

전력계통 제어용 초전도에너지 저장장치(SMES)의 검토사례 분석과 전력시장에서의 적용방안

이근준 (충북과학기술대학교 전기에너지시스템과)      운용범 (전력연구원 연구정책실, 전력연구원 초전도연구센터)      황시돌 (전력연구원 초전도연구센터)

Reassessment of SMES Application Studies and Systematic approach Method under Deregulation

Geun-Joon LEE  
EE, Chungbuk Science & Technology College

Y.B.Yoon      S.D Hwang  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - With the advancement of superconductor materials, especially in HTC YBCO(Gen II), the feasibility of SMES in power systems become much higher than previous days application[1]. Also, with the de-regulation of electricity market, it is indispensable to have a proper estimation of power quality index and power quality cost calculation mechanism to stabilize highly industrialized society and to vitalize the investment for electric power system. This paper suggests a comprehensive algorithm[2] to determine the policy of SMES investment with the PQ Indices[3] based on aggregated load CBEMA curve reflecting the voltage characteristics such as voltage sags and interruptions which make electric load in unstable operation.

1. 서론

오늘날 전력산업은 환경문제에 대한 인식 고조로 인해 대규모 전원이나 송전선로의 건설에 큰 곤란을 겪고 있으며, 또 다른 한편으로는 전력산업의 시장화로 투자에 대한 이익이 불투명하고 장기간이 소요되는 설비투자를 기피하는 경향이 확산됨으로써 전력 시스템 운용이 매우 경직화되고 있으며, 이로 인한 대규모 정전사례가 보고되고 있다.

초전도 전력기술은 최근 초전도 선재기술의 가속적인 발달에 힘입어 대전력 계통에 응용 가능한 기기들의 실용화 단계로 진입하고 있으며, 그중 SMES(Superconducting Magnetic Energy Storage)는 전력을 자기 에너지 형태로 저장, 방출하는 FACTS(Flexible AC Transmission System)기기 중의 하나로서 전력시스템에 병렬로 연결되어 유효/무효전력의 투입 흡수를 자유로이 할 수 있는 특성을 가지고 있으므로 송전계통의 안정도 향상은 물론 순동예비력 증가, 전력품질의 제어에 이르기까지 광범위한 응용이 예상된다.

이에 본 연구에서는 미국을 중심으로 이전에 검토되었던 SMES에 대한 연구 내용들을 EPRI에서 재검토했던 내용을 소개하고[1] 전력시장 하에서 SMES의 수요를 창출하기 위한 방법을 전력품질 제어 메커니즘에 의해 제시하고자 한다.

2. SMES 연구사례 분석

최근 미국의 EPRI에서 검토한 전력시스템 상의 SMES 적용 연구는 다음 9가지 case에 대한 것이다.

표 1. SMES 검토 연구

번호	연구 제목	년도
1	Southern California Edison Co.의 SMES 이익 평가	1996.5
2	Blythe의 SMES 평가	1995.6
3	San Diego Gas 전력회사의 SMES 이익	1996.6
4	New Mexico 의 SMES 전력회사 응용연구	1994.10
5	West Coast 전력회사의 SMES	
6	Niagara Mohawk 전력회사의 SMES	1995.2
7	New York 주 송전시스템에 대한 FACTS 기술 적용 타당성에 대한 해석적 연구	1996.5
8	Wisconsin Co의 SMES 적용 연구	1995.10
9	태평양 북서단에 대한 SMES의 이익	1996.9

2.1 SMES의 검토방법

SMES의 적용 타당성을 검토하기 위해 계통 동특성 모의 용으로 ETMSP(Extended Transient/Midterm Stability Program)가 사용되었으며, 그 모형은 그림 1,2와 같다.

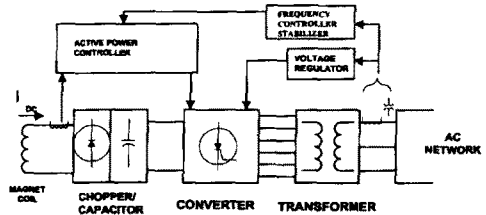


그림 1 SMES-FACTS 제어선도

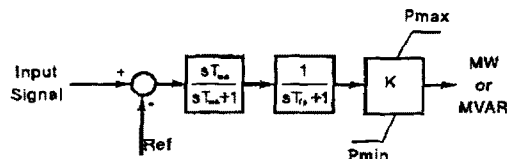


그림 2. SMES 블록선도

SMES의 가격 및 경제성을 검토하는 방법으로는 송전용량 증가분에 대해서는 ROE(Return on Equity)를 계산하

고 EPRI에서 개발한 DCF법(Discount Cash Flow) 사용하였다. 또 차단기 체제로 이익의 계산은 건당 \$580,000, 매년 2회를 기준하였다. 부하 평준화에 적용되는 SMES의 가격은 250\$/MVA를 사용하였다.

## 2.2 검토대상 연구의 상호 비교 및 분석

표 2 SMES 연구결과의 비교

적용	연구보고	전력용량(MVA)	축적에너지요구량(MWH)	이익(\$M)	가격(1)(\$M)	순현재가(\$M)
부하 평준화	4	400	400	180.3	193.6	-13.3
	2	150	150	134.5	208.2	-73.7
	7.4	100	100	54	84.3	-30.3
	7.4	100	400	123.7	171.9	-48.2
	2	20	20	26	87.2	-61.1
송전증가	2	900	1	145.1	86.8	58.3
	2	500	2	80.7	50.9	29.8
	5	480	0.133	80.5	49.6	30.9
	3	325	.5	32.2	40.7	-8.5
	5	260	0.072	48.3	35.2	13.1
	2.5	80	0.022	16.1	21.6	-5.5
연계선제어	2	30	5	87.7	56.2	31.6
순동 예비력	2	150	150	86.6	208.9	-123
	2	26	26	12.1	86.0	-73.8
	2	16	16	9.6	71.2	-51.7
산업전력예비	6	30	0.0833	16.4	8.3	8.2
	6	10	0.00833	8.3	2.1	6.1
대집적 부하	6	100	50	320.0	229.9	90.0
	6	100	250	320	474.5	-154.5
	6	100	1500	320	1659.5	-1339.5
	6	19	550	109.1	794.5	-685.3
	6	19	174	109.1	368.6	-259.5
차단기체제로	4	100	.5	20.2	38.0	-17.7

SMES의 이익 연구를 종합해 보면 SMES의 설치시 비용과 이익의 차를 현재가로 환산한 결과 송전용량 증가에 SMES를 응용할 경우 가장 경제성이 큰 것으로 나타났다.

위의 연구 결과 SMES를 적용하면 이익이 발생할 수 있다는 결론에 이르렀음에도 불구하고 SMES에 투자하지 않은 이유는 당시 연구참여자들을 중심으로 인터뷰를 실시한 결과에 의하면 규제 완화 지연과 시장에 대한 투자/수익의 불확실성 때문이었다. 잇달은 대정전사고 이후 시장규칙의 정비 및 기구의 조정으로 전력시스템의 신뢰도를 확보하기 위한 노력과 함께 시장의 구조도 설비투자율 조장하도록 변화하고 있으므로 SMES를 이용한 송전용량 증가방안에 대한 투자가능성이 증대되고 있다. 뿐만 아니라, SMES는 부하 평준화 및 첩두부하시 증분연료비 인상분의 차감 및 순간정전에 대응하는 예비력 공급의 효과가 있으므로 이와 같은 기회비용을 계산할 경우 전력계통 응용가능성은 더욱 높아질 것으로 기대된다.

## 3. 전력시장에서의 적용

전력시장에서 SMES의 적용방법은 적용대상에 따라 크게 송전/배전망 응용분야와 수용가에 대한 전력품질 응

용분야로 나눌 수 있는데 현재 상업화되고 있는 것은 주로 전력품질 분야로서 순간정전 및 Sag에 대처하기 위한 것이다. 1997년 SII(Superconductivity Inc.)에서 개발한 PQVR은 75%의 sag를 막을 수 있으며, 2000년 ASC에 의해 개발된 PQIVR은 40%의 단상에서 3상 sag를 처리할 수 있다. 이들 소형 SMES는 관련기술의 발달로 냉동장치의 50%, 운전비의 75%정도를 절감하고 있다. 대전력 계통에 대한 적용은 지속적인 저전압의 해소, 계통동요의 해소, 전압안정화 및 부하 평준화를 고려할 수 있는데 1981년 BPA 30[MJ](태평양 Intertie의 계동력강화), 2000년 Wisconsin 6-DSMES(전압붕괴 방지)의 실제 적용 사례가 대표적이다[6].

우리나라 전력계통에 대한 적용 방안으로는 우선 경인지역을 공급하는 송전망이 전압안정도에 의해 제한되는 데[4], SMES에 의한 순동 유효/무효전력의 공급을 검토해 볼 필요가 있다. 전동기 부하 70%이상 포함된 계통을 대상으로 동적 전압안정도 시뮬레이션을 한 결과, 고속 SVC를 사용하면 계통 변화시 순간적으로 필요한 무효전력을 공급함으로써 전압붕괴를 지연/방지하는 것이 가능하였다.[5]

다음 표와 그림은 초전도 선재에 따른 4가지 case에 대한 SMES 코일의 가격을 비교한 것이다.

표 1. HTS 비교를 위한 SMES 코일 설계 파라메타

파라메타	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
저장 에너지	4MJ	100MJ	1500MJ	1500MJ
정격 전력	2MW	50MW	100MW	100MW
형태	solenoid	solenoid	solenoid	toroid
Aspect ratio*	0.25	0.25	0.25	0.25
운전 자장	3-15T	3-15T	3-15T	3-15T
도체 형상	케이블	케이블	케이블	케이블화 테이프
Duty Cycle	2-4cycle/월	1cycle/월	5cycle/권/월	5cycle/권/권

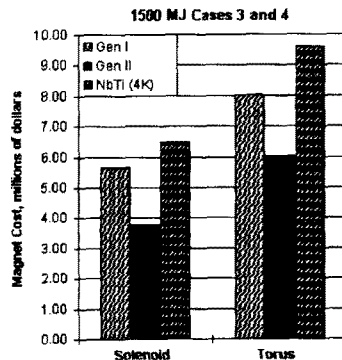


그림 3 1500 MJ SMES 시스템의 가격 비교 - Case 3과 Case 4

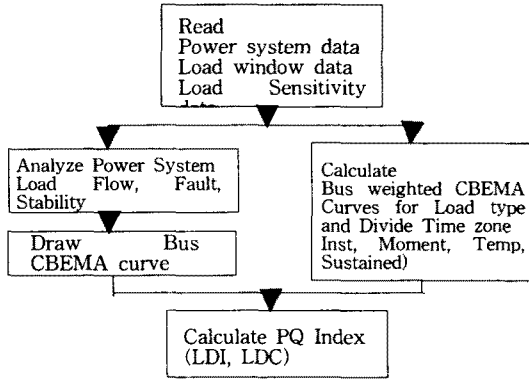


그림 5 전력품질지표의 계산 프로세스

### 3.1 전력시장에의 적용방법

전력시장에 SMES를 도입하려면 대상 계통 및 부하의 요구특성과 SMES의 성능을 충분히 고려할 수 있는 해석 방법이 필요하다. 본 논문에서는 전력수용가와 전력회사간의 전력품질 문제로서 계통의 고장에 의하여 가장 빈번히 발생하는 정전 및 저전압(voltage sag)을 대상으로 이에 의한 수용가 부하의 탈락이 초래되는 현상에 대해 SMES의 도입 타당성을 분석하는 방법을 제안한다. CBEMA곡선은 전압서비스 변동에 대한 부하의 허용 안전한계를 나타낸 곡선으로 부하 종류별에 따라 다른 특성을 가지며, 공급전압의 품질을 해석이나 실측에 의해 산출하면 부하계통의 동작을 가능할 수 있는 기준이 된다.

1. CBEMA Curve와 그림5의 프로세스에 의해 현재 전력시스템의 전력품질지표(부하탈락지표(LDI), 부하탈락가액(LDC))를 산출한다[3]
2. 요구 품질수준과 품질지표를 비교하여 그에 상응하는 SMES의 선택을 위한 Power System engineering을 수행하여 위치, 용량, 특성을 결정한다[2].
3. 해당 SMES를 전력계통에 적용(simulation)하여 다시 전력품질지표들을 산출한다.
4. SMES의 용량을 미소 증가시켜 LDC의 증감을 계산한다. 만약 품질조건을 만족하면서, LDC감소비용-SMES추가비용 > 0이면 추가투자는 경제적 판단이다.
5. 품질지표에 상응하는 LDC(또는 Rebate비용), SMES Cost 및 운용비용, 기타 비용들을 산출하여 전력회사 부담비용을 결정한다.

### 4. 결 론

SMES의 적용가능성을 검토하기 위해 이전의 연구사례를 조사하고 전력시장이라는 조건하에서 새로운 적용가능성을 전력품질 향상이라는 측면에서 고찰해 보았다. 1. EPRI의 이전 적용타당성 검토에서 SMES는 송전용량 증대방안으로 가능성이 크나, 전력시장의 불투명에 따른 투자회수의 불확실성으로 인해 설치되지 않았다. 2. 발전 및 송전예비력 저하로 인한 계통불안정 사고등으로 인해 전력의 안정운용을 고려한 설비투자를 유도하기 위해 시장구조가 조정되고 있으며, 전력품질기준에 의해 투자를 유도하는 프로세스가 필요하다.

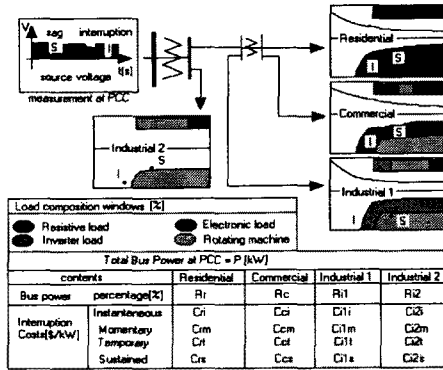


그림 6 전력품질지표 산출 개념도

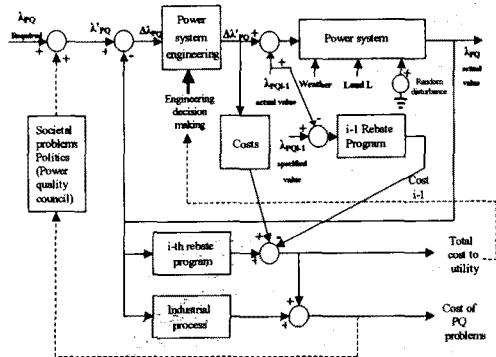


그림 7 전력품질제어개념에 의한 SMES 도입방안

3. 본 연구는 CBEMA곡선에 의해 전압문제에 발생한 전력품질저하가 부하차단을 유발시키는 조건을 고려하여 부하유지차단회수와 관련비용(LDI, LDC)를 구하고 SMES에 의해 발생하는 품질개선을 계산하여 적정 SMES 투자의 적정성을 검토하는 방안을 제시하였다.
4. 이의 타당성을 입증하기 위한 후속연구는 앞으로 수행될 것이다.

### {참고문헌}

- [1] "Reassment of SMES Transmission System Benefits", EPRI Report1006796, March 2002
- [2] Geun-Joon LEE, G. Heydt, "An Interactive Dynamic Mechanism Conceptualizing the Cost and Benefit of Electric Power Quality", Electric Power Components and Systems, 321:879-890, 2003
- [3] Geun-Joon LEE, M.M.Albu, G.T.Heydt, "A Power Quality Index Based on Equipment Sensitivity, Cost, and Network Vulnerability", IEEE PowerDelivery, Publixhed 2003.
- [4] 김재철, 차승태, 윤용범, 박철우, 김건중 "한전계통에서의 순동 무효전력원의 필요성 검토", 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 2001. 11.15-17, pp. 215-217
- [5] 이근준, "동적전압붕괴에 대한 외란의 영향 평가 및 제어기 적용효과의 분석", 대한전기학회 논문지 49A권 1호, 2000. 1
- [6] W.Buckles "SMES", IEEE Power Eng. Review, 5, 2000