

# 복합화력발전시스템과의 발전원가 비교에 의한 전지전력저장시스템의 경제성 분석

論 文  
48A-3-10

## Economic Evaluation by Compared Battery Energy Storage System(BESS) and Conventional Combined Cycle of Power Generation Cost

金應相\*, 金志元\*\*  
(Kim Eung-Sang, Kim Ji-Won)

**Abstract** - This paper describes the economic evaluation of battery energy storage system(BESS) for the domestic application. Application target is decided on conventional combined cycle of domestic and we analyzed economics that compared conventional combined cycle with power generation cost in development and the commercialized in case that establish it on utility and customer, urban and rural. The result shows that about the same conventional combined cycle of Anyang, Bundang and Pyungtak but more economical than Seoincheon conventional combined cycle. And, in case of capacity enlargement and using the maintenance free battery more economical than conventional system.

**Key Words** : 경제성 분석, 복합화력발전, 전지전력저장시스템, Economic Analysis, Conventional Combined Cycle, Battery Energy Storage System

### 1. 서 론

급속도로 성장하는 전력수요를 만족시키는 것은 전력회사가 안고 있는 큰 과제중의 하나이며 기존 형태의 발전소나 송전설비의 확장은 현시점에서 지역주민의 설치반대와 재원 확보 등의 다양한 문제가 뒤따르므로 새로운 형태의 발전 및 에너지저장시스템이 요구되고 있는 실정이다. 또한 최근 지구환경 문제가 심각하게 대두되면서 1997년 12월 기후변화 협약에 대한 교토 총회에서 CO<sub>2</sub> 배출량에 대한 법적 구속력을 갖는 강제적인 감축 목표 설정에 따라 선진국들은 구체적인 국가 종합계획을 수립중이다. 한편, 우리나라는 산업구조가 철강, 석유화학, 조선, 시멘트 등 에너지 다소비형 산업구조로 CO<sub>2</sub> 배출량이 증가될 전망이다 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

이러한 문제점을 해결하고자 대체에너지전원의 개발 및 환경오염이 적고, 에너지 밀도가 높으며, 기동정지 및 부하 추종 운전특성이 우수한 에너지저장시스템을 선진국은 물론 국내에서도 상당부분 개발이 진행되었지만 실용화 및 보급화를 위한 연구개발 못지 않게 중요한 부분이 경제성이라고 판단된다[1]. 지금까지 이들 전원 중 주로 에너지저장시스템의 경제성 분석에 관련된 연구는 한계공사비 설정방법에 의한 검토[2], 양수 및 복합화력발전시스템과의 비교 검토에 의한 방법[3], 투자비 회수방법에 의한 경제성 검토[4] 및 경

제성 분석 모델에 관한 연구[5] 등이 국내·외적으로 수행되기는 하였으나, 이들 대부분이 이론에 바탕을 두었으며, 모델 시스템에 대해서만 경제성 검토가 수행되었다. 그러나 본 논문에서는 국내에서 개발한 실제의 전지전력저장시스템을 국내의 실정에 맞춰 실용화의 가능성 여부를 판단하고자 주로 침투 부하를 담당하고 있는 복합화력발전시스템과의 발전단가 비교에 중점을 두었으며, 적용대상을 전력계통과 연계되는 분산배치용과 단독수용가 용으로 구분하여 개발시 및 상용시에 대해서 1MW/4MWh 전지전력저장시스템의 경제성 분석을 수행하였다. 경제성 분석에 있어서 인용된 데이터는 현재 국내에서 개발한 실제 시스템의 데이터를 활용하였으며, 지금까지 활용한 적이 없는 정성적인 데이터에 대해서는 선진국에서 선행 연구에 의해 활용하였던 수치를 그대로 활용하거나 변경이 가능한 수치는 국내실정에 맞게 변환하여 활용하였다.

### 2. BESS의 발전비용

국내·외적으로 관심의 대상이 되고 있는 BESS의 용량은 크게 200kW, 500kW, 1MW 및 10MW 등으로 구분되는데, 본 논문에서는 단독수용가 및 배전용 변전소에 설치할 분산배치용 1MW/4MWh급 BESS를 분석대상으로 하여 발전비용을 검토하고자 하며, 이때 발전비용은 고정비와 변동비로 나눌 수 있다.

#### 2.1 BESS의 고정비

고정비는 건설비와 고정발전비용으로 구성되는데, 건설비는 수용가의 요구에 따라 전기를 생산할 수 있는 설비의 능력을 측정하는 용량비용으로 고려되며, 여기에는 감가상각

\* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 先任研究員

\*\* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 研究員

接受日字 : 1998年 11月 20日

最終完了 : 1999年 1月 26日

비, 투자수익 및 기타 고정부담금 등이 포함되며, 고정발전비란 고정연료비, 고정운전유지비 및 세금, 보험료 등이 포함된다.

2.1.1 건설비

BESS는 심야에 전력계통으로부터 받은 교류전력을 직류로 변환하여 2차전지에 저장하였다가 주간 최대 부하시나 필요시에 다시 교류로 변환하여 전력계통으로 내보내는 시스템으로 특성상 건설비로 고려되는 시스템 설비, 주변기기, 설치비용 및 용지비용으로 구분된다.

① 전지전력저장시스템 설비

시스템 설비는 크게 전지와 변환장치로 구분되는데 본 논문에서는 표 1의 30, 40, 50 MWh급 용량에 대해서는 미국 EPRI의 보고서에서의 값[1]들을 그대로 인용하였고, 우측 부분의 4MWh에 대해서는 국내에서 수행되었던 개발비용을 토대로 하였을 때 전지는 약 8억, 전력변환장치는 2억 5천만 원으로 가정하였으며, 상용시는 개발시의 각각 1/2 및 1/3로 가정하였다. 이는 전지는 제조상에서 수작업을 많이 요하므로 상용화되어도 1/2 밖에 줄어들지 않지만 전력변환장치(Power Conditioning System : PCS)는 양산체제를 구축하게 되면 많은 공정이 줄어들기 때문에 생산비용이 더욱 줄어들게 된다. 또한 환율은 \$당 1300원으로 가정하였다.

표 1 전지 및 전력변환장치 비용  
Table 1 The cost of battery and PCS

|     | 전지시스템(단위:\$/kWh) |        |        |           | 전력변환장치(단위:\$/kW) |      |          |     |
|-----|------------------|--------|--------|-----------|------------------|------|----------|-----|
|     | 50 MWh           | 40 MWh | 30 MWh | 4(국내) MWh | 10 MW            | 2 MW | 1(국내) MW |     |
| 개발시 | 152              | 158    | 163    | 152       | 개발시              | 180  | 300      | 192 |
| 상용화 | 70               | 78     | 87     | 76        | 상용화              | 60   | 100      | 64  |

(주) EPRI AP-5845(1990년도 기준)[1]

② 주변기기 및 설치비용

국내에서 개발된 시스템에 대한 주변기기 및 설치비용을 정확하게 산출이 어려워 본 논문에서는 EPRI 보고서 EM-3872에서 정의한 비율[4]을 토대로 하여 결정하였다.

표 2 주변기기 및 설치비용  
Table 2 Balance of plant and installation cost

|     | Balance of Plant | Engineering Cost | 설치비용(단위:\$/kWh) |
|-----|------------------|------------------|-----------------|
| 개발시 | 60               | 8                | 68              |
| 상용화 | 40               | 5.5              | 45.5            |

③ 계통연계비용 및 건축용지

용지비용은 현재 한전에서 사용하는 기준을 바탕으로 도시 및 지방에 건설할 경우 각각 총 투자비의 약 8%, 5%로 가정하였다.

④ BESS의 총 설치비용

1MW/4MWh급 BESS의 총 설치비용은 전지, 전력변환장치, 주변기기 및 설치비용을 포함하여 계산하였으며, 2.1.1항에서와 같이 전지는 상용화시를 개발시의 1/2로 보았고, 나머지는 1/3로 가정하였다.

표 3 총 설치비용 (단위 : \$)  
Table 3 Total installation cost (unit : \$)

|     | 전지      | 전력변환장치  | 주변기기 및 설치 | 합계      |
|-----|---------|---------|-----------|---------|
| 개발초 | 608,000 | 192,000 | 272,000   | 1072000 |
| 상용화 | 304,000 | 64,000  | 176,000   | 544000  |

⑤ BESS의 kW당 건설단가

계통연계비용 및 건축입지에 대한 비용을 제외한 BESS의 건설단가는 개발시 및 상용화시 각각 kW당 약 \$1,072 및 \$544로 미국의 International Lead Zinc Research Organization Inc.에서 추정한 상용화시 kW당 \$1,100 보다는 훨씬 낮은 값이며, 미국의 경우는 면적이 넓어 발전설비의 건설지역이 풍부하지만 우리나라의 경우 입지적인 조건이 대용량 발전설비의 건설에 어려움이 많을 뿐만 아니라, 지역 이기주의로 인한 분위기 또한 어려우므로 모듈식으로 제작하여 배전용 변전소에 분산배치가 가능한 전력저장시스템의 경제성에는 더욱 유리하리라 판단된다.

표 4 BESS의 kW당 건설단가(단위:\$/kW)  
Table 4 Installation unit cost by kW of BESS (unit : \$/kW)

|     | BESS 비용 (주변기기 포함) ① | 연계 비용 ② | 용지비용 ③ |        | kW당 건설단가(①+②+③) |        |
|-----|---------------------|---------|--------|--------|-----------------|--------|
|     |                     |         | 도시     | 지방     | 도시              | 지방     |
| 개발시 | 1,072               | 65      | ①×0.08 | ①×0.05 | 1222.76         | 1190.6 |
| 상용화 | 544                 | 65      | ①×0.08 | ①×0.05 | 652.52          | 636.2  |

2.1.2 반복고정비

반복 고정비에는 고정적으로 발생하는 고정운전유지비 및 전지교체비가 있다.

① 고정운전유지비

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

② 전지교체비

전지수명은 충·방전 횟수인 Cycle로 나타내는데 현재 DOD(Depth of Discharge : 방전심도)를 55%로 했을 때 기대되는 수명은 1800-2000 Cycle로 연간 운전횟수를 250 Cycle로 가정했을 때 8년 정도가 예상된다. 그러나 전지기술개발의 발달과 전지 운영방법의 개선으로 수명연장은 충분히 가능하리라 예상되며, 일단 본 논문에서는 10년으로 가정했으며, 전지이외의 시스템 설비의 수명은 거의 반영구적이라고 볼 수 있으므로 30년으로 가정했다.

2.2 BESS의 변동비

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

2.2.1 저장용 전원 발전원가

본 시스템은 심야 기저 부하시에 전력을 저장하였다가 주간 최대 부하시나 필요시에 전력을 공급해 주는 것이 주목적이므로 발전원가는 심야전력요금(23.2원/kWh : 1998년 1월 1일 시행)을 적용하는 것이 바람직 할 것으로 본다.

3. BESS의 평균화 발전원가

BESS에 대한 총 발전비용은 고정비 및 변동비의 합으로 표현되는데 고정비는 건설비 및 반복고정비로 나누어지며 반복고정비는 고정운전유지비, 연료저장비 및 전지교체비, 변동비는 저장용 전원 발전원가, 변동운전유지비 등으로 이루어지는데 본 논문에서는 하루 방전시간은 4시간, 연간 평균 운전 Cycle 수는 250회로 일정하다고 가정했다. 따라서 BESS 발전원가는 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{평균화 발전원가} &= \text{고정비} + \text{변동비원가} \\ &= \frac{\text{건설단가} \times \text{고정비용}}{\text{연평균운전시간} \times (1 - \text{용량감소율})} \\ &\quad + \frac{\text{저장용전원발전원가}}{(1 - \text{손실율}) \times \text{저장효율}} \end{aligned} \quad (1)$$

3.1 1MW/4MWh 급 BESS의 고정비용

고정비용이란 고정비의 BESS 총 투자비에 대한 비율로 자본비(투자수익), 감가상각비, 보험료, 법인세 및 제세, 운전유지비 등이 포함된다.

3.1.1 투자수익 및 감가상각비

일반적으로 경제성 검토시 투자수익율과 감가상각율의 합을 자본회수 계수로 가정하고 있으며, 할인율은 8%를 채택하고 있다. 자본회수 계수를 산출하는 식은 다음 식 (2)와 같다.

$$\text{자본회수계수} = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (2)$$

여기서, n은 내용연수, r은 할인율을 나타낸다.

표 5 BESS의 자본회수계수

Table 5 The coefficient for the revulsion of capital of BESS

| 설비내역         | 내용연수(n) | 자본회수계수(%) |
|--------------|---------|-----------|
| BESS 설비(전지외) | 30년     | 8.25      |
| 전지           | 10년     | 8.82      |

3.1.2 보험료

자산가액은 부보자산과 비부보자산의 합으로 이루어지는데, 여기서는 초기투자비를 말한다. 비부보자산이란 화력발전소의 경우 토지 및 무형 고정자산을 의미하고, 수력의 경우에는 토지, 수로, 도로, 철도 및 교량 등을 포함하나 BESS에서는 건물 용지비를 말하며 보험 요율은 3/1000으로 보았다.

표 6 BESS의 내용연수 동안 평균 자가보험율 (단위: \$/kW)

Table 6 The average ratio of self guarantee for the durable years of BESS(unit: \$/kWh)

| 시점  | 지역 | 자산가액  | 비부보자산<br>(건설용지비) | 부보<br>자산 | 부보율<br>(%) | 자가보험율<br>(%) |
|-----|----|-------|------------------|----------|------------|--------------|
| 개발시 | 도시 | 1,222 | 101              | 1,329    | 92.93      | 0.28         |
|     | 지방 | 1,190 | 63               | 1,329    | 100        | 0.3          |
| 상용화 | 도시 | 652   | 51               | 709      | 93.28      | 0.28         |
|     | 지방 | 636   | 32               | 709      | 95.68      | 0.29         |

3.1.3 법인세 및 제세

고정비에 고려되는 세금에는 법인세, 방위세, 주민세 및 재산세 등이 포함되는데, 법인세는 세전 순이익의 5%를 적용하며, 주민세는 법인세의 7.5%가 되므로 세전 순이익의 5% × 0.075 = 0.375 %이다. 그러므로 합은 5.375%이다. 자기자본 수익율을 9%로, 자기자금비율을 50%로 가정하고 법인세 및 제세에 대한 내용연수 동안 연간 평균 고정비율을 산출하면 다음과 같다.

법인세 및 제세에 대한 내용연수 동안 연간 평균 고정비율

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{세전순이익에 대한 세율}}{1 - \text{세전순이익에 대한 세율}} \times (\text{자기자금비율}) \\ &\quad \times (\text{자기자본수익율}) \times \frac{n + (n-1)D}{2n} \\ &= \frac{0.05375}{1 - 0.05375} \times (0.5) \times (\text{자기자본수익율}) \\ &\quad \times \frac{n + (n-1)D}{2n} \end{aligned} \quad (3)$$

이때, n은 내용연수, D는 감가상각율(1/내용연수)이다.

표 7 BESS의 내용연수 동안 평균 법인세 및 제세율(%)

Table 7 The corporation tax and ratio of several tax for the durable years of BESS

| 설비내역        | 내용연수(년) | 감가상각율 | 법인세 및 제세율 |
|-------------|---------|-------|-----------|
| BESS설비(전지외) | 30      | 3.33  | 0.54      |
| 전지          | 10      | 6.7   | 0.93      |

(주) 자기자본 수익율 : 9%, 자기자금비율 : 50%

3.1.4 운전유지비

우리 나라의 내연력발전의 운전유지비에 포함되는 항목의 내용은 표 8과 같다.

① 인건비

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

$$\text{인건비율} = \frac{(\text{연평균인건비/인}) \cdot (\text{전기원수})}{\text{투자비}} \quad (4)$$

표 8 내연력 발전의 운전유지비

Table 8 The operational and maintenance cost of internal-combustion turbine

| 인건비   | 전기원인건비(\$/Year) | kW당 인건비(원/kW)   |
|-------|-----------------|-----------------|
|       | 16,603,000      | 2.985           |
| 수선유지비 | 수선유지비(\$/Year)  | kW당 수선유지비(원/kW) |
|       | 20,343,846      | 3.657           |
| 제반경비  | 제반경비(\$/Year)   | kW당 제반경비(원/kW)  |
|       | 12,511,538      | 2.249           |

- (주) 1. 내연력발전에 복합화력포함.
- 2. 설비용량은 5,562,000kW 기준)

내연력발전에 대한 위의 실적치를 BESS에 그대로 적용하면 인건비율은 다음과 같다.

표 9 BESS의 인건비율

Table 9 The ratio of labour cost of BESS

| 시점  | 장소 | 인건비(\$/kW) | 투자비(\$/kW) | 인건비율(%) |
|-----|----|------------|------------|---------|
| 개발시 | 도시 | 4.78       | 1,222      | 0.33    |
|     | 지방 |            | 1,190      | 0.34    |
| 상용화 | 도시 | 4.78       | 652        | 0.63    |
|     | 지방 |            | 636        | 0.64    |

② 수선비

내연력발전에 대한 위의 실적치(표 8)를 바탕으로 일분에서 사용하고 있는 방법을 인용하여 BESS의 용량별 수선유지비율을 산출하면 표 10과 같으며, 일반적으로 초년도 수선비율은 평균 수선비율의 1/2, 최종연도는 초년도 수선비율의 3배로 본다.

표 10 BESS 수선유지비율

Table 10 The ratio of mending and maintenance of BESS

| 시점  | 장소 | 수선유지비(\$/kW) | 자산가액(\$/kW) | 수선유지율(%) |
|-----|----|--------------|-------------|----------|
| 개발시 | 도시 | 5.86         | 1,222       | 0.41     |
|     | 지방 |              | 1,190       | 0.42     |
| 상용화 | 도시 | 5.86         | 652         | 0.77     |
|     | 지방 |              | 636         | 0.79     |

③ 제반비용

일반적으로 초년도 및 내용연수 동안의 평균 실적이나 예산을 기초로 산출된 평균 제반비율을 내용연수 동안 평균 제반비율로 사용하며, 내연력 발전시스템에 대한 제반경비로부터 BESS의 제반 경비를 산출하면 다음과 같다.

표 11 BESS 제반 경비율

Table 11 The ratio of all sorts cost of BESS

| 시점  | 장소 | 제반경비(\$/kW) | 자산가액(\$/kW) | 제반경비율(%) |
|-----|----|-------------|-------------|----------|
| 개발시 | 도시 | 3.60        | 1,222       | 0.25     |
|     | 지방 |             | 1,190       | 0.25     |
| 상용화 | 도시 | 3.60        | 652         | 0.47     |
|     | 지방 |             | 636         | 0.48     |

위 세가지 결과, 운전유지비율은 다음 표와 같다.

표 12 BESS 내용연수 동안 평균 운전유지비율

Table 12 The ratio of operation and maintenance for the durable years of BESS

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

3.2 BESS의 고정비

앞에서 계산된 자본회수계수, 보험요율, 법인세 및 세율, 운전유지비율 등으로부터 얻은 고정비율을 토대로 연평균 전지의 소내 소비율 및 소내 소비전력율은 약 3%로 가정하고서 BESS고정비를 계산하면 다음 식을 이용할 수 있다.

$$\text{고정비} = \frac{\text{건설단가} \times \text{고정비율}}{\text{연평균방전시간} \times (1 - \text{전지용량감소율} - \text{소내소비율})} \quad (5)$$

이 식으로부터 BESS의 고정비를 계산하면 표 13과 같다.

표 13 BESS의 고정비 (250 cycle/년)  
Table 13 The fixed cost of BESS (250 cycle/year)

| 시 점 | 장소 | 건설단가×고정비용 (\$/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      |

3.3 BESS의 변동비원가

원자력발전 전원을 저장용 전원으로 보고 설치장소(변전소 2차측이나 단독수용가)와 송배전 손실을 및 BESS 전체 효율(약 70%)등을 고려한다. 식은 다음과 같다.

$$\text{변동비원가} = \frac{\text{저장용전원발전원가}}{(1 - \text{송변} \times \text{배전손실율}) \times (\text{BESS저장효율})}$$

(6)

표 14 BESS의 용도별 변동비원가(단위 : \$/kWh)  
Table 14 The variable basic cost by use of BESS (unit : \$/kWh)

| 적 용    | 발전원가  | 송변전 손실율(%) | 배전 손실율(%) | 저장효율 (%) | 변동비원가 |
|--------|-------|------------|-----------|----------|-------|
| 배전용변전소 | 0.030 | 3.19       | 2.38      | 70       | 0.044 |
| 단독수용가  |       |            |           |          | 0.045 |

(주) 저장용전원은 원자력발전으로 가정. (발전원가 : 24.57원/kWh)

3.4 BESS의 평균화 발전원가

평균화 발전원가는 고정비와 변동비원가의 합으로 표현된다.

표 15 BESS 평균화 발전원가 (단위 : \$/kWh)  
Table 15 The equalization generation basic cost of BESS (unit : \$/kWh)

| 대상      | 시 점 | 장소 | 고정비   | 변동비원가 | 평균화발전원가 |
|---------|-----|----|-------|-------|---------|
| 배전용 변전소 | 개발시 | 도시 | 0.150 | 0.044 | 0.194   |
|         |     | 지방 | 0.147 |       | 0.191   |
|         | 상용화 | 도시 | 0.089 | 0.044 | 0.133   |
|         |     | 지방 | 0.087 |       | 0.131   |
| 단독수용가   | 개발시 | 도시 | 0.150 | 0.045 | 0.195   |
|         |     | 지방 | 0.147 |       | 0.192   |
|         | 상용화 | 도시 | 0.089 | 0.045 | 0.134   |
|         |     | 지방 | 0.087 |       | 0.132   |

4. 전력저장시스템과 복합화력발전시스템의 발전원가 비교

복합화력발전은 부하증가에 대처하기 위하여 미국 및 그 외 여러 나라 전력회사에서 선호하는 전원기술로서 기존의 발전전원과 비교할 때 여러 가지 이점을 가지고 있다. 예를 들면 적절한 단위용량에 대하여 비교적 낮은 건설비, 만족할 만한 변환효율, 낮은 공해물질 방출량, 높은 신뢰도 및 짧은

건설공기 등을 들 수 있다. 특히, 지구 환경문제 측면 및 첨두부하 대체용으로, BESS의 경제효과를 비교 평가하기 위한 대안 발전시스템으로, 본 논문에서는 복합화력발전시스템을 고려하도록 한다. 이를 위하여 국내 복합화력발전시스템의 발전원가를 살펴보고 본 논문에서 제시된 전력저장시스템의 발전원가와 비교에 의해 저장시스템의 경제성을 분석하였다.

4.1 복합화력발전시스템의 발전원가

국내의 복합화력발전소의 사용연료는 크게 두 가지로 구분되는데, 영월, 울산 및 군산등의 발전소는 경유만을 사용하며, 1992년도에 운영되기 시작한 서인천, 안양, 분당 및 평택의 복합화력발전소는 LNG 및 경유를 연료로 사용하고 있으나, 본 논문에서는 LNG를 주 연료로 사용하는 후자의 복합화력발전소들을 비교 대상으로 삼기로 한다. 아래 표에서 연료비는 앞에서 정의한 변동비원가를 말한다.

표 16 복합화력발전시스템의 연료비 및 발전원가  
Table 16 The fuel cost and generation basic cost of conventional combined cycle

| 복합화력발전소 | 설비용량 (MW) | 연료비 (단위: \$/kWh) | 발전원가 (단위: \$/kWh) | 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        |

표 17 BESS의 발전원가에 대한 변동비 비율

Table 17 The ratio of variable cost for generation basic cost of BESS

| 대상      | 시 점 | 장소 | 변동비원가 (단위: \$/kWh) | 발전원가 (단위: \$/kWh) | 변동비원가÷발전원가 (%) |
|---------|-----|----|--------------------|-------------------|----------------|
| 배전용 변전소 | 개발시 | 도시 | 0.044              | 0.194             | 22.68          |
|         |     | 지방 |                    | 0.191             | 23.03          |
|         | 상용화 | 도시 | 0.044              | 0.133             | 33.00          |
|         |     | 지방 |                    | 0.131             | 33.58          |
| 단독수용가   | 개발시 | 도시 | 0.045              | 0.195             | 22.56          |
|         |     | 지방 |                    | 0.192             | 22.91          |
|         | 상용화 | 도시 | 0.045              | 0.134             | 32.83          |
|         |     | 지방 |                    | 0.132             | 33.33          |

상기 표 16 및 17로부터 평택 복합화력발전소를 제외한 모든 복합화력발전의 발전원가 중 연료비, 즉, 변동비가 차지하는 비율이 50%를 넘는 반면 BESS의 경우는 30%대를 넘지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 저장용 전원의 발전원가가 BESS 설치에 따른 고정비보다 상당히 낮은 비율을 차지한다는 것을 나타낸다.

4.2 BESS와 복합화력발전시스템의 발전원가 비교

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

표 18 복합화력발전시스템에 대한 BESS 발전원가의 비율

Table 18 The ratio of BESS generation basic cost for conventional combined cycle

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

상기 표에서는 1이상이면 경쟁력이 있음을 나타내며, 이상의 결과에서와 같이 설비용량이 1,880MW인 서인천 복합화력의 경우 다른 복합화력 발전시스템의 발전원가와 비교하여 낮은 것을 알 수 있듯이 설비용량이 증가함에 따라 발전원가는 상당히 감소한다는 것을 알 수 있다. 따라서 300MW 이상이 되는 복합화력 발전시스템과 1MW BESS와 발전원가를 절대적으로는 비교할 수 없지만 유추는 가능하리라 여겨지며, 이러한 결과로 볼 때 상용화된다면 충분히 설치 가능성이 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 선진국을 비롯하여 국내에서 개발되고 있는 전력저장전지시스템의 실용화 및 보급화에 앞서서 경제성을 분석해 보고자 하였다. 지금까지 개발중인 시스템의 용량은 주로 국내에서는 1MW급, 선진국에서는 수 MW급이므로 본 논문에서는 국내에서 개발된 1MW급 저장시스템을 전력계통에 도입하는 경우 복합화력발전시스템의 발전원가와 비교하였다. 또한 설치대상은 변전소용 및 독립수용가용과 도시 및 농촌으로 구분하여 개발시 및 상용시에 대해서 경제성을 분석하였다. 그 결과 1MW급 BESS가 본 논문에서 비교대상으로 한 안양, 분당 및 평택 복합화력발전시스템과는 비슷한 경쟁력을 갖지만 서인천 복합화력발전시스템 보다는 훨씬 경쟁력이 있음을 나타내고 있으며, 또한 용량을 좀더 확대한다면 더욱 경쟁력이 있으리라고 판단된다. 그리고 전지를 Maintenance Free 형태로 제작하여 스택식으로 설치하므로써 용지비용 즉 건설단가의 감소 또한 상당히 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] EPRI Report AP-5845, "Design and cost for a generic 10MW utility lead-acid battery energy storage plant", EPRI, June 1988, P2123-6.  
 [2] D. W. Sobieski and M. P. Bhavaraju, "An Economic Assessment of Battery Storage in Electric Utility Systems", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 12, pp. 3453-3459, December 1985.  
 [3] R. C. Reckrodt, M. D. Anderson, R. M. Kluczny, "Economic Models for Battery Energy Storage :

Improvements for Existing Methods", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 5, No. 4, pp. 659-665, December 1990.

[4] EPRI Report EM-3872, "Updated Cost Estimate and Benefit Analysis of Customer-owned Battery Energy Storage", EPRI, January 1985, P2154-9.  
 [5] 김응상 외, "전지전력저장시스템의 경제성 평가를 위한 경제모델에 관한 연구", 한국조 명·전기설비학회 논문집 Vol 10, No. 5, pp 75-82, 1996. 10.

저 자 소 개



김 응 상(金應相)

1962년 6월 21일 생. 1988년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1991년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(공학). 1991년~현재 한국전기연구소. 배전연구팀장



김 지 원(金志元)

1971년 9월 20일 생. 1994년 서울시립대 제어계측공학과 졸업. 1996년 광운대 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1996년~현재 한국전기연구소 연구원