

이차전지를 이용한 전기저장장치(BESS)의 경제성 평가 알고리즘

송석환¹, 김병기¹, 오승택¹, 이계호¹, 노대석^{*}
¹한국기술교육대학교 전기전자통신공학부

Economic Evaluation Algorithm of Energy Storage System using the Secondary Battery

Seok-Hwan Song¹, Byung-Ki Kim¹, Seung-Teak Oh¹, Kye-Ho Lee¹
and Daeseok Rho^{*}

¹Korea University of Technology and Education, Electrical Engineering

요약 최근 전기 사용량이 증가하면서 전력수요와 공급능력의 불균형으로 인하여 전력예비율은 점차 감소되고 있으며, 전력 공급의 신뢰성도 떨어지고 있다. 이러한 배경 하에 전기저장장치(Battery Energy Storage System)는 수요관리의 유력한 수단 가운데 하나로써 중요성이 점차 부각되고 있다. 하지만, 이차전지를 이용한 전기저장장치는 아직 고가이므로 전력계통에 도입하여 운용하기 위해서는 경제성 평가가 필수적이다. 따라서, 본 논문에서는 전력회사용 BESS의 경제성평가를 위하여 BESS를 고려한 전원베스트믹스와 측사근사법을 이용하여, BESS의 도입 전 연간 운용비용과 BESS의 도입 후 연간 운용비용을 비교하여 최적의 BESS 도입용량과 도입비용을 산정하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 수용가용 BESS의 경제성평가에서는 피크셰이빙 및 부하평준화 기능을 통하여 수용가의 기본전기요금과 사용량전기요금을 감소시켜 최대한의 메리트를 추구하는 경제성평가 알고리즘을 제시하였다. 제안한 알고리즘을 이용하여, 모델 전력계통과 수용가(교육기관)를 대상으로 BESS의 경제성을 분석하여, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

Abstract Recently, with the increase in electrical consumption and the unbalanced power demand and supply, the power reserve rate is becoming smaller and the reliability of the power supply is deteriorating. Under this circumstance, a Battery Energy Storage System (BESS) is considered to be an essential countermeasure for demand side management. On the other hand, an economic evaluation is a critical issue for the introduction of a power system because the cost of BESS is quite high. Therefore, this paper presents economic evaluation method for utility use by considering the best mix method and successive approximation method, and an economic evaluation method for customer use by considering the peak shaving function based on the real time price. From a case study on a model power system and educational customer, it was confirmed that the proposed method is a practical tool for the economic analysis of BESS.

Key Words : Battery Energy Storage System(BESS), Best Mix, Economic Evaluation, Power Demand, Peak Shaving, Load Levelling, Successive Approximation Method

1. 서론

최근 전기 사용량이 증가하면서 전력수요와 공급능력의 불균형으로 인하여 전력예비율은 점차 감소되고 있으며, 전력 공급의 신뢰성도 떨어지고 있다. 또한, 2011년 9

월 15일 4시간 동안 전국적으로 순환 정전이 발생하여, 600억원이 넘는 피해액이 발생하였다. 이러한 배경 하에 이차전지를 이용한 전기저장장치(Battery Energy Storage System : BESS)는 수요관리의 유력한 수단 가운데 하나로써 중요성이 점차 부각되고 있다[1]. 또한, 전

^{*}Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)
Tel: +82-10-2306-2213 email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received February 4, 2014

Revised (1st April 10, 2014, 2nd May 7, 2014)

Accepted June 12, 2014

기저장장치(Battery Energy Storage System)는 가정용(소규모)에서 교육용(중규모) 및 산업용, 대규모 전력회사용까지 수 kW에서 수 MW의 규모로 경부하시 전력을 저장하고 증부하시 방전하여, 전력회사 측면에서는 계통의 전력 공급능력을 일정하게 유지 할 수 있으며, 수용가 측면에서는 시간대별 요금제 도입시 전기요금의 절약이 가능하다[2]. 하지만 현재 BESS의 사용목적에 따라 경제성 및 도입효과, 계통에 미치는 영향에 대한 구체적인 분석이 없어 효과적인 도입응용이 어려운 실정이다[3]. 따라서 본 논문에서는 BESS가 계통에 도입될 경우, 이에 대한 운용효과를 분석하기 위하여, 전력회사측면과 수용가측면에서 BESS의 도입에 따른 경제성 평가를 수행하였다. 먼저 전력회사용 BESS의 경제성평가를 위하여 BESS를 고려한 전원베스트믹스와 축차근사법을 도입하여, BESS 도입 전의 연간 운용비용과 BESS 도입 후의 연간 운용비용을 구하여 최적의 BESS 도입용량과 도입비용을 산정하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 수용가측면에서는 BESS의 도입에 의하여 자체 부하의 수요관리를 통하여 시간대별 차등 요금제(Time of Use)에 의한 전기요금 메리트 평가 알고리즘을 제시하였다.

2. 전력회사용 BESS의 경제성평가 알고리즘

2.1 목적함수의 정식화

전력계통에 BESS가 분산 배치되어 운용될 경우, 부하곡선을 효율적으로 평준화시키는 부하평준화 기능에 의하여, 계통 전체의 운용비용을 삭감시키는 효과를 기대할 수 있다[4]. 즉, 심야 시간대에 운용되는 연료비가 싼 발전기(원자력, 석탄 등)의 전력을 BESS에 저장시킨 후, 주간의 피크부하 시간대에 방전하여 비싼 발전기(LNG, 석유 등)의 가동(운용)을 줄여서 계통전체의 운용비용을 낮출 수 있다[6]. 따라서 전력계통에 BESS를 도입하여 운용하는 경우, 목표 연도의 총 비용 F_n 을 최소화시키기 위한 목적함수는 다음 식과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{Min}F_n(x, v) = \sum_{i=1}^n [a_i x_i + b_i Q_i(X_{i-1}, X_{i-1} + x_i, v_{ik}) + a_s x_s] \quad (1)$$

$$\text{Subj. to } \sum_{i=1}^n x_i + x_s \geq P_D + P_R \quad (2)$$

$$x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax}, i = 1, \dots, n$$

$$v_{imin} \leq v_{ik} \leq v_{imax}, i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$Q_i(X_{i-1}, X_{i-1} + x_i, v_{ik}) = \sum_{k=1}^K [z_k \int_{X_{i-1}}^{X_{i-1} + x_i} L_k(u, v_{ik}) du], i = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$X_i = \sum_{k=1}^i x_k, i = 1, \dots, n, X_0 = 0$$

여기서, F_n : 목표 연도의 총 비용 [원]

n : 발전기의 수

a_i : 신설발전기 i 의 고정비 [원/kW]

b_i : 전체발전기 i 의 운용비 [원/kWh]

x_i : 신설발전기 i 의 용량 [kW]

x_s : BESS의 도입량 [kW]

a_s : BESS의 고정비 [원/kW]

v_{ik} : 부하곡선 i 의 k 시간대에서 발전량 [kWh]

Q_i : 발전기 종류 i 에 대한 연간 발전량[kWh]

X_i : 발전기 종류 i 에 대한 누적용량 [kW]

$L_k(u)$: 지속곡선 k 에서 부하레벨 u 를 초과하거나 동일한 수요 시간대

z_k : $L_k(u)$ 를 제공하는 날짜 수 [일]

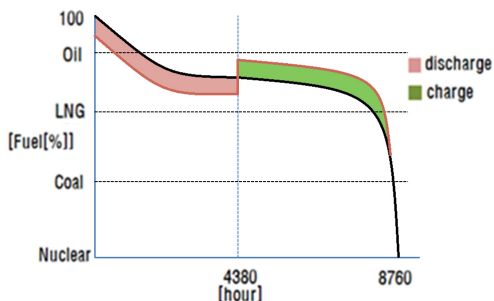
P_D, P_R : 피크부하와 예비력 [kW]

K : 부하지속곡선의 패턴 수

T : 부하지속곡선에 대한 시간대 수

식 (1)에서 $a_i x_i$ 는 신설발전기의 고정비, 즉 건설비용을 나타내고, $b_i Q_i(X_{i-1}, X_{i-1} + x_i, v_{ik})$ 는 BESS 도입 후 전체 발전기(원자력, 석탄, 석유, LNG)의 연간 운용비용을 나타낸 것이다. 또한 $a_s x_s$ 는 BESS의 도입량에 대한 고정비를 의미한다[7]. 그리고 식 (2)~(4)는 식 (1)의 목적함수를 최소화하기 위한 제약조건식을 나타낸 것이다. 여기서 식 (2)는 전체 발전기의 용량과 BESS 도입량의 합이 계통 전체의 피크부하와 예비력의 합보다 커야한다는 전력수급조건식을 나타낸 것이다. 또한, 식 (3)은 각 발전기별 운전범위(최소출력, 최대출력)이고, 식 (4)의 $Q_i(X_{i-1}, X_{i-1} + x_i, v_{ik})$ 는 Fig. 1과 같이 BESS의 연간 운용을 고려한 각 발전기의 수정된 부하지속곡선을 나타낸 것이다. 여기서, 피크부하 시간대에는 방전하고, 경부하 시간대에 충전하는 BESS의 충·방전 특성을 고려하여, 비싼 발전기(석유, LNG)의 가동을 줄이고, 비교적 저

렴한 발전기(석탄, 원자력)의 가동율을 증가시키는 개념도를 나타낸 것이다.



[Fig. 1] Modified Load Duration Curve with BESS

2.2 최적화 평가 알고리즘

식 (1)의 목적함수를 최소화하는 조건에서 BESS의 경제적인 도입량과 고정비를 구하기 위하여, 본 논문에서는 상기의 두 개의 파라미터를 축차적으로 고정시켜 최적 값을 구하는 축차근사법(Successive approximation method)을 제안하였다. 먼저 BESS가 도입되기 전의 전력계통 전체의 연간 운용비용 F_0 를 계산하여 초기치로 가정하고, 주어진 고정비(K)에 대하여, BESS 도입량 (ΔX_s)을 일정하게 변화시키면서 연간 운용비용 F_n 을 계산한다. 이 과정에서, F_n (일정량의 BESS 도입에 의한 연간 총비용)이 F_0 (BESS가 도입되기 전의 연간 총비용)보다 작은 경우에는 BESS 도입에 의하여 경제성이 있음을 의미하기 때문에 BESS의 도입량을 순차적으로 증가

시켜 나간다. 하지만 $F_0 < F_n$ 의 조건이 되면, BESS의 도입에 의한 경제성이 없어지므로, 주어진 고정비에 대한 BESS의 도입량 계산을 종료하고 다음 단계로 진행한다. 이번에는 고정비를 일정량 증가시켜(ΔK) 상기의 과정을 반복하여, BESS의 운용에 따른 경제적인 BESS의 고정비와 도입용량을 산정하도록 한다.

2.3 전원베스트믹스의 산정 알고리즘

BESS가 도입된 경우에 계통 전체의 경제적인 전원분담을 결정하는 전원 베스트믹스는 기존의 Kuhn-Tucker 정리에 의한 부하분담 분기점 개념을 활용하여 구할 수 있다[7]. 즉, i 번째와 $i+1$ 번째의 전원이 신설전원인 경우, 각각의 부하분담분기점은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

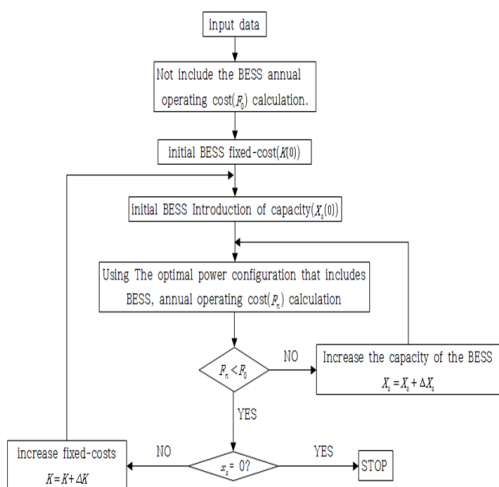
$$\tau_{i+1} = \frac{a_{i+1} - a_i}{b_i - b_{i+1}} \quad (5)$$

여기서, τ_{i+1} : 전원 i 가 총 비용이 최소가 되도록 운전하는 경비교점[시간]

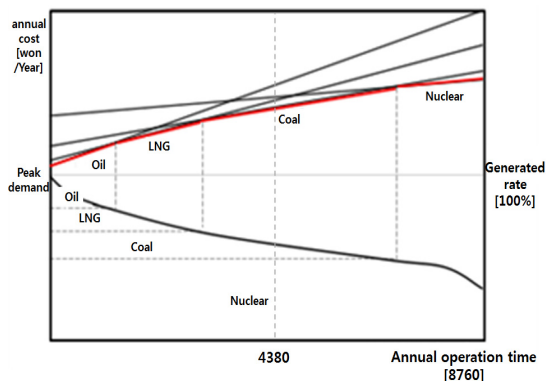
a_i : 발전기 i 의 고정비 [원/kw]

b_i : 발전기 i 의 변동비 [원/kWh]

식 (5)에서 구한 경비교점을 이용하여, Fig. 3과 같이 부하지속곡선에 투영하여, 각 발전기의 부하분담분기점을 구하는 스크리닝법을 이용하여, 각 전원의 연간 최적 발전용량을 구할 수 있다[8,9]. 예를 들어 Fig. 3의 오른쪽 상단 부분과 같이 발전비용이 가장 싼 원자력과 석탄의 경비교점을 투영하면 원자력과 석탄의 부하분담 비율이 결정되는 원리이다.



[Fig. 2] Economic evaluation algorithm of BESS



[Fig. 3] Decision of Optimal Best-mix using the Screening Method

3. 수용가용 BESS의 경제성평가 알고리즘

수용가 측면에서 BESS의 도입목적은 피크셰이빙이나 부하평준화 기능에 의하여 자체 부하의 수요관리를 함으로서, 시간대별 차등 요금제(Time of Use)에 의한 전기요금을 삭감시키는 것이다. 즉, 수용가는 전기요금의 저렴한 심야시간대에 BESS에 전기를 충전하고, 전기요금의 비싼 피크시간대에 방전하여, 사용량 전기요금과 기본전기요금을 줄이는 것이 최대 목적이다. 따라서 BESS의 운용에 의한 수용가의 연간 메리트를 정식화하면, 식 (6)과 같이 정의할 수 있다.

$$G = \sum_{k=1}^n ((X(P_P) - X(P_P - P_B)) \times R_{(B,k)} + \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m (e_d \times W_{(D,i)} R_{(D,k)} - \frac{W_{(C,i)} R_{(C,k)}}{e_c}) \quad (6)$$

여기서, G : BESS의 운용에 의한 연간 이익금[원]

P_P : 연간 피크부하[kW]

P_B : BESS의 도입량[kW]

$X(P_P)$: BESS 도입 전 연간 피크부하[kW]

$X(P_P - P_B)$: BESS 도입 후 연간 피크부하 [kW]

$R_{(B,k)}$: 기본 전기요금[원/kW/월]

n : 개월 수(월)

m : 일 수(일)

e_c : BESS의 충전효율[%]

e_d : BESS의 방전효율[%]

$W_{(C,i)}$: 일 단위 BESS 충전량[kWh]

$W_{(D,i)}$: 일 단위 BESS 방전량[kWh]

$R_{(C,k)}$: BESS의 충전시 시간대별 전기요금[원/kWh]

$R_{(D,k)}$: BESS의 방전시 시간대별 전기요금[원/kWh]

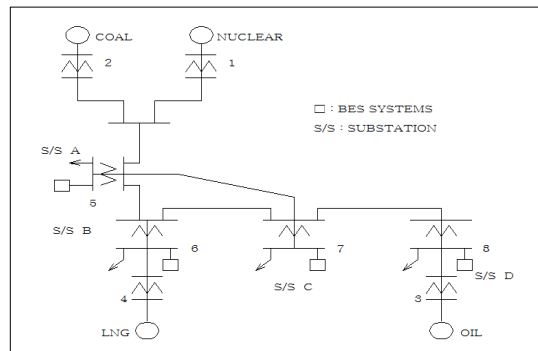
상기의 식은 BESS의 도입량(P_B)에 따른 연간 이익금을 나타낸 목적함수로서, 첫 번째항은 기본요금에 의한 이익금이고, 두 번째항은 전기사용량 요금에 의한 이익금을 나타낸다. 첫 번째항에서 $X(P_P - P_B)$ 는 P_B 만큼의 BESS가 도입될 경우 삭감된 피크부하를 의미하고, $R_{(B,k)}$ 는 k월의 kW당 기본 전기요금을 의미한다. 또한 두 번째항의 $e_d \times W_{(D,i)} R_{(D,k)}$ 는 방전효율을 고려한 방전시의 이익금이고, $W_{(C,i)} R_{(C,k)} / e_c$ 는 충전효율을 고려한 충전시의 이익금을 의미한다.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

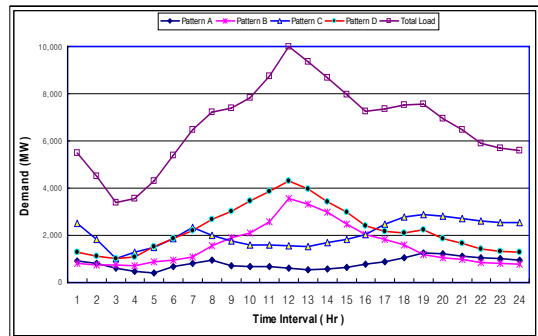
4.1 전력회사용 BESS의 경제성평가

4.1.1 모델계통

BESS의 부하평준화에 의한 효과를 분석하기 위하여, Fig. 4와 같은 모델 전력계통을 상정하였다. 여기서 계통 전체의 피크전력은 10,000MW이고, 4개의 전원모선과 4개의 부하모선으로 구성되며, 모선별 연간 부하곡선의 특성은 Fig. 5와 같다[5]. 또한 전원별 특성데이터는 Table 1과 같다.



[Fig. 4] Configuration of the Power System



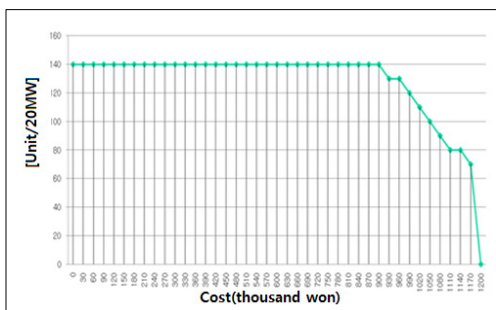
[Fig. 5] Yearly Load Curve of Power System

[Table 1] kWh Cost of each Power Plant(2012)

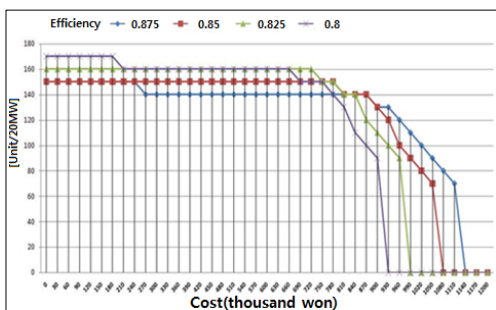
Division	Amount imports (MWh)	Purchasing amount (Million won)	Unit cost (won/kWh)	
Generation type	Nuclear	141,894,262	5,632,906	39.70
	coal	183,359,474	11,162,644	60.88
	LNG	5,686,970	837,171	147.21
	Oil	11,854,068	2,188,895	184.65

4.1.2 BESS의 경제성 분석

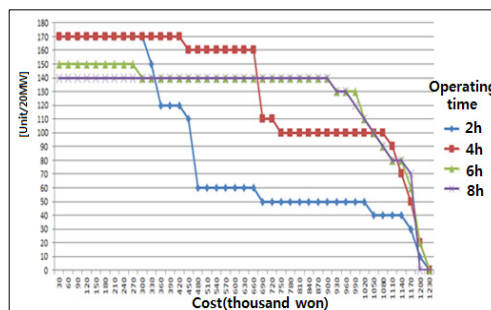
여기에서는 Fig. 2의 알고리즘을 이용하여 일정량의 고정비($\Delta K=10$ 천원)와 도입용량($\Delta X_s=20$ MW)을 증가시키면서 경제성이 있는 BESS의 고정비와 도입용량을 산정하였다. Fig. 6과 같이, 1kW당 고정비가 90만원 이상이 되면, 도입가능용량이 줄어들게 되고, 결국 120만원이 되면 도입가능용량이 0이 되어 BESS의 이익분기점(break even point)이 된다. 즉, 이 비용을 초과하면 BESS는 경제성이 없게 되므로 도입용량은 0이 되는 것이다. 또한, Fig. 6에서 BESS의 도입용량 한계치는 2,800MW로, 이는 계통 피크부하의 28% 정도로 그 이상의 BESS가 도입되면 고정비에 관계없이 총, 방전 자원이 없기 때문에 부하곡선의 평준화에 의한 이익이 제한됨을 알 수 있다. 한편, Fig. 7은 BESS의 효율(87.5%, 85%, 82.5%, 80%)을 파라메타로 하여 시뮬레이션을 수행한 결과로서, 효율이 떨어질수록 이익분기점이 줄어들어 경제성이 낮아짐을 알 수 있다. 또한 Fig. 8은 BESS의 효율이 89.5%일 때, BESS의 kWh용량(2시간, 4시간, 6시간, 8시간)을 파라메타로 하여 경제성을 분석한 결과로, BESS의 kWh용량이 작을수록 이익 분기점이 증가하여 경제성에 유리함을 알 수 있다.



[Fig. 6] Economic Evaluation Result of Utility BESS



[Fig. 7] Economic Evaluation based on the Efficiency



[Fig. 8] Economic Evaluation of BESS's kWh Capacity

4.2 수용가(교육용)에 대한 경제성평가

4.2.1 경제성평가 조건

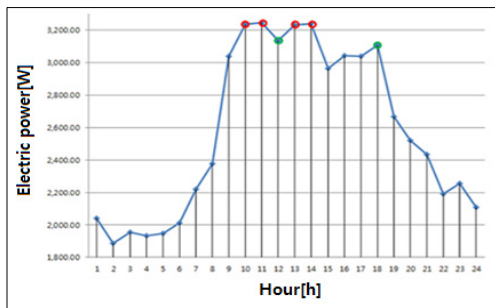
수용가에 대한 BESS의 도입효과를 분석하기 위하여, H대학교에 대하여 경제성평가를 실시하였다. 단, BESS의 운용은 최대한의 메리트를 확보하기 위하여, 전기요금이 가장 저렴한 경부하시간대에 충전하여, 전기요금이 가장 비싼 피크부하시간대에 방전하도록 하며, 만약 BESS의 도입용량이 피크부하시간대를 초과하는 경우에는 중간부하시간대에도 방전하도록 한다[6,7]. 여기서, BESS의 kW도입용량은 수용관리용을 기준하여, 부하곡선상에서 연평균부하의 10%정도를 적정도입용량으로 가정하였고[3], kWh도입용량에 따른 연간이익금을 분석하기 위하여, kWh용량은 2시간용, 4시간용, 8시간용으로 가정하였다. 또한, BESS의 전체 시스템 효율은 전력변환장치(Power Conditioning System: PCS)의 총 방전효율과 리튬이온전지자체의 저장효율을 고려하여, 90%로 가정하였다.

4.2.2 경제성평가 분석

(1) 수용가측면에서의 메리트

여기서는, H대학교를 대상으로 연 평균부하의 10%정도인 200kW급(2시간, 4시간, 8시간)의 BESS가 도입되어 운용되는 경우에, 연간 kWh당 메리트를 분석하였다. Fig. 9는 H대학교의 년 부하곡선을 나타낸 것으로, 피크 부하는 3,246kW이고, 첨도는 4시간이다. 여기서 첨도는 BESS의 도입용량에 의하여 삭감된 피크부하(3,046kW)의 값보다 큰 부하시간대를 의미한다. Table 2는 도입용량(2시간, 4시간, 8시간)에 따른 연간 이익금을 분석한 결과로서, 2시간용 BESS를 설치할 경우에는, 4시간의 첨도를 가진 모든 부하시간대를 삭감할 수 없으므로 기본요금을 효과적으로 줄일 수 없기 때문에 kWh당 연간 이익

금을 충분히 확보하지 못한다. 하지만, 4시간용 BESS를 설치할 경우에는 첨도를 모두 삭감할 수 있으므로 기본 전기요금과 사용량 전기요금을 가장 효과적으로 삭감시킬 수 있게 된다. 따라서 4시간용 BESS의 수용가 메리트는 kWh당 약 36,000원으로 2시간용보다 높음을 알 수 있다. 한편, 8시간용 BESS의 경우에는 첨도를 훨씬 초과하여 피크부하시간대가 아닌 중간부하시간대까지도 방전해야하기 때문에, 피크절감에 의한 BESS의 kWh당 이익금은 오히려 줄어들게 됨을 알 수 있었다.



[Fig. 9] Annual Peak Load Curve of H University

[Table 2] Annual Merit of Per kWh at Customer Side
[unit: thousand won]

Date (Year/Month)	kWh Capacity Without BESS	kWh Capacity With 2h BESS	kWh Capacity with 4h BESS	kWh Capacity with 8h BESS
2012.01	146,634	145,856	144,015	142,168
2012.02	135,458	134,756	132,991	131,251
2012.03	103,769	103,304	101,983	101,043
2012.04	83,832	83,394	82,082	81,149
2012.05	80,298	79,856	78,535	77,595
2012.06	91,638	91,185	89,873	88,941
2012.07	130,126	126,372	124,172	122,260
2012.08	129,278	129,021	126,758	124,794
2012.09	89,947	88,777	87,449	86,512
2012.10	89,500	88,320	87,982	87,006
2012.11	89,500	88,320	87,982	87,006
2012.12	146,634	145,856	144,015	142,168
total	1,316,619	1,305,024	1,287,845	1,271,897
Annual merit	-	11,595	28,774	44,722
Annual merit per kWh(won)	-	28.9	35.9	27.9

(2) 전력회사측면에서의 메리트

H대학교에 BESS(200kW)가 도입되어 운용되는 경우,

전력회사측면에서도 메리트가 발생하는데 이를 구하면 Table 3과 같다. 여기에서는 BESS의 충전 시에는 연료비가 저렴한 유연탄 발전기를 사용하고, 방전 시에는 연료비가 비싼 유류 발전기를 사용하는 것으로 가정하였다. 왜냐하면 가장 운용비가 저렴한 원자력발전소와 운용비가 고가인 LNG발전기를 사용하면 운용 메리트가 더욱 크게 되지만, 현재 원자력과 LNG발전기들은 기저부하와 첨두부하 공급용으로 풀 정격으로 사용되고 있어서, 여유가 없는 상황을 고려한 것이다. 따라서 상기의 유연탄 발전기와 유류발전기를 BESS의 충, 방전에 사용하여 기대되는 전력회사의 연간 이익금을 구하면, BESS의 kWh당 운용메리트는 Table 3과 같이 kWh당 35,970원 산정된다. 이와 같이 전력회사의 메리트는 수용가의 BESS 설치에 의한 이익금이므로 수용가에게 환원시켜 줄 수 있는 금액이다.

(3) 종합 경제성 평가

대상부하 모델인 H대학교에 BESS를 도입하여 (200kW, 4시간) 운용할 경우, 수용가측면에서 기대되는 연간 이익금은 Table 2와 같이 35,900원으로, 리튬이온전지의 수명(20년)을 고려하면, 약 719,000원이 산정된다. 여기서, 2013년 정부의 BESS 보급사업(150만원/kWh)을 기준으로 평가하면, 리튬이온전지에 의한 BESS는 거의 경제성이 없음을 알 수 있다. 하지만, 국가적인 차원에서 BESS 도입으로 인한 전력회사의 메리트를 수용가에게 보조금으로 지원한다고 가정하여 BESS의 전체 이익금을 구하면, Table 4와 같이 kWh당 연간 약 72,000원 정도의 메리트가 발생함을 알 수 있다. 따라서, 리튬이온전지의 수명을 고려하여 전체 메리트를 구하면 약 144만원 정도가 산정되는데, 현재의 보급가격에 비추어 보아도 어

[Table 3] Annual Merit of per kWh in Utility Side

items	2h BESS	4h BESS	8h BESS
Annual charge amount	162222 kWh	twice of 2h	4 times of 2h
Annual discharge amount	131400 kWh	twice of 2h	4 times of 2h
Annual charging cost	9,876,010 won	twice of 2h	4 times of 2h
Annual discharging cost	24,263,010 won	twice of 2h	4 times of 2h
Total annual merit	14,387,000 won	twice of 2h	4 times of 2h
Annual merit per kWh	35970 won	35970 won	35970 won

느 정도 경제성이 있음을 알 수 있다. 한편, 2012년 1월부터 시행되고 있는 일본의 지원제도(초기비용 1/3 지원)를 기준으로 평가하면, 교육기관에 도입되는 BESS는 충분히 경쟁력이 있음을 확인하였다.

수명을 고려하면 kWh당 약 144만원 정도의 메리트가 발생하여, 약간의 지원제도만 마련되면 어느 정도 경제성이 있음을 확인하였다.

[Table 4] Total Merit of BESS per kWh

Each side	H University merit(won)
Annual merit per kWh at customer side	35,968
Annual merit per kWh in Utility side	35,967
Total	71,935

5. 결론

본 논문에서는 2차전지를 이용한 전기저장장치가 전력회사와 수용가 측에 도입되는 경우를 상정하여, 전력회사측면에서는 부하를 효율적으로 평균화시켜 발전 비용을 감소시키고, 수용가측면에서는 피크 세이빙을 통해 기본전기요금과 사용량 전기요금을 감소시키는 경제성 평가 알고리즘을 제안하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 논문에서는 전력회사용 BESS의 경제성평가를 위하여 BESS를 고려한 전원베스트믹스와 축차근 사법을 도입하여, BESS 도입 전의 연간 운용비용과 BESS 도입 후의 연간 운용비용을 비교하여, 최적의 BESS 도입용량과 도입비용을 산정하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 수용가측면에서는 BESS의 도입에 의하여 자체 부하의 수요관리를 통하여, 시간대별 차등 요금제(Time of Use)에 의한 전기요금 메리트의 평가 알고리즘을 제시하였다.
- (2) 전력회사측면에서 기대되는 메리트는 kWh당 약 120만원이 산정되는데, 현재의 BESS 보급사업 비용(kWh당 150만원)을 기준으로 평가하면 경제성이 떨어지지만, 향후 리튬이온전지의 가격이 하락한다고 보면 충분히 경쟁력이 있음을 확인하였다.
- (3) 수용가측면에서 BESS를 운용하여 기대되는 메리트는 kWh당 연간 약 36,000원이고 동시에, 전력회사측면에서 기대되는 메리트는 kWh당 연간 약 35,900원이 산정되었다. 따라서, 리튬이온전지의

References

- [1] IEC, "Electrical Energy Storage", IEC MSB(Market Strategy Board), 2010.10
- [2] KSGA, " Report of technical trend for ESS in Smartgrid", 2012. 09, Available From: http://www.ksmartgrid.org/sub3/pds_list.asp ,(accessed april., 10, 2014)
- [3] IEC, "Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage," IEC, 2012, Available From: <http://www.iec.ch/whitepaper/gridintegration/?ref>, (accessed april., 10, 2014)
- [4] EPRI, "Integrating Smart Distributed Energy Resources with Distribution Management Systems", An EPRI Overview on Managing Distributed Energy Resources, Product No. 1024360, 2012.09, Available From: <http://www.epri.com/Our-Work/Pages/Renewables.aspx>, (accessed april., 10, 2014)
- [5] EPRI, "Integrating Smart Distributed Energy Resources with Distribution Management Systems," EPRI, September 2012, Available From: <http://www.iec.ch/whitepaper/gridintegration/?ref>, (accessed april., 10, 2014)
- [6] D. Rho, H. Kim and K. Jung "Determination of the Installation Site and Optimal Capacity of the Battery Energy Storage System for Load Leveling", 95 IEEE PES Summer Meeting, Paper # 95 SM 611-4 EC, 1995.08
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/60.486591>
- [7] Wood Allen J, Wollenberg Bruce F. "Power Generation, Operation, and Control" 1976
- [8] D. Rho and Y. Oh, "Economic Evaluations of Secondary Battery Energy Storage Systems in Power Distribution Systems", Trans KIEE. Vol.49A No.4, 2000.4
- [9] D. Rho, H. Kim and K. Jung "Determination of the Installation Site and Optimal Capacity of the Battery Energy Storage System for Load Leveling", 95 IEEE PES Summer Meeting, Paper # 95 SM 611-4 EC, 1995.08
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/60.486591>

송 석 환(Seok-Hwan Song)

[정회원]



- 2000년 2월 : 청주대학교 전자공학과 (공학사)
- 2012년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 박사과정재학중

<관심분야>

배전계통 운용, BESS, 스마트그리드, 품질해석

이 계 호(Kye-Ho Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 경희대학교 대학원 전자 계산 공학과 (공학 석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 박사과정재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

김 병 기(Byung-Ki Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 박사과정재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석

오 승 택(Seung-Teak Oh)

[준회원]



- 2013년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, BESS