

태양광 발전설비에서의 역률 저하 현상 사례와 대책



글 김동조 (No. 39274)

협회 교육강사/교육출판위원

(주)기술사사무소고려기술단 대표이사/공학박사/기술사

Content

1. 태양광발전설비 운전 중 역률저하 현상 사례
2. 역률이 저하 될 경우 전기설비에 미치는 영향
3. 역률 저하 원인과 대책

1. 태양광발전설비 운전 중 역률저하 현상 사례

근래 신재생에너지 보급의 의무화와 정부의 보조금 정책, 그리고 최근의 석유 값 급등으로 인해 풍력발전에 비해 비교적 설치비용이 저렴한 태양광 발전설비가 각광 받고 있으며 특히 100kWp 이상의 중대형 발전설비가 산업용 전기설비와 연계 되는 경우가 많아지고 있는 실정이다. 따라서 본고에서는 설치된 변압기와 태양광발전설비를 연계 시킬 경우 전원 측에서 계측된 역률이 현저하게 저하되는 현상이 발생 할 수 있으므로 아래의 사례를 통하여 역률 저하의 원인과 그 대책에 관하여 알아본다.

[사례]

- 장소 : 00시 하수처리장
- 수전용량 : 1,250kVA × 2(Interlock),
500kVA × 2(Interlock)
- 태양광 발전용량 : 100kWp × 3,
150kWp × 2(total : 500kWp)

• 계통연계

[그림1]과 같이 태양광 발전설비 500kWp를 1,250kVA 1bank에 단독연결로서 변압기용량의 40%를 연계하고 있음

■ 현상

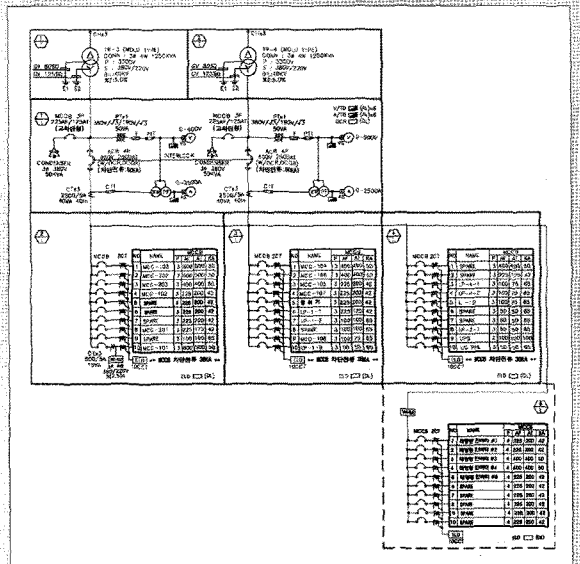
- 태양광발전설비를 계통에 연결하지 않을 경우의 역률 : 90%이상
- 태양광발전설비를 계통에 연결 할 경우의 역률 : 40%

1-1 계통연계형 인버터와 역률 영향

한전의 계통연계기술기준에서는 도입지점 및 용량에 의한 운전역률은 90%이상으로 규정하고 있기 때문에 인버터 생산

업체에서는 정격출력시 역률을 99%정도로 제어하도록 만들어지고 있다.

계통연계형 인버터의 경우 계통 역률을 검출하여 적절한

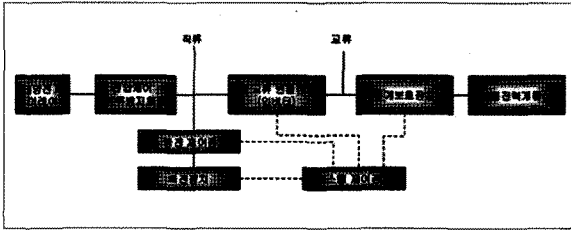


[그림 1] 태양광 발전설비 연계 계통도

무효전력을 출력해주는 active filter 기능이 탑재되지만 유효전력의 출력을 유지하면서 무효전력까지 출력하려면 본래 크기의 용량보다 약 150%이상의 출력을 갖는 인버터가 필요하게 된다.

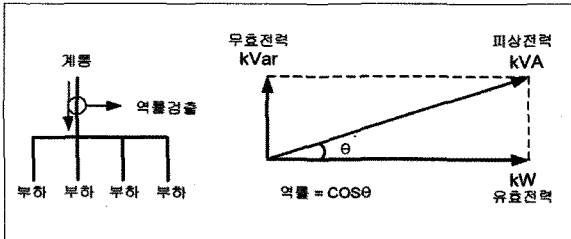
상업용 발전이 아닌 경우 부하공급용 전원으로 사용하는 태양광발전설비는 역률저하의 문제가 발생 할 수 있다. [그림2]는 일반적인 계통연계형 태양광발전설비의 계통도이다.

일반적인 수전계통의 경우 [그림3]과 같이 상용전력은 계통을 통해서 인입되고 입력단에서 역률을 검출하며 상용전력은



【그림 2】 계통연계형 태양광발전설비의 계통도

유효전력과 무효전력을 함께 공급하게 되는데 이 위상차를 역률(cosθ: 피상전력과 유효전력의 비)이라고 하고 위상차가 없으면 역률 100%가 된다.



【그림 3】 상용전력 계통과 벡터도

또한 직류발전시스템은 인버터로 DC→AC로 변환하는 과정을 거치므로 고조파가 발생하게 되는데 계통의 허용량을 초과 할 경우 접속 되어있는 다른 부하설비에 악영향을 초래 할 수 있기 때문에 신재생에너지(태양광이나 연료전지발전 등)전원에서의 고조파는 종합왜형률(TDD)이하로 제한하여야한다.

참고적으로 한국전력의 계통연계기술기준에서 규정하고 있는 전압왜형률과 고조파전류를 억제하기 위한 전류왜형률은 [표1],[표2]와 같다.

【표 1】 전압왜형률

계통 항목	지중선이 있는 S/S에서 공급		가공선만 있는 S/S에서 공급	
	전압왜형률	등가방해전류(A)	전압왜형률(%)	등가방해전류(A)
전 66kV이하	3	-	3	-
압 154kV이상	1.5	3.8	1.5	-

【표 2】 고조파 차수 비율

고조파차수	h(1)	11≤h(17)	17≤h(23)	23≤h(35)	35≤	TDD
비율(%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

여기서 전압왜형률은 전력회사에서 계통운영에 필요한 관리 목표치이며 전류왜형률은 각 전기설비에서 계통에 유출하는 고조파 전류를 억제하기 위한 관리 값이므로 IEEE 1547과 IEEE 519에서 규정하는 값이다.

또 공통결합점에서 단락용량의 크기에 따라 부하에 허용되는 각 고조파전류의 최대부하전류에 대한 비율을 percent로 나타 내고 짝수고조파는 홀수 고조파의 25%이하로 하며 고조파전류는 40차까지의 종합전류왜형률이 5%를 초과하지 않도록 각 차수별로 제어하여야 한다.

2. 역률이 저하 될 경우 전기설비에 미치는 영향

역률이 저하 된다는 것은 피상전력(kVA)에서 유효전력(kW)의 사용률이 낮아진다는 경제적 논리가 우선이다. 즉 효율이 낮아진다는 의미이며 역률이 향상되면 ①변압기의 손실감소 ②배전선로의 손실감소 ③전압강하율의 개선 등의 효과가 있다.

1) 변압기의 손실감소

변압기 손실 중에서 동손(copper loss)의 비율이 75%라면 동손저감량 W_t 는 아래와 같다.

$$W_t = \left(\frac{100}{\eta} - 1\right) \times \frac{3}{4} \left(\frac{P}{P_i}\right)^2 \times \left(1 - \frac{\cos^2\theta_0}{\cos^2\theta_1}\right) P_i \text{ [kW]}$$

여기서 η : 변압기 효율[%]

P : 부하용량[kW]

P_i : 변압기 용량[kW]

$\cos\theta_0$: 개선하기 전의 역률

$\cos\theta_1$: 개선한 후의 역률이다

2) 배전선로(간선)의 손실 감소

간선에서의 주울 손실은 $I^2 \times R$ 이므로 손실저감량 W_t 는 아래와 같다.

$$W_t = \left[\left(\frac{P}{E \cos\theta_0}\right)^2 \times R - \left(\frac{P}{E \cos\theta_1}\right)^2 \times R \right] \times 10^3 \text{ [kW]}$$

$$W_t = \frac{P^2}{E^2} \times R \times \left(\frac{1}{\cos^2\theta_0} - \frac{1}{\cos^2\theta_1} \right) \times 10^3 \text{ [kW]}$$

여기서 P : 부하의 유효전력[kW]

E : 회로전압[kV]

R : 선로 1상분의 저항

3) 전압강하의 개선 효과

역률이 개선되면 선로의 reactance 분에 의한 전압강하가 향상된다.

개선 전 역률이 $\cos\theta_1$, 개선 후의 역률이 $\cos\theta_2$ 일때 전압강하 개선량

$$\Delta E = I(R \cos\theta_1 + X \sin\theta_1) - I(R \cos\theta_2 + X \sin\theta_2) \text{ 가 된다.}$$

다시 말하면 전압상승값

$$\Delta V_c = \frac{Q_c}{R_c} \times 100[\%] \text{로 표현된다}$$

여기서 Q_c : 설치하는 콘덴서 용량[kVA]

R_c : 콘덴서 설치 모선의 단락용량[kVA]

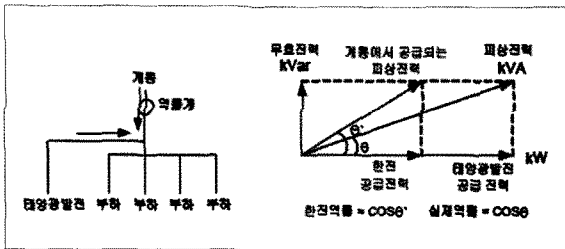
예를 들면 모선의 단락용량이 30,000[kVA]이고 콘덴서 용량이 1,500[kVA] 이라면

$$\Delta V_c = \frac{Q_c}{R_c} \times 100[\%] = \frac{1,500}{30,000} \times 100 = 5\% \text{ up이 된다.}$$

3. 역률 저하 원인과 대책

3.1 역률 저하 원인

계통연계형 태양광발전설비에서는 상용전력과 태양광발전에서 함께 전력을 공급하게 되는데 태양광발전전력은 유효전력(DC)이므로 부하 측면에서는 계통에서 전력을 공급 받을 때와 다름이 없으나 역률 측정 지점에서는 계통에서 공급되는 유효전력이 태양광발전에서 공급되는 유효전력만큼 줄어들어 위상차가 커지면서 역률 저하 현상이 발생된다. [그림4]는 계통 공급전력과 태양광발전이 동시에 공급 될 때의 벡터도이다.



[그림 4] 태양광발전이 동시에 공급 될 때의 벡터도

3.2 대책

1) 수전용량의 10%이내의 연계

[그림4]와 같이 수전설비 변압기 용량의 40%이상을 태양광 발전설비와 연계하면 위상차가 커져서 역률이 현저하게 저하됨을 알 수 있다. 따라서 3상 태양광발전설비에서는 수전용량의 10%정도를 연계하면 위상차가 크지 않게 되며 역률 저하도 거의 없게 된다.

예를 들면 유효전력이 100kW이고 무효전력이 40kVar인 경우를 가상하여 상용전력 단독일 때를 $\cos \theta$ 라 하면

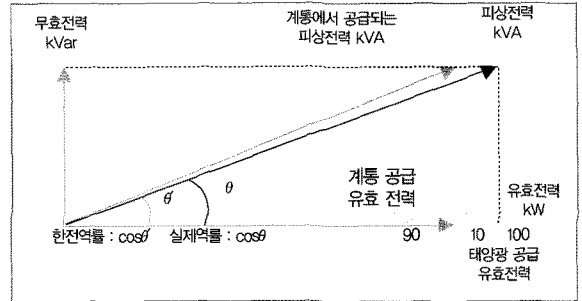
$$\cos \theta = \frac{100}{\sqrt{100^2 + 40^2}} = 0.9285$$

이때 연계된 태양광 발전설비에서 10%의 유효전력을 공급한다면 전원 측 역률은 91.38%가 되어 약간의 역률저하 현상만 발생한다. 태양광 발전설비가 가동 되었을 때의 역률을 $\cos \theta'$ 이라고 하면

$$\cos \theta' = \frac{90}{\sqrt{90^2 + 40^2}} = 0.9138 \text{ 이 된다.}$$

즉 태양광 발전설비 가동 전후 역률은 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

[그림5]는 위와 같은 경우의 벡터도이다.



[그림 5] 태양광발전설비가 수전용량의 10% 일 때의 벡터도

2) 인버터 용량의 증대

[그림4]의 벡터도에서와 같이 대응하는 무효전력을 증대시킴으로서 인입단의 역률을 보상 할 수 있게 된다. 계통연계형 인버터의 경우 계통 역률을 검출하여 적절한 무효전력을 출력해주는 active filter 기능이 탑재되지만 유효전력의 출력을 유지하면서 무효전력까지 출력하려면 본래 크기의 용량보다 약 150% 이상의 출력을 갖는 인버터가 필요하게 된다.

예를 들면 인버터 용량이 50kW인 경우 75kW 정도의 것을 사용하여야하며 이때 비용 상승이 수반된다. 가정용의 경우 통상적으로 단상 3kW 인버터를 사용하기 때문에 역률은 고려하지 않으며 발전량이 많은 주간에는 계량기가 역회전(디지털 방식은 제외)하고 야간에는 상용전력을 공급받는다.

3) 태양광 발전설비의 배분

수전설비에 여러 bank의 변압기가 설치되어 있으면 한 bank에 집중하지 말고 여러 bank의 변압기에 태양광발전설비를 배분한다.

4) 자동조정역률장치 설치

태양광 발전설비를 연계한 경우 저하된 역률을 자동보상해주는 자동역률조정장치를 고려 할 수도 있으나 위의 경우와 대비하면 고비용이 수반되기 때문에 세밀한 검토가 필요하다. ❖

참고문헌

1. 헤스파워시스템(주) 기술자료집
2. 태양광발전시스템의 배전계통 적용기술 한국전기연구원 김응상