

태양광/풍력 연계 기반의 에너지저장장치 설비계획 모델링 Energy Storage System Model for Facility Plan Connected with Solar and Wind Power Plant

이 용 봉*, 김 정 호**★

Yong-Bong Lee*, Jeong-Ho Kim**★

Abstract

Considering to Energy Storage System (ESS) is a global trend In order to reduce global warming and carbon emissions. South Korea has announced various policies to vitalize the development and uptake of renewable energy. South Korea is planning the cumulative capacity of ESS of two million kW in 2020. According to the government support and development of technology companies, the battery of ESS prices are expected to fall gradually. In this paper, we develop a planning model that take into account the supply expansion of technology of ESS and prices. Based on planning model, we analyze the cost of ESS linked with wind power and the revenue for trading electricity and renewable energy certifications.

요 약

지구 온난화 및 탄소배출권 저감을 위한 대안으로 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)의 중요성을 인식하고 ESS 산업육성을 위한 보급사업 및 인센티브 정책을 추진하고 있다. 우리나라는 2020년까지 ESS 누적 용량 2GW 보급을 추진하고 있다. 이러한 보급정책과 기업들의 기술개발에 따라 시장 확대에 의한 ESS의 배터리 가격이 점차 하락할 전망이다. 본 논문에서는 ESS 기술개발에 따른 ESS 가격 하락에 따른 ESS 보급량 추정을 하였으며, 이에 따라 발생하는 비용의 경제성 분석을 실시하였다. 또한 ESS 종류에 따라 발생할 수 있는 비용 및 ESS와 풍력전원의 연계에 따른 투자비용 분석을 하였으며, ESS보급에 따라 발생할 수 있는 전력판매수익 및 신재생에너지공급인증서 판매수익에 대한 경제성 분석을 실시하였다.

Key words : Solar power generation, Wind power generation, Energy storage system, Facility Plan, Economic feasibility, Renewable energy certification

* Electronics and Telecommunications Research Institute

** Dept. of Information & Communications, Han-bat University

★ Corresponding author 042-821-1216 jhkim@hanbat.ac.kr
Manuscript received June. 30, 2015; revised July. 28, 2015 ; accepted July 30. 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 고유가, 낮은 전기요금, 이상기온 등으로 인한 전력수요는 매년 증가 추세에 있다. 이는 소득증가와 삶의 질 향상, ICT 서비스 고도화 등에 따라 새로운 전력수요가 증가하기 때문이다. 정부는 이러한 수요 증가를 위한 대책으로 부하관리, 전기요금 제도개선, 스마트그리드 조기 확산 등의 수요관리 계획을 하고 있다(지식경제부, 제6차 전력수급기본계획). 그 중 전력피크 관리에 효과적인 수단이자 신성장동력 산업인 전력저장장치(ESS, Energy Storage System)의 중요성이 부각되고 있다. ESS는 남은 전력을 저장하여 피크시간대에 쓸 수 있도록 해주는 전력공급장치이

며, 경부하시에는 남은 전력을 저장하고, 과부하시에는 부하평준화, 전력운영 최적화를 할 수 있다.

일본, 미국 등 선진국은 ESS의 중요성을 인식하고 전력수급 안정화, ESS 산업육성을 위한 보급사업 및 인센티브 정책을 추진하고 있다. 우리나라도 이러한 추세에 따라 ESS 보급을 계획하고 있으며, 2020년까지 누적 200만kW 보급을 추진하고 있다 (산업자원부, 대용량 전력저장장치 보급촉진방안). 이러한 보급정책과 기업들의 기술개발에 따라 시장 확대로 인한 ESS의 배터리가격이 점차 하락할 전망이다. 또한 신재생에너지설비에 ESS를 연계하여 피크시간 대에 방전하는 전력량에 대한 연도별로 신재생에너지공급인증서 (REC, Renewable Energy Certification)에 대한 우대 가중치를 부여하는 계획을 세우고 있다 (산업통상자원부, 신재생에너지 공급의무화제도 관리 및 운영지침).

현재 ESS의 보급계획에 따른 경제성 및 도입효과, ESS와 신재생에너지 연계에 따른 발전사업자의 비용 증가 영향에 대한 구체적인 분석이 없어, 효과적인 도입에 대한 연구가 요구되는 상황이다. 따라서, 본 논문에서는 ESS 설비계획 모형을 개발하여, ESS 기술개발에 따른 ESS 가격 하락에 따른 ESS 보급량 추정을 하였으며, 6차 전원개발계획에 추가적으로 ESS를 고려하였을 경우의 설비구성 및 발생하는 비용의 경제성 분석을 실시하였다. 또한 ESS 종류에 따라 발생할 수 있는 비용 및 ESS와 풍력전원의 연계에 따른 투자비용 분석을 하였으며, ESS보급에 따라 발생할 수 있는 전력판매수익 및 신재생에너지공급인증서 판매수익에 대한 경제성 분석을 실시하였다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 제2절은 현재 신재생에너지정책에 대한 개요설명을 하고, 제3절에서는 ESS 도입에 따른 설비계획 모형의 연구방법론을 설명한 후, 제4절은 본 모형을 적용한 분석결과를 제시한다. 그리고 마지막 5절은 연구 결과를 요약하고 시사점을 도출할 것이다.

II. 본론

1. 신재생에너지 정책현황

6차 전력수급기본계획에 따르면, 2027년 기준으로 신재생에너지는 발전량 비중의 12%, 설비비중의 20% 이상으로 확대하는 것을 목표로 하고 있다.

2차 에너지기본계획에 따르면, 2035년 까지 1차 에너지 기준 신재생에너지 보급 목표를 11%로 선정하였고, 앞에서 설명한 신재생에너지 보급 목표를 위하여 신재생에너지의무할당제 (RPS, Renewable

Table 1. Renewable energy ratio based on 6th on Basic plan of Long-term electricity supply and demand (BPE)

표 1. 6차 전력수급기본계획 기반의 신재생에너지 발전량 및 발전설비 비중

Year	'15	'20	'25	'27
The amount of RE*(%)	4.4	8.4	11.3	12.6
Power Plant Capacity of RE(%)	8.6	13.9	18.7	20.2

RE : Renewable Energy

Portfolio Standard) 의무이행목표인 총 전력발전량의 10% 달성시기를 현행 2022년에서 2년 늦춘 2024년으로 조정하고, 소규모 발전을 활성화시키기 위하여 태양광발전에 대한 REC 차등 가중치를 부여할 계획이다.

또한 정부는 스마트그리드 및 신재생에너지 확대 전망에 따라 ESS 보급 확대 필요성이 증가하는 상황을 반영하여, 2020년까지 누적 200만kW ESS를 보급 추진하고 있다 (산업통상자원부, 대용량 전력저장장치 보급 촉진방안). 이는 발전사업자 및 신재생에너지사업자를 중심으로 초기 시장을 형성하고, RPS 제도를 활용하여 신재생에너지 연계형 ESS를 설치 유도하기 위하여 풍력발전에 ESS 연계하여 운영 시에는 REC에 가중치를 부여 할 계획이다. 또한 ESS가 비상전원으로 활용될 수 있도록 관련 규정을 정비하고 있다.

Table 2. Propagation of ESS

표 2. 에너지저장장치 보급정책

Sort	'13	'14	'15	'16	'17	'20
Power Plant Capacity by year(MW)	100	150	250	300	300	300
Accumulated capacity (MW)	100	250	500	800	1,100	2,000

미국, 일본 등은 ESS 보급을 위하여 ESS 설치 인센티브를 지급하고 있다. 일본은 2012년부터 360억엔 규모의 ESS 설치 보조금 사업을 추진하고 있다. 미국 캘리포니아는 AB 2514법안을 통과시켜 SGIP(Self Generation Incentive Program)을 ESS 투자에 대한 인센티브를 최대 2\$/W까지 제공하고 있다[1].

2. 분석모형과 자료

ESS 보급에 따른 증설용량과 6차 전력수급기본계획 상의 신재생에너지 설비비중 변화 및 비용 분석을 실행하기 위한 방법론과 분석 모형을 제안하였다.

가. ESS 보급용량 추정

2020년도까지 ESS 200만kW를 보급을 목표로 하고 있고, 본 논문에서는 기본적으로 2027년까지의 신재생에너지 설비 변화를 추정하기 위하여, 2020년까지의 ESS 보급목표량과 보기 위하여, ESS 리튬이온 배터리 가격인하 (NEDO, Battery Roadmap)자료를 그림 1에서와 같이 학습곡선에 이용하여, 미래의 ESS 보급량을 표 3에서 추정하였다. 또한 2차 에너지기본계획(2035년도)상의 신재생에너지 비중 증가에 따른 ESS 보급량도 학습곡선을 이용하여 추정하였다.

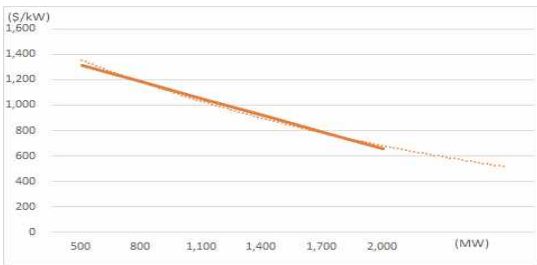


Fig. 1. Learning curve for lithium-ion batteries for ESS
 그림 1. 리튬이온 가격정보와 학습곡선을 이용한 ESS의 보급용량 추정

Table 3. Accumulated capacity of Energy Storage System (ESS)

표 3. 누적 ESS 용량

Year	Accumulated capacity of ECC (MW)	Year	Accumulated capacity of ECC (MW)
2013	100	2025	3,521
2014	250	2026	3,829
2015	500	2027	4,138
2016	800	2028	4,448
2017	1,100	2029	4,759
2018	1,400	2030	5,072
2019	1,700	2031	5,385
2020	2,000	2032	5,700
2021	2,301	2033	6,016
2022	2,604	2034	6,332
2023	2,908	2035	6,650
2024	3,214		

나. 분석모형 입력자료

정부는 ESS 보급을 촉진하기 위하여 발전사업자와 신재생에너지사업자를 중심으로 초기 시장을 형성할 계획이므로, ESS 보급에 따른 설비투자비용과 수익 창출에 대한 분석이 요구되므로, 전력수요에 따른 ESS 용량을 가정용, 산업용, 산업용으로 나누어서 분석을 하였다. 또한 부하평준화 및 독립형 마이크로그리드 산업을 위한 발전용 ESS 도입에 따른 비용 분석을 진행하였다.

ESS는 저장방식(물리적, 화학적), 용도(장주기, 단주기)에 따라 다양하게 구성될 수 있으며, 배터리 종류도 다양하다. 본 논문에서는 리튬이온 배터리로 구성된 ESS만으로 한정하여 본 논문의 시뮬레이션을 실행하였다.

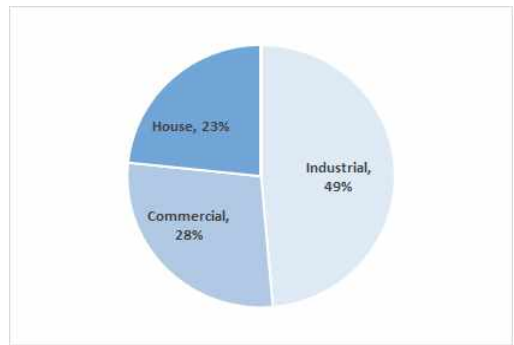


Fig. 2. Portion of electricity demand based on 6th BPE
 그림 2. 6차 전력수급기본계획 기반의 전력수요 비중

6차 전력수급기본계획에서의 전력수요는 그림 2에서와 같이 용도별로 주택용, 일반용, 산업용으로 나누며, 이에 따라 ESS도 설비용량 크기를 분리하였다. 이는 표 4에서 확인할 수 있다.

Table 4. Investment cost of ESS

표 4. ESS 종류에 따른 설비투자비용

Sort	Home (10kW)	Commercial (250kW)	Industrial (500kW)	Power Generation (1MW)
Statement	-Battery, PCS Equipment and Installation	-Automation switch -Smart meter -Transformer Equipment and Installation	-PCS Equipment and Installation	
Total cost (\$)	12,350	540,300	932,800	1,619,800
Unit cost (\$/kW)	1,235	2,161	1,866	1,620

출처 : Electric Power Research Institute, Energy Storage System Costs 2011 update Executive Summary, 2012.

또한 본 논문에서는 신재생에너지와 ESS 연계를 고려하였다. 기존 REC에서 개정된 태양광 REC 가중치를 적용한 비용 분석을 실행하였고, 또한 풍력발전과 ESS 연계에 따라서 계절과 피크시간에 차등 부여되는 풍력 REC도 적용하여 비용분석을 실행하였다.

Table 5. REC of solar power generation
표 5. 태양광 발전 신재생에너지 공급인증서 가중치

Type	Small scale (~100kW)	medium size (100kW~3MW)	Large scale (3MW~)
General	1.2	1.2+ 1.0	1.2+ 1.0+ 1.7
Building	1.5		1.5+ 1.0
On the water	1.5		

Table 6. REC of wind power generation connected with ESS
표 6. ESS가 연계된 풍력발전의 신재생에너지 공급인증서 가중치

Sort	Current	Revision			
		Usual	Peak(3~4h)		
Wind + ESS	1.0		1.0	'15년	'16년
		5.5		5.0	4.5

다. ESS 설비계획 모형

그림 3은 ESS가 태양광 및 풍력발전에 연계된 형태를 나타내는 구성도이며, 다양한 신재생에너지 전원과 연계가 가능하며, ESS 용량에 따라서 연계 목적이 달라진다.

본 논문에서는 ESS 경제성 분석을 위하여, 6차 전력수급기본계획 기간 동안의 ESS 용도별 및 신재생에너지 연계에 따른 경제성 분석을 실행하기 위한 경제성 분석 모형을 그림 4에서와 같이 제안하였다.

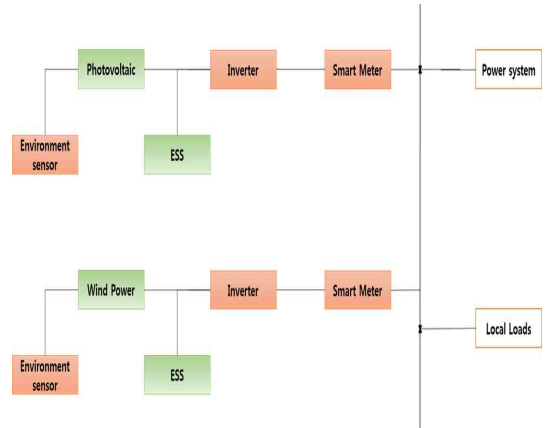


Fig. 3 ESS Block Diagram connected with solar power and wind power
그림 3. 태양광 및 풍력발전 ESS 연계 구성도

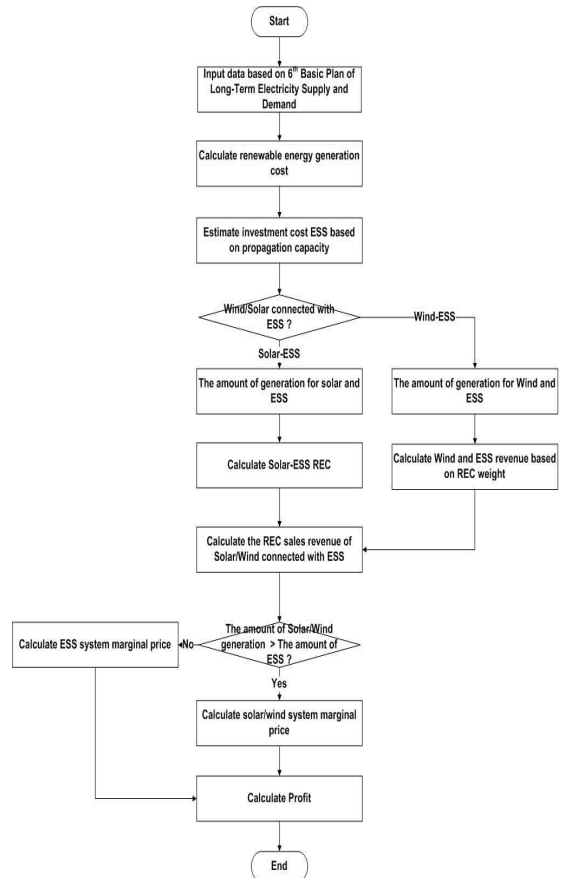


Fig. 4. Algorithm of ESS economic feasibility
그림 4. ESS 경제성 분석 알고리즘

특히, 풍력발전의 불연속 발전에 따른 안정적 운영 및 수용한계증대를 위하여 김영환[4]이 제한한 풍력설비의 10~20%를 ESS 연계용량으로 한정하였고, 그 외 나머지 ESS 용량은 태양광 설비와 연계하여 각 연도별 건설비와 변동비를 도출하였다.

또한 태양광/풍력과 ESS 연계에 따른 전력계통으로의 역송전력 판매량을 도출하였으며, REC 가중치를 고려한 REC 판매 수익과 ESS 발전에 따른 REC 판매수익을 계산하여, 발전사업자의 비용-편익 분석을 실행하였다.

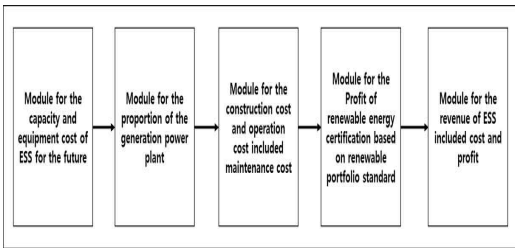


Fig. 5. Outline of ESS facility plan model
 그림 5. ESS 설비계획 모형

그림 5는 ESS 설비계획 알고리즘을 기반으로, ESS 설비계획 모형을 구성하는 각 모듈의 특성을 나타내었다. 첫 번째 모듈은, ESS 설비계획 모형의 목표기간 동안의 ESS 설비보급량 및 가격을 추정하였으며, 두 번째 모듈은 6차 전원개발계획 하에서의 ESS 설비 보급 비중을 계산하였으며, ESS 용량 크기에 따라 용도별(가정용, 산업용, 상업용)로 도출하였다. 세 번째 모듈에서는 계획기간 동안의 각 용도별로 나눈 ESS 설비의 투자비용과 유지보수비용을 포함한 총 비용에 대하여 계산하였고, 네 번째 모듈에서는 신재생에너지와 ESS 설비를 보유한 발전사업자가 RPS사업을 하였을 경우의 추가 발생 이익에 대하여 추정하였으며, 개정된 풍력발전 REC를 적용하였다.

ESS 모형을 기반으로 도출된 결과의 경제성 분석과 관련하여, 김형택[6] 및 박형준[7]이 경제성 분석에 이용한 자본회수계수(CRF, Capital Recovery Factor)를 발전원가 계산에 이용하였다.

$$\text{발전원가} = \frac{\text{총비용(원/yr)}}{\text{연간발전량}(kWh/yr)} \quad (1)$$

$$\text{총비용(원)} = \text{건설비(원)} + \text{변동비(원)} \quad (2)$$

$$CRF(i, n) = \frac{i(i+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

$$C_{ESS} = C_{W-ESS} + C_{S-ESS} \quad (4)$$

$$C_{W-ESS} = C_{Wind} \times R_{Wind} \quad (5)$$

$$G = \sum_{t=1}^{8760} (C_{W-ESS} \times CF_{W-ESS} + C_{S-ESS} \times CF_{S-ESS})t \quad (6)$$

$$REC = \sum_{t=1}^{8760} (G_{W-ESS} \times W_{W-ESS} + G_{S-ESS} \times W_{S-ESS})t \quad (7)$$

$$P = (X_{W-ESS} + X_{S-ESS}) \times SMP \quad (8)$$

발전원가를 계산하기 위해서는 각 연도별 건설비와 변동비(운전비용)의 합을 발전량으로 나뉘어야 하며, 각 신재생에너지 전원별 수명을 n, 각 설비의 할인율 i를 이용하여(산업자원부, 신재생에너지 발전차액지원제도 개선 및 RPS 제도 연계방안) 각 CRF 값을 계산하여 적용하였다.

C_{ESS} 는 연도별 ESS의 총 설비용량으로써 연도별 풍력발전과 연계된 ESS인 C_{W-ESS} 와 태양광발전과 연계된 C_{S-ESS} 합으로 구성이 된다. 풍력발전과 연계된 C_{W-ESS} 는 풍력발전의 출력안정성을 위하여 요구되는 ESS 설비용량을 설정하여야 하므로, 현재 제주도 풍력발전에 연계중인 ESS의 설비용량 비율 R_{Wind} 을 준용하였다. 연도별 ESS의 발전량의 합 G를 도출한 후, 신재생에너지와 연계된 ESS를 포함한 REC 수익을 분석하기 위하여, 각 전원의 REC 가중치 W_{W-ESS} , W_{S-ESS} 를 적용한, 총 REC를 도출하였다.

또한, ESS 발전에 따른 전력계통으로의 역송전력 판매량을 구하기 위하여, ESS 발전량 X_{W-ESS} , X_{S-ESS} 에 가중평균 계통한계가격을 적용하여, 수익을 계산하였다.

III. ESS 경제성 분석 결과

본 논문에서는 ESS 보급 정책에 따른 설비 투자비용 분석을 위한 모형을 제안하였고, 6차 전력수급기본계획을 기초데이터로 활용하여, 다양한 시뮬레이션을 실행하였다.

1. ESS 보급용량 및 발전단가

2020년까지 ESS 보급 추진에 따른 정책지원과 기술개발에 따라서, 본 절에서는 2020년도까지의 누적 ESS 보급량과 ESS 설비단가를 기반으로 학습곡선을 이용하여, 2027년(6차 전력수급기본계획)까지의 ESS 설비 계획과, 2035년(2차 에너지기본계획)까지의 ESS 설비용량을 도출하였다. 그림 6은 2020년도까지의 신재생에너지 전원별 설비 비중을 나타낸 것이다. 풍력

과 태양광 발전 설비가 대부분을 차지하고 있으며, 이에 따른 ESS 보급용량도 전체 신재생에너지 설비 중 약 11.45%를 차지하고 있다.

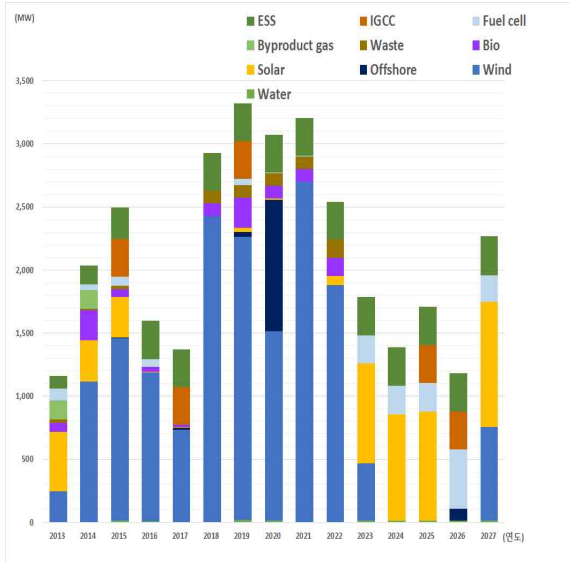


Fig. 6. Portion of renewable energy capacity considering ESS

그림 6. ESS 설비를 고려한 전원구성

표 7은 2차 에너지 기본계획에서의 1차 에너지 대비 보급비중 증가율과 학습곡선을 기반으로 2035년까지의 ESS 발전량과 발전단가를 계산한 표이다. (신재생에너지 동향자료, 2014)에 따르면 미국 캘리포니아의 태양광-ESS 발전단가는 22센트/kWh 로, 한국도 현재 비슷한 발전단가를 유지하고 있으나, 리튬이온 전지의 가격하락 및 신재생에너지 기술개발에 따른 설비 단가 하락 등으로 화력발전의 단가와 비슷해질 수 있는 그리드 패리티(Grid-Parity)실현이 가능함을 알 수 있다.

Table 7. Outlook of energy storage system

표 7. ESS 설비 발전량 및 발전단가

Year	The amount ESS (MWh)	Cost of generation ESS(Won/MWh)
2013	788,400	222,048
2014	1,971,000	222,154
2015	3,942,000	222,206
2016	6,307,200	203,134
2017	8,672,400	184,114
2018	11,037,600	165,094
2019	13,402,800	146,074
2020	15,768,000	127,054

2021	18,144,080	124,467
2022	20,317,189	121,973
2023	22,927,935	119,383
2024	25,338,815	116,870
2025	27,762,416	114,277
2026	30,194,500	112,883
2027	32,631,271	111,637
2028	35,069,451	110,485
2029	37,523,613	109,266
2030	39,986,365	108,045
2031	42,457,736	106,825
2032	44,937,757	105,603
2033	47,426,459	104,382
2034	49,923,870	103,159
2035	52,430,023	101,936

2. 신재생에너지 보급용량 및 발전단가

본 절에서는 ESS 도입에 따른 비용을 고려한 6차 전력수급기본계획 상의 비용을 추정하였다. 표 8의 신재생에너지 발전단가를 보면, 1 절에서 도출한 ESS의 발전단가가 전체 신재생에너지의 평균 발전단가보다 약 25% 비용이 높은 것을 알 수 있으며, ESS 보급 촉진을 위하여 추가적인 보급지원정책이 필요함을 알 수 있다.

Table 8. Outlook of renewable energy

표 8. 신재생에너지 설비 발전량 및 발전단가

Year	Total cost of RE(Tril lion Won)	The amount of RE (MWh)	RE generation cost(Won/MWh)
2013	5.62	18,953,644	296,529
2014	6.39	26,761,782	238,812
2015	7.73	37,106,011	208,379
2016	3.53	43,930,226	80,389
2017	3.74	50,968,711	73,441
2018	5.10	62,001,055	82,177
2019	8.00	76,324,881	104,836
2020	17.55	86,997,452	201,748
2021	6.60	98,907,916	66,730
2022	6.05	107,800,801	56,091
2023	9.81	115,707,127	84,777
2024	9.50	121,208,535	78,347
2025	10.87	128,998,600	84,282
2026	6.13	137,648,532	44,521
2027	12.22	145,579,663	83,952

3. ESS 용도별 비용 분석

ESS는 용도, 물리적/화학적 구성 및 배터리 크기 등에 따라서 다양하게 구성될 수 있으며, 본 절에서는 전력수요를 조절하기 위한 수요 측 자원으로서 ESS 가 활용된 경우의 ESS에 대한 비용에 대한 분석을 실행하였다. 6차 전력수급기본계획에 따르면 전력수요는 산업용, 일반용, 주택용, 교육용, 기타 등으로 나누어 질 수 있으나, 본 논문에서는 전력수요의 대부분을 차지하는 산업용, 상업용, 가정용에 국한하여 표 3의 데이터를 이용하여 ESS 투자비용을 표 9에 산출하였다.

주택용 ESS 설치비용이 상업용 ESS 설치비용보다 저렴하지만, 단위설비용량이 상업용 ESS보다 작기 때문에 ESS 증설 대수가 더 많이 발생하므로, 상업용보다 주택용 ESS 투자비용이 많이 발생함을 알 수 있다.

Table 9. Outlook of ESS total cost by use type (unit : one hundred million won)

표 9. ESS 종류에 따른 발전설비 단가 (단위 : 백만원)

Year	Home	Commercial	Industrial	Power Generation
2013	537	565	858	1,751
2014	806	847	1,287	2,627
2015	1,344	1,412	2,146	4,380
2016	1,508	1,568	2,354	4,805
2017	1,405	1,442	2,134	4,355
2018	1,302	1,316	1,913	3,905
2019	1,198	1,190	1,693	3,455
2020	1,095	1,064	1,472	3,005
2021	1,086	1,052	1,449	2,957
2022	1,076	1,841	2,784	2,912
2023	1,067	1,027	1,402	2,863
2024	1,058	1,014	1,378	2,815
2025	1,048	1,001	1,353	2,766
2026	1,045	997	1,343	2,741
2027	1,042	992	1,334	2,721
2028	1,038	987	1,324	2,702
2029	1,035	982	1,314	2,682
2030	1,032	977	1,304	2,661
2031	1,029	972	1,293	2,640
2032	1,025	967	1,283	2,619
2033	1,022	962	1,273	2,598
2034	1,018	957	1,262	2,576
2035	1,015	951	1,251	2,555

4. ESS REC 및 인센티브를 고려한 비용 분석

정부는 ESS 보급 촉진을 위하여 발전사업자 및 신재생에너지사업자를 중심으로 RPS 제도를 활용한 신재생에너지와 ESS를 연계하여 운영 시에는 REC에 가중치를 부여할 계획이며, 풍력발전과 ESS 연계에 대한 REC 가중치 정책 (표6)을 개정하였으며, 본 절에서는 기존 풍력 REC 가중치를 적용하였을 경우(표 10)와 피크 시간대에 풍력발전과 연계된 ESS가 방전하였을 경우의 발전사업자의 경제성(표 11)을 분석하였다.

Table 10. Outlook of benefit and cost for power utilities(unit : one trillion won)

표 10. 기존 풍력 REC 가중치를 적용한 경제성 분석 (단위:100만원)

Year	Solar/Wind/ESS total cost	Total income	Total profit
2013	4.46	0.67	-3.79
2014	4.99	1.77	-3.22
2015	5.75	2.96	-2.79
2016	2.83	3.93	1.10
2017	2.07	4.63	2.56
2018	4.52	6.36	1.84
2019	4.95	7.98	3.03
2020	3.52	9.15	5.62
2021	5.58	11.06	5.48
2022	4.82	12.58	7.76
2023	8.27	13.50	5.24
2024	7.93	14.03	6.10
2025	8.19	14.29	6.10
2026	1.28	14.84	13.56
2027	10.59	15.52	4.93

본 논문에서는 2017년 이후의 풍력 REC 가중치에 대하여, 2018년 이후에는 ESS의 기술 성숙도와 경제성을 고려하여 가중치를 재산정 할 예정이므로, 본 논문에서는 2018년 이후의 가중치는 4.5로 변동이 없다는 가정 하에 발전사업자의 경제성을 분석하였고, 기존 풍력 REC를 고려하였을 경우보다 약 30% 정도 수익 개선이 된 것을 알 수 있으며, 2017년 이후의 풍력 REC 가중치에 대한 민감도 분석이 필요함을 시사하고 있다.

Table 11. Outlook of benefit and cost for power utilities considering for REC weighted value number of wind power (unit : one trillion won)

표 11. 기존 풍력 REC 가중치를 적용한 경제성 분석

Year	Solar/Wind/ESS total cost	Total income	Total profit
2013	4.46	2.42	-2.05
2014	4.99	1.77	-3.22
2015	5.75	3.29	-2.46
2016	2.83	4.40	1.57
2017	2.07	5.20	3.13
2018	4.52	7.08	2.56
2019	4.95	8.85	3.90
2020	3.52	10.17	6.65
2021	5.58	12.24	6.66
2022	4.82	13.90	9.08
2023	8.27	15.01	6.74
2024	7.93	15.70	7.77
2025	8.19	16.12	7.93
2026	1.28	16.84	15.55
2027	10.59	17.66	7.06

그림 7은 ESS 보급촉진을 위하여, ESS 설치에 대한 인센티브로 미국 캘리포니아에서 2\$/MW 지급을 하였을 경우를 참고하여 경제성을 분석하였다. 기존 풍력 REC 가중치를 적용하고, ESS 연계에 따른 인센티브를 2\$/MW 지급하였을 경우와 개정된 풍력 REC 가중치를 적용하였을 경우의 발전사업자의 수익이 2020년까지는 5% 미만의 차가 발생하므로, 정부는 2017년 이후의 풍력 REC 가중치에 대한 목표를 고려해야 함을 시사한다.

IV. 결론

본 논문에서는 전력수급 안정화 및 탄소배출권 절감을 위하여, ESS를 보급하고 있으며, ESS 산업육성을 위한 보급사업, 인센티브 정책을 발전사업자와 신재생에너지 사업자를 중심으로 초기 시장을 형성함에 따른 경제성 분석을 실행하였다.

기존 6차 전력수급기본계획에서는 ESS 보급을 고려하지 않았기 때문에, ESS 보급을 고려하였을 경우

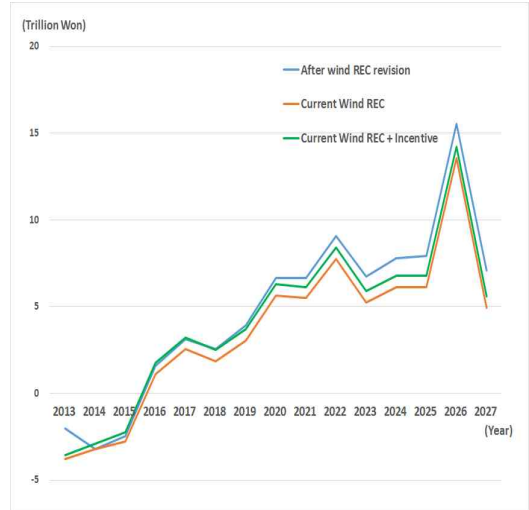


Fig. 7. Comparison with benefit for power utilities considering that REC weighted value number of wind power and ESS incentives

그림 7. ESS와 풍력발전 연계 및 REC 가중치를 고려한 설비 경제성 분석

신재생에너지 평균발전단가가 약 25% 상승한 것을 알 수 있으며, 이에 따른 추가적인 정부의 제도 지원이 필요함을 시사하고 있다.

ESS 용도에 따라서 발전용, 전력수요 조절용으로 나누어서 ESS 보급을 위한 투자비용을 산출한 결과, 각 용도별 비용이 차등적으로 발생하였으며, 이는 각 용도별 ESS의 단위용량에 따라 설비 증설대수가 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그러므로 전력수요관리를 위해서는 각 용도별 ESS에 대한 차등적인 정부의 지원이 필요하다.

또한 신재생에너지와 ESS 연계 운영 시에는 REC에 가중치를 부여할 계획이며, 본 논문에서는 풍력발전과 ESS 연계에 따른 발전사업자의 수익성을 분석하였고, 2017년 이후의 풍력 REC 가중치에 대한 민감도 분석이 필요함을 알 수 있었다.

정부는 ESS 보급을 위하여 미래에는 신재생에너지 주파수 조정 및 마이크로그리드 단위의 분산전원 역할을 하는 ESS 비용에 대한 경제성 분석이 필요하며, 추가적으로 비상발전기 대신 ESS로 대체하였을 경우의 경제성 분석이 필요하다.

References

[1] Ministry of Knowledge Economy, The 6th Basic Plan of Long-Term Electricity Supply and

Demand, 2013.

- [2] Ministry of Trade, Industry and Energy, Operation Guidline of Renewable Energy Portfolio Standard, 2014.
- [3] Ministry of Trade, Industry and Energy, The Plan of propagation for Large scale Energy Storage System, 2012.
- [4] Kim Yeong-Hwan, Kim Se-Ho, "Increasing Effect Analysis of the Wind Power Limit Using Energy Storage System in Jeju-Korea", Journal of the Korean Solar Energy Society, 2014. 34(1) p81-88.
- [5] Young-Kee Chae, Jung-Yeol Lim, "A Study on Micro-Converter of Photovoltaic System for Efficiency Progress". Journal of IKEEE., 2014. 18(1), p 159-164.
- [6] Kim Hyeong Taek, Myeong Ho-San, Kim Se-Ho, "A study on the maximum penetration limit of wind power considering output limit of WTGs", Journal of the Korean Solar Energy Society, (2011). 31(6), pp. 23-31.
- [7] Hyung-joon Park, Chan-soo Chung, "Economic Analysis of High-Efficiency Production Facilities using Capital Recovery Factor." Journal of the Korean Solar Energy Society Journal of the Korean institute of illuminating and electrical installation engineers , 21(7), (2007), pp. 117-123.
- [8] Seung-jae Lee, Seung-seob Euh, Seung-Hoon Yoo, "Estimation of city gas demand function using time series data" Journal of Energy Engineering, (2013), 22(4), pp370-375.
- [9] Jeong-woo Ha, Suduk Kim, "A Study on the Wind Power Generation and Its Economic Feasibility at Daekwanryung", Journal of Energy Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 123~132 (2005)
- [10] Song, Ji-Young, et al. "Supercapacitor Applications for System Stabilization and Efficiency Improvement on DC Railway System." Journal of IKEEE 13.1 (2009): 49-56.

BIOGRAPHY

Yong-Bong Lee (Member)



1986 : BS degree in Business Administration, Korea National Open University.

1991 : MS degree in Business Administration, Chungnam National University.

2015 : PhD Candidate in Computer

Engineering, Hanbat University.

1980~2015 : Principal Member of Administrative Staff, Electronics and Telecommunications Research Institute

Jeong-Ho Kim (Member)



1980 : BS degree in electronic engineering, Kyungpook National University.

1983 : MS degree in electronic engineering, Kyungpook National University.

1995 : PhD degree in Computer

Engineering, Kyungpook National University.

1983~1996 : Principal Member of Engineering Staff, Electronics and Telecommunications Research Institute.

1996~Present : Professor at the Department of Computer Engineering at Hanbat University.