

ESS 경제성 평가 기법과 사례의 소개

박 종 배, 박 용 기 / 건국대학교 전기공학과

1. 개요

전력계통내에서 ESS 는 계통 구성 및 운영 방향에 따라

다양한 분야에서 활용이 가능하다. 각 분야별 ESS 의 적용 방안을 SANDIA, 2011년 보고서¹⁾에서는 <표 1>과 같이 제시하고 있다.

표 1 계통내 분야별 ESS 적용방안 - SANDIA 2010 참조

적용 분야	ESS 적용방안
전력공급설비 측면 (Electric Supply)	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 사용이전(Time-Shift) 또는 부하평준화(Load Leveling) 발전설비 건설 지연 또는 회피(Electric Supply Capacity)
보조서비스 측면 (Ancillary Service)	<ul style="list-style-type: none"> 부하추종 (Load Following) 주파수조정 (Area Regulation) 공급예비력 (Electric Supply Reserve Capacity) 전압보상 (Voltage Support)
송전계통 운영 측면 (Grid System)	<ul style="list-style-type: none"> 송전시스템 운영보상 (Transmission Support) 송전혼잡 경감 (Transmission Congestion Relief) 송배전망 건설 지연 (Transmission and Distribution Upgrade Deferral) 변전소내 전원공급 (Substation On-Site Power)
최종소비자 측면 (End User/Utility Customer)	<ul style="list-style-type: none"> TOU 에너지비용관리 (Time-of-use Energy Cost Management) 기본요금관리 (Demand Charge Management) 전기서비스 신뢰도 향상 (Electric Service Reliability) 전력서비스 품질 향상 (Electric Service Power Quality)
신재생 통합 측면 (Renewable Integration)	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지 출력이전 (Renewables Energy Time-Shift) 신재생에너지 출력 안정화 (Renewables Capacity Firming) 풍력발전 계통 통합 (Wind Generation Grid Integration)
배전계통 운영 측면 (Distributed Energy Storage)	<ul style="list-style-type: none"> 지역별 분산 저장장치 (Locational Distribution Storage Applications) 통합 저장장치 (Non-locational Distributed Storage Applications) 사고대비 분산 저장장치 (Incidental Applications from Distributed Storages)

2. 계통운용 관점의 ESS 주요 적용 방안

ESS 는 전력계통 내 다양한 분야에서 활용이 가능하며 적용방안 선정에 따라 운영전략 및 설계방향이 수립된다. ESS 의 운영방법은 충·방전 주기(또는 빈도) 및 지속시간 등으로부터 결정한다.

결국 ESS 의 적용방안을 선정하기 위한 기준은 ESS 의 충·방전 운영주기를 분단위 이상 또는 시간 단위의 장주기 관점에서 운영을 할 것인가, 아니면 수초 단위의 단주기 관점에서 운영을 할 것인가를 결정하는 것이다. 장주기 운영은 공급측면에서의 피크저감을 위한 부하 이동 목적, 송전 측면에서의 혼잡경감, 소비자 측면에서의 요금관리 및 최소화, 신재생에너지

1) Sandia Report, "Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide A study for the DOE Energy Storage Systems Program", 2011



표 2 계통운용 관점의 ESS 주요 적용방안(Applications)

주요 적용방안 (Applications)	Energy Time Shifting	Ancillary Services
세부적용방안	피크부하 최소화 발전연료비 최소화	Frequency Regulation (GF or AGC)
충·방전 주기 특성	장주기 (시간 단위)	단주기 (수초, 수분 단위)

출력시간이동 등이 있으며, 단주기 운영은 공급측면에서의 주파수조정예비력 대체, 송·배전 계통 측면에서의 전압보상, 신재생에너지 출력 안정화 등을 포함시킬 수 있다. 이러한 통합적 ESS 설계 시 유사한 충·방전 운영특성을 가지는 적용방안의 기술요건, 설치위치, 운영전략 등을 통해 유사한 적용방안에 대한 시너지효과를 극대화 할 수 있다.

3. ESS 적용방안에 따른 편익 요소의 결정

에너지부하이동을 목적으로 ESS를 운영할 경우 <표 3> 과 같이 연료비절감편익, 설비건설지연 및 회피 편익, 환경편익, 공급지장비용감소 편익 등과 같이 대표적인 4 가지 편익을 기대할 수 있다. 주파수조정용 혹은 운영예비력 대체를 목적으로 ESS를 운영할 경우에는 A/S 정산금 편익, 발전연료비 절감편익, 환경편익 등을 기대할 수 있다. 하지만 이러한 편익은 기존의 화력발전설비가 제공하고 있는 편익을 일대일로 대응할 수는 없다. 이는 기존의 양수발전기나 수요관리(DSM) 자원이 가지는 편익을 평가할 때에도 마찬가지였으며 일정 부분의 불확실성을 가지고 있는 것이 사실이다. 이는 곧 ESS, 양수발전기, 수요관리, 스마트그리드 등과 같은 자원의 편익은 직접적으로 계산할 수 없음을 의미한다. 아마도 현재까지 광범위하게 사용되는 방법론은 과거 PURPA(Public Utilities Regulatory Policies Act 1978)에서 인준설비(QFs: Qualified Facilities)의 요금결정을 하기 위하여 제시한 회피비용(Avoided Cost) 방법론일 것이다. 이 정의는 아래와 같다.

“회피비용이란 전력회사가 인준설비(소규모 열병합이나 신재생 등)로부터 전력구입이 없었더라면 당해 전력회

표 3 ESS 에너지 사용이전 방안에 대한 편익 산정 요소

편익요소	정의
연료비절감 편익	에너지 총방전으로 인한 발전설비의 연료비 차액으로 발생하는 연료비 절감에 대한 편익
설비회피 편익	ESS의 부하차감 효과로 인한 연중 피크 감소 기여분에 대한 발전설비 및 송배전설비 회피 편익
공급지장비용 감소 편익	ESS 설치를 통한 계통 신뢰도 향상으로 인한 공급지장 비용 감소 편익
환경 편익	ESS의 총방전 효율로 인해 발생하는 손실에 따른 CO ₂ 등 환경물질 추가 발생비용, 부(의)편익으로 반영

표 4 주파수조정용 ESS에 대한 편익 산정 방안

편익요소	정의
A/S 정산금 편익	ESS 가 기존 발전기를 대체하여 주파수조정용 예비력을 공급할 경우 발생하는 A/S 정산금 편익
연료비 절감편익	가격발전계획 및 운영발전계획에서 발생하는 LNG 와 석탄화력 발전량 변화에 따른 연료비용 절감분에 대한 편익
환경편익	석탄화력 발전기와 LNG 발전기의 출력량변동에 따른 CO ₂ 발생 비용 및 열효율 변동에 따른 CO ₂ 발생 비용 변화에 따른 편익

사가 지불하여야 하는 증분비용을 말하며 이는 에너지비용, 설비비용 등을 포함한다(the incremental costs to an electric utility of electric energy or capacity or both which, but for the purchase from the qualifying facility or qualifying facilities, such utility would generate itself or purchase from another source).”

개념적으로는 명확해 보이지만 실제로 장기투자비용(발전, 송전, 변전, 배전), 운전유지비용, 에너지비용, 손실비용, 직간접 신뢰도비용, 환경비용 등과 같이 매우 복잡한 요소가 관련되기 때문에 직접적으로 회피비용을 계산할 수 없고 다양한 전제와 모형에 기반을 두어야 한다. 그럼에도 불구하고 이는 가능한 정량화할 필요성이 있으며, 이를 위하여 다양한 모델을 기반으로 With/Without 접근법이 많이 활용되기도 한다.²⁾ 여기에서는 장주기와 단주기의 대표적인 적용에 대한 편익 구성 요소를 간단하게 살펴 보기로 한다.

또한 ESS 활용에 따른 비용과 편익은 상대적인 개념을 가진다. 즉, 국가적이나 사회적 관점에서 보느냐, 전력회사의 관점에서 보느냐, 혹은 요금지불자인 소비자의 관점

2) 김중욱, 박종배 외 2인, “장기 회피발전비용 계산에 관한 연구”, 1996년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, pp. 878-882, 1996년 7월.

에서 보느냐 등에 따라 기준이 달라짐을 명심하여야 한다. 과거 수요관리의 경우, 캘리포니아 테스트가 이러한 관점을 잘 반영하였다고 볼 수 있으며 ESS의 경우도 향후 정리가 필요한 부분이기도 하다. 이후에서는 간략한 2개의 사례에 대하여 편익과 비용이 어떻게 계산되는지를 살펴보기로 한다.

4. 사례 연구

사례연구로 장주기 부하이전에 대한 운영을 통한 경제성 평가 절차를 제시하였다. 경제성 평가에 앞서 ESS의 비용, 기술 특성 데이터와 경제적 입력지표 선정이 필요하다. 본 연구에서는 2013년을 기준연도로 설정하고 ESS의 수명은 10년으로 가정하였다. 또한 기준 할인율은 제 6차 전력수급기본계획에서 적용된 6.5%를 적용하였다. ESS의 비용은 2013년 SANDIA에서 장주기 관점에서 제시한 리튬이온전지의 비용조사 결과를 참조하였다.

〈표 5〉는 본 사례연구에서 가정한 리튬이온전지의 기술적 특성이다. C-rate 을 0.5 로 가정하고 충·방전 각각의 효율을 90% 로 가정하였다. 또한 배터리 저장용량의 운영범위는 정격용량의 100% 를 모두 사용한다고 가정하였다.

표 5 ESS의 기술적 특성

배터리 유형	C-rate	충전효율	방전효율	배터리 운영범위
Li-ion	0.5	0.9	0.9	100%

리튬이온전지 ESS 투자 비용

ESS의 기술별 비용자료를 정리한 SANDIA 2013 보고서³⁾에서는 리튬이온전지를 이용한 ESS 투자비용을 장주기와 단주기로 구분하고 있으며 2013년 현재 총 8개의 공급업체에 대한 조사에서 환율 1,100원/\$ 를 적용하였을 경우, 정격전력(rated power)에 대한 PCS 및 계통연계 비용 단가는 평균 713,625 [원/kW]이며, 정격용량(rated energy 또는 rated capability)에 대한 배터리시스템 투자에 대한 비용단가는 평균 1,175,488 [원/kWh]으로 산정된다.

연간 유지보수비용은 설비투자비의 5%로 고정유지비

표 6 장주기용 ESS 투자비용 단가 - SANDIA 2013 보고서 참고

조사대상	조사연도	PCS 및 계통연계 비용 단가 [원/kW]	Battery System 비용 단가 [원/kWh]
S6	2010	828,300	930,600
S6	2010	541,200	930,600
S25	2010	573,100	1,739,100
S22	2010	782,100	1,686,300
S22	2010	777,700	1,171,500
S1	2011	565,400	961,400
S7	2011	892,100	992,200
S7	2011	749,100	992,200
평균		713,625	1,175,488

※ 적용환율: 1,100원/\$

표 7 ESS 유지비용

유지보수비용	고정 유지비용	시설투자비의 5%
	변동 유지비용	효율에 따른 충·방전 시 손실 연료비절감편익 산정시 반영됨

용을 가정하였고 변동유지비는 효율에 따른 손실로 연료비절감편익의 산출에 포함된다.

피크부하저감 목적의 ESS 운영 시 연료비 절감 편익

2011년에서 2013년의 부하를 바탕으로 ESS 를 육지계통과 제주계통에 설치하였다고 가정하였을 때 연간 발생하는 연료비절감편익의 수명 10년 동안의 현재가치를 산출한 결과는 〈그림 1〉과 같다. 여기에서는 C-rate 0.5 로 설계된 10MWh/5MW에서 500MWh/250MW 까지 용량이 증가할 때 발생하는 연료비절감편익 현가의 증가추이를 보여준다. 육지계통의 경우 일간피크부하와 기저부하간의 SMP 차이가 ESS의 효율을 반영하였을 때 (+)의 연료비절감 편익을 발생시킬 만큼 크지만 제주계통의 경우 그 편차가 편익을 유발시키지 못한다는 것을 알 수 있다. 또한 육지계통의 경우 ESS 의 용량이 500MW/250MW 까지 선형적으로 증가함을 볼 때 여전히 추가적인 용량투입이 가능하다고 판단할 수 있다. 연료비절감편익이 피크부하저감의 궁극적 목적은 아니라 하더라도 장주기 운영관점에서 제주계통에 ESS 를 설치하였을 경우 연료비절감 편익을 현재로서는 기대하기는 힘들 것으로 판단된다. 다만, 이러한 결과는 매년 달라지며 향후 기저발전기(HVDC의 추가 건설 포함)의 추가 확보여부에 따라서 달라지므로 미

3) SandiaReport, 2013, DOE/EPRI 2013 electricity storage handbook in collaboration with NRECA, (Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories).

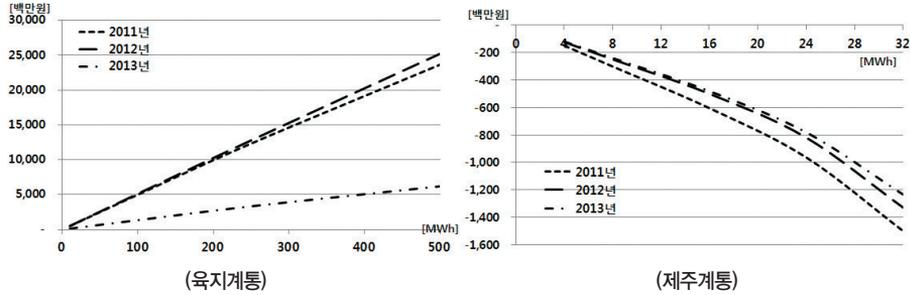


그림 1 피크부하최소화에 대한 연료비절감편익의 현가

2012년, 2013년에 대한 피크감소분이며, 마지막 네 번째는 해당 ESS가 제공할 수 있는 최대 전력[MW]을 의미한다. ESS의 적용 연도에 따라 육지계통의 경우 ESS의 출력 가능 용량(Power)[MW] 만큼 기여한 반면 제주계통의 경우 일간 여러 번의 피크 부하가 발생하여 ESS의 피크기여 용량이 다소 낮은 결과를 도출한다. 이는 최대한 PCS 설계용량[MW] 만큼 저감이 가능하다는 것을 의미하며 부하패턴에 따라 피크부하에 대한 기여도가 달라질 수 있음을 의미한다.

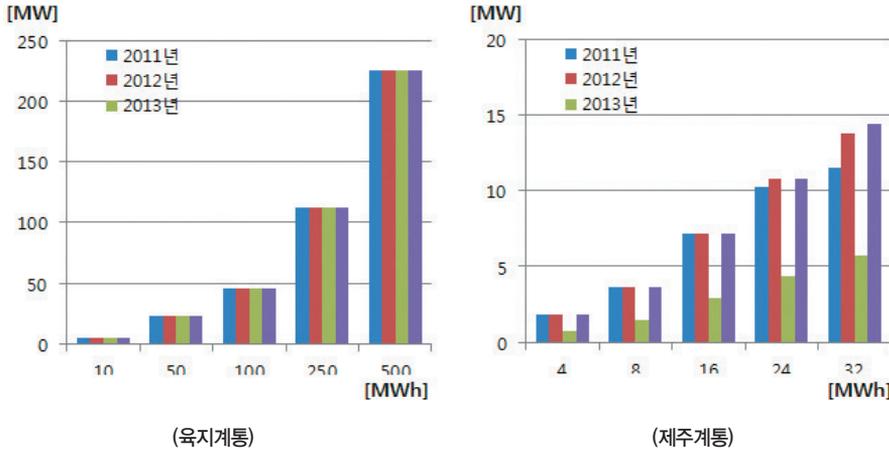


그림 2 피크부하최소화에 대한 피크기여용량

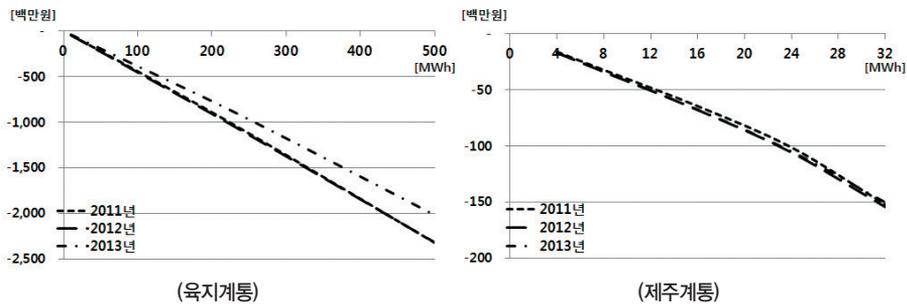


그림 3 피크부하최소화에 대한 환경편익의 현가

손실에 따른 환경편익 CO₂ 배출량에 대한 환경편익은 ESS의 손실에 따른 추가 CO₂ 배출(-)편익으로 산출되며 운영결과에 따라 10년간 발생하는 환경편익의 현가는 각 적용부하에 따라 다음과 같다. <그림 3>은 10MWh/5MW

래 전력시스템에 대한 정확한 가정과 면밀한 분석 등이 뒤따라야 할 것이다.

피크감소분 및 설비회피편익

<그림 2>는 용량증가에 따른 ESS 운영 후 피크감소분을 의미하며, 각 용량에서 막대그래프는 4가지 결과를 보여주고 있다. 첫 번째 세 개의 경우 순차적으로 2011년,

에서 500MWh/ 250MW 까지 용량이 증가할 때 발생하는 환경편익의 증가추이를 보여준다. 효율 문제로 인해 많은 용량의 ESS가 투입될 경우 더 큰 편익 감소가 발생한다. 본 사례연구의 경우 ESS의 총·방전 효율을 각각 0.9(전체효율 0.81)로 가정하고 있는데, 배터리의 유형별 또는 성능에 따라 손실량이 달라질 수 있음을 감안해야 한다. 여기에서의 가정은 전력 단위당 배출계수를 사용하였

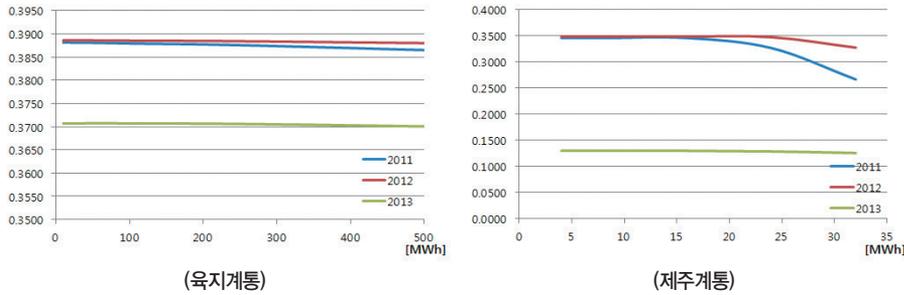


그림 4 피크부하최소화 목적 시 적용 각 연도별 ESS 용량에 대한 B/C 비교

은 B/C 값을 얻을 수 있다. 따라서 현재의 전원 구성에서는 편익의 증가가 크게 보장되지 않음을 감안하면 ESS의 장주기 부하이전에 대한 경제성을 확보하기 위해서는 향후 꾸준한 비용절감이 필요하다.

지만 실제로는 전력최적화 모형과 연계되어야만 정확한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

편익/비용비율 분석 사례

산출된 비용 및 편익 현가를 통해 편익/비용 비율(B/C)을 산출하면 다음과 같다. SANDIA 비용을 기준으로 B/C는 육지계통의 경우 0.35~0.40 수준이며, 제주계통은 2011, 2012년 패턴을 적용하였을 경우 0.30~0.35 이며, 2013년 패턴 적용의 경우 0.13 수준으로 두 계통 모두 경제성이 떨어짐을 알 수 있다. 설비회피편익이 편익의 90% 이상을 차지하기 때문에 적용하는 패턴별로 피크저감용량에 따라 B/C 값의 편차가 크다.

또한 본 사례분석에서는 ESS의 투자비 단가를 정격전력에 대한 PCS 및 계통연계 비용 713,625 [원/kW], 정격용량에 대한 배터리시스템 단가 1,175,488 [원/kWh]로 가정하였기 2014년 현재 단가가 본 가정보다 낮다면 좀 더 높

5. 향후 연구 내용

지금까지 살펴본 바와 같이 ESS 자원이 가지는 특성은 양수발전기, 수요관리와 매우 유사하고 그 적용 범위도 광범위하기 때문에 정확한 경제성 평가를 수행하는 것이 매우 어려운 주제이다. 이는 마치 스마트그리드의 다양한 솔루션이 실제 어느 정도의 편익을 가져오느냐에 대한 간단한 질문에 대한 대답을 하기 힘든 것과 마찬가지이다. 따라서 우선적으로 필요한 것이 ESS 적용 분야에 따른 경제성 평가를 위한 표준절차서(Protocol)의 제정이며 이는 과거 수요관리에서 사용한 정량화 접근법이기도 하다. 따라서, 향후 ESS의 응용분야 별로 표준화된 경제성 평가 절차와 기법의 설정에 대한 연구가 필요하며 가능한 정량적인 최적화 모델의 사용을 통한 수치의 제시가 필요하며 이는 우리에게 남겨진 숙제이기도 하다.