

## 전지전력저장시스템의 국내적용을 위한 경제성 검토에 관한 연구

김 용상\*, 김 호용\*, 김 재철\*\*, 임 성정\*\*  
(\* 한국전기연구소 \*\* 숭실대학교)

### Economic Evaluation for the Domestic Application of the Battery Energy Storage System(BESS)

Eungsang Kim\*, Hoyong Kim\*, Jaechul Kim\*\* Seongjeong Rim\*\*  
(\*KERI, \*\* Soongsil University)

#### Abstract

This paper presents the economic evaluation of battery energy storage system(BESS). Application target of the BESS was decided to both the distribution substation and single customer. 1MW/4MWh BESS under research and development in KERI was used for example.

We analyzed and compared BESS with conventional combined cycle. The result shows that BESS is more economic than conventional combined cycle.

#### 1. 서 론

최근 산업경제의 발전 및 생활수준의 향상으로 전력수요가 급격히 증가함과 동시에 주야간 부하격차가 점점 심화되어 부하율이 현저하게 저하하고 있는 추세이며, 2000년대에는 50% 대로 하향될 전망이다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 것이 전력저장기술이며, 현재 실용화되어 있는 전력저장기술인 양수발전은 건설기간의 장기화, 입지조건의 제약, 인건비 상승에 따른 건설비 증가추세, 원거리배치에 따른 송전손실 및 송전설비의 추가, 중소규모시스템의 건설관련의 문제점이 있으나, 전지전력저장시스템(Battery Energy Storage System : 이하 BESS)은 ① 높은 에너지밀도 ② 기동성 및 부하추종 운전특성이 우수등의 여러가지 장점이 있어 가까운 시일내에 실현 가능성이 가장 높은 시스템으로 자리잡고 있는 실정이다.

본 연구에서는 BESS의 국내 적용사례에 따른 타당성 검토를 위한 경제성을 분석하기 위하여 먼저, 시스템 적용대상을 전력계통과 연계되는 분산배치용 및 단독수용가용으로 분류하고, 연구대상 설비용량은 현재 한국전기연구소에서 개발중인 1MW/4MWh급을 분석대상으로 설정하였다. 또한, BESS와 유사한 특징을 갖는 복합화력발전의 발전원과 비교하므로써 앞으로 기대되는 시스템에 대한 경제성 검토자료가 될 것으로 사료된다.

#### 2. BESS의 발전비용

본 연구에서는 단독수용과 배전용·변전소에 설치할 분산배치용 1MW/4MWh급 BESS를 분석대상으로 하여 발전비용을 검토하고자 한다.

##### 가. 1 MW/4 MWh급 BESS의 고정비

고정비는 건설비와 고정발전비용으로 구성되는데, 건설비는 감가상각비, 투자수익 및 기타 고정부담금등이 포함되며, 고정발전비란 고정연료비, 고정운전유지비 및 세금, 보험료등이 포함된다.

###### (1) 건설비

본 연구의 BESS를 구축하는데 건설비로 고려되어야 할 내용은 다음과 같다.

- 전력저장전지시스템 설비
- 주변기기 및 건축설치
- 전력계통 연계
- 전물용지

(가) 전력저장전지시스템

본 연구에서는 4MWh급 용량에 대해서 고려해 보고자 한다. 아래 표 1은 미국 EPRI의 Chino 프로젝트에서 수행한 값들이다. 이 표의 우측부분은 현재 전기연구소에서 수행중인 연구개발비를 토대로 국내에서 현재 개발에 예상되는 값들로, 전자는 5억 5천만원, 전력변환장치는 2억으로 상용시는 개발시의 각각 1/2 및 1/3로 가정하였다.

표 1 전지 및 전력변환장치 비용(미국)

전지시스템(단위:\$/kWh)				전력변환장치(단위:\$/kW)			
	50	40	30	4(국내)	10	2	1(국내)
MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MW	MW	MW
개발시	152	158	163	172	180	300	240
상용화	70	78	87	86	60	100	80

(주) EPRI AP-5845(1989년도 기준)

(나) 주변기기 및 설치 비용

EPRI EM-3872에서 정의한 공식을 이용하면 주변기기 및 설치비용은 표 2와 같다.(상용화시는 개발초기의 약 65%로 봄)

표 2 BESS의 주변기기 및 설치비용(단위:\$/kWh)

	Balance of Plant	Engineering Cost	주변기기 및 설치비용
개발시	72	12	84
상용화	47	8	55

(다) 계통연계비용 및 건축용지

본 연구에서는 국내의 관련데이터가 없으므로 EPRI에서 추정한 가격을 참고로 하였다.(참고 : EPRI TR-100686) 또한, 용지비용은 현재 한전에서 사용하는 기준을 바탕으로, 도시 및 지방에 건설할 경우 각각 총투자비의 약 8%, 5% 정도로 가정하였다. (참고 : 한전 입지처 용지부 자료)

(라) BESS의 총 건설비용

1MW/4MWh급 BESS의 총 건설비용은 표 3과 같다.

표 3 1MW/4MWh급 BESS의 총 건설비용(단위 : \$)

	전지 전력변환장치	주변기기 및 설치	합계
개발초	688,000	240,000	936,000
상용화	344,000	80,000	424,000

(마) BESS의 kW당 건설단가

계통연계비용 및 건축임지에 대한 비용을 제외한 BESS의 건설단가는 kW당 약 \$1,264 및 644로 미국의 International

Lead Zinc Research Organization Inc.에서 추정한 상용화시 kW당 \$ 1,100 보다는 훨씬 낮은 값으로 본 시스템은 여타 선진 외국보다는 입지적인 조건등을 고려할때 우리나라에서 더욱 개발의 필요성이 있음을 알 수 있다.

표 4 1MW/4MWh급 BESS의 kW당 건설단가(단위:\$/kW)

△	BESS비용(주 변기기포함)①	연계비 용②	kW당 건설단 가(①+②+③)			
			용지비용③		도시	지방
			도시	지방		
개발시	1,264	65	①×0.08	①×0.05	1,430	1,392
상용화	644	65	①×0.08	①×0.05	760	741

### (2) 반복고정비

반복고정비에는 고정적으로 발생하는 고정운전유지비 및 전지교체비가 있다.

#### (가) 고정운전유지비

고정운전유지비에는 전기원인건비, 소모성 물품 및 장비, 사고보험, 외부지원 서비스등에 대한 비용들이 포함된다.

#### (나) 전지교체비

전지수명은 충방전 횟수인 Cycle로 나타내는데 현재 DOD를 55로 했을때 기대되는 수명은 2500-3000 Cycle로, 년간운전 횟수를 250으로 가정했을때 12년 정도가 예상된다. 그러나 전지기술개발의 발달과 전지운영방법의 개선으로 수명연장이 가능할 것으로 보고 본 연구에서는 15년으로 가정했으며, 전지이외의 시스템 설비의 수명은 30년으로 가정했다.

#### 나. 전력저장전지시스템의 변동비

전력저장전지시스템의 변동비는 전력저장에 필요한 발전비용과 운전유지비등으로 구성되는데, 후자는 미세하기 때문에 주로 저장용 전원에 대한 비용으로 본다.

#### (1) 저장용전원 발전원가

본 시스템은 심야 기저부하시에 전력을 저장하였다가 주간 피크 부하시에 전력을 공급해 주는것이 주목적이므로 발전원가는 심야전력요금을 적용하는 것이 바람직 할 것으로 본다.

### 3. BESS의 평준화 발전원가

BESS에 대한 총 발전비용은 고정비 및 변동비의 합으로 표현되는데, 고정비는 건설비 및 반복고정비로 나누어지며, 반복고정비는 고정운전유지비, 연료저장비 및 전지교체비, 변동비는 저장용전원 발전원가, 변동운전 유지비등으로 이루어지는데, 본 연구에서는 하루 방전시간은 4시간, 연간 평균전자 Cycle수는 250회로 일정하다고 가정했다. 따라서 BESS 발전원가는 다음식과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{평준화 발전원가} = \text{고정비} + \text{변동비원가}$$

$$= \frac{\text{건설단가} \times \text{고정비율}}{\text{연평균 운전시간} \times (1-\text{용량감소율})} + \frac{\text{저장용전원 발전원가}}{(1-\text{손실율}) \times \text{저장효율}}$$

#### 가. 1MW/4MWh급 BESS의 고정비율

고정비율이란 고정비의 BESS 총투자비에 대한 비율로 자본비(투자수익), 감가상각비, 보험료, 법인세 및 제세, 운전유지비등이 포함된다.

#### (1) 투자수익 및 감가상각비

한전에서는 투자수익률과 감가상각율의 합을 자본회수계수로 가정하고 있으며, 할인율은 8%를 채택하고 있다. 자본회수계수를 산출하는 식은 다음과 같다.

$$\text{자본회수계수} = \frac{r(1+r)}{(1+r)n - 1}$$

여기서,  $n$ 은 내용년수,  $r$ 은 할인율을 나타낸다.

표 5 1MW/4MWh급 BESS의 자본회수계수

설비 내 역	내용년수(n)	자본회수계수(%)
BESS 설비(전지외)	30년	8.25
전지	15년	8.52

#### (2) 보험료

자산가액은 부보자산과 비부보자산의 합으로 이루어지는데, 여기서는 초기투자비를 말한다. 비부보자산이란 화력발전소의 경우 토지 및 무형 고정자산을 의미하고, 수력의 경우에는 토지, 수로, 도로, 철도 및 교량등을 포함하나 BESS에서는 건물용지비를 말하며 보험료율은 3/1000으로 보았다.

표 6 BESS의 내용년수동안 평균자가보험율(단위:\$/kW)

시 점	지역	비부보자산 (건설용지비)	부보자산	부보율 (%)	자가보험율 (%)
개발시	도시	1,430	101	92.93	0.28
	지방	1,392	63	1,329	0.3
상용화	도시	760	51	709	0.28
	지방	741	32	709	0.29

#### (3) 법인세 및 제세

고정비에 고려되는 세금에는 법인세, 방위세, 주민세 및 제세 세동이 포함되는데, 법인세는 세전 순이익의 5%를 적용하며, 주민세는 법인세의 7.5%가 되므로 세전순이익의  $5\% \times 0.075 = 0.375\%$ 이다. 그러므로 합은 5.375%이다. 자기자본수익률을 9%로, 자기자금비율을 50%로 가정하고 법인세 및 제세에 대한 내용년수동안 연간 평균고정비율을 산출하면 다음과 같다.

법인세 및 제세에 대한 내용년수동안 연간 평균고정비율

$$= \frac{\text{세전순이익에 대한 세율}}{1 - \text{세전순이익에 대한 세율}} \cdot (\text{자기자금비율})$$

$$\cdot (\text{자기자본수익율}) \cdot \frac{n + (n-1)D}{2n}$$

$$= \frac{0.05375}{1 - 0.05375} \cdot (0.5) \cdot (\text{자기자본수익율}) \cdot \frac{n + (n-1)D}{2n}$$

이때,  $n$ 은 내용년수,  $D$ 는 감가상가율( $1/\text{내용년수}$ )이다.

표 7 BESS의 내용년수동안 평균 법인세 및 제세율(%)

설비내역	내용년수(년)	감가상각율	법인세 및 제세율
BESS설비(전지외)	30	3.33	0.54
	15	6.7	0.93

(주) 자기자본수익율 : 9%, 자기자금비율 : 50%

#### (4) 운전유지비

참고로 하고자 한전의 1993년도 내연력발전의 운전유지비에 포함되는 항목의 내용은 표 8과 같다.

#### ① 인건비

BESS 인건비를 산출하기 위하여 내연력발전의 설비용량 kW당 인건비에 대한 실적치를 적용하기로 하며 인건비율 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{인건비율} = \frac{(\text{연평균인건비}/\text{인건비})}{\text{투자비}}$$

표 8 내연력발전설비의 운전유지비 내역(설비용량 5,562,000kW)

인건비	전기원인건비(천원/년)	kW당 인건비(원/kW)
	21,584,000	3,881
수선유지비	수선유지비(천원/년)	kW당 수선유지비(원/kW)
	26,447,000	4,755
제반경비	제반경비(천원/년)	kW당 제반경비(원/kW)
	16,265,000	2,924

(주) 내연력발전에 복합화력포함.

(자료) 1. 내연력발전 설비용량 : 한전 “경영통계”

2. 내연력발전 수선유지비 : 한전 “종합원가계산서”

내연력발전에 대한 위의 실적치를 BESS에 그대로 적용하면 인건비율은 다음과 같다.

표 9 1MW/4MWh급 BESS의 인건비율

시 점	장 소	인건비 (\$/kW)	투자비 (\$/kW)	인건비율 (%)
개발시	도 시	4.78	1,430	0.33
	지 방		1,392	0.34
상용화	도 시	4.78	760	0.63
	지 방		741	0.64

#### ② 수선비

내연력발전에 대한 위의 실적치(표 8)를 바탕으로 일본에서 사용하고 있는 방법을 인용하여 BESS의 용량별 수선유지비율을 산출하면 표 10과 같으며, 일반적으로 초년도 수선비율은 평

평균선비율의 1/2, 최종년도는 초년도 수선비율의 3배로 본다.

표 10 1MW/4MWh급 BESS 수선유지비율

시점	장소	수선유지비(\$/kW)	자산가액(\$/kW)	수선유지율(%)
개발시	도시	5.86	1,430	0.41
	지방		1,392	0.42
상용화	도시	5.86	760	0.77
	지방		741	0.79

### ③ 제반비용

한전에서는 초년도 및 내용년수 동안의 평균 실적이나 예산을 기초로 산출된 평균 제반비용을 내용년수동안 평균 제반비용으로 사용하며, 내연력 발전시스템에 대한 제반경비로 부터 BESS의 제반경비율을 산출하면 다음과 같다.

표 11 1MW/4MWh급 BESS 제반경비율

시점	장소	제반경비(\$/kW)	자산가액(\$/kW)	제반경비율(%)
개발시	도시	3.60	1,430	0.25
	지방		1,392	0.25
상용화	도시	3.60	760	0.47
	지방		741	0.48

위 세가지 결과, 운전유지비율은 다음 표와 같다.

표 12 1MW/4MWh급 BESS 내용년수동안 평균 운전유지비율

시점	장소	운전유지비율(단위 : %)	
		BESS 설비(전지체외)	전지
개발시	도시	0.93	0.99
	지방	0.99	1.01
상용화	도시	1.70	1.85
	지방	1.74	1.89

### 나. BESS의 고정비

앞에서 계산된 자본회수계수, 보험료율, 법인세 및 세율, 운전유지비율등으로부터 얻은 고정비율을 토대로 연평균 전지의 소내소비율 및 소내소비전력을 은 약 3%로 가정하고서 BESS고정비를 계산하면 다음과식을 이용할 수 있다.

$$\text{고정비} = \frac{\text{전설단가} \times \text{고정비율}}{\text{연평균방전시간} \times (1-\text{전지용량감소율}-\text{소내소비율})}$$

이 식으로부터 BESS의 고정비를 계산하면 표 13과 같다.

표 13 1MW/4MWh급 BESS의 고정비(250Cycle/년)

시점	장소	전설단가 × 고정비율(\$/kW)	고정비(\$/kW)
개발시	도시	146.5	0.150
	지방	143.2	0.147
상용화	도시	86.4	0.089
	지방	84.6	0.087

### 다. BESS의 변동비원가

원자력발전 전원을 저장용전원으로 보고 설치장소(변전소 2차축이나 단독수용가)와 송배전 손실율 및 BESS 전체효율(약 70%)등을 고려한다.

표 14 1993년도 BESS의 용도별 변동비원가(단위 : \$/kWh)

적용	발전원가	송변전손실율(%)	배전손실율(%)	저장효율(%)	변동비원가
배전용변전소 단독수용가	0.030	3.19	2.38	70	0.044

(주) 저장용전원은 원자력발전으로 가정.

(자료) 1993년도 원자력발전 전원원가 : 24.57 원/kWh

라. BESS의 평준화 발전원가

평준화발전원가는 고정비와 변동비원가의 합으로 표현된다.  
표 15 1MW/4MWh급 BESS 평준화 발전원가(단위 : \$/kWh)

대상	시점	장소	고정비	변동비원가	평준화발전원가
배전용 변전소	개발시	도시	0.150	0.044	0.194
		지방	0.147		0.191
단독수 용가	상용화	도시	0.089	0.044	0.133
		지방	0.087		0.131
단독수 용가	개발시	도시	0.150	0.045	0.195
		지방	0.147		0.192
단독수 용가	상용화	도시	0.089	0.045	0.134
		지방	0.087		0.132

## 4 BESS와 복합화력발전시스템의 발전원가 비교

지구 환경문제 측면 및 침투부하 대체용으로, BESS의 경제효과를 비교 평가하기 위한 대안 발전시스템으로, 본 연구에서는 복합화력발전시스템을 고려하도록 한다.

### 가. 복합화력발전시스템의 발전원가

본 연구에서는 LNG를 주연료로 사용하는 복합화력발전소를 비교 대상으로 삼기로 한다. 아래 표에서 연료비는 앞에서 정의한 변동비원가를 말한다.

표 16 복합화력발전시스템의연료비 및 발전원가(단위:\$/kWh)

복합화력 발전소	설비용량 (MW)	연료비	발전원가	연료비÷ 발전원가(%)
평택	351.6	0.066	0.232	20.45
서인천	1,880.0	0.039	0.065	60.00
안양	317.6	0.058	0.116	50.00
분당	397.0	0.052	0.092	56.52

(자료) 1993 회계년도 종합원가계산서 (한전, 경영정보처)

표 17 BESS의 발전원가에 대한 변동비율 (단위 : \$/kWh)

대상	시점	장소	변동비원가	발전원가	변동비원가÷ 발전원가(%)
배전 용변 전소	개발시	도시	0.044	0.194	22.68
		지방		0.191	23.03
단독 수용 가	상용화	도시	0.044	0.133	33.00
		지방		0.131	33.58
단독 수용 가	개발시	도시	0.045	0.195	22.56
		지방		0.192	22.91
상용화	도시		0.134	0.134	32.83
		지방		0.132	33.33

위의 결과로부터, 평택 복합화력발전소를 제외한 모든 복합화력발전의 발전원가중 연료비, 즉, 변동비가 차지하는 비율이 BESS의 경우보다 훨씬 높다는 것을 알 수 있다.

### 나. BESS와 복합화력발전시스템의 발전원가 비교

BESS와 복합화력발전에 대한 발전원가 비교를 쉽게 하기 위하여 복합화력 발전원가에 대한 BESS 발전원가의 비율을 산출하도록 한다.

표 18 복합화력발전에 대한 BESS 발전원가의 비율

대상	시점	BESS÷ 평택복합		BESS÷ 서인천복합		BESS÷ 안양복합		BESS÷ 분당복합	
	도시	지방	도시	지방	도시	지방	도시	지방	지방
배전용	개발시	0.83	0.82	2.98	2.94	1.67	1.65	2.11	2.08
변전소	상용화	0.57	0.56	2.05	2.02	1.15	1.13	1.45	1.42
단독수 용가	개발시	0.84	0.83	3.0	2.96	1.68	1.65	2.12	2.09
	상용화	0.58	0.57	2.06	2.03	1.15	1.14	1.46	1.43

상기표에서는 1이상이 경쟁력이 있음을 나타낸다.

## 5 결론

지금까지 검토 결과를 분석해 보면 20MW 이하의 경우는 복합화력의 적용가능성이 거의 없으므로, 특히 수 MW급의 경우 BESS가 더욱 경쟁력이 있으리라 본다. 또한, 전지를 스팩식으로 설치하므로써 용지비용 즉 전설단가의 감소를 기대할 수 있다.

참고로 BESS의 실용화를 위해서는 시스템을 시험적으로 설치·운용하여 종합적으로 수행도, 신뢰도, 운전유지비 데이터등에 대한 결과가 우선적으로 제공되어야 하며, 도입타당성 검토, 정화한 경제성 평가도 선행되어야 한다고 본다.

## 참고문헌

1. "전원개발계획 설명 자료", 한전 전력경제연구실, 1990.8.
2. "장기전력 수급계획", 한전 기획본부, 전원계획, 1990.12.
3. "경영 통계", 1990, 한국전력공사.
4. "전원 구성을 있어서 전력저장 설비 역할의 평가", 일본 전력중앙연구소, 1983.12.