

한전계통에서 중장기 조상설비 소요량 산정에 관한 연구

김호표, 허 연, 최재명, 김상권, 이호용
한국전력공사

A Study on the amount of compensators at the KEPCO system in a middle-long term point of view

H.P Kim, Y Hur, J.M Choi, S.G. Kim, H.Y Lee
Korea Electric Power Corporation

Abstract - Compensators need to keep the voltage properly at the KEPCO system in a middle-long term point of view. Therefore, it is necessary to forecast the amount of compensators. In this paper, we analyze how much compensators are needed and what kind of effects is given on the KEPCO system in a middle-long term point of view. In addition, this analysis is based on the books named "The plan of Transmission and Substation at the KEPCO in 2005" and we used PSS/E program when we analyze the KEPCO system.

1. 서 론

조상설비는 송수전단 전압이 일정하게 유지되도록 하는 조정 역할과 역률 개선에 의한 송전손실의 감소, 전력계통의 안정도 향상을 목적으로 하는 설비이다. 일반적으로 동력부하는 유도성 부하가 많으므로 중부하시에는 큰 지상 전류가 흘러 전압강하와 전압변동률이 크게 된다. 한편 장거리 송전시 경우하로 되면 선로의 대지 커패시턴스 때문에 페란티 현상이 발생하게 된다. 이처럼 송전선에 흐르는 무효전류는 전력손실을 증대시키고 동시에 송전 용량을 감소시켜 시스템의 안정도를 저하시킨다. 따라서 이들의 영향을 제거하기 위해 수전단에서 중부하시에는 진상무효저역률, 경우하시에는 지상무효전력을 공급하여 송전선의 전압을 조정하고 있다.

조상설비에는 동기 조상기, 비동기 조상기, 전력용 콘덴서, 분로 리액터 등이 있으며 본 논문에서는 정지형 설비인 전력용 콘덴서와 분로 리액터만을 고려하였다.

한전계통도 중장기적으로 적정전압을 유지하기 위하여 적절한 조상설비 설치가 필요하다. 따라서, 중장기적으로 조상설비 소요량을 전망하고, 무효전력 수급 계획상의 변전소별 조상설비소요량을 안내하여 송변전 설비 건설시 조상설비 설치공간 규모 결정의 기초자료 제시가 필요하다.

본 논문에서는 중장기 전력계통의 적정전압 유지를 위해 무효전력 수급 계획상의 조상설비 소요량을 제시하였다.

2. 본 론

조상설비 소요량 산정은 무효전력을 계산하는 문제이다. 무효전력량은 전력조류의 변화, 수요의 변화, 변압기 탭 조정, 발전기의 충분한 순동예비력 확보등의 다양한 요소들에 의하여 영향을 받는다. 또한 전기 품질 측면에서도 전압유지 범위나 부하역률 유지 기준 등에 따라 조상설비 소요량이 크게 달라질 수 있다. 따라서 본 논문에서의 고려사항 및 검토기준은 다음과 같다.

2.1 중장기 조상설비 소요량 산정시 고려사항

가. 계통여건의 불확실성에 대한 조상설비 설치률 고려

- 수요예측의 불확실성
- 송전선로 고장시 전압안정도 및 적정전압 유지
- 조상설비 고장 등에 대한 여유용량 고려
- ※ 운영측면을 고려한 조상설비(SC) 소요량 범위 제시

나. 계통전압 조정은 변압기 탭(ULTC)보다 조상설비 투입을 우선고려

- 하위 154kV 지역계통 단계부터 무효전력 수급균형 유지 고려
- 과도한 변압기 탭 응동시 하위계통 전압유지는 가능하나, 상위계통의 전압안정도 저하

☞ 상위계통의 전압강하 및 유·무효전력 선로손실 증가

- 변압기 탭과 조상설비간 전압조정 협조측면 고려

다. 발전기의 충분한 무효전력 공급역력 확보

- 계통외란시 대비 발전기의 충분한 무효전력 순동예비력 확보
- 전원단과 수요중심지(수도권)간 원격화로 발전기 무효전력에 의한 수요지 전압유지 한계성 고려

2.2 검토기준

가. 검토 대상년도별 부하전망

단 위 : MW

연 도	주간피크	심야경부하	비 고
2006년	54,618	32,771	○ 주간피크 : 제2차 전력수급 기본계획 (산업자원부, 2004. 12)
2007년	56,260	33,756	
2008년	57,847	34,708	
2010년	60,643	36,386	○ 심야경부하 : 주간피크 부하의 60% 수준 적용
2012년	63,148	37,889	
2013년	64,279	38,567	

나. 계통분리개소

구분	345kV			154kV			계		
	수도권	비수도권	소계	수도권	비수도권	소계	수도권	비수도권	총계
2006년	3	8	11	50	26	76	53	34	87
2007년	4	9	13	55	27	82	59	36	95
2008년	5	10	15	57	30	87	62	40	102
2010년	5	10	15	55	29	84	60	39	99
2012년	5	10	15	58	30	88	63	40	103
2013년	5	10	15	56	29	85	61	39	100

다. 검토기준

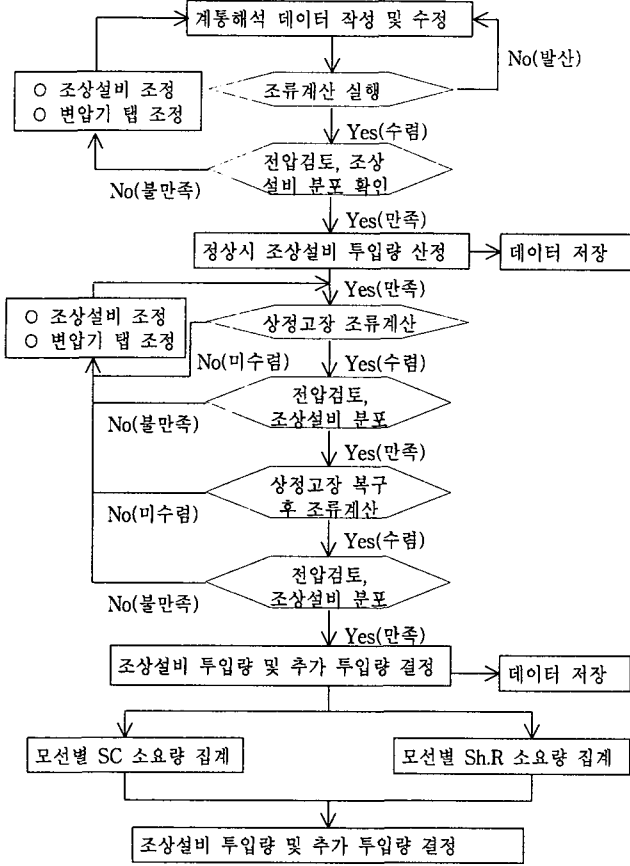
구 분	하계 주간 피크시	심야 경부하시	
검토대상	SC 소요량	Sh.R 소요량	
부하특성 모델	정전력형	좌동	
부하역률	M.Tr (수도권 : 90%, 비수도권 : 91%)	99%	
	직거래고객	좌동	
발전력 배분조건	경제급전 순위 고려	좌동	
발전기 단자전압	1.0	0.985	
변압기 탭 조정범위	0.95~1.05	0.95~1.05	
계통 전압 유지 범위	정상시	765 kV : 765~800kV 345 kV : 345~360kV 154 kV : 154~164kV	0.98PU~1.02PU
	상정고장시	상한치 : 정상시와 동일 하한치 : 0.925PU 이상	불고려
	고장상정조건	단일선로고장 : 765kV 송전선로 및 지중 선로 루트선로고장 : 345kV 이하 가공선로	불고려
조상설비 투입 가능량	○ 기설 변전소 : 현재 설치량 및 설치 가능부지 고려 ○ 계획 변전소 : 표준변전소 규모 고려		

- 1) "전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준"에 의거 전압유지 범위 선정
 - 하계주간 피크시 전압을 최대한 높게 유지할 수 있도록 S.C 보상을 하도록 함
 - 심야 경부하시 적정전압을 유지하는데 문제가 없도록 Sh.r 보상을 하도록 함

- 2) 발전력 배분은 경제급전을 우선 고려하고, 복상 계통제약을 고려한 무효전력 필요량을 산정함

- 3) 부하역률은 계통운영 실적을 바탕으로 실제계통 특성을 최대한 반영

라. 조상설비 소요량 산정 절차 (Flow Chart)



<그림 1> 조상설비 소요량 산정 절차

2.3 검토 결과

가. 연도별 조상설비 소요량

- 1) 정상계통 전압유지를 위한 조상설비 소요량
 - 주간 첩두부하시 전상조상설비(SC) 소요량

(단위 : Mvar)

구 분	2003년말	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년
수도권계	5,615	7,135	7,065	7,205	7,680	8,115	8,385
전 국 계	12,425	17,000	17,400	17,700	19,020	20,135	20,945

- 심야 경부하시 지상조상설비(Sh.R) 소요량

(단위 : Mvar)

구 분	2003년말	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년
수도권계	4,920	4,670	5,030	5,230	5,630	6,090	6,220
전 국 계	8,900	8,060	8,650	8,980	9,410	10,280	10,610

2) 송전선로 상정고장시 추가 SC 소요량

가) 소요량 산출방법

- ① N-1 및 N-2 고장상정 조류계산 결과, 미수렴 및 저전압 발생 경우를 각각 색출
- ② 미수렴 개소는 원인분석 후 수렴토록 조상설비를 적절히 보상하고, 저전압 발생 경우는 모선전압이 0.925PU 이상 유지되도록 SC 조정
- ③ 다시 상정고장을 제거한 정상계통에서 조류계산 후 모선전압이 정상계통시 유지기준에 만족토록 과전압 모선 소요량 재조정
- ④ 상기 ②,③항 조건이 만족되도록 조류계산 및 SC 소요량 조정과정 반복

나) 상정고장시 저전압개소 계통 전압 유지를 위한 SC 추가 소요량

(단위 : Mvar)

구 분	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년
수도권계	85	0	0	110	110	110
전 국 계	280	100	0	215	320	320

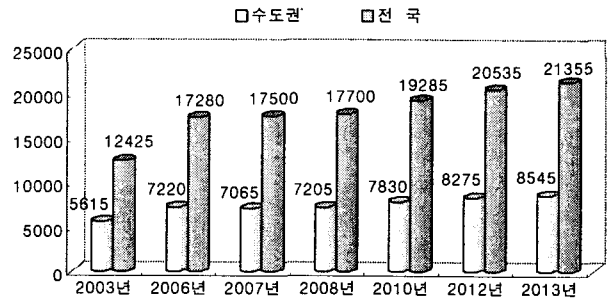
3) 조상설비 소요량 종합 (정상시+고장시)

가) 조상설비 소요량

① 전상조상설비 (SC)

(단위 : Mvar)

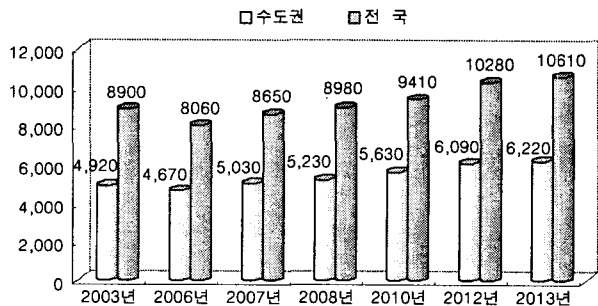
구 분	2003년말	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년
수도권계	5,615	7,220	7,065	7,205	7,830	8,275	8,545
전 국 계	12,425	17,280	17,500	17,700	19,285	20,535	21,355
증 감	-	-	220	200	1,585	1,250	820



② 지상조상설비 (Sh.R)

(단위 : Mvar)

구 분	2003년말	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년
수도권계	4,920	4,670	5,030	5,230	5,630	6,090	6,220
전 국 계	8,900	8,060	8,650	8,980	9,410	10,280	10,610
증 감	-	-	590	330	430	870	330



나) 연도별 조상설비 소요량 추이 분석

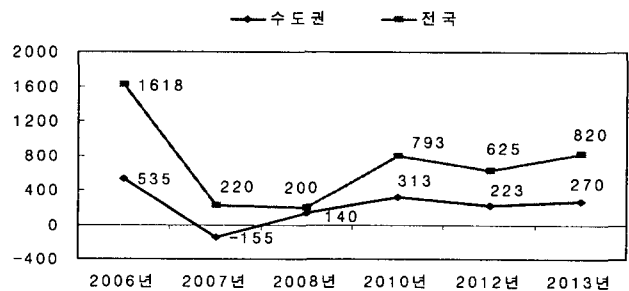
① 전상조상설비 (SC)

< 연평균 증가량 >

(단위 : Mvar)

구 분	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년	전체평균 (2003~2013)
수도권	535 (41.8%)	-155 (40.4%)	140 (40.7%)	313 (40.6%)	223 (40.3%)	270 (40.0%)	221 (40.6%)
비수도권	1,083	375	60	480	402	550	492
전 국	1,618	220	200	793	625	820	713

※ () 내는 수도권 점유율임



- 2006, 2010, 2012, 2013년의 경우에는 전국 수요증가와 함께 SC 소요량도 증가 추세로 나타남
- 수도권 SC 점유율은 평균 40.6%로 비슷한 추세이며, 765kV 신안성-신가평 T/L 연계효과로 2007년부터 약간 감소하였음

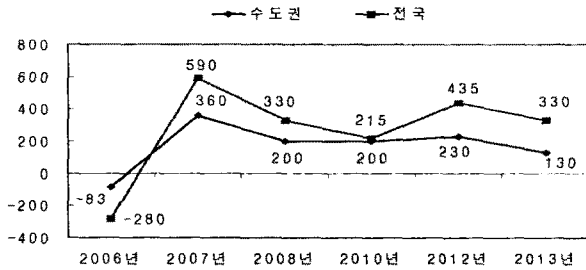
② 지상조상설비 (Sh.R)

< 연평균 증가량 >

(단위 : Mvar)

구 분	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년	전체평균 (2003~2013)
수도권	-83 (57.9%)	360 (58.2%)	200 (58.2%)	200 (59.8%)	230 (59.2%)	130 (59.2%)	173 (58.8%)
비수도권	-197	230	130	15	205	100	81
전 국	-280	590	330	215	435	230	253

※ () 내는 수도권 점유율임



- 수도권의 경우 Sh.R 점유율이 전국의 58.8%로 피크계통 SC 점유율 40.6%에 비해 월등히 크게 나타나고 있음은 경부하계통일수록 무효전력에 대한 전압변동 감도가 피크계통보다 훨씬 예민할 뿐 아니라 지중선로가 집중된 수도권 지역에 지상조상설비가 많이 투입된 것으로 분석됨
- 지상조상설비 소요량 증가추세는 전상조상설비 소요량과 반대성향을 나타내고 있으며 특히 수도권의 경우는 뚜렷하게 대조가 되고 있음
 - Sh.R 연평균 증가량 증가년도 : 2007년
 - S.C 연평균 증가량 감소년도 : 2007년

나. 연도별 무효전력 수급전망 분석

1) 주간 피크시

가) 발전단·부하단 무효전력 발생 및 소모 비교

[단위 : MW, Mvar]

구 분	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년	비 고
발전단	유효전력	54,254	55,993	57,592	60,563	63,460	평균
	무효전력	10,028	10,485	10,648	11,553	11,621	역율
	역율	98.3%	98.3%	98.3%	98.2%	98.4%	98.3%
부하단	유효전력	53,434	55,140	56,747	59,582	62,469	평균
	무효전력	24,677	25,449	26,189	27,501	28,843	역율
	역율	90.8%	90.8%	90.8%	90.8%	90.8%	90.8%

※ 부하단 역율은 검토기준에 근거한 정해진 값이며 발전단 역율은 부하 및 계통여건에 따른 값임

나) 송전계통의 무효전력 발생 및 소모 비교

[단위 : Mvar]

구 분	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년	
발전소	10,028	10,485	10,648	11,553	11,621	11,893	
(Step-up Tr 소모)	(6,164)	(6,383)	(6,646)	(7,053)	(7,546)	(7,809)	
부 하	(24,677)	(25,449)	(26,189)	(27,501)	(28,843)	(29,353)	
송전선로 충전용량 (선로손실)	765kV	1,966	2,216	2,215	2,224	2,755	3,105
		(840)	(1,114)	(1,251)	(1,443)	(1,564)	(1,871)
	345kV	8,556	8,942	9,122	9,990	10,100	10,030
		(8,398)	(8,919)	(8,866)	(11,065)	(10,800)	(10,930)
	154kV	7,496	8,041	8,609	9,346	9,607	9,648
		(4,324)	(4,385)	(4,407)	(4,553)	(4,957)	(5,237)
소 계	18,018	19,199	19,946	21,560	22,462	22,783	
	(13,562)	(14,418)	(14,524)	(17,061)	(17,321)	(18,038)	
조 상 설 비	16,357	16,566	16,765	18,502	19,627	20,524	
합 계	44,403	46,250	47,359	51,615	53,710	55,200	
	(44,403)	(46,250)	(47,359)	(51,615)	(53,710)	(55,200)	

※ () 는 무효전력 소모를 의미함

다) 분석 결과

- 평균역율 : 발전단 98.3%, 부하단 90.8%
- 계통요소별 무효전력 수급 구성비
 - 공급 : 발전기(22%), 선로충전용량(42%), 조상설비 (36%)
 - 소비 : 부하(54%), 손실(46%)

○ 송전계통의 충전용량 대 무효전력손실 비교 (전체년도 평균)

- 765kV 계통 : 충전용량이 대 (약 1.8배)
- 345kV 계통 : 거의 대등 (약 1.0 배)
- 154kV 계통 : 충전용량이 대 (약 1.9배 수준)
- 전송전계통 : 충전용량이 대 (약 1.3배 수준)
- 선로충전용량 크기는 345kV 154kV 765kV 계통 순임

2) 심야 경부하시

가) 발전단·부하단 무효전력 발생 및 소모 비교

[단위 : MW, Mvar]

구 분	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년	비 고
발전단	유효전력	32,285	33,943	34,953	36,685	38,465	평균
	무효전력	8,601	8,646	8,915	9,056	9,596	역율
역율	96.6%	96.9%	96.9%	97.1%	97.0%	96.7%	96.9%
부하단	유효전력	32,391	33,454	34,436	36,154	37,935	평균
	무효전력	7,541	7,791	8,057	8,437	8,796	역율
역율	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%

※ 부하단 역율은 검토기준에 근거한 정해진 값이며 발전단 역율은 부하 및 계통여건에 따른 값임

나) 송전계통의 무효전력 발생 및 소모 비교

[단위 : Mvar]

구 분	2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년	
발전소	8,601	8,646	8,915	9,056	9,596	10,278	
(Step-up Tr 소모)	(4,425)	(4,605)	(4,758)	(4,997)	(5,307)	(5,491)	
부 하	(7,541)	(7,791)	(8,057)	(8,437)	(8,796)	(8,961)	
송전선로 충전용량 (선로손실)	765kV	1,911	2,146	2,149	2,184	2,736	3,041
		(564)	(787)	(905)	(817)	(759)	(1,131)
	345kV	8,049	8,413	8,566	9,422	9,532	9,421
		(5,914)	(5,989)	(6,376)	(6,777)	(6,631)	(7,048)
	154kV	7,011	7,470	8,017	8,703	8,962	8,960
		(2,120)	(2,139)	(2,134)	(2,128)	(2,278)	(2,352)
소 계	16,971	18,029	18,732	20,309	21,230	21,422	
	(8,598)	(8,915)	(9,415)	(9,722)	(9,668)	(10,531)	
조 상 설 비	(5,008)	(5,364)	(5,417)	(6,209)	(7,055)	(6,717)	
합 계	25,572	26,675	27,647	29,365	30,826	31,700	
	(25,572)	(26,675)	(27,647)	(29,365)	(30,826)	(31,700)	

다) 분석 결과

- 평균역율 : 발전단 96.9%, 부하단 97.48%
- 계통요소별 무효전력 수급 구성비
 - 공급 : 발전기(40%), 선로충전용량(86%), 조상설비 (-26%)
 - 소비 : 부하(36%), 손실(64%)
- 송전계통 충전용량 대 무효전력 손실 비교
 - 충전용량이 월등히 대 (약 2.1배)
 - 765kV (약 2.9배), 345kV (약 1.4 배), 154kV (약 3.7배)
- 심야 경부하시에 전상조상설비(SC)가 상당량 투입되고 있으며 이는 전국 공단지역 및 154kV계통 말단 저전압 지역 변전소의 전압보상 역할을 하고 있음

3. 결 론

무효전력 및 계통전압의 정밀해석을 위해서는 시간적 시뮬레이션이 이상적이나, 부하 및 전력설비 전압특성 모델 구현의 현실적 어려움으로 일반적으로 적용하는 100% 정전력 부하모델의 정적 시뮬레이션으로 향후 계통의 조상설비 소요량 및 무효전력 수급을 아래와 같이 산정 전망하였다.

설비별	연도 2003년말 설치량	연도별 조상설비 소요량 (Mvar)					
		2006년	2007년	2008년	2010년	2012년	2013년
SC	12,425	17,280	17,500	17,700	19,285	20,535	21,355
Sh.R	8,900	8,060	8,650	8,980	9,410	10,280	10,610

[참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부 "제2차 전력 수급 기본 계획" 2004.12
- [2] 산업자원부 "전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준" 2005.1.24
- [3] 한국전력공사 "지상조상설비 설치계획 최적기준 및 기법개발" 1999.3.12