

## 전압 및 주파수 변화에 따른 저압 콘덴서 열 분포 해석

(Analysis for Thermal Distribution of Low-voltage Condenser by the Variance of Voltage & Frequency)

김중겸\*

(Jong-Gyeum Kim)

### 요 약

콘덴서는 유도성 부하의 낮은 역률 보상으로 사용되며, 비선형 부하에서 발생하는 고조파를 저감하기 위해 리액터에 직렬로 연결하여 사용되기도 한다. 전압, 전류의 증가와 열의 발생은 콘덴서 수명에 많은 영향을 준다. 전압이 증가할 경우 전류가 증가하고, 주파수의 증가도 전류의 증가로 이어지기 때문에 전압과 주파수의 증가는 바로 열의 증가로 콘덴서 절연에 스트레스로 작용하여 고장의 원인을 제공할 수 있다.

본 연구에서는 전압의 크기와 주파수를 변화시킬 경우 콘덴서에서 발생하는 열의 분포도를 열화상 카메라로 측정하였다. 측정결과 전압과 주파수의 증가는 높은 열을 발생시켜 콘덴서의 수명을 단축시키는 요소로 작용함을 확인할 수 있었다.

### Abstract

Power capacitor has been used to compensate for the low power factor of inductive load and to reduce harmonics generated by the power conversion device with reactor.

The increase of voltage and current and thermal generation are extremely hard on the life of condenser. Current will be increased, provided that voltage and frequency of condenser increase also. The increase of voltage and frequency justly extends thermal generation. Both act on insulation stress and can afford to premature fault

In this paper, we measured thermal distribution of condenser with infrared rays camera in case of variance of voltage and frequency. We were assured that the increase of voltage and frequency produces high heat and exceedingly shortens the life of condenser.

Key Words : Capacitor, Thermal, Life, Power Factor, Harmonics

---

\* 주저자 : 강릉원주대학교 전기공학과 교수  
Tel : 033-760-8785, Fax : 033-760-8781  
E-mail : jgkim@gwnu.ac.kr  
접수일자 : 2009년 11월 25일  
1차심사 : 2009년 11월 26일  
심사완료 : 2009년 12월 22일

## 1. 서 론

전력용 콘덴서는 무효전력의 제공, 전압 안정화, 역률 개선에 따른 시스템 용량 증가가 가능하여 산업현장에서 널리 적용되고 있다. 또한 리액터와 직렬로 연결하여 비선형 부하(Non-linear load)에서 발생하는 고조파 전류를 저감하기 위해서도 많이 사용되고 있다.

전력용 콘덴서는 주로 온도, 전류, 전압 등의 영향으로 정상적인 수명이 보장받지 못하고 절연과피 등으로 소손되는 경우가 많다[1-4].

콘덴서에 인가되는 전압이 증가할 경우에 전류도 함께 증가한다. 콘덴서에 리액터를 직렬로 연결하여 사용할 경우 콘덴서에는 추가하는 리액터의 값에 따라 콘덴서에 걸리는 전압은 높아진다.

고조파를 줄이기 위해 수동형 필터로 콘덴서를 사용할 경우 공진점에서 전압의 확대와 높은 고조파 전류의 흡수로 콘덴서는 높은 열이 발생하게 된다.

콘덴서는 전극과 유전체로 구성되어 함 내부에서의 온도변화가 외부에 잘 전달되지 않아 바깥에서 육안으로 내부에서의 높은 온도를 찾기 어려워 절연상태를 쉽게 파악하기가 매우 어렵다. 따라서 전압, 전류, 주파수의 변화에 따른 내부에서의 온도분포를 측정할 필요가 있다.

본 연구에서는 콘덴서에 인가되는 전압과 주파수의 변화시 콘덴서에서 발생하는 온도분포를 측정하여 주파수와 전압이 증가함에 따라 온도가 어느 위치에서 높게 분포함을 확인하였다.

## 2. 온도 및 전압에 의한 영향

콘덴서에 전기적인 스트레스로 절연을 파괴하거나 열화를 일으키는 주요한 파라미터로서는 전압과 온도의 상승이다. 전압의 증가는 전류의 증가로 이어지며 전류의 증가 역시 콘덴서 내부에서 열의 발생으로 이어진다.

전력용 콘덴서는 무효전력의 제공, 전압 안정화, 역률 개선 그리고 시스템에서 발생하는 고조파를 저감하기 위해 리액터와 직렬 연결한 수동형 필터로도 사

용된다.

전압이 증가할 경우 전류도 증가하여 콘덴서에는 열이 발생한다. 콘덴서 내부에서 발생하는 온도의 영향으로 콘덴서의 수명  $L$ 은 식 (1)과 같이 아레니우스 법칙을 적용할 수 있다[5].

$$L = A \times e^{-n\theta} \quad (1)$$

여기서  $A$  와  $n$ 은 유전체 자료의 특유한 정수이다.  $n$ 은 과전압 지수로서 실제로 유전체에 따라 차이가 나며 유침지의 경우  $n=7\sim 8$ 이고, 필름의 경우  $n=10\sim 12$ 이다. 필름 콘덴서의 경우 전압을 1.2배로 올릴 경우 과전압 지수를 10이라고 할 경우  $(1.2)^{-10} = 0.16$ 으로서 수명은 약 1/6으로 줄어들지만, 유침지의 경우 같은 전압에서 과전압 지수를 7로 할 경우 수명은 1/4로 줄어들게 된다.

수명이 반감되는 온도의 변화를  $\Delta\theta$ 라고 하면 온도  $\theta_0$ 에 있어 수명  $L_0$ 와 온도  $\theta$ 에 있어 수명  $L$  사이의 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{L}{L_0} = 2^{-\frac{\theta - \theta_0}{\Delta\theta}} \quad (2)$$

$\Delta\theta$  값은 유전체 재료에 의해 약간의 차이는 있지만, 일반적으로 콘덴서의 경우는  $\Delta\theta = 7\sim 8$ [°C] 정도이다.

이 수명과 온도의 관계를 보다 쉽게 하기 위해 온도가 어느 정도 상승(대략 10도 증가하면)한다고 하면 그 수명이 반으로 단축되는 값, 즉 수명반감에 해당하는 온도차가 일반적으로 이용되고 있다. 이때 식 (2)는 식 (3)과 같이 전압과 온도를 동시에 상승되는 경우에 적용되는 것으로서 주로 현장에서 이용할 수 있다.

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{-n} \times 2^{-\frac{\theta - \theta_0}{10}} \quad (3)$$

큐비클 안에 내장되는 고압 콘덴서의 경우 온도가

높아지므로 정격전압을 높이고 있는데 이런 조건에서 식 (3)을 사용할 경우 6.6[kV], 100[kVA]를 70[°C]에 사용하던 것을 7.2[kV]로 변경하여 80[°C]에 사용할 경우 과전압 지수 n=10 인 경우 수명은 식 (3)에 대입할 경우 0.21로서 1/5로 축소된다.

위 식 (3)은 단순하게 전압만을 고려한 것이지만, 전력용 콘덴서에는 전압 상승에 수반하여 전압의 제곱에 비례해서 kvar 용량이 증가하고, 이에 따라 발열량에 의해 온도가 높아지며 온도 요인이 중첩하기 때문에 상기 관계식에 의해 더욱 수명 단축하는 것으로서 전압의 영향은 더욱 커지게 된다.

또한 최근 대부분의 콘덴서에서는 그 유전체에 폴리프로필렌 필름이 사용되고 있는데, 절연유내에서 80~90[°C]를 초과하면 이 필름에 비정상적인 팽윤이 생겨 내전압이 저하되어 심하게 수명을 단축시키는 경우가 있다. 따라서 콘덴서 내부의 온도를 80[°C] 이하로 유지 할 필요가 있다.

주파수 증가에 따라 콘덴서에 유입되는 전류가 증가하므로 내부에서 발생하는 온도는 높아진다. 증가된 온도를 수명과의 관계를 식 (3)으로 분석한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 주파수 변화에 따른 수명 평가  
Table 1. Life evaluation by frequency variance

구분	1[pu] 전압	1.3[pu] 전압
60[Hz]	0.780	0.056
120[Hz]	0.734	0.045
180[Hz]	0.644	0.040
240[Hz]	0.563	0.041
300[Hz]	0.458	0.028
360[Hz]	0.459	0.029
420[Hz]	0.356	0.015

표 1에서 알 수 있듯이 정격전압으로 운전시 60[Hz]로 운전할 경우 지속적인 사용에서 수명은 1/1.28(=0.78)로 축소되지만, 같은 주파수에서도 1.3배의 전압이 지속적으로 인가될 경우 수명은 1/17.8(0.056)배로 줄어들게 됨을 알 수 있다. 따라서 전압의 상승은 수명에 매우 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있다.

### 3. 전압, 전류 및 주파수에 의한 영향

콘덴서의 용량은 식 (4)와 같이 전압 및 주파수로 표현할 수 있다. 콘덴서의 커패시턴스는 일정하기 때문에 용량을 변화시키는 요소로서는 주파수와 전압이다.

$$Q = 2\pi f CV^2 [VAR] \tag{4}$$

즉, 식 (4)에서 주파수가 일정한 경우 콘덴서에 인가되는 전압이 증가할 경우 용량의 전압의 제곱에 비례하는 양만큼 증가하게 된다. 이때 콘덴서에 흐르는 전류는 식 (5)와 같이 주파수와 전압의 곱으로 나타낼 수 있다. 콘덴서에 리액터를 추가할 경우에 전압이 상승하고, 필터로서 사용될 경우에도 고조파 성분을 흡수하기 때문에 높은 주파수로 인해 콘덴서의 전류는 증가한다. 또한 주파수와 전압이 동시에 증가할 경우도 콘덴서 전류는 식 (5)와 같이 더욱 증가하게 된다.

$$I_c = 2\pi f CV \tag{5}$$

위 식 (5)에서 콘덴서의 커패시턴스 값은 거의 변화가 없기 때문에 인가되는 전압과 주파수의 값에 따라 전류가 변화된다. 주파수가 일정한 경우 콘덴서에 인가되는 전압이 상승할 경우 콘덴서에 흐르는 전류는 전압의 증가만큼 증가하게 된다. 또한 콘덴서 인가되는 전압이 일정하더라도 주파수가 상승할 경우 전류 역시 상승한다. 전압과 주파수가 동시에 증가할 경우 콘덴서에 흐르는 전류는 제곱에 해당하는 양만큼 전류가 증가하게 된다.

고조파 저감을 위해 콘덴서에 리액터를 직렬로 연결할 경우에도 전압이 상승하고, 병렬공진과 직렬공진 조건에서 콘덴서가 동작할 경우 각각 전압과 전류가 상대적으로 높아 전압 또는 전류의 증가로 인해 콘덴서는 더욱 많은 열적 스트레스를 받을 수 있다.

### 4. 온도 측정 및 분석

전압 및 전류의 증가시 콘덴서에서 열의 발생은 정

전압 및 주파수 변화에 따른 저압 콘덴서 열 분포 해석

격운전 조건보다 높아진 경우이다. 콘덴서에서 발생하는 열을 측정하기 위해 적외선 열화상 카메라 (FLUKE사 TI40FT)를 사용하였다. 그림 1은 본 연구에 사용된 가변전압 가변 주파수 전력변환장치를 나타낸 것이다.



그림 1. 가변전압 · 주파수 변환장치  
Fig. 1. Variable voltage variable frequency device

본 논문에서 측정에 사용된 콘덴서는 380[V] 20[ $\mu$ F]를 사용하였다. 저압 콘덴서의 경우 대부분 델타 결선으로 이루어져 있으며 명판에 표시된 커패시턴스의 값은 3 소자(엘리먼트)에 대한 합으로서 실제 상별 적용시는 3으로 나눈 값( $20/3=6.67[\mu F]$ )을 이용하면 된다. 콘덴서는 소자를 캔 안에 3단적으로 구성한 경우와 3소자를 병렬로 나란하게 배열한 경우도 있다. 이들 각각에서 외함과 내부에서의 온도 변화를 전압 및 주파수 변화에 따라 측정하였다.

콘덴서에 대해 발생하는 온도를 가장 일반적으로 측정할 경우 외함에서 발생하는 온도를 열화상 카메라로 측정한다. 이때 적외선 열화상 카메라를 이용할 경우 콘덴서의 외함에서 온도를 측정할 경우 반사에 의해 정확한 온도 측정이 매우 어렵다. 이럴 경우 반사를 줄일 수 있는 보조 수단을 이용해야 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. 그래서 본 연구에서는 반사율이 낮은 테이핑을 표면에 부착하여 측정하였다.

표 2는 정격전압의 1.3배에 해당되는 전압에 60[Hz]의 주파수에서 13시간 운전한 경우에서 운전초기와 13시간 경과 후에 대한 외부에서 측정된 열화상 온도 분포도를 나타낸 것이다. 운전 초기에 비해 13시간 운전한 경우에서도 주위온도의 상승에 따른 온도 상승 이외에는 온도가 거의 변화가 없었다.

표 2. 운전초기와 13시간 후의 온도분포  
Table 2. Temperature distribution at start & 13hour

구분	운전초기	13시간 운전 후
열화상		
3D 온도 분포		

표 2에서 상단부는 외함에서의 열화상이고, 하단부는 상단부의 열화상을 3차원으로 표시한 것이다. 온도 분포는 콘덴서의 위쪽보다는 아래쪽이 높음을 알 수 있다. 측정 초기에 비해 1시간 경과 후에는 약간의 온도 변화가 존재하는 것으로 보이지만, 실제로는 큰 차이가 나지 않았다. 온도는 대부분 골고루 분포하지만, 하단부에서 약간 미세하지만 높게 분포하고 있음을 알 수 있었다. 온도변화는 시간이 지남에 따라 약간씩 증가하다가 어느 정도 시점에서는 더 이상의 증가가 없이 거의 포화에 이른다는 것을 확인할 수 있었다. 측정결과 최대온도와 주위온도와의 차이는 운전초기에 비해 2시간 운전 후에는 거의 2배에 가깝지만 온도차는 8[ $^{\circ}$ C]정도로서 낮은 편이다.

표 3. 운전초기와 1시간 운전후의 온도분포  
Table 3. Temperature distribution at start & 1hour

구분	운전초기	1시간 운전 후
열화상		
3D 온도 분포		

표 3은 정격전압에서 300[Hz]로 운전하는 콘덴서의 외부에서 발생하는 온도를 측정하는 것이다.

측정결과 정상적인 운전에서 내부에서 발생하는 열은 외부로 잘 전달되지 않아 전압 및 주파수 변화에 따른 온도 분포를 확인하기가 매우 어려웠다. 그래서 콘덴서를 개봉하여 내부 소자에 대해 직접 열화상 카메라로 측정하였다.

다음은 콘덴서 캔 내부에 3단적으로 배열된 경우에 대해 정격전압에 300[Hz]가 되는 조건에서 120분간 측정된 결과를 표 4에 나타내었다. 표 4의 상단부 열화상분포도는 콘덴서 하면부를 개방하여 온도를 측정하는 것이고, 중간부분의 온도곡선은 콘덴서 중간 부분을 시작점으로 외곽부분까지(길이: [mm])의 온도분포를 나타낸 것이다. 그리고 3D 온도 분포도는 첫 번째 열화상을 3차원 입체적으로 그린 것이다. 첫 번째 열화상 화면을 살펴보면 콘덴서의 중앙부에는 보빈으로 전극을 감을 수 있게 한 것으로서 처음에는 온도가 높다가 시간이 경과함에 따라 유전체를 감싸고 있는 외부 부분에서도 온도가 보빈 다음으로 높아졌으며 이 두 부분 사이에서는 온도분포가 다소 낮게 분포함을 확인할 수 있었다. 이는 표 4에서 중간부분의 온도곡선에 나타난 것으로 확인할 수 있으며, 운전초기에 비해 1시간 경과 후에는 거의 온도차가 2배 가까이 나는 것을 확인할 수 있었다. 표 4의 하단부에 표시한 3차원 온도분포는 표 4의 상단부에 대한 온도 분포로서 중앙부 보빈 부분에 온도가 가장 높게 분포하고 그 다음으로는 절연체를 감싸고 있는 부분이며, 콘덴서의 외함 바깥부분에서는 내부에서의 온도가 잘 전도되지 않음을 알 수 있다.

주파수가 올라갈 경우 식 (5)에서와 같이 전압이 일정한 경우 콘덴서에 흐르는 전류의 정격주파수의 5배에 해당되는 전류가 흐르게 된다. 이 과전류는 콘덴서에 열을 발생시키게 된다.

표 5는 표 2와 표 3에서와 같은 구조이지만, 내부에서의 온도분포를 더 상세히 확인하기 위해 내부를 전개하여 분리한 경우 콘덴서 내부에 3개의 소자가 병렬로 구성된 경우 표 4와 같이 300[Hz]로 운전한 경우의 온도분포를 나타낸 것이다.

표 4. 운전초기와 1시간 후의 온도분포(3단 적)  
Table 4. Temperature distribution at start & 1hour(3 stack)

구분	운전초기	1시간 운전 후
열화상		
온도곡선		
3D 온도분포		

표 4의 첫 번째 열 분포도는 3개의 병렬 소자중 하나만을 온도 측정하는 것이고, 두 번째 온도분포 곡선은 첫 번째의 열 온도분포도의 위쪽에서 아래쪽으로 일직선(길이: [mm])으로의 온도분포를 나타낸 온도곡선이며, 3D 온도 분포도는 첫 번째의 것을 3차원으로 나타낸 것이다.

표 5. 운전초기와 1시간 운전후의 온도분포(3개 병렬)  
Table 5. Temperature distribution at start & 13hour(3 parallel)

구분	운전 후 2분 시점	2시간 운전 후
열화상 (a)		
온도곡선 (b)		
3D 온도분포 (c)		

표 5의 상단부 열화상 분포도에서와 같이 운전 초기에 비해 2시간 경과 후 온도분포도를 보면 온도가 매우 높아졌다는 것을 알 수 있었다. 이는 콘덴서의 정격에 비해 높은 전류의 유입으로 인해 콘덴서 내부에서 발생하는 열이 상대적으로 높아졌기 때문이다. 표 5의 온도곡선에서와 같이 운전초기에는 콘덴서의 윗부분과 아랫부분에서의 온도차가 없이 거의 일정하지만 2시간 운전 후에 온도분포(b) 참조)는 윗부분이 아랫부분보다 약간 높음을 알 수 있었다. 표 5 (a)에서의 열화상을 3차원으로 표현하면 표 5 (c)와 같이 운전 초기에는 콘덴서 전체의 온도가 비슷하지만, 시간이 경과함에 따라 상단부가 하단부보다 온도가 더 높아짐을 알 수 있었다.

콘덴서에서 허용하는 전압의 배수에 따라 약간씩 달리하지만 짧은 시간에서는 1.3배까지 허용하지만 장시간 운전하는 경우에는 1.1배 이하가 되도록 요구하고 있다. 본 연구에서는 정격전압과 1.3배의 전압이 인가될 경우 주파수를 차수별로 조정하여 2시간에 걸쳐 내부에서의 온도변화를 측정하였다.

그림 2와 그림 3은 주파수 변화에 따라 정격전압과 1.3배의 정격전압을 인가하여 콘덴서 내부 소자 표면에서 발생하는 온도를 열화상 카메라로 측정하여 최대와 주위의 온도차를 계산하여 나타낸 것이다. 측정간격은 10분간으로 하였지만, 초기온도의 변화를 관찰하기 위해 측정은 1분 간격으로 시행하였다.

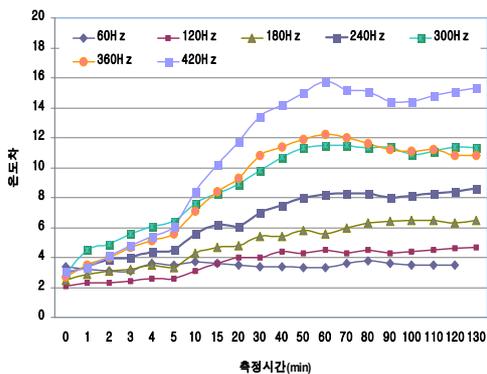


그림 2. 주파수 변화에 따른 온도변화(정격전압)  
Fig. 2. Temperature variation by frequency (rated voltage)

그림 2에서는 정격전압에서 주파수를 변화시켜 최대온도와 주위온도와의 차이를 나타낸 것이다. 60 [Hz]의 주파수에서 정격전압으로 운전할 경우 처음이나 2시간 경과 후에도 온도는 거의 차이가 없지만, 주파수가 증가함에 따라 온도차는 더욱 높아짐을 알 수 있었다.

그림 2에서 알 수 있듯이 주파수가 증가할 경우 식 (5)에서와 같이 콘덴서에 인가되는 전류가 증가하여 열의 발생이 점차 높아짐을 알 수 있었다. 온도가 증가하는 기율기에도 주파수가 높을 경우 커짐과 일정 시간이 경과함 다음에는 온도가 더 이상 증가하지 않고 포화하는 것도 알 수 있었다. 주파수 증가에 따라 온도차는 일정하게 높아지지만, 5차와 6차의 경우 그 간격이 다소 줄어든 것이 특이하다고 할 수 있었다. 7차 고조파의 경우가 다른 차수에 비해 온도차가 더 나는 이유는 과열에 의해 콘덴서의 유전체 표면을 감싸고 있는 부분에서 절연물이 녹아 액상형태로 되기 때문이다.

그림 1에서 주파수가 240[Hz]까지는 최대온도와 주위온도차가 10[°C] 이하이지만, 240[Hz] 이상에서는 10[°C]를 초과하고 있다. 이럴 경우 식 (2)의 공식에 따라 경우 수명은 절반이하로 줄어들 수 있다.

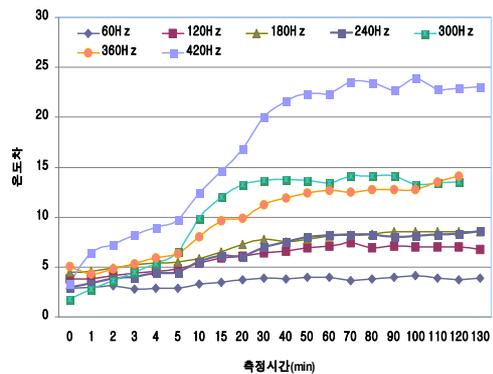


그림 3. 주파수 변화에 따른 온도변화(정격전압 1.3배)  
Fig. 3. Temperature variation by frequency (1.3 times rated voltage)

그림 3은 정격전압의 1.3배에 해당되는 전압을 인가하고서 주파수 변화에 따라 최대온도와 주위온도와의 차이를 나타낸 것이다. 측정결과 그림 1에서와 같은

패턴의 변화를 나타내고 있으며, 온도차는 정격전압으로 운전하는 경우보다도 더 높아짐을 알 수 있다. 그림 2에서와 마찬가지로 240[Hz]까지는 온도차가 10 [°C]이하이지만, 그 이상의 주파수에서는 온도차가 더욱 남에 따라 수명은 매우 짧아질 수 있다.

그림 3에서 7 고조파의 경우 온도차가 매우 심하게 나타나는 이유도 그림 2에서와 같이 전류가 높아질 경우 유전체를 감싸고 있는 절연물이 녹아 액체로 변해 온도가 올라가기 때문이다.

그림 2와 3에서 주파수의 크기 변화에서도 초기에는 온도 편차가 낮지만, 콘덴서의 특성상 상시 사용하는 설비이므로 일정시간 경과 후에도 온도 상승은 필연적이다. 따라서 온도편차와 수명과의 관계를 확인하기 위해서는 운전 후 일정시간 온도에서 평균 온도차를 이용하여 구해야 한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 선형부하에서는 역률보상을 하고 비선형 부하에서는 직렬 리액터와 함께 고조파를 저감하는데 사용되는 콘덴서가 인가되는 전압 및 주파수의 변화에 따라 발생하는 온도를 열화상카메라로 측정하여 분석하였다.

콘덴서 내부에서 발생하는 온도는 절연물체와 보호체에 의해 외부로 온도가 잘 전도되지 않아 정확한 온도를 알 수 없었다. 그러나 본 연구에서는 콘덴서 내부 소자의 온도변화를 확인하기 위해 소자를 밖으로 분리한 다음 전압과 주파수의 변화에 따라 변화를 온도분포를 측정하였다. 측정결과 주파수의 변화에 따라 최대온도와 주위온도와의 차이가 점차적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 온도가 주파수를 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 것이 아니라 어느 정도 지나면 포화되어 더 이상 증가하지 않고 포화된다는 것도 확인할 수 있었다.

또한 같은 주파수에서도 전압이 높을 경우 열의 발생이 높아 수명에는 매우 큰 영향을 미칠 수 있다는 것도 확인할 수 있었다.

본 연구결과는 고압의 경우에도 그대로 적용할 수 있을 것으로 생각하며 콘덴서 온도를 높이는 요소를

사전에 줄이고 증가한 온도로 지속적으로 운전하지 않도록 하기 위해서는 전류의 변화를 실시간으로 검지하여 온도상승을 미리 막는 것이 안전한 운전과 콘덴서 수명을 보장하는데 도움이 될 것으로 판단한다.

### 감사의 글

본 연구는 전력산업 연구개발 사업으로 수행한 것의 일부입니다.(과제번호 : R-2008-3-186)

## References

- [1] Ramasamy Natarajan, "Power System Capacitors", Taylor & Francis, 2005.
- [2] 김종겸외 2인, "불평형 전압 동작시 전력 콘덴서 특성 분석", 조명전기설비학회 논문지, Vol.22, No.5, pp.64-72, 2008. 05.
- [3] 김일중, 김종겸, "수동형 필터의 리액터 및 콘덴서 특성 해석", 조명전기설비학회 논문지, Vol.23, No.2, pp.82-88, 2009.
- [4] Thomas M. Blooming, "Capacitor Application Issues", IEEE Trans on IAS, Jul-Aug, pp.1013-1026, 2008.
- [5] 일본 전기학회 기술 보고서, "전력용 콘덴서 예방보전기술", 1994.11.

### ◇ 저자소개 ◇



**김종겸**(金宗謙)

1961년 10월 3일생. 1984년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1996년 충남대 공대 전기공학과 졸업(박사). 1987~1988년 한국통신공사 근무. 1988~1996년 한국수자원공사 근무. 1996년~현재 국립강릉원주대학교 전기공학과 교수. 대한전기학회 평의원, 전기기기 및 에너지변환시스템부문 총무이사.

Tel : (033)760-8785

E-mail : jgkim@gwnu.ac.kr