이 하계기간에 방전할 수 있는 최대부하시간이 서로 다르다. 이를 통해 에너지저장시스템에 적용될 배터리의 용량이 일일 최대방전시간을 기준으로 산정 되는 것과 연속방전시간 기준으로 산정 되는 것에 대한 비교연구가 될 필요성이 있다고 생각된다.

2) 일일 최대방전시간을 기준으로 배터리용량을 설계할 경우에는 배터리에 남아있는 용량을 활용하는 방법의 연구가 필요하다. 지정된 방전시간외에 방전시와 지정된 방전시간에만 방전하는 경우에 대한 전력거래금액 수익과 공급인증서의 판매수익을 비교연구가 필요하다고 사료된다.

3) 풍력연계형 에너지저장시스템이 충전할 수 있는 조건일 때의 충전은 SMP가 낮아야 하며 제주지역의 풍속과 SMP를 예측할 수 있는 자동화시스템이 개발된다면 수익개선에 효과적일 것이라 예측된다.

위와 같은 연구들이 제주지역은 물론 육지지역의 풍력연계형 에너지저장시스템과 더불어 다양한 관점에서 지속적으로 되어야 할 것이다. 이를 통해 향상된 풍력연계형 에너지저장시스템의 수익형 모델을 완성할 수 있을 것이라 예상된다.

참고문헌

- [1] 이성인 조경연, “세계에너지시장 인사이트”, 제14-39호, 2014
- [2] 산업통상자원부, “신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침”, 2015
- [3] 강명석, “BESS를 이용한 풍력발전단지의 출력 안정화”, 제주대학교, 2012
- [4] 김재홍, “풍력발전 출력보상을 위한 하이브리드 에너지저장시스템에 관한 연구”, 제주대학교, 2012
- [5] 명호산, “에너지 저장장치에 의한 제주지역 풍력발전 한계용량 효과 분석”, 제주대학교, 2013
- [6] 이도현, “추자도 지역의 분산전원 도입을 고려한 에너지저장장치 용량산정”, 제주대학교, 2015
- [7] 전기평론, “ESS의 종류별 특징과 구성”, <http://www.elecreview.co.kr>, 2014

감사의 글

5학기 동안 제주대학교 산업대학원 풍력공학과를 무사히 마칠 수 있도록 도와 주신 모든 분들에게 감사하다는 말로 대신하려 합니다. 입학 전에 일과 학업을 병행할 수 있을까 라는 걱정과 고민도 많았지만 지금 돌이켜 보면 좋은 추억이 되었던 것 같습니다.

먼저 배움의 길을 마련해준 (주)한국남부발전 임직원분들에게도 감사하다는 말을 전하며 본부장님을 비롯한 남제주발전본부 직원들 그리고 김태완 부장님을 비롯하여 풍력운영부 식구들의 도움과 배려가 있었기에 석사과정을 무사히 마칠 수 있었다고 생각합니다.

무사히 논문을 마칠 수 있도록 학문적 가르침을 주시고 세심한 지도와 조언을 해주신 김세호 교수님을 비롯하여 오성보 교수님, 김일환 교수님, 이개명 교수님, 김호찬 교수님, 김호민 교수님 일동 전기공학과 교수님에게 감사의 말을 전합니다. 그리고 5학기 동안 풍력공학과 의 야간수업을 이끌어 주신 고경남 교수님과 김범석 교수님 수고 하셨습니다. 야간 수업의 버팀목이 되었던 입학동기(고승훈 센터장님, 정만형님, 대원이형)와 산업대학원 선·후배님들에게 감사의 말 전하고 싶습니다. 게다가 풍력공학과 조교선생님들을 비롯한 전기공학과 동기 및 후배님들 감사하고 논문의 품격을 높여준 권샘에게도 고마운 말을 전달합니다. 또한 수업과 논문 핑계로 자주 못 만났던 친구들에게도 미안하다는 말 전합니다.

저를 나아주시고 키워주신 사랑하는 부모님과 형, 형수님 그리고 조카 지현이 및 친척들에게도 감사의 말 하며 언제나 아낌없는 지원과 격려를 해주시는 예비장인, 장모님께도 감사하며 언제나 늘 미안한 여자친구에게 감사의 말을 전하고 싶습니다. 마지막으로 주마등처럼 스쳐갔던 2년 반이란 시간이 앞으로 남은 제 인생에 있어서 훌륭한 기반이 될 시간이었음을 느끼게 해줄 것으로 생각되며 졸업 후에도 언제나 감사하는 마음으로 발전하는 계기로 삼고 주변을 살피는 삶을 살겠습니다.

2016년 6월

이 창 협 올림