

새그 및 스웰시 콘덴서 특성 해석

(Effect of Condenser Voltage by Sag & Swell)

김종겸 · 박영진 · 이동주 · 김일중

(Jong-Gyeum Kim · Young-Jeen Park · Dong-Ju Lee · Il-Jung Kim)

요 약

커패시터는 전동기와 같은 유도성 부하에 필요한 무효전력을 전원측을 대신하여 공급하여 전력요금을 절감하는 역할 외 비선형부하에서 발생하는 고조파를 저감하기 위해 리액터와 함께 사용하고 있다.

전기품질은 거의 대부분이 전압품질에 관련된 것으로서 안정적인 전원공급이 매우 중요하지만, 부하의 운전상태에 따라 전압의 크기가 일시적으로 변화가 존재할 경우 커패시터와 같은 전기기기에 좋지 않은 결과를 초래할 수 있다.

본 연구에서는 일시적인 전압의 변화인 sag와 swell시 커패시터에서의 전압, 전류 및 용량의 변화를 리액터 부착 전과 후의 해석결과 sag시는 문제가 되지 않지만, swell 구간에서는 커패시터에 상당한 스트레스를 줄 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

커패시터는 무효전력의 제공, 전압 안정화, 역률 개선 그리고 시스템 전력 손실의 감소에 따른 시스템 용량의 증가를 가능하므로 널리 이용되고 있지만 온도, 전류, 전압 등의 영향으로 정상적인 수명이 보장받지 못하고 절연파괴 등으로 소손되는 경우가 많다. 커패시터의 수명에 큰 영향을 주는 요소로서는 온도 상승 외에 전압품질에 관련된 것들이 많다. 따라서 각 나라별 또는 기관별로 커패시터의 안정적인 사용을 보장하기 위해 전압, 전류 등에 따른 제 규격을 정해 운영하고 있다 [1-3].

새그나 스웰은 일시적인 전압 불평형이지만 부하의 변동이나 순간적인 고장에 의해 자주 발생할 수 있다. 이럴 경우 커패시터는 전압에 의한 스트레스를 받을 수 있다.

본 연구에서는 커패시터가 일시적인 전압의 변동인 sag와 swell시 커패시터에서의 전압, 전류 및 용량의 변화를 분석하였다.

2. 새그(sag) 및 스웰(swell)

새그나 스웰은 전압의 크기가 0.1~0.9 또는 1.1~1.8[pu]까지 0.5~30(cycles)동안 순시적인(instantaneous)변화를 가지는 것에서 부터 30[cycles]~3[sec] 동안 순간적으로(momentary) 변화하는 것 외 3[sec]~1[min] 이내에 일시적으로(temporary) 전압이 변동하는 것을 말한다[4]. 그렇지만 대부분의 새그는 0.5[sec]에서 1[min] 사이 전원주파수에서 실효치 전압 및 전류의 크기가 0.1과 0.9[pu]까지 줄어드는 것을 말하며, 스웰은 새그와 같은 조건에서 공칭전압의 크기가 정격보다 10[%] 이상의 크기를 가지는 경우를 말한다.

새그의 경우 대부분 시스템에서 고장과 관련이 있지만, 대형 부하에 전원공급이나 전동기의 기동시에 발생하며 주로 짧은 시간에 일시적인 전압에서 감소가 나타난다.

스웰은 스웰과 마찬가지로 시스템 고장시에 발생하는 것으로 새그와 같이 혼란 것은 아니지만, 1선 지락사고 동안 고장 나지 않은 상에서 나타나게 되며, 대형 부하를 개방하거나 대형 커패시터 뱅크에 전원 공급할 때 발생한다.

3. 새그 및 스웰시의 영향

커패시터에서의 전압은 항상 일정하게 제공되는 것이 가장 이상적이지만, 대형 부하의 연결이나 큰 용량의 전동기를 기동시킬 때 또는 일시적인 고장으로 순간적인 전압강하나 초과 현상이 일어나게 된다. 이와 같은 경우 역률보상 및 비선형 부하에 고조파를 저감하기 위해 리액터와 함께 사용되는 커패시터에서의 전압, 전류 및 용량의 변화를 확인할 필요가 있다.

그림 1은 해석하고자 하는 회로에 대한 결선도와 해석 프로그램의 입력도를 나타낸 것이다.

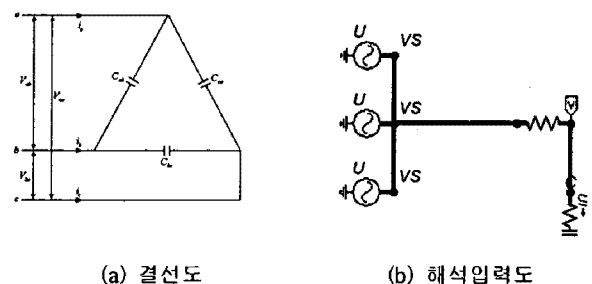


그림 1. 해석용 단선도 및 결선도

해석에 사용된 커패시터는 3상 380[V], 100[μF]를 사용하였다. 커패시터의 정격용량 Q 및 선간전류 i 는 다음과 같이 구하

면 된다.

$$Q = 2\pi f CV^2 [VA] \quad (1)$$

식 (1)에서와 같이 전압이 변할 경우 커패시터 용량은 제공에 해당하는 만큼의 변화가 발생하게 된다. 전압의 변화로 커패시터 용량도 달라진다. 커패시터 용량이 전압제곱에 비례하기 때문에 커패시터에 흐르는 전류는 식 (2)와 같이 전압에 비례하는 관계에서 찾을 수 있다.

$$i_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \times V} [A] \quad (2)$$

전압 및 전류의 변화로부터 커패시터가 안정하게 동작할 수 있도록 실효치 전압, 전류 및 피크 전압과 용량에 대하여 허용범위를 표 1과 같이 규정하고 있다[5]. 전압에서는 아주 짧은 기간에는 배수가 높지만 오랜 시간 사용하는 경우 허용범위를 낮게 규정하고 있으며, 전류와 용량은 같은 비율로 정해놓고 있다.

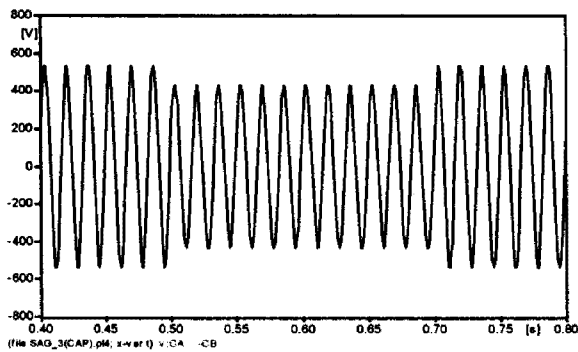
표 1 커패시터 허용 전압, 전류 및 용량

구분	배수	동작시간
전압	110%	24시간 중 12시간 이내
	110%	24시간 중 30분 이내
	120%	5분 이내
	130%	1분 이내
용량	135%	정격 무효전력
전류	135%	실효치

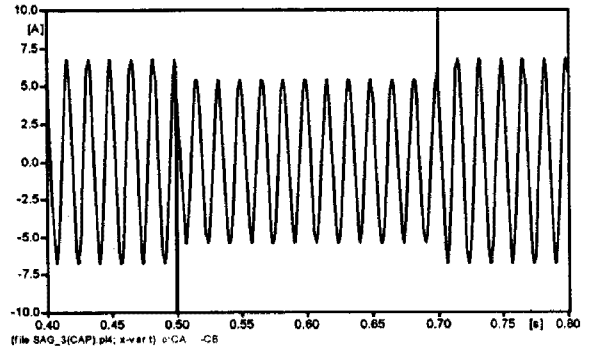
3.1 SAG시의 동작 특성

그림 2는 전압이 정격전압에서 80[%]로 0.2[sec]의 짧은 시간 동안 지속되다가 다시 정상적으로 회복되는 경우 커패시터에서의 전압, 전류 및 용량의 변화를 나타낸 것이다.

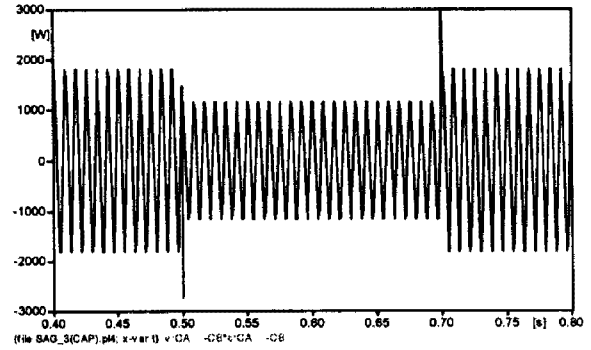
본 해석에는 전자계 과도해석 프로그램을 이용하였다[6].



(a) 전압 새그



(b) 전류



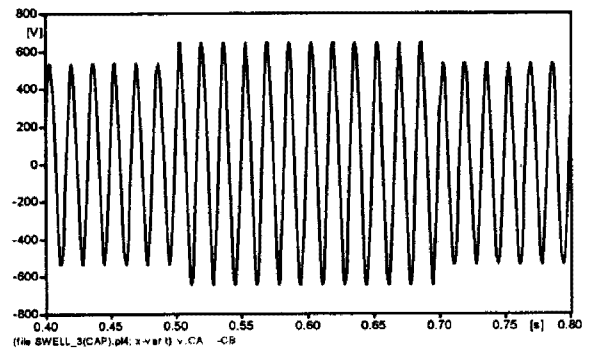
(c) 커패시터 용량

그림 2. sag시 전압, 전류 및 용량

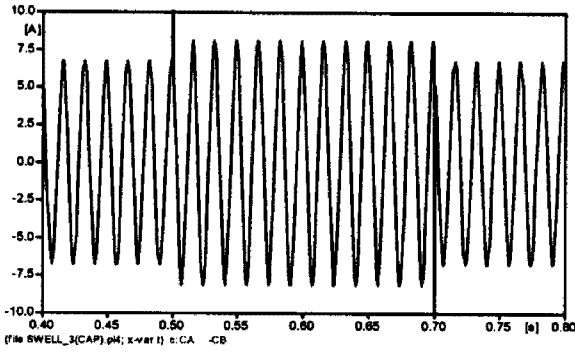
그림 2에서와 같이 sag시 전압 및 전류가 감소함에 따라 커패시터의 용량도 줄어들기 때문에 커패시터에 문제를 나타내지 않는다. 0.8[pu]로 일시적으로 전압이 떨어졌을 때 커패시터 용량은 식 (1)에서와 같이 정상적인 전압 회복시에 비해 제공에 비례하는 값까지 감소됨을 확인할 수 있다. 그러나 용량 저하로 역률 보상이나 기타 기능을 순간적으로 달성하지 못할 수도 있다.

3.2 SWELL시 동작 특성

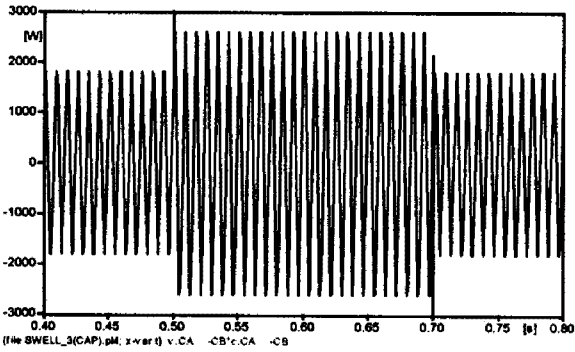
그림 3은 표 1에서 허용하는 범위에서 전압이 정격보다 높은 120[%]로 0.2[sec]의 짧은 시간 동안 지속되다가 다시 정상적으로 회복되는 경우 커패시터에서의 전압, 전류 및 용량의 변화를 나타낸 것이다.



(a) 전압



(b) 전류



(c) 커패시터 용량

그림 3. swell시 전압, 전류 및 용량

그림 3에서는 그림 2와 달리 일시적으로 전압이 상승한 경우에서 커패시터에서의 전압, 전류 및 용량의 변화를 나타낸 것이다. 그림 3(b)의 경우 전압이 일시적으로 증가할 때 커패시터에 흐르는 전류도 증가하므로 그림 3(c)의 경우에서와 같이 커패시터 용량은 정상적인 전압 회복시에 비해 제품에 비례하는 값까지 증가됨을 확인할 수 있다. 그러나 용량 증가로 역률 과보상이 일어날 수 있다.

표 1에서 제시한 바와 같이 5분 이내에 전압이 120[%]로 상승할 경우 식 (1)과 그림 3에서와 같이 커패시터 용량이 144[%]로 상승하기 때문에 규정된 허용범위를 초과하게 됨을 알 수 있다. 따라서 커패시터 용량은 135[%] 이내로 제한시키기 위해서는 전압의 제품에 해당하는 전압의 상승분만큼만 유지되기 하면 된다. 따라서 135[%]의 허용범위 안에서 커패시터 용량이 운전되게 하기 위해서는 약 116[%]의 전압상승까지만 허용이 가능하다.

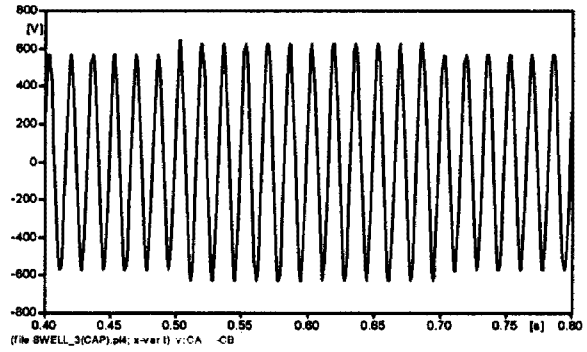
최근 비선형 부하의 사용 등으로 인해 커패시터를 단독으로 사용하는 경우보다는 커패시터에 직렬로 리액터(L[%])를 연결하여 사용하는 경우가 많다. 비선형 부하에서 발생하는 고조파 중에서는 5고조파의 크기가 높기 때문에 이 고조파를 저감하는 동시에 역률 보상이 가능하도록 할 때 커패시터에 리액터를 설치할 경우 식 (3)과 같이 커패시터 전압(V_c)이 상승한다.

$$V_c = \frac{V}{1 - \frac{L(\%)}{100}} [V] \quad (3)$$

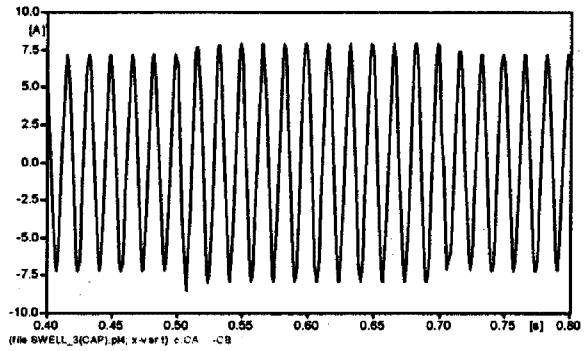
커패시터에 부착하는 리액터를 5고조파에 정확하게 맞출

경우 공진으로 전압 및 전류가 확대될 수 있으므로 필터와 같은 경우 유도성으로 만들기 위해 여유를 두어 5차에 해당되는 4[%] 대신 리액터를 6[%]로 사용하고 있다. 이때 식 (3)에 6[%]에 해당되는 리액터를 사용할 경우 380[V]의 커패시터에서의 전압은 404[V]로 높아진다. 3조파와 같은 설비에서는 리액터의 값을 13[%]를 선정하게 되는데 이때 커패시터의 실효치 전압은 115[%]로서 허용범위를 넘게 된다.

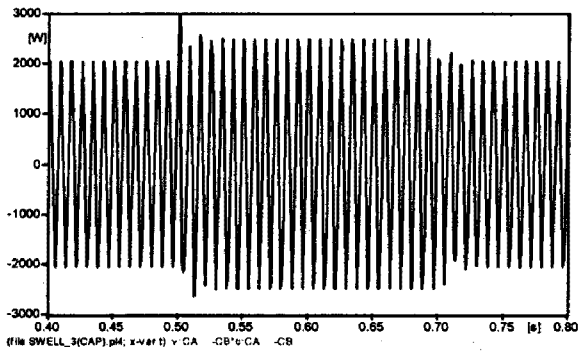
그림 4는 그림 1과 같은 380[V] 100[μF] 커패시터에 직렬로 6[%]에 해당되는 리액터를 연결한 상태에서 swell 동작 전후에서 전압, 전류 및 커패시터 용량의 변화를 나타낸 것이다. 커패시터에 리액터 추가는 전압을 상승시키므로 정격전압보다 10[%]만 상승하는 것으로 하여 특성 변화를 확인하였다.



(a) 전압



(b) 전류



(c) 커패시터 용량

그림 4. swell시 전압, 전류 및 용량(리액터추가)

그림 4(c)에서와 같이 커패시터에 리액터 추가시 그림 3의 120[%]보다 낮은 110[%]의 전압 상승구간에서도 커패시터 용

량은 더 증가함을 확인할 수 있다. 표 2는 그림 4에 대해 안정 구간과 swell 구간에서의 변화를 나타낸 것이다.

- McGraw-Hill, 2002
 (5) IEEE Std 18-2002, "IEEE Std For Shunt Power Capacitors"
 (6) H.W. Dommel, "Electromagnetic Transients Program. Reference Manual (EMTP Theory Book)", BPA 1986.

표 2 110[%] 전압 인가시 해석결과

구분	Swell 영역	정상 영역
전압[V]	444.4(117%)	404(106%)
전류[A]	5.583(117%)	5.075(106%)
커패시터 용량[VA]	2,481(137%)	2,050(113%)

표 2는 커패시터에 리액터를 부착하고서 정격전압보다 10[%] 전압이 상승할 때와 정상적인 구간에서의 전압, 전류 및 커패시터 용량의 변화를 나타낸 것으로서 10[%] 전압 증가 시 정상영역에서는 표 1에서 제시한 허용 규정을 만족하지만, swell 영역에서 커패시터 용량은 범위를 초과함을 확인할 수 있다. 따라서 커패시터에 리액터를 추가할 경우 swell 영역에서 안전한 동작을 확보하기 위해서는 전압의 허용치를 더 줄여야 함을 알 수 있다.

4. 결론

전기품질에서 전압품질이 차지하는 비중이 매우 높은 편이다. 이 전압품질에서 일시적으로 전압이 높거나 낮아질 수 있다. 매우 짧은 시간동안 전압의 변화로 새그나 스웰이 커패시터에 어떤 영향을 주는지에 대한 변화를 해석하였다.

새그시에는 전압이 낮아짐에 따라 전류도 함께 감소하므로 커패시터 용량이 줄어들게 되어 규정된 값보다 낮기 때문에 큰 문제는 없지만, 전압이 일시적으로 상승하는 스웰 영역에서는 전압의 제곱에 해당되는 커패시터 용량이 증가하므로 규정에서 제시된 허용범위에서도 문제가 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

그러나 커패시터에 리액터를 추가할 경우 전압이 상승하게 되는데 이때는 약간의 전압 상승 즉 swell에서도 용량이 증가하여 커패시터의 허용정격을 초과함을 확인하였다. 따라서 안정한 동작을 보장하기 위해서는 안정된 전기품질의 향상이 매우 중요함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 전력산업연구개발사업의 지원에 의하여 수행된 과제의 일부임(과제번호 : R-2007-3-186)

참고 문헌

- (1) Ramasamy Natarajan, "Power System Capacitors", Taylor & Francis, 2005
- (2) 김종겸외 2인, "불평형 전압 동작시 전력 커패시터 특성 분석", 조명전기설비학회 논문지, Vol.22, No.5, pp.64-72, 2008
- (3) Thomas M. Blooming, "Capacitor Application Issues", IEEE Trans on IAS, Jul-Aug, pp.1013-1026, 2008
- (4) Roger C. Dugan. et al, "Electrical Power Systems Quality",