

고압수용가용 전지전력저장시스템의 최적 운전모형 수립에 관한 연구

김용상, 김재연, 김지원
한국전기연구소

Optimal Operation Model of Battery Energy Storage System(BESS) for High Voltage Customer

*Eung-Sang Kim, *Jae-Eon Kim, *Ji-Won Kim
*KERI

Abstract - This paper presents a optimal operation algorithm of 1MW class Battery Energy Storage System(BESS) which is constructed in EHWA electric corporation. Total electric charge of conventional '97 year and simulated '98 year are compared to verify the validity of the proposed algorithm. Simulation results have showed that the about ₩32,000,000 reduction of electric charge for 1 year.

광주공장에 설치하여 시험운전중이며 1998년 8월 11일 연구개발을 완료할 예정이다.

2.2 시스템 구성

이화전기(주)는 계약전력이 3,000kW이며 현재 산업용 전력(병), 고압전력(A) 선택요금1 로 가입되어 있으며, 22.9kV의 특고압을 수전하여 공장내부에서 3.3kV 로 저하시킨 다음 그림 1과 같이 전지전력저장시스템실에 있는 VCB(진공차단기)를 통하여 3.3kV/480V 물드변압기에 연결된다. 여기서 CB2와 연계리액터를 거쳐 2중 모드의 충방전 일체형 콘버터와 연결된 후 LL4000 전력저장용 연축전지와 연결된다.

1. 서론

산업경제의 발전 및 국민 생활수준의 향상으로 인하여 전력수요가 급격히 증가함과 동시에 주야간의 부하격차가 심화되어 부하율이 현저하게 저하하고 있는 추세이다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 것이 전력저장기술로 고려되며, 현재 실용화되어 있는 전력저장기술인 양수발전은 건설기간의 장기화, 입지조건의 제약, 건설비 증가, 송전손실 및 중소규모시스템 건설 곤란 등의 문제점이 있으나 전지전력저장시스템(Battery Energy Storage System : BESS)은 에너지 밀도가 높고, 모듈구조로 분산배치가 가능하고 입지제약이 거의 없어 수요지 근방에 설치가 가능하며 기동정지 및 부하추종등의 운전특성이 우수한 장점이 있어 가까운 시기에 실현 가능성이 높은 시스템으로 평가되고 있다.

이러한 시스템에 대하여 한계공사비 설정방법에 의한 검토^(1,4)와 양수 및 복합화력발전시스템과의 비교 검토에 의한 방법^(2,5) 및 투자비 회수방법에 대한 경제성 검토^(3,6)가 국내외적으로 수행되기는 하였으나 이들은 주로 학술적인 면은 많으나 실제의 시스템에 대한 평가는 수행되지 않았었다.

따라서 본 연구에서는 전지전력저장시스템을 개발하여 이화전기(주)에 설치하여 운전시 전기요금의 삭감측면에서 가장 효율적인 운전 알고리즘을 개발하고 개발된 운전알고리즘에 의하여 1년동안 운전시 전력요금의 절감을 산정하였다. 또한 전지전력저장시스템이 설치되지 않았을 경우의 전년도 1년치의 전력요금을 계산하여 설치 후 예상되는 전력요금과 비교검토에 의해 운전알고리즘의 효용성을 입증하였다.

2. 전지전력저장시스템의 구성

2.1 개요

전지전력저장시스템은 심야 경부하시에 전력계통으로부터의 잉여전력을 직류로 변환하여 2차전지에 저장하였다가 최대부하시나 필요시에 다시 교류로 변환하여 부하에 전력을 공급하는 시스템으로 최대부하삭감 및 부하평준화를 주목적으로 하는 전력저장시스템이다.

현재 산업자원부 지원하에 한국전기연구소와 이화전기(주)가 공동으로 1994년 6월 10일부터 총 4년에 걸쳐 1MW급 전지전력저장시스템을 개발하여 이화전기(주)

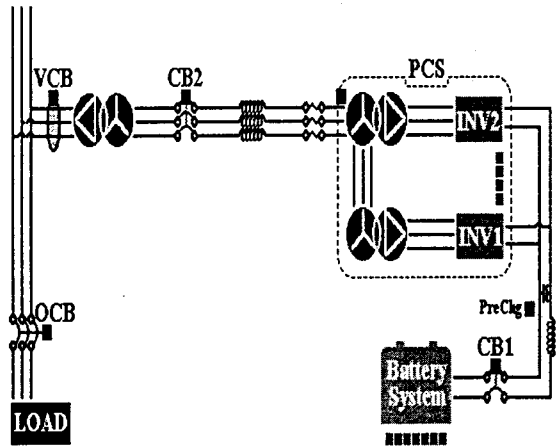


그림 1 전지전력저장시스템의 구성도

2.3 대상 수용가의 특징

대상 수용가인 이화전기(주)에서 적용받고 있는 선택 1의 전력요금은 kW당 기본요금이 선택 2 요금보다 약 15% 정도 많으나, 시간대별 요금(kWh)은 약 4% 정도가 낮은 편이다. 또한 '97년 7월 1일부터 개정사항을 보면 하계에 최대전력을 삭감하기 위해서 기본요금 결정시 당월치와 직전 12개월 중 7,8,9월의 최대치와 비교하여 큰 수치를 요금적용 전력으로 간주하므로 자가용 고압수용가의 경우 기본요금이 전체 전력요금에 미치는 영향이 상당함을 알 수 있다.

그리고 '95년 5월 1일 역률 요금제도의 개정내용에 의하면 고객의 역률이 0.9에 미달하는 경우 매 1%에 대하여 기본요금의 1%씩을 추가 징수시키며, 만약 고객의 역률이 0.9를 초과하는 경우에는 95%까지 초과하는 매 1%에 대하여 기본요금의 1%씩을 감액시켜 주고 있다. 참고로 '98년 1월 1일 개정된 계절별 시간대별 전력요금표는 표 1과 같으며, 1997년 동안의 월별 최대 수요전력 곡선은 그림 2와 같다.

표 1 계절별 시간대별 전력요금표('98년 1월1일 개정)

계절별	여름철	봄·가을철	겨울철
시간대별	07.01~08.31	04.01~06.30 09.01~09.30	10.01~03.31
경부하 시간대	22:00~08:00(29.2원)	22:00~08:00(29.2원)	22:00~08:00(29.2원)
중간부하 시간대	08:00~10:00 12:00~14:00 17:00~22:00(62.3원)	08:00~10:00 12:00~14:00 17:00~22:00(45.8원)	08:00~16:00 20:00~22:00(52.7원)
최대부하 시간대	10:00~12:00 14:00~17:00(106.7원)	10:00~12:00 14:00~17:00(62.3원)	16:00~20:00(73.1원)

(주) 선택 1 고압 A 의 kW당 기본요금은 3,960원임

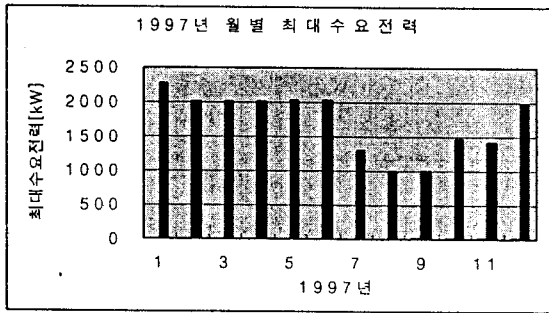


그림 2 1997년도의 월별 최대수요전력

3. 운전알고리즘 정립

본 연구에서 제작된 전지전력저장시스템은 용량이 1MW급 1시간용으로 유/무효전력의 독립제어가 가능하며, 정전력제어와 정전류제어가 가능하도록 설계/제작되었다. 현재 무정전전원장치의 대체기능을 가질 정도로 무순단 차단장치가 부착되어 있지만 평상에는 전지의 용량을 50%까지만 사용하므로 일단 운전중에 정전이 발생되면 남아있는 전지용량 만큼은 항상 부하에 전력을 공급할 수가 있다.

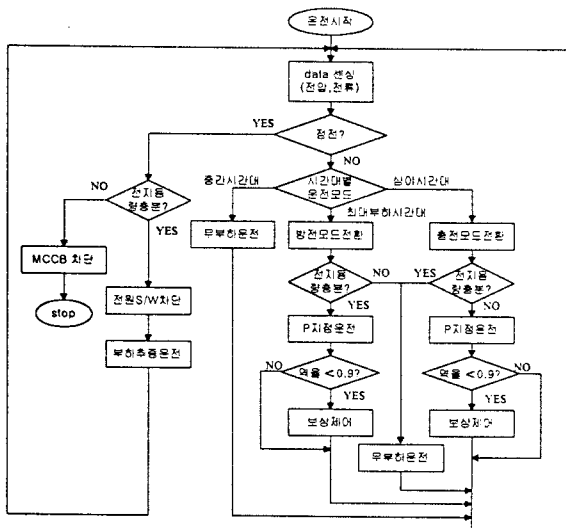


그림 3 운전알고리즘 흐름도

또한 전기공급규정상 계절별 시간대별 전기요금에 다르므로 본 시스템은 그림 3과 같이 전기요금이 저렴한 심야시간대에 주로 부하역할을 하도록 충전을 하고 전기

요금이 높은 최대부하 시간대에는 전원으로 부하에 전력을 공급하도록 하였다. 그리고 수용가에 역률이 0.9 미만이면 역률 보상운전을 하도록 하였다.

4. 기대효과

본 시스템의 특징은 정전시에 필요부하에 전력공급과 최대부하삭감 등의 효과가 있지만 본 논문에서는 전력요금의 삭감측면에 중점을 두었으므로 전력요금에 직접적으로 관련이 있는 기본요금, 전력량요금 및 역률에 관련된 전력요금의 절감측면을 검토해 보았다. 우선 이화전기(주)의 1997년도 계절별 시간대별 전력사용량은 표 2와 같고, 월별 종합요금 결정방법은 아래 식과 같으며, 각 부분별 요금 절감방법은 다음과 같다.

표 2 1997년도 계절별 시간대별 전력사용량

년월	기본요금 [단가(원)× 전력(kW)]	전력량 요금[단가 (원)×전력량(kWh)] (경부하, 중간부하, 최대부하 시간대)	역률요금 (90-역률)* 기본요금 [역률(%)]
97.1	3310×2280	27.1×108480, 47.1×108480 63.4×58152	93
2	3310×2021	27.1×109056, 47.1×161064 63.4×52896	92
3	3310×2021	27.1×121272, 47.1×158328 63.4×53712	94
4	3310×2021	27.1×91560, 41.5×107136 54.7×78288	92
5	3310×2026	27.1×79248, 41.5×94224 54.7×70704	92
6	3310×2026	27.1×90024, 41.5×99384 54.7×74088	88
7	3720×1310	27.4×90888, 58.5×103848 100.2×86304	91
8	3720×998	27.4×101232, 58.5×93048 100.2×70968	91
9	3720×1003	27.4×87240, 43.0×97032 58.5×70080	91
10	3720×1464	27.4×77928, 49.5×145584 68.6×52896	91
11	3720×1416	27.4×100344, 49.5×172080 68.6×59400	93
12	3720×1980	27.4×108720, 49.5×172368 68.6×57312	93

* 종합전력요금(K) = 기본요금(A) + (최대부하시간대 사용량×요금 + 중간부하시간대 사용량×요금 + 경부하시간대 사용량×요금) + 무효전력관련 요금(이때 여름철, 봄·가을철, 겨울철 요금을 고려한다)

① 기본요금 절감 방법

대상 수용가의 '97년의 월평균 기본요금 적용전력은 약 1700kW이므로 월 400kW 정도를 절감시킨다면 1년동안의 기본요금 절감분 = 400kW×3960원('98.1.1 일 이후의 기본요금)×12개월 = 1,900만원 정도가 가능하다.

② 전력량 요금 절감 방법

대상 수용가의 월평균 전력사용량은 288,000kWh 정도이고, 시간대별 전력량은 경부하시간대 34%, 중간부하시간대 44%, 최대부하시간대 22%이다. 그러나 전력요금은 하절기 및 춘·추절기에 경부하 대비 최대부하시간대가 각각 365%와 213%로 높으므로 본 시스템을 적용하면 상당량 절감이 가능하다. 대상수용가의 '97년도 1년동안 납부된 전기요금은 표 3과 같으며, 아래와 같은 제약 조건하에서 계절별 요금 절감량을 계산하면 다음과 같다.

표 3 이화전기(주) 1997년도 전기요금표

년월	기본요금 ①(원)	전력량 요금 ②(원)	역률요금 ③(원)	세금 ((①+②+ ③)×0.1) ④(원)	전기요금 (①+②+ ③+④) ⑤(원)	TV 수신 료 ⑥(원)	청구요금 (⑤+⑥) [원]
97.1	7546800	14606138	-226404	2192653	24119187	5000	24124187
2	6689510	13895138	-133790	2045085	22495944	5000	22500944
3	6689510	14149060	-267580	2057099	22628089	5000	22633089
4	6689510	11209773	-133790	1776549	19542042	5000	19547042
5	6706060	9925425	-134121	1649736	18147100	5000	18152100
6	6706060	10616700	134121	1745688	19202569	5000	19207569
7	4873200	17213100	-48732	2203756	24241324	5000	24246324
8	3712560	15328058	-37125	1900349	20903842	5000	20908842
9	3731160	10662432	-37311	1435628	15791908	5000	15796908
10	5446080	12970300	-54460	1839192	20198112	5000	20203112
11	5267520	15342225	-158025	2045172	22496892	5000	22501892
12	7365600	15442747	-220968	2258737	24846117	5000	24851117
	71423570	161361096	-1318185	23149644	254613126	60000	254673126

(월평균 전력사용량은 288,000kWh, 최대부하 시간대에 사용량은 전체에 비해 22%(이중에서 50%를 절감한다). 1일 400kW로 2시간 30분 방전, 그리고 시스템의 전체효율은 75%로 가정한다)

우선 하절기 월 절감금액 = {월평균 전력량(288,000kWh) × 최대부하 시간대 사용량(0.22) × 전기요금(106.7원) × 절감예정용량(0.5)} - {월평균 전력량(288,000kWh) × 경부하 시간대 사용량(0.22) × 전기요금(29.2원) × 절감예정용량(0.5) × 시스템 운용효율(1/0.75)} = 2,146,848원이 된다. 같은 방법으로 계산하면 춘·추절기 및 동절기 월 절감금액은 각각 740,256원 및 1,082,400원으로 계산된다. 결국 연간 요금 절감금액 = 연간 기본요금 절감금액 + (2,146,848 × 2개월) + (740,256 × 4개월) + (1,082,400 × 6개월) = 32,757,120원 으로 연간 약 3,200만원 정도가 절감 가능하다.

5. 결론

본 논문에서는 1MW 1시간용 전지전력저장시스템을 개발하여 대상 수용가인 이화전기(주)에 설치하여 계통 연계운전시 현재 적용 받고 있는 산업용전력(병) 고압 A 선택 1의 전기요금의 절감 측면에 중점을 두고 운전 알고리즘을 설정하였다. 또한 본 논문에서 설정된 운전 알고리즘으로 운전시 '97년도의 1년동안 전기요금과 '98년도에 운전결과 예상되는 전기요금을 산정하여 비교/검토하였다. 그 결과 기본요금 및 전력량 요금만을 산정해봤을 때 연간 약 3,200만원 정도가 절감됨을 알 수 있었다. 이와 같이 본 시스템 적용시 수용가측에서의 장점 뿐만아니라 공급자 측인 전력회사 측면에서도 최대부하 삭감, 전원설비 및 송변전설비의 증축지연과 하계 예비율 상승에 기여할 수 있는 유용한 시스템으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김용상 외, "전력저장전지시스템의 도입전망과 경제성평가", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1991.7.
- [2] 김용상 외, "전지전력저장시스템의 국내적용을 위한 경제성 검토에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B권 p610 1995.7.
- [3] 김용상 외, "전지전력저장시스템의 경제성 평가를 위한 경

- 제모델에 관한 연구", 한국조 명·전기설비학회 논문집 Vol 10, pp 75-82 no 5, 1996. 10.
 [4] ERPI EM-4200, "Design and Cost of Standard-sized Lead-Acid Battery Systems for Utility Energy Management" August 1988.
 [5] EPRI EM-3872, "Updated Cost Estimate and Benefit Analysis of Customer Owned Battery Energy Storage", January 1985.
 [6] John A. Sharpe III, "Integrated Economics for Battery Energy Storage System in Electric Utility Applications", International Lead Zinc Research Organization Inc., January 1992.