

정책 이슈페이퍼 16-20

열병합발전에서 ESS 설치의 경제성 분석 연구

안재균

목 차

- I. 배경 및 문제점 / 1
- II. 조사 및 분석 결과 / 2
- III. 정책 제언 / 15
- IV. 기대 효과 / 17
- <참고자료> / 19

I. 배경 및 문제점

- 에너지저장시스템(Energy Storage System, ESS)은 생산한 전기를 충전하였다가 필요한 시기에 저장하여 공급할 수 있는 장치로서 안정적인 전력계통 및 수급체계 구축에 효과적인 수단으로 평가됨.
 - ESS는 피크수요 시점에 저장된 전기를 공급하여 전력부하를 조절하는 부하 평준화 역할을 담당
 - 주파수 조정의 전력계통 보조서비스 기능을 수행하여 전력계통의 품질 및 신뢰성 저하를 방지
 - 신재생에너지의 불안정한 출력을 안정화
- ESS의 긍정적인 효과를 인식하여 정부는 ESS 보급정책의 일환으로 집단에너지사업장을 대상으로 2014년부터 ESS 보급지원사업을 실시하고 있음.
 - 집단에너지 ESS 보급지원사업은 지역난방 및 산업단지, 구역전기사업자가 운영하는 열병합발전소를 대상으로 ESS를 설치를 지원하는 사업으로 2015년부터 2019년까지 5년 동안 총 25억2천만원의 재원이 투입되어 ESS 총 사업비의 70%를 지원할 전망
- 그러나 현재까지 집단에너지사가 운영하는 열병합발전에 ESS설치의 경제성을 분석한 연구는 거의 없는 실정
 - 집단에너지를 포함한 발전부문의 ESS를 효과적으로 보급하기 위해서는 이러한 연구가 시급
- 본 연구에서는 열병합발전을 운영 중인 지역난방 사업장에 발전자원으로서

ESS 설치의 경제성 분석을 실시하고 경제성확보가 가능한 제반여건을 분석함.

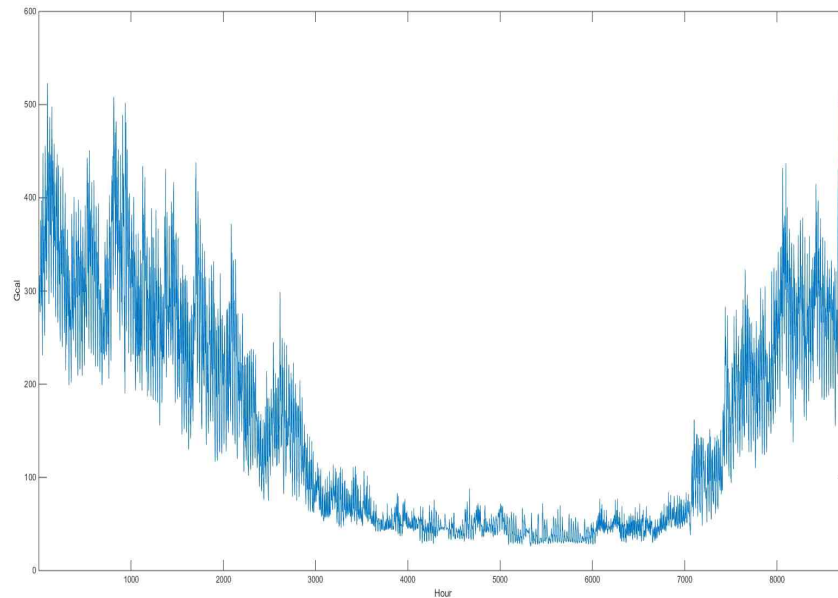
- 지역난방용 열병합발전소에 리튬이온전지 기반 ESS의 동절기 부하 평준화 효과 발휘 여부를 분석하였음.
- 최적화 모형을 구축하여 차익거래, 용량요금 적용, 주파수조정예비력 참여 등의 시나리오를 가정하여 ESS의 경제성 분석을 실시하였음.
- 분석 결과를 바탕으로 지역난방용 열병합발전소의 ESS 최적 활용방안 도출과 보급 활성화를 위한 제도개선 방안을 제안하였음.

Ⅱ. 조사 및 분석 결과

1. 지역난방용 CHP에 ESS 설치 시 부하평준화 효과

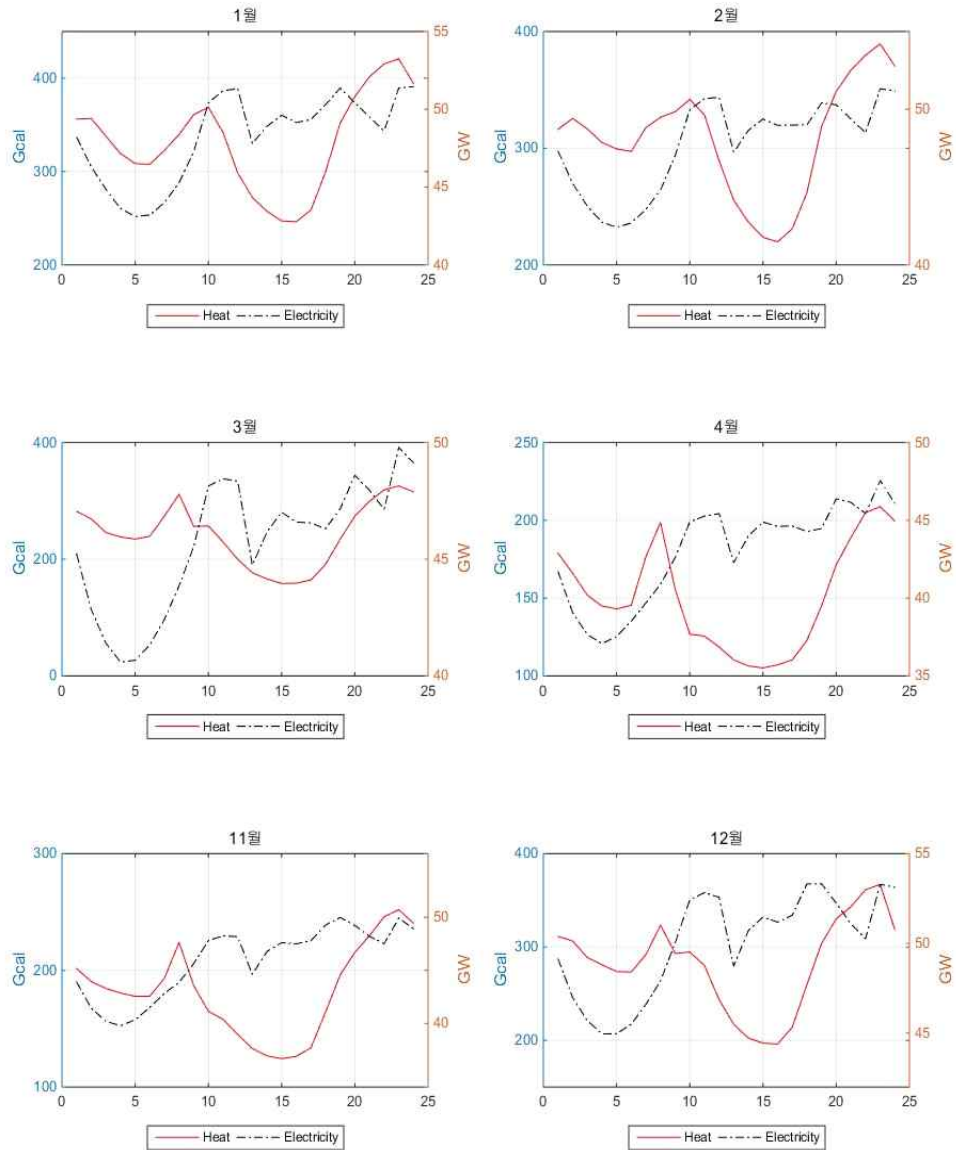
- 지역난방 사업장의 시간대별 열수요는 계통 총 전력수요와 다른 패턴을 지니므로 지역난방용 CHP에 ESS를 활용하면 첨두부하 절감 효과를 발휘할 수 있음.
- 열수요는 동고하저의 형태로 봄, 여름, 가을, 겨울로 진행됨에 따라 수요가 증가, 감소, 증가, 감소를 반복하는 패턴을 지니고 있음.
 - 동계에 이르러 기온이 크게 하락함에 따라 열수요가 큰 폭으로 증가하고 변동성이 확대됨.

[그림 1] 시간대별 열수요



- ESS를 활용하여 동절기 전력수요가 최소인 새벽시간대에 저장하여 최대수요가 발생하는 오전 10시 또는 오후 7~8시 시간대에 방전을 하면 침투부하 절감 효과를 발휘할 것으로 분석됨.
- 난방기 새벽시간대(0시부터 7시) 열수요는 일정수준 유지되는 반면, 전력수요는 자정이후 급격히 감소하여 3~4시 최소수요를 보이며 오전 10시경 또는 오후 7~8시경 최대수요를 기록함.

[그림 2] 난방기 열 및 전력수요 패턴 비교

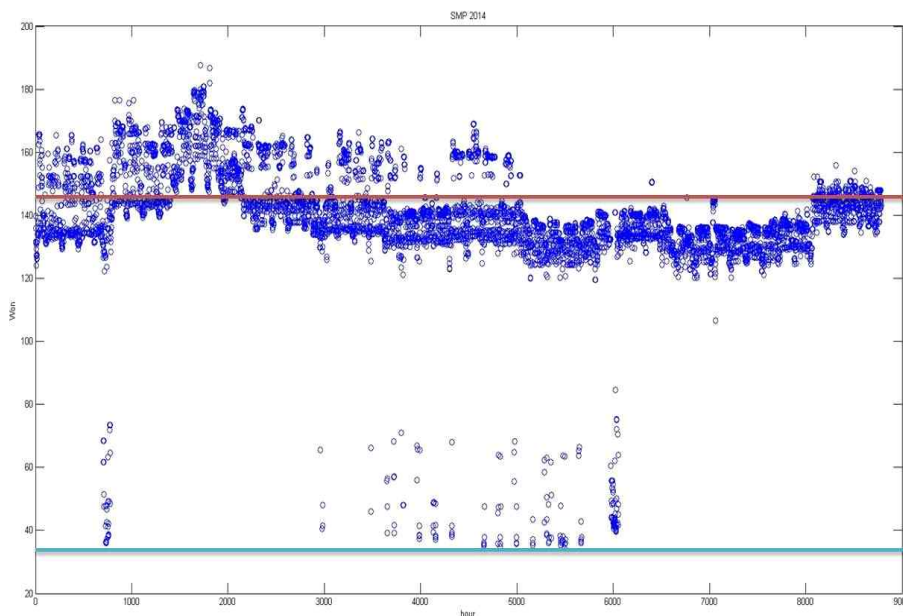


2. ESS 차익거래를 결정하는 SMP 변동성 분석

□ 분석대상으로 하는 2014년 계통한계가격(SMP)의 변동성은 낮은 편으로 ESS 차익거래의 수익성에는 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석됨.

- 대부분 시간대의 SMP는 LNG 발전기가 결정하여 140원대를 전후로 두터운 층을 형성하여 변동성이 상대적으로 낮은 것으로 분석됨.
- 전력수요가 비교적 적은 구정과 추석의 두 연휴시기와 하계 일부 시간대에 한하여 기저 발전기가 SMP를 결정하여 80원대 이하의 가격대를 기록함.

[그림 3] 2014년 시간대별 SMP



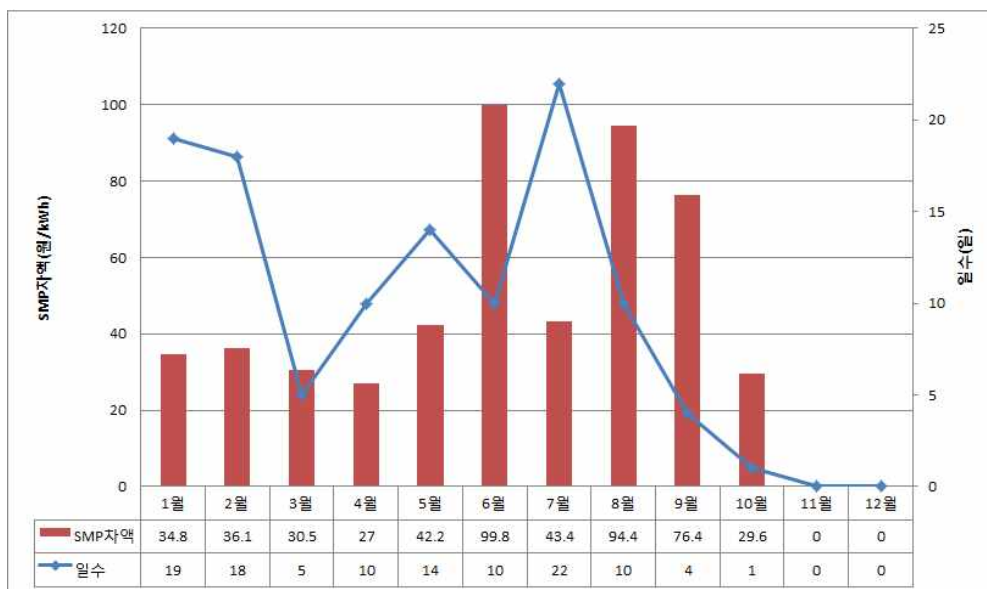
자료 : 전력거래소(epsis.kpx.or.kr)

- 1MW/1MWh 용량에 종합효율(Round-trip efficiency) 86%를 지닌 ESS를 활용하여 일일 차익거래를 수행할 시 이윤이 발생하는 총 일수는 113일에

그치는 것으로 분석됨.

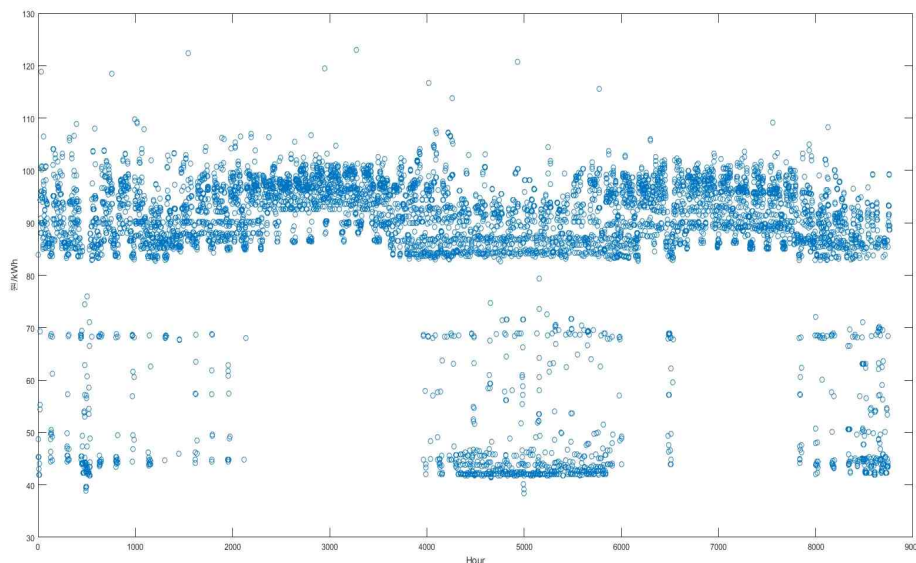
- 일일 최소 SMP에 충전하여 최대 SMP에 방전하는 차익거래의 이윤이 발생하는 조건은 최대가격/최소가격 비율이 1.163로 도출됨.
- 월별 일수는 7월 22일로 최대를 기록하였고, 11월과 12월은 기준 비율을 충족하는 날이 발생하지 않는 것으로 분석됨.
- 계절별 일수는 하계(6~8월) 42일, 동계(12~2월) 37일, 춘계(3~5월) 29일, 추계(9~11월) 5일 순이며, 해당 비율을 충족하는 일의 SMP 차액평균은 42.9로 계산됨(차액이 가장 높은 달은 6월로 99.8원을 기록).
- 계절별 평균 순위는 하계(6~8월) 79.2원, 추계(9~11월) 35.3원, 춘계(3~5월) 33.2원, 동계(12~2월) 23.6원 순으로 분석됨.

[그림 4] 2014년 일간 SMP 최대/최저 비율 1.163 이상 일수 및 차액평균



- 분석대상으로 하는 2021년 SMP의 변동성은 원전 비중의 증가로 2014년 SMP와 비교하여 ESS 차익거래의 수익성에 보다 양호한 환경을 제공하는 것으로 분석됨.
- 2021년 원전의 비중 증가로 2014년과 비교하여 기저전원이 SMP를 결정하는 횟수가 동계와 하계에 크게 증가하여 변동성이 증가할 것으로 분석됨.
- 2021년 SMP 전체 평균은 85.93원으로 낮아질 것으로 예상됨.

[그림 5] 2021년 시간대별 SMP(예측)

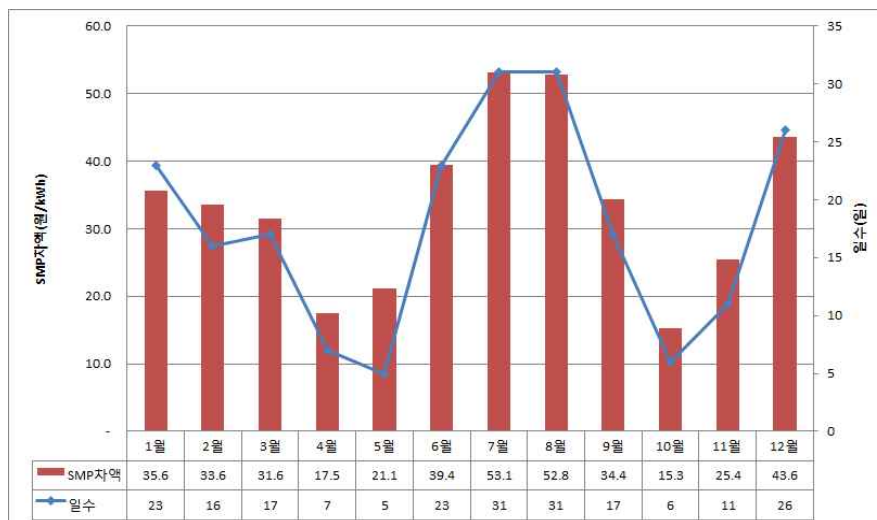


- 2021년 일간 최대가격/최소가격 비율 1.163 이상인 일수는 총 213일로 추정되며, 이는 2014년에 비해 약 1.9배 증가한 수치임.
- 월별 일수는 7, 8월에 31일로 최대를 기록하였고, 2014년 11, 12월은 해당 비율을 충족하는 날이 발생하지 않는 것에 반해 2021년은 각각 11일, 26일로 크게 증가함.
- 계절별 일수는 하계(6~8월) 85일, 동계(12~2월) 65일, 추계(9~11월) 34일, 춘

계(3~5월) 29일 순으로 분석됨.

- 2021년 해당 비율을 충족하는 일의 SMP 차액평균은 33.6으로 2014년에 비해 약 10원 정도 낮을 것으로 전망되며, 이는 ESS 차익거래 횟수는 증가하나 마진은 감소할 수 있음을 의미함.
- 계절별 평균 순위는 하계(6~8월) 48.4원, 동계(12~2월) 37.6원, 추계(9~11월) 25.0원, 춘계(3~5월) 23.4원 순으로 전망됨.

[그림 6] 2021년 일간 SMP 최대/최저 비율 1.163 이상 일수 및 차액평균



3. 지역난방용 CHP에 ESS 설치의 경제성 분석

- 본 연구에서 제시한 다양한 시나리오에서 수행한 경제성 분석 결과는 지역난방사업자가 운영하는 열병합발전소에 설치한 ESS 투자비는 수명기간 10년 내에 회수가 불가한 것으로 판명됨.
- 모든 시나리오에서 순현재가치(Net Present Value, NPV)가 음으로 분석됨.
 - ESS의 초기투자비가 3억으로 하락하는 2021년에는 NPV가 상당부분 개선되나 여전히 음을 띄고 있어서 사업성은 없는 것으로 분석됨.
- ESS 충·방전 효율의 증가와 원전 비중에 따른 SMP 변동성 증가, 용량요금 적용은 ESS의 차익거래 이용률을 대폭 증가시키는 것으로 분석됨.
- ESS 충·방전 효율 90%에서 97%로 증가할 경우 방전량은 11.5배 증가한 것으로 분석됨.

<표 1> 시나리오별 방전량

(단위: MWh)

구분		FAB	ABFR
Y14	E90-N	14.4	10.8
	E90-CP	40.5	35.2
	E97-N	165.1	84.1
	E97-CP	244.6	156.7
Y21	E90-N	68.3	51.5
	E90-CP	97.2	67.7
	E97-N	199.1	103.3
	E97-CP	244.6	159.5

- 2014년 SMP 가격대로 충·방전 효율 90%인 ESS가 연간 차익거래로만 활용할 경우 연간 방전량은 14.4MWh에 그침.
- 동일 연도 충·방전 효율이 97%인 경우 ESS 방전량은 효율 90%에 비해 약 11.5배인 165.1MWh를 기록함.
- 원전 비중 확대에 따른 SMP 변동성 증가는 ESS의 차익거래 방전량을 4.7배 증가시키는 것으로 분석됨.
- 원전 비중의 증가에 따라 SMP 변동성이 증가하는 2021년 시나리오에서 ESS의 차익거래 방전량은 2014년 동일 효율 및 운영 시나리오에서 약 4.7배 증가한 68.3MWh를 기록하였음.
- 방전량에 용량요금을 지급하는 경우 충전시간대와 방전시간대 사이의 가격 편차가 확대되어 ESS의 차익거래 기회가 증가하였음.
- 용량요금 지급은 효율 90%에서 운전시나리오에 따라 방전량을 181~226% 확대하였음.
- 용량요금의 적용은 SMP 차이를 확대하여 해당 시간대에 ESS의 공급전력을 증대할 수 있음을 의미함.
- 용량요금이 적용되지 경우 ESS는 주파수조정예비력에만 참여하는 것이 가장 수익성이 높은 것으로 도출됨.
- 용량요금이 없을 경우 운영 시나리오 중에서 수익성이 가장 높은 순은 주파수조정예비력으로만 운영하는 안(FFR), 동절기 차익거래와 주파수조정예비력에 복합적으로 운영하는 안(ABFR), 차익거래로만 운영하는 안(FAB)으로 분석됨.
- 차익거래에 양호한 조건인 2021년 SMP를 대상으로 충·방전 효율 97%

ESS가 차익거래로만 운영할 경우 연간 수입은 약 3백6십만 원 수준임.

- 동절기 차익거래와 기타 계절에는 FR로 복합적으로 운영할 경우(ABFR)는 약 2천만 원을 기록하였으나 FFR 수입은 약 2천4백만 원에는 이르지 못하는 것으로 분석됨.
- 이는 차익거래 수입은 비교적 적은 마진과 거래량 부족으로 주파수조정예 비력 참여 수입에는 미치지 못하는 것으로 해석됨.

<표 2> 효율 90% 및 CP 미적용 시나리오 연 수입

(단위: 원)

구분	Y14-E90-N			Y21-E90-N		
	FAB	FFR	ABFR	FAB	FFR	ABFR
R_{ar}	423,225	-	378,004	2,020,051	0	1,560,425
R_{gf}	0	23,664,016	18,808,937	0	23,664,016	18,808,937
계	423,225	23,664,016	19,186,941	2,020,051	23,664,016	20,369,362

<표 3> 효율 97% CP 미적용 시나리오 연 수입

(단위: 원)

구분	Y14-E97-N			Y21-E97-N		
	FAB	FFR	ABFR	FAB	FFR	ABFR
R_{ar}	1,977,849	0	1,239,990	3,618,920	0	2,468,365
R_{gf}	0	23,664,016	17,190,577	0	23,664,016	18,808,937
계	1,977,849	23,664,016	18,430,567	3,618,920	23,664,016	21,277,302

- 용량요금을 적용할 경우 충·방전 효율 90%에서는 여전히 주파수조정예비력으로만 활용하는 것이 가장 수입이 높은 운영방안으로 도출됨.
- 2021년 차익거래로만 활용할 경우 약 3백8십만 원, 주파수조정예비력에만 활용할 경우 약 2천4백만 원, 복합으로 활용할 경우 약 1천9백만 원으로 분석됨.
- 이러한 결과는 비교적 낮은 효율로 인해 동계 차익거래와 용량정산금 수입은 주파수조정예비력정산 수입에 미치지 못한 것으로 판단됨.

<표 4> 효율 90% 및 CP 적용 시나리오 연 수입

(단위: 원)

구분	Y14-E90-CP			Y21-E90-CP		
	FAB	FFR	ABFR	FAB	FFR	ABFR
R_{ar}	234,831	0	200,825	1,857,199	0	1,487,606
R_{cp}	813,308	0	711,538	1,958,725	0	1,376,442
R_{gf}	0	23,664,016	18,808,937	0	23,664,016	18,808,937
계	1,048,140	23,664,016	19,721,299	3,815,924	23,664,016	21,672,985

- 용량요금을 적용할 경우 충·방전 효율 97%에서는 2021년 SMP 대상으로 차익거래와 주파수조정예비력 참여에 복합적으로 운영하는 것이 가장 수익성이 높은 운영방안으로 분석됨.
- 2021년 차익거래와 주파수조정예비력 복합 운영 시나리오(ABFR)의 수입이 약 2천4백만 원을 기록하여 주파수조정예비력참여(FFR) 시나리오를 근

소하게 앞서는 것으로 분석됨.

- 따라서 열병합에 설치한 ESS 운영은 SMP 차액이 큰 기간에 한하여 차익 거래에 참여하고 나머지 기간에는 주파수조정용으로 활용하는 것이 바람직함.

<표 5> 효율 97% 및 CP 적용 시나리오 연 수입

(단위: 원)

구분	Y14-E97-CP			Y21-E97-CP		
	FAB	FFR	ABFR	FAB	FFR	ABFR
R_{ar}	1,587,413	0	1,139,860	3,437,264	0	2,371,231
R_{cp}	4,751,052	0	3,156,177	4,275,334	0	3,220,285
R_{gf}	0	23,664,016	18,808,937	0	23,664,016	18,808,937
계	6,338,465	23,664,016	23,104,974	7,712,598	23,664,016	24,400,453

- 모든 시나리오에서 순현재가치(Net present value, NPV)가 음으로 판명되어, 지역난방사업자가 운영하는 열병합발전소에 설치한 ESS 투자비는 수명 기간 10년 내에 회수가 불가한 것으로 판명됨.
- ESS의 초기투자비가 3억으로 하락하는 2021년에는 NPV가 상당부분 개선되나 여전히 음을 띄고 있어서 사업성은 없는 것으로 분석됨.
- 2014년과 2021년 ESS를 차익거래에만 활용하는 경우(FAB)의 NPV가 약 2.4배 차이를 보는 것과 같이 차익거래는 전원구성에 많은 영향을 받고 있어서 외부환경에 민감하다는 것을 알 수 있음.

- 주파수조정예비력 참여는 정산제도가 큰 변화가 없을 경우 고정적인 수입을 예상할 수 있음.
- NPV를 극대화하는 ESS 운영방안은 용량요금이 적용을 기반으로 SMP 차액이 큰 기간에 한하여 전력거래를 수행하고 나머지 기간에는 주파수조정 용으로 활용하는 것임.

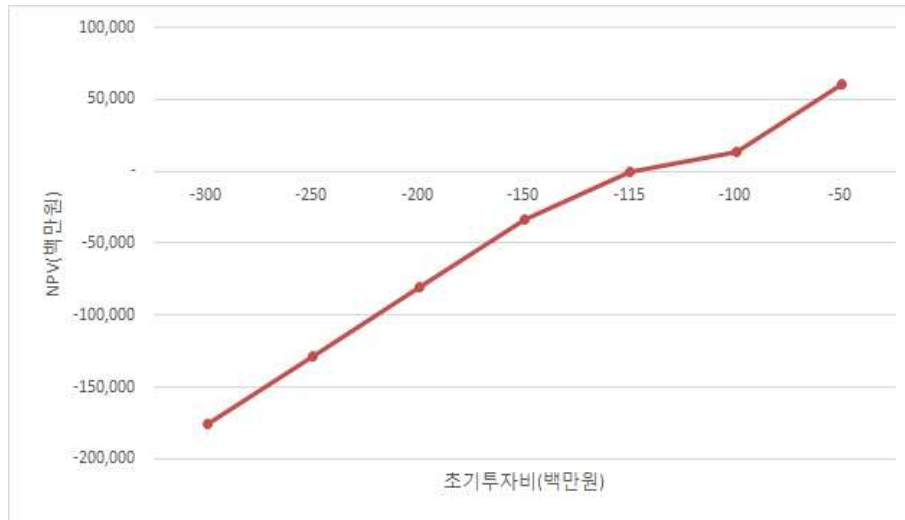
<표 6> 시나리오별 NPV

(단위: 천원)

구분		FAB	FFR	ABFR
Y14	E90-N	-830,480	-655,300	-689,046
	E90-CP	-825,770	-655,300	-685,018
	E97-N	-818,762	-655,300	-682,549
	E97-CP	-785,893	-655,300	-659,513
Y21	E90-N	-344,510	-181,366	-206,200
	E90-CP	-330,973	-181,366	-196,374
	E97-N	-332,458	-181,366	-199,356
	E97-CP	-301,602	-181,366	-175,815

- ESS의 수익분기점(Break even point) 투자비(1MW/1MWh)는 약 1억1500만원으로 이때의 회수기간(Payback period)은 약 8년으로 분석됨.
- 분석 시나리오 중 연간 최대 수입, 24,400,453원이 ESS 수명 10년 동안 고정적으로 발생한다고 가정할 경우 ESS 초기 투자비가 약 1억1500만원으로 하락해야 수익분기점을 기록할 것으로 분석됨.

[그림 7] ESS 초기투자비에 따른 NPV



Ⅲ. 정책 제언

- 지역난방용 CHP에 ESS 설치는 난방기 침투부하 절감 효과를 발휘할 수 있으나, ESS의 운영수입으로는 초기투자비를 수명기간 내에 회수하기에는 불가능한 것을 알 수 있었음.
- 지역난방용 CHP를 포함하여 발전부문 ESS의 활용도를 높여 전력계통에 편익을 충분히 발휘할 수 있도록 관련 제도를 설계하는 것이 필요함.
- 아래에서는 ESS의 최적 활용방안과 보급 확대를 위한 시사점을 도출하였음.
- 첫째, 지역난방사업소의 열부하는 국가 전력계통에 총 전력부하 패턴과 다르므로 ESS를 지역난방용 CHP에 설치하여 활용하면 난방기 침투부하 절

감 효과를 발휘할 수 있음.

- 동절기 전력수요가 최소인 새벽시간대에 CHP의 열부하 추종운전을 통해 생산한 전기를 ESS에 저장하고 최대 전력수요가 발생하는 오전 10시나 오후 7~8시 시간대에 방전하여서 전력계통에 공급하면 첨두부하를 절감할 수 있음.

□ 둘째, 그러나 첨두부하 절감 효과를 발휘하는 전력 차익거래로만 ESS를 운용할 경우에는 경제성이 확보되지 않음.

- 전력가격이 낮을 때 충전하여 전력가격이 높을 때 방전하는 방식의 수입으로는 경제성을 확보할 수 없는데 이는 SMP의 변동성이 비교적 작은 수준에 기인함.
 - 국내 기저와 첨두발전기 간의 변동비 차이는 큰 편으로 이는 차익거래에는 유리한 환경을 제공하나 상대적으로 높은 부하율을 보이고 최근 첨두발전기가 대부분의 SMP를 결정짓는 외부환경은 차익거래의 수익수준을 감소시킴.
- SMP의 변동성이 전력거래용 ESS의 경제성을 좌우한다는 것은 충·방전 효율과 같은 ESS의 내부 기술적 요소 이외에도 전원구성과 부하율과 같은 수요패턴과 같은 외부환경이 결정적 요소로 작용하고 있음을 나타냄.

□ 셋째, 따라서 ESS를 차익거래와 주파수조정에비력 참여와 같이 복합적으로 운영하는 방안이 경제성을 보다 제고시킬 수 있음.

- ESS 전력거래의 수익이 낮은 기간에는 전량 주파수조정에비력에 참여하는 것이 합리적인 것으로 판단됨.
 - 지역난방사업자가 운영하는 CHP에서 전력거래용 ESS의 운영이익은 전력

가격 차이가 가장 크게 발생하는 동계에 수익에 가장 양호한 환경을 제공하기 때문에, ESS의 전력거래는 동계 일부기간에만 수행하고 나머지 기간에는 주파수조정용으로 활용하는 운영 시나리오가 가장 효과적임.

□ 넷째, ESS에 용량요금 지급은 ESS가 전력계통에 제공하는 편익을 내재화하는데 기여할 수 있음.

- 용량요금을 지급할 경우 ESS의 전력거래가 증가한 결과를 주목할 필요가 있음.
- 이에 따라 ESS의 중앙급전발전기 등록여건을 완화하고 용량요금 적용으로 ESS의 이용률을 높여 전력계통면에서 ESS의 편익이 충분히 발휘될 수 있도록 제도를 설계하는 것이 필요함.

□ 마지막으로, 상기 분석 결과를 바탕으로 ESS의 보급을 확대하기 위해서는 ESS를 전력거래와 용량시장, 주파수조정시장에 복합적으로 활용을 제도적으로 보장함으로써 ESS의 경제성을 제고하는 것이 필요함.

- ESS의 차익거래로만으로는 수익성이 미진하므로 용량시장, 주파수조정시장에 복합적으로 활용함으로써 수익을 증가시키는 것이 필요하므로 이를 제도적으로 허용하는 것이 요구됨.

IV. 기대 효과

□ 본 연구의 결과는 정부의 ESS 도입 정책 방향 제시와 합리적인 지원 수준을 결정하는데 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대됨.

- 정부는 2012년 7월 대용량 전력저장장치 보급촉진방안을 발표하여 ESS 투자비 융자 및 세액공제 등의 지원으로 ESS의 보급을 추진하고 있음.
 - 집단에너지 사업장은 2014년부터 ESS 보급지원사업을 실시하고 있음.
 - 지역난방 및 산업단지, 구역전기사업자가 운영하는 열병합발전소를 대상으로 ESS를 설치할 지원하는 사업으로 2015년부터 2019년까지 5년 동안 총 25억2천만원의 재원이 투입되어 ESS 총 사업비의 70%를 지원할 전망이다.
 - 본 연구의 결과는 관련 ESS 지원여부와 방법, 예산규모 선정 등 관련 정책 설계에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대됨.
- 집단에너지를 포함하여 발전부문의 ESS를 설치하여 운영할 경우 경제성 분석 방법을 제공하고 최적의 ESS의 운영방안을 제공하여 실제 사업자들이 참조할 수 있도록 활용
- 본 연구의 방법론은 최적화 기법을 적용하여 ESS의 수익을 최대화 하는 방안을 도출하였으므로 실제 사업자들이 ESS의 운영 및 경제성 분석 방법에 활용이 가능함.
- 마지막으로, 향후 발전부문 ESS 시장 활성화를 위한 전력시장 제도개선에 기초자료로 활용
- 본 연구의 결과를 바탕으로 발전부문에 있어서 ESS 시장이 형성되기 위한 요건 분석과 전력시장에서 ESS 편익과 수익이 제고될 수 있는 차익거래, 용량시장, 주파수조정예비력 참여 등의 복합운영 방안 등 지원제도 설계에 기초자료로 활용 가능함.

< 참고자료 >

1. 참고문헌

이성인 (2014), “에너지저장시스템(ESS) 수요 관리 효과분석 및 시장조성 방안 연구”, 에너지경제연구원

iSEA (2012), “Technology Overview on Electricity Storage”

IEA (2014), 「Technology Roadmap: Energy Storage」

정책 이슈페이퍼 16-20

열병합발전에서 ESS 설치의 경제성 분석 연구

2016년 4월 30일 인쇄

2016년 4월 30일 발행

저 자 안 재 균

발행인 박 주 현

발행처 에너지경제연구원

44543 울산광역시 중가로 405-11

전화: (052)714-2114(代) 팩시밀리: (052)-714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 크리커뮤니케이션 (02)2273-1775
