

전지전력저장시스템의 경제성분석

김재철, 최준호*, 김응상⁰⁰, 최병수[△], 이영하*, 황용하⁰

* : 송실대학교 전기공학과, ⁰⁰: 한국전기연구소, [△]: 평택전문대학, ⁰: 이화전기

Economic Evaluation of BESS (Battery Energy Storage System)

Jae-Chul Kim, Joon-Ho Choi*, Eung-Sang Kim⁰⁰, Byoung-Soo Choi[△], Young-Ha Lee*, Yong-Ha Hwang⁰
 * : Dept. of Electrical Engineering, Soongsil UNIV., ⁰⁰: KERI, [△]: Dept. of Electrical Engineering, pyoungtak college, ⁰: E-Hwa Electric

Abstract - The BESS has a major advantages such as load leveling, quick response emergency power (spinning reserve), frequency and voltage control, improvement of reliability, and deferred generation and transmission capacity construction. However, the economic feasibility of these systems requires justification from the customer side of meter. In this paper, we proposed the economic evaluation model of BESS which is modified and complemented the SYSPLAN model[2]. In addition, we analyzed a economic evaluation from the economic measures such as payback period, overall benefit, ROI, and ROR.

1. 서 론

산업경제의 발전 및 생활의 수준 향상으로 인해 주간 부하격차가 심화되고 있는 추세이고 부하율 역시 악화되고 있다. 특히 국내에서도 현재와 같은 IMF 위기상황에서 전력산업에 있어서도 다른 산업분야와 마찬가지로 독점적인 구조에서 경쟁적인 구조로의 전환이 필요한 시점에 도달하고 있다. 즉, 전력회사는 발전단가가 산원자력발전을 주발전력으로 하고자 하며, 수용가측 및 독립발전사업자는 전원의 공급신뢰도 및 경제성을 이유로 분산형전원(DSGs; dispersed storage and generation systems)의 도입을 고려하고 있다. 이러한 분산형전원중 BESS는 기존의 저장시스템인 양수발전시스템의 입지조건, 계약, 원거리 배치에 따른 송전손실 및 설비의 증가, 중소규모의 건설공란 등의 단점을 극복할 수 있다. 또한 BESS시스템은 전력변환장치를 사용함으로써 기동정지 및 부하추종이 우수하고, 수용가 근방에 분산배치가 가능하여 손실을 최소화, 부하 평준화 및 부하율 향상, 순동예비력(spinning reserve), 전압·주파수제어 능력, 발전·송변전 설비의 투자지연 효과, 및 공급신뢰도 향상 등과 같은 많은 장점을 가진다. 하지만 이러한 BESS의 보급 및 확산을 위해서는 기술적부분의 개발 및 설치수용가의 경제성 분석이 필연적으로 이루어져야 한다. 본 논문에서는 수용가측 입장에서 본 BESS의 경제성 분석을 다루고자 한다. 기존의 BESS 경제성분석은 전지크기에 대한 한계공사비를 사용한 경제성 분석[1] 및 의사결정제도(decision diagram)를 이용하여 투자회수기간 등의 경제척도를 사용한 경제성 분석[2]이 있으나, BESS를 설치함으로써 얻어지는 수용가의 이득, 즉 공급 신뢰도 향상기능 등이 고려되지 않았다. 본 논문에서는 국내실정에 맞는 요금제도, 세제, 용지비용, 신뢰도 향상비용, 및 금융지원책을 중점으로 기존의 SYSPLAN모델[2],[3]을 수정 보완하여 경제성 분석을 수행하였다. 이의 결과는 BESS의 잠정 설치 수용가에 기본적인 투자자료로서 뿐만 아니라 보급확산정책에 활용될 수 있으리라 사료된다.

2. 경제성 분석

경제성 모델 개발의 문제는 의사결정제도를 디자인함에 있어서 모든 가능한 경제 조건의 고려 및 사용자에게 명확하고 정확한 의사결정정보(decision making information)를 제공하여야 한다.

2.1 경제성분석모델

BESS는 첨두부하 삭감 (peak shaving) 을 주목적으로 한다. 즉 첨두부하시에는 전력을 방전하고 경부하시에는 전력을 충전함으로써 기본요금의 삭감 및 주·야간의 전력요금의 차이로 인한 전력량요금의 경감을 꾀할 수 있다. 기술적 사양 결정에서 수용가의 연간 부하프로파일(load profile)은 BESS용량, 년간 운전시간 및 패턴 등의 설정을 결정하게되고 주요한 시스템의 가격 즉 전지, 전력조정장치 등은 전지크기에 관련된 수식으로 계산할 수 있다. 일단 기술적 사양이 결정되면 기술적 성능이 산출되고, 이들 사양에 관련된 장치효율 및 전지수명 등은 제조업자에게 상당히 유용한 자료가 된다.

본 논문에서는 BESS의 다기능부가기능의 하나인 무전전 전원장치 대체비용, 신뢰도향상 비용, 세제혜택으로서 증시상가, 및 에너지절약시설물의 대출등*의 관련제도를 고려하여 기존의 SYSPLAN 모델[2],[3]을 그림1과 같이 수정 하였다.

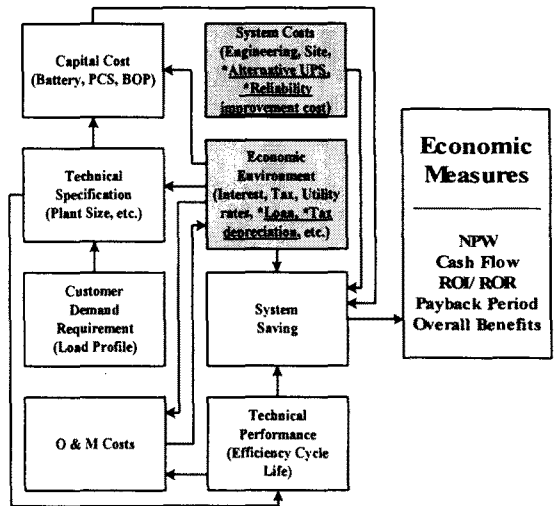


그림1. 경제성분석 모델

2.2 경제환경 및 기술적사양 데이터

본 논문에서는 국내에서 개발 연구중인 1MW/4MWh 용량의 BESS를 기준으로 하여 기술적사양을 결정 가정하고 이의 경제성분석을 하고자 한다. 경제성분석을 위한 기초 자료로서 표1에서는 시스템 가격 및 경제환경 데이터를, 표2에서는 기술적사양 및 운영데이터를 기술하였다. 또한, 1995년 5월1일부터 국내에서 적용되고 있는 전력요금제도는 표3에 나타내었다. 표 1과 3에서 전지관리시스템 가격등의 국내 표준이 아직 미비한 실정이

므로 본 논문에서 화폐의 단위는 달러화를 기준으로 하여 모든 비용을 산정하였다.

표1. 시스템 정격용량대비 가격 및 경제환경 데이터

항 목	규 격
전지비용 [\$/kWh]	187.5
컨버터 비용 [\$/kWh]	312.5
주변기기 비용 [\$/kWh]	46.875
용지비용 [\$/kWh]	43.75
연간운전유지비 [\$/kWh]	0.8
손실전력 [kWh/cycle]	1120
전지잔존가치 (전지가격에 대한 비율) [%]	11
자본비 상승률	5.0
운전유지비 상승률 [%]	4.5
전력량 상승률 [%]	4.5
수용요금 상승률 [%]	4.5
소득세 [%]	35.0
할인율 (자본이익률) [%]	8
UPS대체비용 [\$/kWh]	500

표2. 시스템 기술적 사양 및 운영데이터

항 목	규 격
방전시간 [hr]	4.00
첨두부하 삭감량 [MW]	1.00
전지용량 [MWh]	4.00
전지출력 [MW]	1.00
전지효율 [%]	80.0
전지수명 [cycles]	2000
충·방전 출력비율	0.5
컨버터 효율 [%]	97.0
BESS 효율 [%]	72.0
년간 첨두부하 삭감량 [MW]	1.00
년간 운전 사이클 [cycle/year]	200
년간 평균 정전시간 [hr/year]	10

표3. 전력요금 데이터

구 분	요금[\$/kWh]		
	주간	심야	
사용량 요금	봄, 가을 (4.5, 6.9 월)	0.0650	0.0178
	여 름 (7, 8 월)	0.0964	0.0178
	겨 울 (1, 2, 3, 10, 11, 12 월)	0.0752	0.0178
기본요금 : 52 \$ [kW/년]			

2.3 출력 데이터의 설명

앞의 절에서 가정한 입력데이터에 대해 경제지수를 계산한 결과는 표 4에 수록하였으며 각 항목에 대한 자세한 설명은 아래와 같다. 또한 이 중 *표시의 항목은 본 논문에서 기존의 모델을 수정, 보완한 항목이다.

2.3.1 절약효과

(1) 수용요금

수용요금삭감은 첨두부하삭감으로 인한 절약효과를 나타낸다. 표 4에서 전력요금이 수록된 행에 나타난 숫자들은 전지에 의해 감소된 전력수요[kW]에 전력요금과 물가상승률을 곱하여 결정되며, 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 또한, 사례에서는 20년간의 물가상승률이 일정하다고 가정하였다.

$$R_D = (P_{sm} \cdot P_{pn}) (1 + \epsilon_d)^{n-1} \quad (1)$$

여기서, R_D : 수용요금삭감량 [\$], P_{sm} : n년의 피크수요 삭감량 [kW], P_{pn} : n년의 kW당 전력량요금 [\$/kW], ϵ_d : 연간 수용요금 상승률, n: 연수

(2) 전지잔존가치

전지잔존가치에 의한 절약효과는 전지를 교체할 경우에만 발생한다. 이값은 아직까지 전지에 남아있는 납의 재생으로 인해 나타난다.

* (3) 무정전 전원장치 대체 비용

BESS의 다기능 부가기능중에는 무정전전원장치의 대체기능이 있다. 따라서, 수용가의 BESS 설치에 따른 신뢰도 향상비용은 같은 용량의 UPS를 설치한 경우와 같다고 볼 수 있다. 그러나, 수용가의 UPS 설치용량이

BESS용량과 동일하다고 볼수는 없으므로 수용가의 UPS 용량을 정량적으로 산정하여 이의 대체비용을 계산한다. 단, 이의 비용은 설치 당해년도에만 유효하다.

$$C_U = \Omega_U \cdot P_U \cdot t_{UPS} \quad (2)$$

여기서 C_U : UPS 대체비용 [\$], Ω_U : 무정전전원장치의 단가 [\$/kW], P_U : 무정전전원장치의 용량 [kW], t_{UPS} : 무정전시간 [hr]

* (4) 신뢰도 향상비용

신뢰도 지수 향상가치는 BESS가 설치된 경우 전력공급자 측에서의 작업 및 사고정전으로 인한 수용가가 재산적 손해를 막을 수 있다는 것이다. 이 항목은 정확한 정량적 표현이 어려우므로 본 연구에서는 가정 값들을 사용하였다. 신뢰도 지수 계산식은 다음과 같다.

$$C_R = P_S \cdot t_{INT} \cdot C_E \cdot \epsilon_c \quad (3)$$

여기에서 C_R : 신뢰도 증진 비용[\$/year], P_S : 시스템 용량[kW], t_{INT} : 연간 평균 정전 시간[hr], C_E : 전력요금[\$/kWh], ϵ_c : 보상비율

2.3.2 비용

(1) 기술용역비

기술용역비는 일반적으로 시스템 비용의 20% 이하로 잡는 경우가 많으며 본 논문에서는 정량적으로 20%으로 산정한다.

(2) 전력량요금

주간과 심야의 전력요금의 차이가 시스템 비효율로 인한 손실을 보상할 정도로 충분할 경우에는 전력량 요금 절약을 할 수 있다. 전력량요금증감을 계산하는 수식은 (4)과 같다.

$$I_E = \left(\frac{P_{off}}{\eta_r} - P_{on} \right) (1 + \epsilon_e)^{n-1} \cdot P_B \cdot N_C \quad (4)$$

여기서 I_E : 전력량요금증가 [\$], P_{on} :주간 전력량요금 [\$/kWh], P_{off} : 심야 전력량요금 [\$/kWh], η_r : 시스템의 왕복효율, ϵ_e : 전력량 상승률, P_B : 전지 크기 [kWh], N_C : cycle수/년, n: 연수

(3) 연간 운전유지비

이 항목은 세금 공제가능 항목이다. 일반적으로 운전유지비는 예측할 수 없는 비용으로 고려된다.

(4) 전력손실비용

이 항목은 전지, 전력변환장치 및 주변기기의 비효율로 인한 비용으로 전지와 컨버터효율이 장기간 동일하게 유지된다고 볼 때 일정하다고 간주할 수 있다.

* (5) 세금상각

상각이 비용란에 수록된 이유는 소유자에 대한 이 방법론이 초기 프로젝트 건설비와 장치비용을 회수하도록 되어 있기 때문이다. 이의 방법에는 정율법과 정액법이 있으며, BESS에 대해서는 에너지 절약형 시설물에 대한 조세감면법 제26조에 따라 이를 적용한다면 세액공제와 즉시상각을 고려 할 수 있다. 본 논문에서는 이중 즉시상각제도를 적용하며 상각년수는 10년으로 한다. 단, 동일자산에 대해 세액공제와 즉시상각제도는 동시에 고려될 수 없다.

* (6) 금융지원에 따른 이자 및 원금상환

에너지이용합리화자금 대출에 따라 투자금액의 50% 융자, 5년 거치 7년 분할상환의 금융지원을 고려한다.

2.3.3 과제

이 항목은 총절약효과에서 총비용을 빼줌으로서 결정된다.

(1) 소득세

소득세는 입력데이터에서와 같이 국내에서의 세법을 그대로 적용하였다.

(2) 세액공제

이 방법은 전력변환장치, 전지, 주변기기 일부에 대한 초기 투자비의 세금경감이 주어진다. 하지만 세금상각에서 즉시상각을 사용할 경우에는 이의 항목은 0이 된다.

2.3.4 순수입

순수입은 과세소득에서 수입세를 뺀 다음 투자세액공제를 더함으로서 계산된다.

(1) 세금상각

세금상각은 앞에서 다룬 것으로서 출력데이터에 영향을 준다.

(2) 전지, 컨버터, 주변기기, 용지비용

첫해를 제외한 모든 해에 대해 이 값은 0이다. 단, 전지교체시기의 경우 전지의 비용은 전지잔존가치를 제외하고 다시 계산한다.

(3) 현금흐름

순 세전 현금흐름은 설치된 시스템에 의한 연간 순 소득흐름으로 표현한다. 이값은 총 절약효과에서 전력량요금증가, 연간 운전유지비, 전력손실비용, 전지비용, 전력 변환장치, 주변기기비용, 용지비용을 빼줌으로서 결정된다. 순세전 현금흐름은 식(5)과 같다.

$$CF_B = T_S - (I_E + CA_{OM} + C_{LOS} + \Omega_{BAT} + \Omega_{PCS} + \Omega_{BOP} + \Omega_{SIT} + \Omega_{LOAN}) \quad (5)$$

여기서, CF_B : 순 세전 현금흐름[\$], T_S : 총 절약효과 [\$], CA_{OM} : 연간 운전유지비 [\$/year], C_{LOS} : 전력손실비용 [\$/year], Ω_{BAT} : 전지비용 [\$], Ω_{PCS} : 전력변환장치비용 [\$/kW], Ω_{BOP} : 주변기기비용 [\$/kWh], Ω_{SIT} : 용지비용 [\$], Ω_{LOAN} : 융자액

(4) 납세후 순 현금흐름

납세후 순 현금흐름은 식(6)을 사용하여 산출할 수 있다.

$$CF_A = I_N + T_D + C_U - (\Omega_{BAT} + \Omega_{PCS} + \Omega_{BOP} + \Omega_{SIT} + \Omega_{LOAN}) \quad (6)$$

여기서, CF_A : 납세후 순 현금흐름 [\$], I_N : 순수입 [\$], T_D : 세금상각 [\$], C_U : UPS 대체비용, Ω_{LOAN} : 융자액

(5) 납세후 누적현금흐름

이 현금흐름값은 전체 "납세후 순 현금흐름"에 대해 계산될 것이다. 예로, 첫해의 납세후 누적현금흐름은 첫해의 납세후 순 현금흐름과 같다. 2년째에는 2년째 납세후 순현금흐름에 1년째 납세후 누적현금흐름을 더한 값과 같다. 이러한 방법을 반복하여 다음해의 값을 구한다.

(6) 순 현재가치, 회수기간

순 현재가치는 미래의 값을 현재의 값으로 환산함으로써 계산된다. 사용된 할인값(이자율)은 표 1에 수록한 경제환경 입력데이터(전지시스템비용, 물가상승율, 세금데이터)에 의해 제공된다. 투자 회수기간은 투자한 자기자본을 회수하는 기간으로서 순현재가치가 양의 값을 가질 때까지의 기간을 의미한다.

2.4 경제성평가의 결과 분석

표4는 1MW/4MWh BESS의 경제성 평가의 결과이며, 이의 항목 중 *, **표시는 본 논문에서 수정, 보완한 항목이다. 이의 결과를 분석해보면 UPS 대체비용과 신뢰도 증진비용을 추가하여도 투자회수기간이 9년이 된다는 것을 알 수 있다. 결국, BESS의 전지수명은 년 200 사이클 운전시 10년이 예상되므로 경제성을 기대하기는 곤란하다. 반면, 에너지 절약시설물에 대한 융자를 BESS에 적용하여 총 시스템 투자비의 50%융자, 5년 거치 7년 분할 상환, 연이자 5%로한 투자회수기간은 3년 정도로 상당히 경제성이 있다고 판단된다.

2.5 초기 시설투자비에 대한 분석

본 절에서는 BESS의 시스템가격과 투자회수기간과의 관계를 살펴보고자 한다. 일반적으로 제품원가는 반복작업에 의해 감소한다. 이러한 현상을 학습현상이라 한다. 하지만 국내에서는 BESS의 국내생산 실적이 전무한 형편이고, 이의 가격 변화를 추정하는 것은 상당히 어렵다. 본 논문에서는 이러한 학습현상에 따른 BESS의 시스템 가격의 변화를 정량적으로 가정하고, 이에 따른 경제성 평가로서 투자회수기간은 표5에 나타내었다. 이의 결과에서 볼 때, BESS의 경제성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 초기 시설투자비를 알 수 있다.

표4. 경제분석 결과의 출력의 예

연 도	1998	1999	2000	2001
절약				
수용요금상각	52.0	54.3	56.8	59.3
전지잔존가치	0.0	0.0	0.0	0.0
*신뢰도 비용	48.2	50.4	52.6	55.0
*UPS 대체 비용	208.3	0.0	0.0	0.0
총 절약	308.5	104.7	109.4	114.3
비용				
기술 용역비	250.0	0.0	0.0	0.0
전력량 요금 증가	-57.3	-59.9	-62.6	-65.4
연간 운전유지비	3.2	3.3	3.5	3.7
전력손실비용	25.3	26.5	27.6	28.9
**융자 이자	33.7	33.7	33.7	33.7
**융자 상환금	0.0	0.0	0.0	0.0
**세금상각(즉시상각)	745.2	124.2	124.2	124.2
총 비용	1000.1	127.8	126.5	125
과세기준	-691.6	-23.1	-17.0	-10.7
소득세	-242.1	-8.1	-6.0	-3.7
투자세액공제	0.0	0.0	0.0	0.0
순수입	-449.5	-15.0	-11.1	-7.0
시스템 비용				
세금상각	745.2	124.2	124.2	124.2
전지비용	750	0.0	0.0	0.0
컨버터 비용	312.5	0.0	0.0	0.0
주변기기 비용	187.5	0.0	0.0	0.0
용지비용	100	0.0	0.0	0.0
**융자액	-675	0.0	0.0	0.0
현금 흐름	-338	135	141	147
납세후 순 현금흐름	-171	109	113	117
납세후 누적 현금흐름	-171	-62	51	169
순 현재가치(할인율:8%)	-158	-65	25	111
순 현재가치(할인율:12.5%)	-152	-66	14	87
*회수기간 (8%)		9년		
**회수기간 (8%)			3년	

표5. BESS설비 가격에 대한 투자회수기간

BESS가격(현가격에 대한비율)	90%	80%	70%	60%
*회수기간(8%)	8년	7년	6년	5년
**회수기간(8%)	3년	2년	1년	1년이하

3. 결 론

본 논문에서는 수용가의 입장에서 BESS의 경제성 평가를 수행하였다. 경제성 평가를 위한 모델로는 기존의 SYSPLAN 모델을 국내 실정에 맞는 요금제도 및 적용가능한 관련제도 (즉시상각, 금융지원책), 용지비용, UPS 대체비용, 신뢰도 향상 비용을 도입하여 수정, 보완 하였다. 경제성 평가의 결과를 보면, BESS 전지수명은 년 200 사이클 운전시 10년이 예상되므로 경제성을 기대하기는 곤란하다. 또한 BESS의 경제성에 미치는 요소 중 가장 큰 영향을 미치는 항목은 초기 투자비임을 알 수 있었다. 따라서, 국가적으로 BESS의 보급 초기에는 총 시설투자비의 50%이상의 융자를 지원하는 금융정책을 지속적으로 펼쳐나가야 할 것이며, 동시에 시스템 공급업자에 대한 지속적인 기술개발지원이 이루어져야 하겠다. 부가적으로 BESS는 전력회사측의 발전소 및 송배전설비의 투자지연효과를 가지므로 이를 정량적으로 고려하여 요금제도에 반영하는 연구가 필요하다.

본 연구는 1997년 이화전기의 지원 연구비에 의하여 연구되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] D.W.Sobieski, et al., "An Economic Assessment of Battery Storage in Electric Utility Systems", *IEEE Trans. PWRs*, Vol. PAS-104, No.12, pp.3453-3459, Dec. 1985
- [2] R.C.Reckrodt, et al., "Economic models for Battery Storage:Improvement for Existing Methods", *IEEE Trans. EC*, Vol.5, No.4, pp. 659-665, Dec. 1990
- [3] 김용상 외, "전지전력저장시스템의 경제성 평가를 위한 분석 모델의 연구", 한국조명전기설비학회지, 10권 5호, pp.75-82, 1996년 10월