

전력계통변경에 따른 수력발전소 수전역률저하와 그 대책에 관한 연구

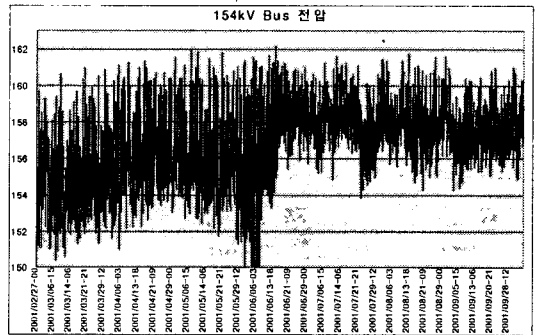
윤종범, 최장건, 오봉록, 옥광석, 박경환

A Study on Solution and a Drop of Power Factor according to a Change of Power Network

Jong-Beom Yoon, Jang-Geon Choi, Bong-Rok Oh, Kwang-Seok Ok, Kyung-Hwan Park.

Abstract - 합천수력발전소는 1989년 준공이후 최근 까지는 발전정지시 전력계통으로부터 전력을 수전할 경우 수전역률이 90%이상되어 문제가 없었으나, 2001년 6월경 전력계통이 논공154kV변전소에서 고령345kV변전소로 변경된 이후, 계통전압이 평균 2.5~3.0kV상승함으로써 역률이 약70%로 저하하였다. 이런 전압상승은 전력계통의 무효전력조정에 의한 것으로, 수전시 합천수력발전소의 평균소비전력은 주변압기 용량의 약0.55%로 전력계통에서 발전소를 바라보면 주변압기가 무부하로 운전되는 것처럼 보이게 되어 발전소내에서 소비되는 무부하손이 증가하여 역률이 저하한 것으로 검토되었다. 이런 무효전력소비는 주변압기에만 국한되어 있으므로 역률개선통 콘덴서를 주변압기 1차측에 설치하여 저하된 역률을 보상할 수 있었다.

- 변경 후:158.5kV~162.0kV
- 전압변동:2.5kV~3.0kV상승

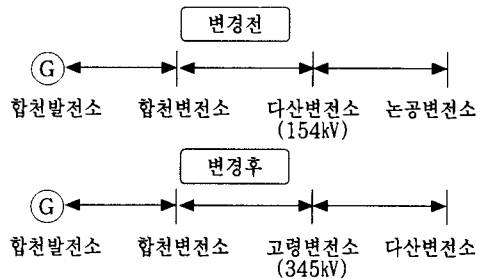


(그림1) 2001년 6월중순경 합천변전소의 계통전압

1. 서 론

합천수력발전소는 1989년에 준공되어 제1발전소와 제2발전소로 구성되어 있으며, 제1발전소에 50,000kW 동기발전기 2대와 제2발전소에 600kW 동기발전기 2대가 설치되어 있다. 제1발전소는 일평균 4~6시간 발전하며, 제2발전소는 제1발전소에서 발전한 수량을 조정지점에 저수하여 댐하류에 균등하게 방류하면서 24시간 연속 발전하도록 되어 있으며, 제1발전소에서 생산된 전력은 소내에서 소비되는 전력을 제외하고 제1발전소~합천변전소간 154kV송전선로를 통하여 전력계통에 공급되며, 제2발전소에서 생산된 전력은 일부는 동 발전소 소내전원 공급용으로 사용될 뿐만 아니라 제1발전소 발전정지시 소내전원을 공급하고 있고 나머지 잉여전력은 발전소인근에 시설된 22.9kV 배전선로를 통하여 전력계통에 공급하고 있다.

③전력계통변경 내용



2. 본 론

2.1 전력계통의 환경변화

2001년 6월 중순경 합천변전소가 대구지역 계통 보강과 연계하여 합천변전소~다산변전소에서, 합천변전소~고령변전소로 전력계통이 변경되어 합천변전소의 계통전압이 [그림1]에 나타난 바와 같이 2.5~3.0kV 상승하였으며, 전력계통의 변화에도 불구하고 합천수력발전소에서는 발전기 운영에 필요한 부하의 증감은 없었다.

① 전압유지기준

- 154kV 계통 중부하시:160±4kV
- 154kV 계통 부하변동시:157±4kV
- 154kV 계통 경부하시:156±4kV

② 발전정지시 전력계통 변경에 따른 합천수력발전소

- 154kV 전압
- 변경 전:157.0kV~159.5kV

2.2 발전소내 부하변동사항

전력계통의 변화에도 불구하고, 제1발전소내의 부하는 하절기의 에어컨사용 부하를 제외하고 발전기 기동 및 정지에 따른 증감된 부하가 없었으나, 저하된 역률을 보상하기 위하여 [표1]처럼 저압간선에 접속된 보조기에 대하여 콘덴서를 설치하였다.

콘덴서 설치 개소	콘덴서 용량	설치일
저압간선(440V)후단	24kVA×3개	2000.12.01
Governor Oil Pump	100μF×4개	2001.07.16
Cooling Water Pump	150μF×2개	"
발전소 1층 냉난방기	20μF×1개, 50μF×2개	"
발전소 2층 냉난방기	50μF×4개	"
발전소 3층 냉난방기	50μF×4개	"

[표1]역률개선통 콘덴서 설치 현황

2.3 수전역률의 저하

2.3.1 수전역률이 저하하는 시점

수전역률이 저하하는 시점은 제1발전소에서 발전하여 전력계통에 전력을 공급하는 기간을 제외한 모든 기간동안 균일하게 수전역률이 저하하고 있었으며, 이에 대한 대책으로 수전역률을 개선하기 위하여 발전기실에 설치된 24kW 용량의 Space heater를 장시간 일부러 가동하기도 하였으나 그 방법은 최선의 방법이 아닐 뿐만 아니라 수전전력요금을 증가시키는 요인으로 작용하였다. 또한 발전기효율을 높이기 위하여 제1발전소 발전중에 발전기 역률을 정격역률 91%보다 훨씬 높은 거의 100%로 운영하여 본 결과 발전중에도 무효전력이 전력계통에서 제1발전소로 유입되고 있음을 확인하여 발전기 운전중에는 무효전력이 유입되지 않는 범위내에서 최대 역률로 운전하여 발전기 효율을 제고시키고 있다.

2.3.2 수전시 154kV 및 저압간선의 역률비교

[표2]는 2001년 7.17~7.20(4일간) 매일 00:00~08:00사이 발전기 정지상태에서 총 32시간 측정된 154kV Bus 및 저압간선의 적산전력량계 비교한 것으로서, 표에서 나타난 바와 같이 저압간선의 역률은 양호하지만 154kV Bus의 역률은 매우 낮게 나타남을 알 수 있다.

구 분	적산전력량		차(A-B)
	154kV Bus(A)	저압간선(B)	
유효전력량	5,040	3,310	1,730
무효전력량	3,696	672	3,024
역률(%)	80.6	98.0	

[표2] 수전시 154kV Bus 및 440V 간선의 역률비교

2.4 수전시 역률저하가 주로 발생한 원인 분석

위에서 나타난 바와 같이 154kV간선용 적산전력량계와 저압간선용 소내 적산전력량계사이에서 무효전력량을 비교하면, 154kV간선용 적산전력량계가 저압간선용 적산전력량계 보다 5.5배 가량 많은 시간당 94.5kVarh가 소비되고 있음을 알 수 있다. 두 계량기 사이의 부하는 55MVA 주변압기와 1MVA 소내변압기가 있는데 두변압기의 부하손 및 무부하손을 정량적으로 분석하기 위하여, 평상시 발전소에서 소비하는 부하를 약 300kVA로 가정하면 아래와 같이 계산된다.

①주변압기

정격 무부하손:40.0kW, 정격부하손:137.0kW

$$\text{부하손실} = \text{전부하시 동손} \times \left(\frac{\text{부하량}(kVA)}{\text{변압기용량}(kVA)} \right)^2$$

$$= 0.00407kW$$

$$\therefore \text{주변압기 총손실} = 40kW + 0.00407kW \approx 40kW$$

②소내변압기

정격 무부하손:1.2kW, 정격부하손:12.4kW

부하손실=1.116kW

$$\therefore \text{소내변압기 총손실} = 1.2kW + 1.116kW \approx 2.31kW$$

즉, 변압기에서 손실이 발생한다면 소내변압기 손실은 주변압기에 비하여 매우 미약한 값이므로, 대부분의 손실이 주변압기에서 발생함을 알 수 있다. 또한 주변압기의 용량이 55MVA이고, 평상시 발전소내에서 사용하는 부하는 300kVA정도 되어 주변압기 용량의 0.55%에 해당하는 값으로 되어 전력계통에서 보면 합천 제1발전소에서 소비하는 전력손실은 대부분 주변압기의 무부하 손실이 차지하고 있으므로, 발전소내 부하의 유무와 관계

없이 주변압기가 가압될 경우는 일정값 이상 무효전력이 상시 수전되고 있음을 알 수 있다.

2.5 전력계통 변경후 전압상승 원인 검토

2.5.1 전압상승 원인

고령 345kV발전소는 서대구 345kV발전소에 근접한 변전소로서, 서대구 345kV 변전소의 계통변화에 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다. 서대구 345kV발전소는 SVC를 설치하여 부하변동에 응동하여 연속적으로 무효전력을 보상함으로써 전압을 제어하고 있다. 그러므로 계통전압의 변동 원인은 대부분 무효전력 변화에 의한 것이고, 주간선 계통의 전압변동은 유효전력보다 무효전력에 영향을 많이 끼치게 된다. 합천 제1발전소의 경우 전력계통이 고령 345kV발전소로 변경된 이후, 계통전압이 2.5kV~3.0kV 상승하였는데, 이 상승된 전압은 서대구 345kV발전소의 SVC 전압보상에 의한 것으로 보인다. 또한 서대구 345kV발전소는 성서공단 등 대단위 공업지역에 위치하고, 주·야간 전압변동이 심하기 때문에 154kV 계통전압을 경부하시 기준전압 수준에서 중부하시 기준전압 또는 부하변동시 기준전압 수준으로 운영하고 있는 것으로 판단된다.

2.5.2 전압변동이 전력계통 및 기기에 미치는 영향

계통전압이 저하되는 경우에는 송전손실 증가, 송전용량 저하, 계통안정도 저하 및 계통기기의 부정적 동작 등의 결과를 초래하고, 계통전압이 상승하는 경우에는 전력계통에 접속된 전기설비의 열화를 촉진하고, 철심을 사용한 계통기기는 단자전압이 상승하여 과여자로 되며, 전압파형이 일그러져 고조파발생의 원인이 된다.

2.6 역률개선 대책

합천수력발전소의 수전역률저하의 위에서 설명한 바와 같이 전력계통의 무효전력 조정에 의한 전압상승으로, 주변압기의 무부하손(철손)이 증가하여 역률이 저하된 것으로 검토되었다. 이런 무효전력소비는 주변압기에만 국한되어 소비되고 있으므로 역률개선용 콘덴서를 주변압기 후단에 설치하여 역률을 보상하고자 하였다.

2.6.1 역률개선용 콘덴서 용량 선정

①440V간선에서 소비되는 전력량 선정

역률개선용 콘덴서의 용량을 정량적으로 분석하여 선정하기 위하여 우선 440V간선에서 소비되는 전력량을 [표3]처럼 총2회 측정하였다. 소내부하가 접속되어 있는 440V 간선의 부하역률은 97%정도로 이미 확보된 상태이므로 97%를 기준으로 하면 피상전력은 120.7kVA로 되며, 무효전력은 29.3kVar로 된다.

구 분	전력량(kWh)	순시전력(kW)
1차측정	1,106.4	103.725
2차측정	825.6	141.531
누 계	1.932	117.1

[표3]440V간선에서 계량된 유효전력량 측정자료

②154kV Bus에 부착된 수전용 적산전력량계에 의한 소내소비량 분석

구 분	1차측정	2차측정	누계
유효전력(kW)	149.6	201.6	168.0
무효전력(kVar)	181.1	144.0	168.0
역률	63.7%	81.4%	70.7%

[표4]154kV Bus의 유효 및 무효전력 측정자료

③154kV Bus 수전전력과 440V간선에서 소비되는 전력의 차(440V간선 부하에서 직접소비되지 않고 주변압기 및 소내변압기에서 소비되는 전력으로서 동손 및 철손을 말함.)

$$\text{유효전력} = 168.0 - 117.1 = 50.9\text{kW}$$

$$\text{무효전력} = 168.0 - 29.3 = 138.7\text{kVar}$$

위의 유효 및 무효전력으로부터 역률은 34%로 산정되며, 개선하고자 하는 역률을 95%로 할 경우 필요한 콘덴서 용량은 124kVA로 된다.

2.6.2 전압콘덴서의 Bank수, 접속방법 및 정전용량값

콘덴서의 Bank수는 향후 소내부하의 증감 및 전력계통의 변동 상황에 대하여 능동적으로 대처할 수 있도록 60kVA용량의 2Bank로 구성하였으며, 접속방법 및 위치는 소내용차단기(52S)와 소내변압기 사이에 Y결선으로 설치하였으며 정전용량값은 0.92 μ F로 산정하였다.

2.6.3 역률개선용 콘덴서 설치후 수전역률 변화

역률개선용 콘덴서 설치후 154kV Bus의 수전무효전력은 [표5]에 나타난 바와 같이 콘덴서설치 전의 80.6%보다 19.1%P 양호한 99.7%로 역률개선의 효과가 상당히 양호하였으며, 저압간선의 수전역률은 콘덴서설치전의 98.0%보다 0.8%P 향상된 98.8%로 나타났다.

구 분	적산전력량		차(A-B)
	154kV Bus용(A)	저압간선용(B)	
유효전력량	2,100	1,236	864
무효전력량	168	192	-24
역률(%)	99.7	98.8	

[표5] 콘덴서 설치 후 154kV Bus 및 440V 간선의 역률비교

3. 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 합천수력발전소의 역률저하는 한전측 전력계통변화에 따른 전압상승으로 주변압기 무부하손이 증가하고, 그에 따른 수전무효전력이 급증함으로써 역률이 저하된 것으로 검토되었다. 또한 이에 대한 대책으로 주변압기 1차측에 용량 120kVA(60kVA 2Bank)의 역률개선용 콘덴서를 설치하였고, 그 후 수전전력량을 검토한 결과 수전유효전력량은 변함이 없는 반면 수전무효전력량은 현저히 줄어들어, 현재 95%이상의 역률을 유지하고 있다.