

## BESS의 DR(Demand Response) 적용 시 수용가의 투자비 최소화를 위한 적정용량산출방법

(A Study on the Battery Storage Volume Optimization in case of DR Participation for the  
Minimization of the Customer's Investment Cost)

양승권\* · 김대영\*\*

(Seung-Kwon Yang · Dae-Young Kim)

### Abstract

The BESS(Battery Energy Storage System) is an useful device for load leveling, but the high cost, installation space and safety issues are the main barriers for supplying it widely. The important factor in supplying BESS to customers successfully is the payback period. As most of the H/W cost factors are uncontrollable, the optimization of storage volume can be useful factor in improving payback period. In order to obtain optimized BESS volume, the load factor, demand ratio, peak shaving ratio, electric rates and benefits from DR participation of customer should be analyzed. In this paper, we could verify the peak cutting capability and cost effectiveness under the some proposed conditions and changing value of PCS and battery based on the customers data after volume optimization process was applied, and we can identified the saturation point of load factor and shortening of customer's payback period.

Key Words : BESS, DR(Demand Response), Peak, Storage, DoD(Cycle Life)

### 1. 서 론

에너지 저장장치인 battery는 효율적인 전력사용에 매우 유용한 설비다. 그래서 불안정한 신재생에너지의 출력안정, 일시적인 부하상실사고 발생 시 백업수단으로써 battery가 많이 활용된다. 또한 경부하시간대에 전력을 저장하여 최대부하시간대에 저장된 전력을 공급하는 전력평준화(Load Leveling)의 수단으로도 battery가 적극 사용되고 있다. 이와 같이 전력수요 관리용도로 사용되는 battery는 미국과 일본 등에서 활발하지만 국내는 보급의 초기단계에 있다.

지난 9.15정전사고와 폭염과 혹한으로 인한 계절 간

---

\* 주저자 : 전력연구원 스마트에너지연구소 책임  
\*\* 교신저자 : 충남대학교 정보통신공학과 교수  
\* Main author : Principal Researcher KEPRI Smart Energy Laboratory  
\*\* Corresponding author : Professor CNU department of Information & Communication Engineering  
Tel : 042-865-5391, Fax : 042-865-5944  
E-mail : yangsek@kepco.co.kr  
접수일자 : 2012년 8월 22일  
1차심사 : 2012년 8월 25일, 2차심사 : 2012년 11월 6일  
심사완료 : 2012년 12월 10일

전력피크완화를 위한 전력수요관리가 강화되면서 수요관리의 유력한 수단 가운데 하나인 battery의 중요성이 점차 부각되고 있다. 그러나 국가적으로 효과적인 전력부하평준화를 도모하려면 수요관리용 battery의 보급량이 많아야 한다.

전력수요관리용도로 battery가 보급될 경우 보통 정부로부터 지원금이 제공되지만, battery보급의 가장 큰 제약사항은 역시 높은 시스템가격이다. 자료에 따르면 2020년경에는 2010년 battery(리튬이온기준)가격의 1/4로 하락할 것으로 예측되고 있다[1]. 물론 장기적으로 시스템 전체의 가격은 하락하겠지만 Cell을 제외한 설비들의 가격 하락폭은 크지 않을 것으로 예상된다. 따라서 battery의 수요관리용도로의 보급은 1차적으로 수용가의 battery 도입에 따른 편익극대화 방안을 제시하는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 본론 ‘2.2 시뮬레이션 방법’에 기술된 바와 같이 전력계통과 연계된 BESS의 부분충방전(60% DoD)을 전제로 모든 시험, 분석이 진행되었다.

## 2. 본 론

### 2.1 적정용량 산정개념

본 논문은 수용가의 전력수요관리용 battery 도입을 촉진하기 위한 수용가 측의 경제성 제고방안을 위해 battery 적정용량설계 방법을 제시하고자 한다. 만일 수용가의 수요관리용도에 비추어 battery의 과다, 과소 설계할 경우 낭비요소가 발생할 수 있으므로 적정용량을 설계하는 것은 경제성 제고에 매우 중요하다. 여기서 적정용량이라는 개념은 특정수용가의 부하율과 수용율로부터 출발한다. 부하율은 보통 다음과 같이 정의된다.

$$\text{부하율}(\text{load factor}) = \frac{\text{평균전력}}{\text{최대전력}} \quad (1)$$

또한 일차적으로 적정용량을 산정하기 위해 수용가의 최대피크용량과 평균전력을 기준으로 부하율을 산정한다. 이러한 관점에서 최대로 평준화 할 수 있는

에너지저장장치의 PCS(Power Converting System) PCS용량은 다음과 같은 범위에서 산정할 수 있다.

$$\text{Average}(\text{load}) - \text{Min}(\text{load}) \leq \text{BESS}_{\text{pcs}} \leq \text{Max}(\text{load}) - \text{Average}(\text{load}) \quad (2)$$

PCS<sub>cap</sub> : 전력변환장치(PCS)의 용량(Capacity)

한편으로 BESS Storage 용량의 경우 수용율의 개념과 유사한 방법으로 적정 용량을 산정할 수 있다. 보통 수용율은 설비용량에 대한 최대수용부하의 비로 정의되는데 저장장치의 Storage부분에 대한 용량 산정도 유사하게 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{BESS ratio} = \frac{\text{wanted peakload}}{\text{peakload}} \quad (3)$$

위의 BESSratio는 절감하고 싶은 최대부하에 해당하는 전력부하와 그 기간에 소비되는 에너지(전력)의 비율을 의미하며, 위의 식에 대한 상세 해석은 다음과 같다.

$$\text{BESS}_{\text{Storage cap.}} = \frac{\sum_{t=0}^i \{(\text{load}_t - \max(\text{load}_t) \cdot C_p) \cdot U_t\}}{(E_{\text{BESS}} \cdot \text{Tr}_{\text{BESS}})} \quad (4)$$

C<sub>p</sub> : BESS를 설치한 수용가가 원하는 피크절감의 값(BESS 연계 전에 발생된 피크 값에 대한 비율, 0 ≤ C<sub>p</sub> ≤ 1의 범위)

E<sub>BESS</sub> : BESS의 PCS 효율

Tr<sub>BESS</sub> : BESS와 계통과의 연계 시 발생하는 변압기의 손실

여기서 U<sub>t</sub>는 0 또는 1의 값을 갖는 결정함수로 다음과 같다.

$$U_t = \begin{cases} \text{load}_t \leq \max(\text{load}_t) \cdot C_p, & U_t = 0 \\ \text{load}_t > \max(\text{load}_t) \cdot C_p, & U_t = 1 \end{cases} \quad (5)$$

### 2.2 시뮬레이션 방법

본 논문에서는 전력계통에 연계, 설치된 계통연계형

BESS의 용량산정을 시험, 분석하는 것이며 battery의 방전심도는 60%(80%~20%)를 적용하였다. 따라서 이와 같은 방전심도조건에 매일 충방전을 1회씩하는 조건에서의 리튬이온전지는 설치 운전시점으로부터 약 20년 이상(통상 10,000cycles)의 수명이 기대된다.

BESS의 적정용량 산정을 위해서 먼저 부하율 항상 정도를 분석하고, 공급계약용량이 아닌 피크전력을 기준으로 시뮬레이션한다. 따라서 부하율 항상에 따라 저장장치의 용량이 정해질 것이며, 부하율 항상에 따른 이득의 정도가 경제성에 반영되어, 피크억제 효과가 최종 분석될 것이다.

피크억제 효과분석을 위해 피크 발생 시간대의 BESS를 통한 부하 억제, 경부하시의 에너지 저장 메커니즘을 통한 피크억제 효과분석의 절차를 수행하고자 한다[2]. 그런데 적정용량산정을 위해 이와 같은 목적을 달성하기 위한 특정한 용량산정 최적화 프로세스가 필요하다. 이 프로세스는 표 1과 같으며 용량최적화를 도출하기 위해 최적화 프로그래밍엔진('IBM ILOG CPLEX')에 본 알고리즘을 탑재하였다. 이러한 프로세스 기반 시뮬레이션은 수용가 실 부하데이터를 이용하며, 전력요금절감, 부하율항상, 수용가 설비투자비 및 DR효과를 고려하여 최종 결론을 도출할 수 있다.

표 1. 용량산정 최적화 프로세스  
Table 1. Volume Optimization process

1	수용가의 부하를 만족하기 위한 전력회사와 BESS의 경제급전시행
2	특정시점에 BESS 완충을 위한 충전 전략시행
3	전력회사로부터 수전되는 전력의 전 구간에 대한 피크절감을 위한 시행
4	전력회사로부터 수전되는 전력의 특정시점에 대한 피크절감을 위한 시행
5	전력회사로부터 수전되는 비용 최소화
6	전력회사로부터 수전되는 충전비용 최소화
7	피크절감효과분석 및 피크절감에 따른 Benefit 분석
8	부하율개선효과분석 및 경제성분석

표 2. 일반용(을) 고압2 요금표  
Table 2. The electric charge for general(B) : contract demand of 300kW or more

구분	기본 요금 (원/kWh)	시간대	전력량 요금(원/kWh)		
			여름철 (7-8월)	봄가을철 (3-6, 9-10월)	겨울철 (11-2월)
고압 B/선택 2	7,430	경부하	46.2	46.2	50.2
		중간 부하	92.7	16.50	90.90
		최대 부하	162.0	83.90	132.50
시간대		경부하	23:00~09:00		
		중간 부하	09: 00~11: 00	09: 00~10: 00	
			12: 00~13: 00	12: 00~17: 00	
			17: 00~23: 00	17: 00~20: 00	
최대 부하	11: 00~12: 00	10: 00~12: 00			
	13: 00~17: 00	12: 00~17: 00 20: 00~22: 00			

### 2.3 시뮬레이션 수행 및 결과

#### 2.3.1 시험조건 설정

##### 1) 데이터 취득 및 요금적용

먼저 실제 수용가의 부하곡선을 얻기 위해 특정 수용가(건물)의 전력부하데이터를 5분 단위로 취득하여 아래와 같이 도식화하였다.



그림 1. 수용가 5분 단위 전력부하패턴  
Fig. 1. The 5minute's load pattern for the building customer

분석결과 최대수요전력은 1,100kW/15min으로 나타났으며, 순시피크는 1,120kW/5min으로 분석되었다. 또한 부하율은 83%, 최대부하와 평균부하의 차이는 209kW로 분석되었다. 계약종별은 일반용(을) 고압2로 수전되며, 다음 표 2는 해당 전력요금표를 나타낸다.

2) 시험범위 및 피크절감률 산출

적정용량 산출을 위해 PCS용량은 100kW~500kW로 순차적으로 증가시키고, 저장용량 역시 100kWh~1MWh로 순차적으로 증가시켜가며 표 1과 같은 평가 프로세스에 의거하여 시뮬레이션하고, 그 결과 도출된 피크절감률은 다음 그림 2와 같다. 표 3은 그림 2와 관련하여 저장장치 연계 시 발생된 15min 피크의 개선된 값을 나타낸다.

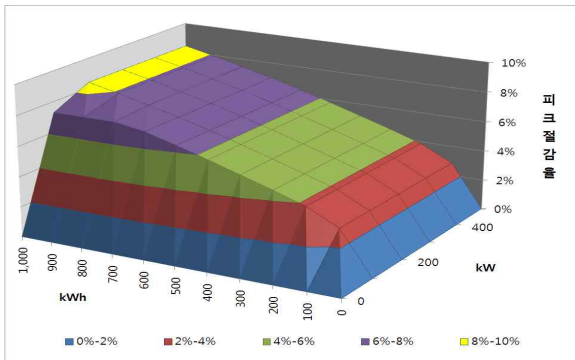


그림 2. 시뮬레이션에 의한 피크절감률  
Fig. 2. The peak shaving ratio by simulation

표 3의 결과치를 살펴볼 때 식 (3)에서 정의한 바와 같이 PCS용량이 100kW(저장장치 용량 : 800kWh) 인 경우 BESSratio는  $0.927(=1,020\text{kW} / 1,100\text{kW})$ 에 해당되며 이 때의 피크절감률은 7.27%을 갖는다. 원하는 피크절감률이 더욱 높을 경우 PCS와 저장장치 용량을 증가(표 3의 경우 PCS 200, 저장용량 1,000kW)하는 조건에서  $0.916(=1,007.7\text{kW} / 1,100\text{kW})$ 에 해당되며, 표 3의 범위 내에서는 더 이상 피크절감률을 증가시킬 수 없게 된다. 이와 같이 한계점이 존재하는 이유는 수용가입장의 시간대별 충전요금차등(저렴한 요금대의 경제적 완충진), 전력회사입장의 부하율향상 등의

계약조건을 충족시키는 범주 내에서 피크절감을 달성해야 하기 때문이다.

표 3. 저장장치 용량별 피크절감 시뮬레이션 결과  
Table 3. The peak shaving results for each storage volume by simulation

kWh \ kW	0	100	200	300	400	500
0	1100.0	1100.0	1100.0	1100.0	1100.0	1100.0
100	1100.0	1068.8	1068.8	1068.8	1068.8	1068.8
200	1100.0	1057.5	1057.5	1057.5	1057.5	1057.5
300	1100.0	1050.1	1050.1	1050.1	1050.1	1050.1
400	1100.0	1043.1	1043.1	1043.1	1043.1	1043.1
500	1100.0	1036.2	1036.2	1036.2	1036.2	1036.2
600	1100.0	1029.6	1029.6	1029.6	1029.6	1029.6
700	1100.0	1023.4	1023.4	1023.4	1023.4	1023.4
800	1100.0	1020.0	1018.0	1018.0	1018.0	1018.0
900	1100.0	1020.0	1012.6	1012.6	1012.6	1012.6
1000	1100.0	1020.0	1007.7	1007.7	1007.7	1007.7

3) 피크절감에 따른 요금절감산출

일반용(을) 고압 B 선택 2 요금에 의해 발생하는 연간 전력요금을 피크절감 효과에 따라 분석하면 다음 그림 3과 같으며, 단지 기본요금과 에너지요금만을 고려하였다.

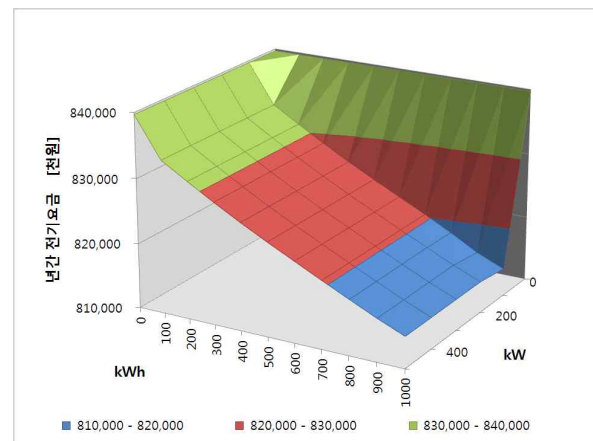


그림 3. 피크절감에 따른 전력요금 절감 시뮬레이션  
Fig. 3. Tariff reducing simulation according to the peak cutting

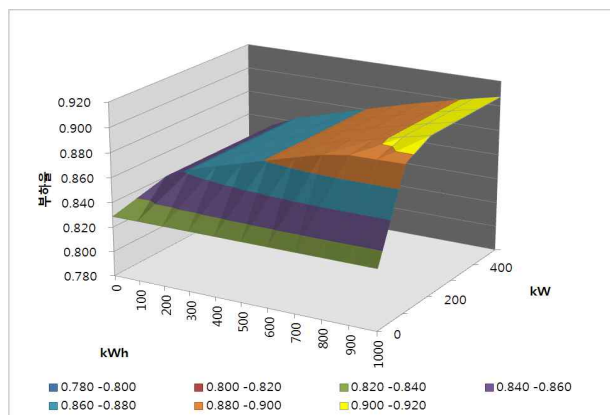


그림 4. 저장장치 연계 시 부하율 향상에 대한 시뮬레이션  
 Fig. 4. Simulation for the improvement of load factor when the BESS was connected

그림 4는 저장장치 연계 시 부하율 향상의 정도를 나타낸 것이다. 특히 100kW PCS 용량의 경우 약 800kWh이상의 BESS 적용 시 부하율 향상의 포화가 일어나는 것을 알 수 있다. 더 많은 BESS가 연계될 경우 다른 PCS 용량 역시 한계용량을 산출할 수 있을 것으로 추정되지만 본 시뮬레이션에서는 공간제약 등이 존재하므로 최대 1MWh로 수행하였다.

### 2.3.2 DR적용에 따른 경제성 분석

#### 2.3.2.1 DR 반응을 고려하지 않은 저장장치의 경제적 효과

수용가 측면에서 저장장치를 수용가 구내에 연계할 경우 최소의 비용으로 저장장치에 저장하고 피크시간에 방전함으로써 피크전력을 저감하고자 하는 것이 당연하다. 따라서 이와 같은 상황에 관한 시뮬레이션을 통해 현재기준의 payback period 산출 및 편익분석을 수행하였다. 또한 향후 BESS가격하락을 고려하여 동일한 방법으로 시험하고 비교분석하였다.

#### ① 저장장치의 투자비용

저장장치는 크게 PCS와 battery 부분으로 구분할 수 있으며, 투자비용 역시 PCS와 battery로 나누어서 비용을 산출할 수 있다. 본 경제성 분석을 위해서 PCS와 battery부분의 투자비용을 위 표 4와 같이 가정하였다[3].

표 4. 경제성분석을 위한 투자비용 가정  
 Table 4. The investment cost for the customer to analyze the benefit

	PCS 투자비용	Battery 투자비용	적용된 피크요금
'12	72만원/kW	42만원/kWh	7,430원
'15	62만원/kW	23만원/kWh	/kW
비고	'12년 대비 80% 비용적용	'12년 대비 50% 비용적용	

표 5. 저장장치 투자 시 투자회수 기간 결과('12 기준)  
 Table 5. The payback period for the customer's investment(In 2012)

kWh \ kW	100	200	300	400	500
100	20.14	32.74	45.33	57.92	70.51
200	19.81	28.82	37.82	46.83	55.83
300	19.79	26.85	33.92	40.99	48.05
400	19.94	25.80	31.66	37.53	43.39
500	20.22	25.28	30.33	35.39	40.45
600	20.55	25.01	29.48	33.94	38.41
700	20.81	24.82	28.82	32.82	36.82
800	20.91	24.72	28.35	31.99	35.62
900	20.83	24.68	28.01	31.35	34.68
1000	21.19	24.81	27.91	31.01	34.11

#### ② 투자이익

저장장치를 설치할 경우의 수용가이익은 피크절감에 따른 기본요금 절감이익과 시간대별 에너지요금의 차이에 의해 발생하는 차액요금을 투자이익으로 산정하였다. 표 5는 2012년 기준 투자비용을 토대로 시뮬레이션한 결과다. 즉 저장장치의 용량에 따른 값을 기준으로 payback period를 환산한 값을 의미한다. 표 6은 2015년의 예상되는 투자비용에 대한 payback period의 결과를 나타낸다[4].

표 6. 저장장치 투자 시 투자회수기간 산정결과('15)  
Table 6. The payback period for the customer's investment(In 2015)

kW kWh	100	200	300	400	500
100	11.33	18.89	26.44	34.00	41.55
200	10.81	16.21	21.61	27.02	32.42
300	10.60	14.84	19.08	23.32	27.56
400	10.56	14.07	17.59	21.11	24.63
500	10.62	13.65	16.68	19.72	22.75
600	10.72	13.40	16.08	18.76	21.44
700	10.81	13.21	15.61	18.01	20.41
800	10.82	13.09	15.27	17.45	19.63
900	10.74	13.01	15.01	17.01	19.01
1000	10.90	13.02	14.88	16.75	18.61

2.3.2.2 DR 반응 고려한 저장장치 연계 시 경제 적 효과

수요반응(DR)에 부합하는 피크절감 효과를 얻는 것이 저장장치를 투자하는 수용가가 원하는 핵심요건이다. 따라서 피크절감 효과와 함께 수요관리 자원으로 활용 시 경제적 타당성을 분석하기 위해 표 7과 같은 가정 하에 분석했다. 즉 전력수요관리의 경우 현행 주간예고와 상시예고 지원제도를 통해 시장에 참여하는 것으로 가정하였는데, 관련 사항은 다음 표 7과 같다. 이 표는 2010년 수요관리지원제도를 통해 지원된 지원금을 나타내며 그 평균비용을 산정하여 본 시물레이션에 활용하였다[5].

그런데 통상 전력부하설비들은 자체의 한계용량이

표 7. 수요관리 프로그램 참여의 가정 조건  
Table 7. The necessary data for simulation when the customer participate DSM program

	참여량	참여시간	지원금(원)	kW당 비용(원)
주간 예고	100%	20시간	7,296,000	3,648
상시 부하관리	100%	100시간	4,480,000	448

존재하며, 시장의 DR신호에 부득이 참여하지 못하는 경우도 발생할 수 있다. 이와 같은 현실적인 제약조건을 고려하여 각 용량별 참여할 수 있는 비율을 다음과 같이 가정하였다[6].

표 8과 같이 제시된 확률로 DR에 참여할 경우의 시물레이션 결과는 표 9~10과 같다.(2012년 및 2015년 투자비용을 전제로 함)

표 8. 각 용량 별 수요관리자원으로 활용할 수 있는 가정된 확률  
Table 8. The DSM utilization probability for each BESS volume

kW kWh	100	200	300	400	500
100	20%	20%	20%	20%	20%
200	20%	20%	20%	20%	20%
300	20%	20%	20%	20%	20%
400	20%	20%	20%	20%	20%
500	100%	100%	100%	100%	100%
600	100%	100%	100%	100%	100%
700	100%	100%	100%	100%	100%
800	100%	100%	100%	100%	100%
900	100%	100%	100%	100%	100%
1000	100%	100%	100%	100%	100%

표 9. DR을 고려한 저장장치 투자 시 투자회수기간 산정 결과('12 기준)  
Table 9. The payback period including DR for customer's investment(In 2012)

kW kWh	100	200	300	400	500
100	14.81	24.07	33.32	42.58	51.83
200	13.07	19.02	24.96	30.90	36.84
300	12.32	16.71	21.11	25.51	29.91
400	11.93	15.44	18.95	22.46	25.97
500	11.73	14.67	17.60	20.54	23.47
600	11.63	14.16	16.68	19.21	21.74
700	11.55	13.77	16.00	18.22	20.44
800	11.46	13.49	15.48	17.46	19.44
900	11.33	13.28	15.07	16.86	18.66
1000	11.36	13.14	14.79	16.43	18.07

표 10. DR을 고려한 저장장치 투자 시 투자회수 기간 산정 결과('15 기준)

Table 10. The payback period including DR for customer's investment(In 2015)

kW kWh	100	200	300	400	500
100	8.33	13.88	19.44	24.99	30.55
200	7.13	10.70	14.26	17.83	21.39
300	6.60	9.24	11.88	14.52	17.15
400	6.32	8.42	10.53	12.63	14.74
500	6.16	7.92	9.68	11.44	13.20
600	6.07	7.58	9.10	10.62	12.13
700	6.00	7.33	8.66	10.00	11.33
800	5.93	7.14	8.33	9.52	10.71
900	5.84	7.00	8.07	9.15	10.23
1000	5.84	6.90	7.89	8.87	9.86

### 3. 결 론

지금까지 BESS의 DR참여 시 수용가의 투자비용 최소화를 위한 적정용량 산출방법에 관해 구체적으로 다루어 보았다. BESS의 수용가 보급촉진을 위해 경제성 확보가 전제되어야 하며, 이를 위해 적정용량설계가 매우 중요하다.

본 논문에서는 수용가 실 부하데이터를 토대로 몇 가지 조건을 가정(DR참여 확률, 미래 BESS가격, 지원금 수준 등)하여 시물레이션을 통해 의미 있는 용량 최적화의 결론을 도출하였다. 시물레이션은 최적화 Tool('IBM ILOG CPLEX')의 평가프로세스를 기반으로 수행하였으며, 일반용(을) 전력요금을 적용하여 실제적으로 적용 가능한 결론을 도출하기 위해 노력하였다.

결론적으로 본 용량 최적화 분석을 통해 통상적인 payback period(10년 이상)보다 훨씬 향상된 효과를 얻을 수 있었다. 물론 본 시물레이션에서 가정한 전제조건들의 변동 시 산출결과는 다소 달라질 수 있을 것이지만, 기본적인 접근방법은 여전히 효과적인 것으로 사료된다.

BESS의 다양하고도 효과적인 활용 가능성에도 불구하고 아직까지 국내에서 BESS는 수요관리에 효과

적으로 사용되고 있지 못한 상황에서 본 접근 방법은 국가적으로 혹은 전력회사의 입장에서 향후 수용가의 BESS 도입 촉진을 위해 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2011년도 기반기금의 전력산업인프라구축 지원사업(전력수요관리평가사업)의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

#### References

- [1] Kim bong suk, The economic analysis of BESS application to electric power industry , pp. 8, 2011.10.25.
- [2] Shawn Fitzpatrick, P.F, Matt Murry, Community Storage Report, Advanced Energy, January 14, pp. 6, 2011.
- [3] DOE/NETL-2008/1330, Market Analysis of Emerging Electric Energy Storage Systems, pp.5~30, 2008.
- [4] KEPCO, The theory and task for DSM, pp. 208~215. 2002.11.
- [5] ,KEPCO Home Page, www.kepco.co.kr
- [6] KEPCO KEPRJ A Study on the Practical DSM Policies in the Power Utilities, pp. 215~271, 2010. 4.

#### ◇ 저자소개 ◇



#### 양승권 (梁承權)

1962년 12월 10일생. 1985년 아주대학교 전자공학과 졸업. 1989년 조선대학교 산업대학원 졸업. 2002년~ 현재 충남대학교 정보통신공학 박사수료.



#### 김대영 (金大映)

1952년 5월 28일생. 1975년 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 1977년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사). 1983년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사). 1983년~현재 충남대학교 정보통신공학과 교수. 2006년~현재 ISO/IEC

JTC 1/SC6 의장. 2007년~현재 미래인터넷포럼(FIF) 부의장. APAN(Asia-Pacific Advanced Network) 부의장. 2009년~현재 아시아인터넷포럼(AsiaFI)부의장. 2010년~현재 미래인터넷표준포럼(FIF -std) 의장.  
관심분야 : 미래인터넷, 인터넷 표준, 인터넷 아키텍처