

# 제주지역 전력계통에 설치되는 배터리 저장장치의 최적용량 산정

(Calculating the Optimal Capacity of Battery Storage System for Power System in Je-Ju)

이중현\* · 남영우 · 고원석\*\*

(Jong-Hyun Lee · Young-Woo Nam · Wonsuk Ko)

## 요 약

본 논문에서는, 제주지역 전력계통에 설치되는 배터리 저장장치의 최적용량을 산정하였다. 본 논문에서 검토한 내용은, 제주지역의 '06~'07년도 실제 전력사용데이터를 바탕으로 '06~'16년도까지의 전력사용량을 추정한 후, 4차 전력수급계획에 따른 전력설비 증감계획데이터를 사용, 최대전력저감, 전력량 요금저감, 정전발생비용저감, 3가지 측면에서 배터리 저장장치의 용량별 얻을 수 있는 이득을 계산하고, 최적용량을 제시하였다.

## Abstract

In this Paper, optimal capacity of battery storage in Je-Ju is calculated. First, Electricity demand data of Je-Ju('06~'16) is estimated based on real electricity demand data of Je-Ju('06~'07). Then, the 4th power supply planning is used to calculate benefits from battery storage capacity in view of maximum power savings, preventing outages savings and energy charge fee reduction. Finally, optimal battery storage capacity is suggested.

Key Words : Battery Storage, Power System, Economic Analysis, Battery System

## 1. 서 론

전력시스템에서 생산과 소비의 동시성 제약은 전력 공급 상에서 나타나는 안정성, 경제성, 고품질 등에 관련된 기술적 어려움의 주요 원인이다. 전력계통의 안

정성 및 신뢰도 확보를 위해서는 수요증가를 예측하여 발전 및 송배전망의 증설에 대한 중장기 계획을 수립해야 한다. 이러한 발전 및 송배전망의 증설에는 막대한 자금과 시간이 동반된다.

배터리 저장장치(BSS)는 이러한 문제를 해결할 수 있는 강력한 수단을 제공한다. 고정된 발전자원 및 송배전설비에 유연성을 가지게 하며 부하변동에 대응하고 신뢰도 확보에 도움을 줄 수 있다[1]. 현재 사용 중인 에너지 저장장치의 대표적인 예로서는 양수 발전을 들 수 있다. 양수 발전은 전기 수요가 낮은 시

\* 주저자 : 경원대학교 대학원 전기공학과 박사과정  
\*\* 교신저자 : 경원대학교 가천에너지연구원 선임연구원  
Tel : 031-750-8558, Fax : 031-750-8571  
E-mail : only4you@kyungwon.ac.kr  
접수일자 : 2009년 12월 21일  
1차심사 : 2009년 12월 22일, 2차심사 : 2010년 4월 5일  
심사완료 : 2010년 4월 15일

간에 잉여 전기 에너지를 이용하여 물을 높은 곳으로 끌어 올리고 전기 수요가 높은 시간에 저장한 물을 이용 위치에너지를 전기에너지로 변환하여 높은 전기수요에 대응한다. 이는 최근까지 많은 양의 에너지를 저장하는 가장 실용적인 방법이었으나 공간적, 환경적인 제약 등으로 인하여 새로운 양수 발전소의 건설은 앞으로 많은 어려움에 직면할 것으로 예상된다 [1]. 따라서 그 대안으로 용량 및 방전시간에 따라 Compressed-Air Energy Storage System(CAES), Battery Storage System(BSS), Superconducting Magnetic Energy Storage(SMES), Flywheel Energy Storage System, Super-Capacitor Energy Storage, Hydrogen Energy Storage 등의 다양한 에너지 저장장치가 연구, 개발되고 있다. 하지만 실제 데이터를 기반으로 한 에너지 저장장치의 적정용량 산정에 대한 기준은 아직 제시되어 있지 않았다.

본 논문에서는, 제주지역의 '06~'07년도 실제 전력사용데이터를 바탕으로 '06~'16년도까지의 전력설비 증감계획데이터를 사용, 최대전력저감, 전력량 요금저감, 정전발생비용저감, 3가지 측면에서 에너지 저장장치의 용량별 얻을 수 있는 이득을 계산하고, 최적용량을 산정하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 에너지 저장장치의 장점[2]

에너지 저장장치는 전력설비의 전체 건설비용을 감소시킬 수 있으며 전력설비의 효율성을 증대시키고 전력설비 인프라의 투자 위험성을 감소시키는 장점을 가지고 있다. 에너지 저장장치는 용도에 따라 저장장치의 용량, 지속방전시간, 설치위치를 고려하여 계통에 적용시켜야 하며 전력계통에서 다음과 같은 역할이 가능하다.

#### 1) 발전 용량 확보

에너지 저장장치는 피크 부하의 증가로 인한 추가 발전 설비 건설에 대한 투자 부담을 줄이거나 연기할

수 있다. 이는 예비력 확보를 위하여 투자, 건설되는 발전기들을 대체함으로써 전력수요가 낮을 때 전기에너지를 저장하고 전력수요가 높을 때에 전기에너지를 방출하여 전력공급가능용량의 안정성확보가 가능하다. 또한 전력수요가 높을 경우 전기에너지를 방출하여 공급가능용량의 예비력을 높이고 피크삭감이 가능하여 발전자원의 낭비 및 수요예측의 실패로 인한 수급의 불안정성을 막을 수 있다.

#### 2) 계통운영보조서비스

계통운영보조서비스는 전력계통의 신뢰성, 안정성을 유지하고, 전기품질을 유지하며, 전력거래를 원활하게 하기 위하여 전기사업자가 제공하는 주파수조정, 예비력, 무효전력 및 자체기동 등의 서비스를 말한다. 빠른 응답성과 출력을 가진 에너지 저장장치를 사용함으로써 계통의 신뢰성, 안정성 유지가 가능하다.

#### 3) 송배전망 지원

에너지 저장장치는 송배전망에서 전기에너지를 방출함으로써 최대수요시 발생하는 혼잡도를 감소시키며 송배전 용량을 높여줌으로 계통의 안정도 및 신뢰도 향상을 돕는다. 이렇게 송배전망의 안정운전을 도와주면 지역한계비용(Location Marginal Pricing, LMP)의 값이 낮아질 수 있을 뿐만 아니라 송배전망의 투자비가 적어지고, 전력 품질(Power Quality, PQ)도 향상될 수 있다.

### 2.2 제주지역의 에너지 사용현황

제주지역의 2006년부터 2007년도 실제 전력사용량은 그림 1과 같으며, X축은 24시간, Y축은 일, Z축은 최대전력(kW)을 나타낸다. 제주도 발전원별 발전단가 및 용량은 그림 2와 같다[3-4].

### 2.3 공식화

'06~'07년도 제주 지역 전력사용량과, 표 1에서 제시하는 4차전력 수급계획에 따른 제주지역의 발전설

제주지역 전력계통에 설치되는 배터리 저장장치의 최적용량 산정

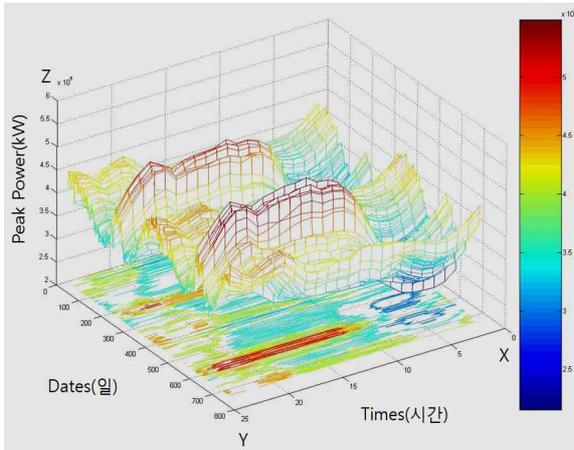


그림 1. 제주지역 실제 전력사용량 데이터 ('06~'07년도)

Fig. 1. The amount of electricity used in Ju-Ju ('06~'07)

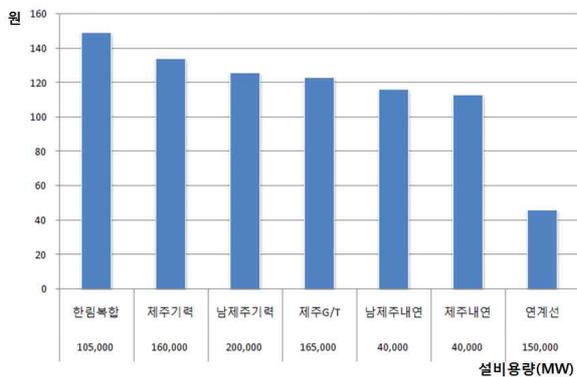


그림 2. 제주지역 발전원별 발전단가 및 용량('06기준)  
Fig. 2. The price of each generation and the plant capacity in Je-Ju

비중감량을 고려하여 2006년부터 2016년까지의 제주 지역의 전력사용 데이터를 추정하고, BSS를 설치하였을 경우 얻을 수 있는 이득, 1) 최대전력저감 2) 전력량 요금절감 3) 정전발생방지비용절감의 측면에 대하여 용량별로 계산하였다. BSS의 최적용량은 용량별 BSS를 설치하여 얻을 수 있는 이득에 용량별 BSS의 설치비용을 빼, 가장 큰 이득(Max B)이 발생하는 지점의 BSS의 용량을 찾음으로서 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$Max B = \text{용량별 ESS를 설치하여 얻을 수 있는 이득} \quad (1)$$

$$- \text{용량별 ESS설치비용}$$

표 1. 4차 전력수급계획에 따른 제주지역 발전설비 증감량[5]

Table 1. The amount of generated power in Je-ju based on 4th power supply planning

연도	최대 수요 [MW]	발전설비 용량 [MW]		용통 전력 [MW]	총설비 용량 [MW]		설비 예비율 (%)
		하계	동계		하계	동계	
2006	520	530	500	150	680	650	32.4
2007	552	644	648	150	794	798	43.9
2008	553	648	661	150	798	811	44.3
2009	604	698	707	150	848	857	40.3
2010	631	707	714	150	857	864	35.9
2011	656	659	659	150	809	1,059	23.3
2012	682	628	628	400	1,028	1,028	50.8
2013	706	628	628	400	1,028	1,028	45.6
2014	731	628	628	400	1,028	1,028	40.7
2015	754	628	628	400	1,028	1,028	36.4
2016	776	628	628	400	1,028	1,028	32.5

2.3.1 최대전력 저감

그림 3과 같이 BSS를 설치하여 첨두부하삭감(Peak Cutting)으로 얻을 수 있는 이익으로서 일별 최대전력 절감량에 전력요금 절감량을 곱한 후 전기발전단가 인상분을 곱하여 (2)와 같이 얻을 수 있다.

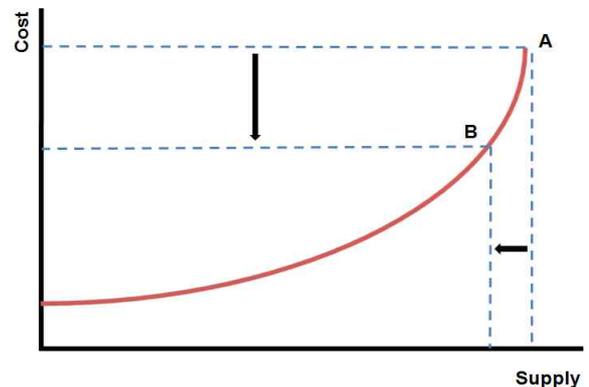


그림 3. 최대전력저감에 따른 이익  
Fig. 3. Profit of maximum power reduction

$$R_D = \left( \sum_{i=1}^{365} P_{si} \times P_{\pi} \right) \times (1 + e_d)^{n-1} \quad (2)$$

$R_D$ : 최대전력저감에 따른 이익량(원)  
 $P_{si}$ : 일별최대전력 절감량(kWh)  
 $P_{\pi}$ : 전력요금 절감량(원)  
 $e_d$ : 전기발전단가인상분(4%)

### 2.3.2 전력량 요금 저감

주간과 심야의 전력생산단가의 차이를 이용하여 얻을 수 있는 이익으로서 최대부하 시 배터리 방전량에 발전요금을 곱한 것을 경부하시 배터리 충전량에 충전요금을 곱한 것을 빼줌으로서 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$R_E = \left( \sum_{i=1}^{365} \left( \frac{ED_{hi}}{n_r} \times N_{hi} \right) - \sum_{i=1}^{365} (EC_i \times N_i) \right) (1 + e_d)^{n-1} \quad (3)$$

$R_E$ : 전력량요금절감(원)  
 $ED_{hi}$ : 최대부하시 배터리 방전량(kWh)  
 $N_{hi}$ : 최대부하시 발전요금(원/kWh)  
 $n_r$ : 시스템 효율(%)  
 $EC_i$ : 경부하시 배터리 충전량(kWh)  
 $N_i$ : 경부하시 충전요금(원/kWh)  
 $e_d$ : 전기발전단가인상분(원)

### 2.3.3 정전발생방지 비용

BSS를 설치하여 정전발생을 방지하여 얻을 수 있는 이익으로서 제주지역의 정전비용은 제주지역 총생산지수(GDP)에 제주지역 사용전력량(kWh)를 나누어 (4)와 같이 구할 수 있다[6].

$$\text{지역별 정전비용} = \frac{\text{지역별 총생산지수}}{\text{지역별 사용전력량}} \quad (4)$$

위의 식을 사용하여 구한 제주지역의 정전비용은 2002년 기준 2,898원/[kWh]이며, BSS 설치 시 정전발생방지 비용은 아래 식 (5)를 사용하여 구할 수 있다.

ESS설치시 제주지역 정전발생방지 비용 =

$$\frac{\text{제주지역 GDP} \times \text{ESS효율} \times \text{설치 ESS용량} \times \text{운전여유율}}{\text{제주지역 연간사용전력량}} \quad (5)$$

## 2.4 시뮬레이션 결과

제주지역의 '06~'07년도 실제 전력사용데이터를 바탕으로 '06~'16년도까지의 전력사용량을 추정한 후, 4차 전력수급계획에 따른 전력설비 증감계획데이터를 2.3항의 수식에 대입하여 최대전력저감, 전력량 요금 저감, 정전발생비용저감, 3가지 측면에서 에너지 저장 장치의 용량별 얻을 수 있는 이득을 아래와 같이 계산하였다.

### 2.4.1 최대전력 저감으로 얻을 수 있는 이익

최대전력 저감으로 얻을 수 있는 이익은 그림 4와 그림 5에서 보는 바와 같다. 2006년부터 2010년까지의 그래프와 2010년부터 2016년까지의 그래프 모양이 다른 이유는 4차 수급계획에 따라 추가 연계선(250[MW])이 설치되기 때문이다.

용량대비 실제 얻을 수 있는 이득의 총합은 그림 5과 같으며, BSS 설치용량이 A 지점을 넘어가게 되면, BSS를 설치하여 얻을 수 있는 이득이 감소하게 된다. 이는 A 점을 기준으로 전력생산단가가 상대적으로 비싼 전기를 충전하게 됨을 의미한다. 따라서 A 점은 BSS 설치용량과 이득간의 최대이득점이 된다.

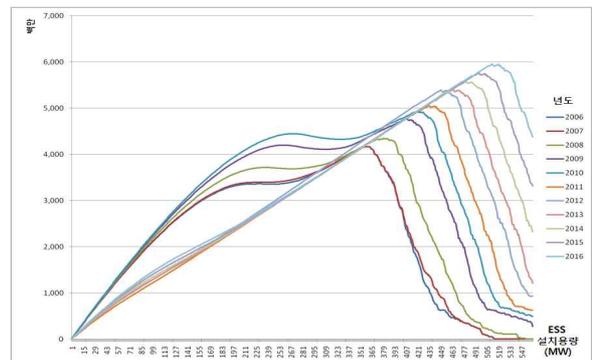


그림 4. 용량대비 실제 얻을 수 있는 이득('06~'16)  
 Fig. 4. Benefits from each energy storage capacity('06~'16)

제주지역 전력계통에 설치되는 배터리 저장장치의 최적용량 산정

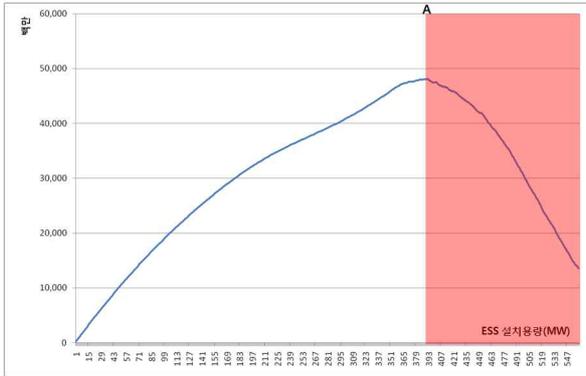


그림 5. 용량대비 실제 얻을 수 있는 이득(총합 '06~'16)  
Fig. 5. Aggregate Benefits from energy storage capacity('06~'16)

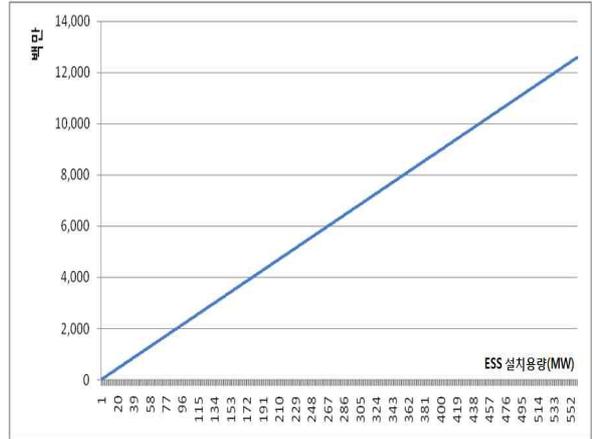


그림 7. 정전발생을 방지하여 얻을 수 있는 이득 (총합 '06~'16)  
Fig. 7. Aggregate benefits of preventing outage ('06~'16)

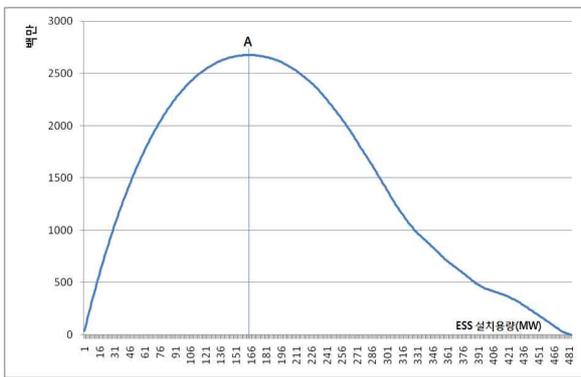


그림 6. 전력량 요금 저감으로 얻을 수 있는 이익 (총합 '06~'16)  
Fig. 6. Benefits of Energy Charge cost reduction ('06~'16)

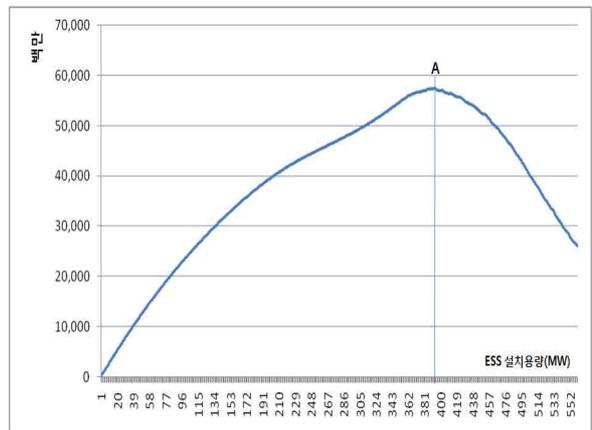


그림 8. 최종 얻을 수 있는 이득(총합 '06~'16)  
Fig. 8. Total benefits('06~'16)

2.4.2 전력량 요금저감 으로 얻을 수 있는 이익

BSS를 설치하여 전력량 요금저감으로 얻을 수 있는 이득은 식 (3)을 이용하여 구할 수 있으며, 그림 6과 같다. 그림 6의 A점을 넘어가게 되면 경부하시의 충전요금이 최대부하시의 충전요금보다 비싸게 되게 되어 이득이 줄어드는 지점이다.

2.4.3 정전발생을 방지하여 얻을 수 있는 이익

BSS를 설치하여 정전발생을 방지하여 얻을 수 있는 이득은 식 (5)를 사용하여 구할 수 있으며 아래 그림 7과 같다.

2.4.4 최종 얻을 수 얻는 이득

BSS를 설치하여 최종 얻을 수 있는 이득은 '06~'16 기간동안 최대전력저감으로 얻을 수 있는 이익 + 전력량 요금 저감으로 얻을 수 있는 이익 + 정전발생을 방지하여 얻을 수 있는 이익을 더하여 구할 수 있으며, 그림 8과 같다.

2.4.5 BSS의 최적용량 산정

용량별 BSS의 설치비용은 배터리의 고정비를 고려 하였으며, 자세한 고려 사항은 아래 표 2와 같다[2].

표 2. BSS 설치비용 산정시 고려사항  
Table 2. Consideration of BSS installation cost

항목	고려사항
건설비	전력저장 설비, 건축용지
반복고정비	고정운전유지비, 전지교체비

전력저장설비의 경우 연료비용, 용량비용, 주변기기 비용의 3가지로 구성되며 Sandia보고서의 데이터를 기초로 작성하였으며[7], 건축용지비용은 한전기준을 적용하여 총 투자비의 5[%]로 작성하였다[2].

고정운전비는 인건비, 소모성 물품 및 장비, 사고보험, 외부지원 서비스등에 대한 비용들이 포함되며, BSS의 수명은 365cycle/년, COD(방전심도), 70[%]로 산정하였으며[2], 아래 그림 9에 BSS설치시 용량별 얻을 수 있는 이득과 배터리 설치비용을 같이 나타내었다.

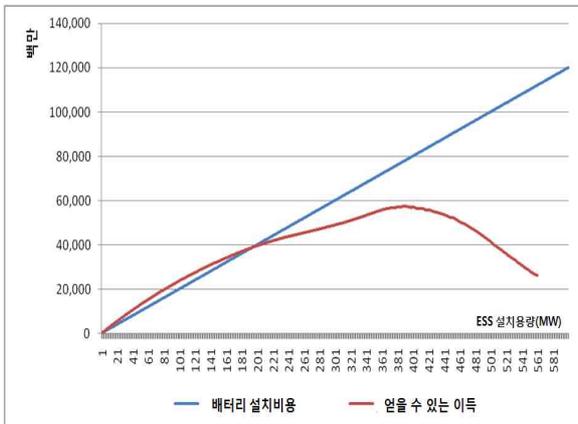


그림 9. 최종 얻을 수 있는 이득과 용량별 배터리 설치 비용(총합 '06~'16)  
Fig. 9. Total benefits of BSS and installation cost of battery('06~'16)

그림 9의 BSS설치시 용량별 얻을 수 있는 이득에 용량별 배터리 설치비용을 빼주면 그림 10과 같은 결과가 나오게 된다. BSS의 용량 1~194[MW]까지는 BSS설치로 얻을 수 있는 이득이 설치비용보다 크나 그 이상의 용량의 경우 BSS의 설치 비용이 BSS의 운용으로 얻을 수 있는 이득 보다 커지게 된다. 가장 큰 이득을 얻을 수 있는 Battery Storage System의 용량

은 93[MW]로서 10년동안 약 40억원의 이득을 얻을 수 있다. 향후 제주도 단지에 대규모 신재생단지가 설치되어 BSS와 연동될 경우, 더 큰 이득을 얻을 수 있을 것이다.

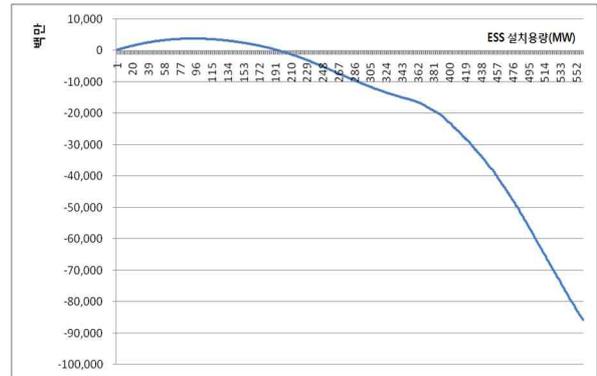


그림 10. 최적용량계산  
Fig. 10. Calculate the optimal capacity

### 3. 결 론

에너지 저장장치는 전력계통에서 발전용량확보, 계통운영보조서비스, 송배전망 지원 등의 역할을 수행하여 전력계통의 신뢰도와 안정성을 증대시킨다.

본 논문에서는 에너지저장장치의 수단으로서 배터리용량대비 얻을 수 있는 이득을 계산하였으며, 이를 통하여 제주지역에 설치되는 에너지저장장치의 최적 용량을 구하였다.

BSS 설치로 얻을 수 있는 이득은 최대전력저감, 전력량 요금 저감, 정전발생방지비용으로 구성되었으며, 제주 지역에 설치되는 Battery Storage System의 최적 용량은 93[MW]로 계산되었다. 제안된 최적용량 산정방법은 향후 배터리 설치용량 산정의 기준지표로서 사용될 수 있을 것이다.

향후 에너지 저장장치에 대한 연구로 보다 높은 신뢰성과 경제성을 가진 다양한 에너지 저장장치가 개발될 것으로 예상되며, 전력계통과 이러한 에너지 저장장치의 결합은 전력계통 신뢰도와 경제성을 높이는 수단이 될 것으로 기대된다.

**감사의 글**

이 논문은 2010년도 강원대학교와 지식경제부 전력산업 연구개발사업 중대형 전략과제(R-2005-1-369-001)의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

**References**

- [1] Electricity Advisory Committee (EAC), "Bottling Electricity: Storage as a Strategic Tool for Managing Variability and Capacity Concerns in the Modern Grid," EAC Report, Dec. 2008.
- [2] 최준영 외, "제주지역 전력계통에 설치되는 에너지 저장 장치의 경제성 분석", 조명전기설비학회 논문지, 제23권 8호 ,pp.104~106, 2009.
- [3] 2007년 12월 기준 전력통계, www.kepco.co.kr.
- [4] 제주지도 전력거래소 홈페이지, www.kpxj.or.kr.
- [5] 지식경제부, 4차 전력수급계획.
- [6] 박충열 외, "거시적 방법을 이용한 지역별 정전비용평가", 조명전기설비학회 논문지, 제 19권, 1호, pp.124~129, 2005.
- [7] "Benefit/Cost Framework for Evaluating Modular Energy Storage," Sandia 2008-0978 Unlimited Release.

◇ 저자소개 ◇



**이중현(李種賢)**

1979년 7월 2일생. 2006년 강원대학교 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



**남영우(南瑛祐)**

1975년 1월 6일생. 1996년 서울대학교 공과대학 전기공학부 졸업. 2006년 동 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(박사). 2005~2009년 LS산전 선임연구원. 현재 강원대학교 정보통신공학 조교수.



**고원석(高潑錫)**

1971년 8월 20일생. 2007년 Univ.of Central Florida 졸업(박사). 2008년~현재 강원대학교 가천에너지연구원 선임연구원.