

A Study on Development of High Voltage Mica Capacitors

尹宜重[†] · 崔喆洵^{*} · 金宰煜^{**} · 李東赫^{***}

(Eui-Jung Yun · Cheal-Soon Choi · Jae-Wook Kim · Dong-Hyuk Lee)

Abstract - In this work, ultra high-voltage (17 - 50 kV AC), reliable 80 pF mica capacitors for partial discharge system application were investigated. Mica was used as the dielectric of the capacitors. Using the conservative design rule, over 3 individual 50 μm thick mica sheets with a size of 30mm \times 35mm were used with lead foils to form a parallel capacitor element and 20 mica sheets were interleaved with lead foils to form a series stack of parallel capacitor element to meet the requirements of the capacitors. The dimensions of the fabricated 80 pF capacitors for 17 kV AC and 50 kV AC were 90 mm \times 90 mm and 95 mm \times 180 mm, respectively. The high-frequency characteristics of the capacitance (C) and dissipation factor (D) of the developed capacitors were measured using a capacitance meter. The developed capacitors exhibited C of 79.5 - 87.5 pF, had D of 0.001% over the frequency ranges of 150 kHz to 50 MHz, had a self-resonant frequency of 65 MHz, and showed results comparable to those measured for the capacitors prepared recently by Adwel[™]. The developed capacitors also showed excellent characteristics for thermal shock test and temperature cycling test.

Key Words : Epoxy-Mica Capacitor, High Voltage, Partial Discharge, on-line Detection Method, Temperature Cycling Test

1. 서 론

무선 기술의 발달과 산업발전의 영향으로 인해 안정적이고 효율적인 전원공급과 동력발생을 위한 고압 회전기의 신뢰성이 크게 요구되고 있다[1]. 고압 회전기는 장기간 사용함에 따라 고압 고정자 권선 및 고압 권선의 절연부분이 열화하면서 기기의 치명적 고장으로 진전되기 때문에 많은 손실을 일으킨다. 이러한 고압 회전기의 절연상태 등의 전반적인 상태를 진단하는 방법으로 부분방전(partial discharge)을 측정하는 기술에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다[2].

일반적으로 고압 회전기 사용자는 기기를 정지하지 않고 연속적으로 절연상태를 감시할 수 있는 on-line 진단법을 선호한다. 최근 북미에서는 on-line 진단법 중 고압부에 직접 접촉시키는 접촉식 센서로 마이카 커패시터를 이용한 on-line부분방전 측정기술이 개발되어 확대 적용 중에 있다[3,4].

마이카(운모) 커패시터는 전기적 특성이 뛰어난 양질의 천연 마이카를 주재료로 사용하여 만들어지며 과거로부터

고 신뢰성, 고안정성이 요구되는 전자기기 및 산업용 각종 장비에 오랜 동안 사용되어져 왔다. 특히 고전압 대용량 모터, 발전소 발전자, 대용량 전동기 등의 단락 현상 및 감시 시스템의 고주파 필터 센서로서 핵심적인 기능을 가진다[5]. 그러나 고전압 마이카 커패시터는 전량 수입에 의존하고 있는 상황이다. 또한 국내 대용량 모터, 발전소 발전자 등의 사용 및 설치 운전은 지속해서 늘어나고 있으며, 안정성을 확보하기 위한 시스템은 현재 도입 적용 설치 단계에 있다[2].

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 국내 기술을 이용하여 특 고압 에폭시-마이카 커패시터를 설계 제작하였다. 제작된 에폭시-마이카 커패시터에 대하여 커패시턴스, 열 충격, 온도 사이클 실험을 통하여 특성을 확인하였고 유명 외국산 커패시터와 비교 분석하였다.

2. 실험

2.1 에폭시-마이카 커패시터 설계

본 논문에서는 두 종류의 에폭시-마이카 커패시터를 설계하고자 하였으며, 그에 대한 사양으로는 (1) 80pF의 커패시턴스와 17kV AC의 최대 내전압을 갖는 커패시터와 (2) 80pF의 커패시턴스와 50kV AC의 최대 내전압을 갖는 커패시터를 설계하였다. 표 1은 설계된 에폭시-마이카 커패시터의 사양을 요약하였다. 두 종류의 커패시터의 손실률(dissipation factor)과 사용온도 범위는 공통적으로 각각 0.05% 이하와 -35~135°C로 하였다.

[†] 교신저자, 正會員 : 湖西大 工大 시스템制御工學科 教授 · 工博

E-mail : ejyun@hoseo.edu

^{*} 非會員 : 에스아이알(주) 代表理事

^{**} 正會員 : 南서울大 工大 電子工學科 助教授 · 工博

^{***} 學生會員 : 湖西大 工大 시스템制御工學科 學士課程

接受日字 : 2008年 5月 28日

最終完了 : 2008年 6月 5日

표 1의 사양을 만족할 수 있도록 에폭시-마이카 커패시터를 설계하는데 있어서, 정격 용량은 커패시터의 병렬연결을 고려하여야 하고, 최대 내전압은 커패시터의 직렬연결을 고려하여야 한다. 따라서 커패시터의 적절한 직병렬연결을 통하여 표 1의 사양에 적합한 에폭시-마이카 커패시터의 설계가 가능하다.

표 1 본 논문에서 설계된 에폭시-마이카 커패시터의 사양 요약

Table 1 Summary on specifications of epoxy-mica capacitors designed in this study

Parameters	Values
Capacitance Value (pF)	80
Dissipation Factors (%)	≤0.05
Range of Temperature(°C)	-35~135
Maximum AC Voltage(kV AC)	17, 50

본 연구에서는 마이카 시트의 크기를 30mm×35mm, 두께를 0.05mm로 선택하였다. 마이카 시트의 유전상수는 5.4를 사용하였다. 연박(Lead Foil) 리드의 크기는 29mm×20mm이고 두께는 0.03mm로 하였다. 최소 단위의 커패시터 섹션인 단위 커패시턴스(C₁₁)는 다음 식 (1)과 같이 계산되었으며, 554pF의 커패시턴스를 가진다.

$$C_{11} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{l \cdot W}{d} = 8.854 \times 10^{-12} \times 5.4 \times \frac{(29 \times 10^{-3})(20 \times 10^{-3})}{0.05 \times 10^{-3}} = 554 \text{ (pF)} \quad (1)$$

여기서 ϵ_0 는 유전체의 유전율(=8.854×10⁻¹² F/m), ϵ_r 는 마이카의 유전상수(=5.4), l 은 연박 리드의 길이, W 는 연박 리드의 폭, d 는 마이카의 두께를 나타낸다.

그림 1은 에폭시-마이카 커패시터의 등가회로를 나타낸다. 여기서 C₁₁은 식(1)에서 정의된 단위 커패시턴스, N₁은 C₁₁의 병렬연결 수, C는 N₁개의 C₁₁이 병렬 연결된 커패시터의 커패시턴스, N₂는 C의 직렬연결 수이고 C_T는 에폭시-마이카 커패시터의 총 커패시턴스를 나타낸다. N₁개의 단위 커패시터 C₁₁을 병렬로 연결할 경우는 전체 커패시턴스가 C₁₁과 병렬연결수 N₁의 곱과 같으므로 전체 커패시턴스가 증가하게 된다. 반면에 요구되는 최대 내전압을 만족할 수 없게 된다. 따라서 최대 내전압을 만족하기 위해 커패시터를 직렬연결을 하여야 하나, 이러한 경우에는 그림 1에 나타난 대로 커패시턴스가 감소하게 된다. 이러한 점을 감안하여 요구되는 최대 내전압을 만족할 수 있는 커패시터의 직렬연결 수가 결정되므로, 직렬연결 시에 감소할 수 있는 커패시턴스를 감안하여 단위 커패시터의 병렬연결 수가 결정되어야 한다.

N₁(=3개)의 단위 커패시터를 병렬 연결한 커패시턴스 C는 다음의 식 (2)과 같이 계산된다.

$$C = N_1 C_{11} = 3 \times 554 = 1662 \text{ (pF)} \quad (2)$$

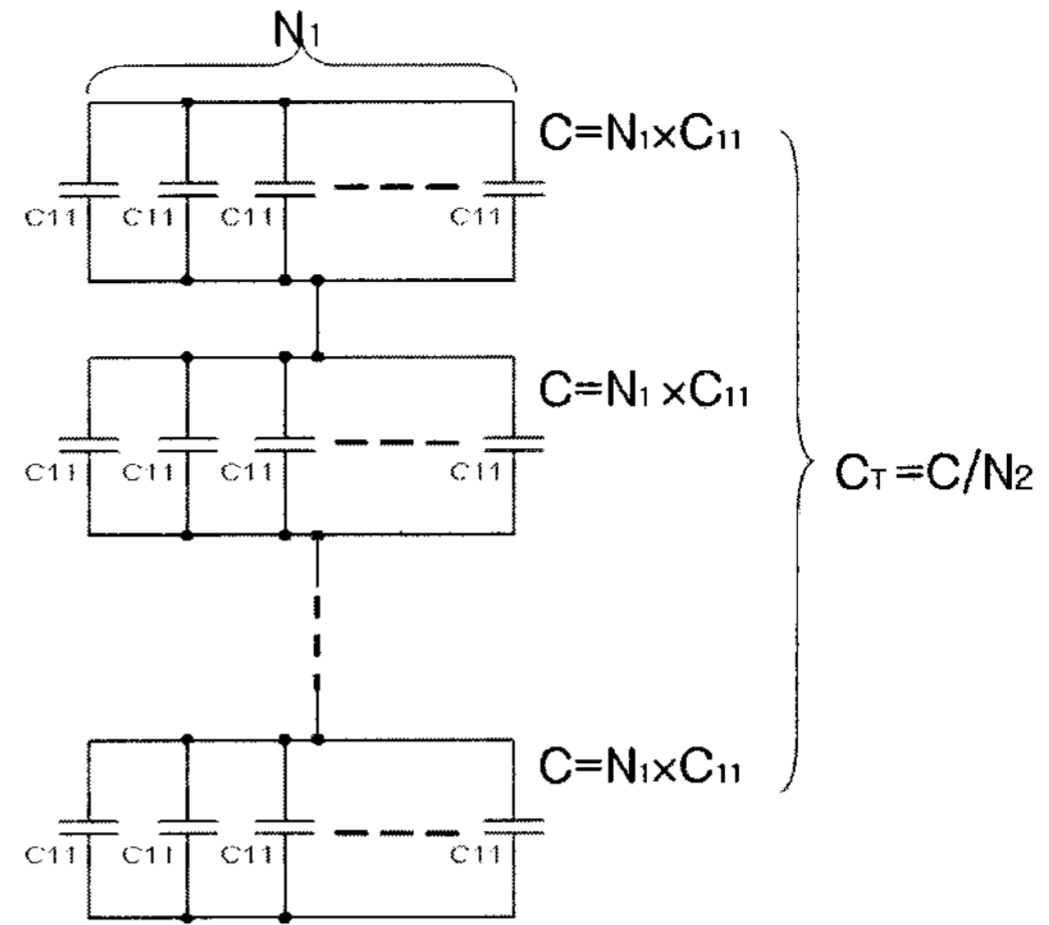


그림 1 본 논문에서 설계된 에폭시-마이카 커패시터의 등가 회로

Fig. 1 Equivalent circuit of epoxy-mica capacitor designed in this study

따라서 80pF의 총 커패시턴스를 가질 수 있도록 우선적으로 554pF의 단위 커패시터를 3개 병렬 연결하여 1662pF의 병렬 커패시턴스를 얻을 수 있었다. 다음으로 요구되는 최대 내전압과 총 커패시턴스를 만족할 수 있도록 단위 커패시터를 병렬 연결한 병렬 커패시터 C를 20개 직렬연결(N₂=20)하여 총 커패시턴스 C_T를 계산할 수 있으며, 다음의 식 (3)과 같다.

$$C_T = \frac{C}{N_2} = \frac{1662}{20} = 83.2 \text{ (pF)} \quad (3)$$

일반적으로 0.05mm의 단위 마이카 시트가 견딜 수 있는 내전압은 약 3.5kV AC이므로, 한 개의 C의 내전압은 3.5kV AC이고, 이를 20개로 직렬 연결하였기 때문에 전체 커패시터가 견딜 수 있는 최대 내전압은 70kV AC가 되어서 충분히 50kV AC의 조건을 충족하게 된다. 이러한 일련의 설계 과정을 거쳐서 표 1의 사양을 만족시키는 마이카 커패시터가 설계되었다.

2.2 에폭시-마이카 커패시터 제작

본 연구에서는 표 1에서 제안된 (1)80pF의 커패시턴스와 17kV AC의 최대 내전압을 가지는 에폭시-마이카 커패시터, (2)80pF의 커패시턴스와 50kV AC의 최대 내전압을 가지는 에폭시-마이카 커패시터의 두 종류를 제작하였다.

그림 2는 에폭시-마이카 커패시터의 제작 공정을 나타내는 블록도이다. 마이카는 인도산 천연 루비 마이카를 이용하였다. 유전체를 마이카로 하고 전극을 연박으로 하여 각각 1매씩 교대로 적층하여 단위 커패시터를 병렬 연결한 병렬 커패시터 C를 제작하였다. 여기서 마이카 시트와 연박의 크기 및 적층의 병렬연결 수는 앞 절의 설계과정 따라 결정

되었다. 적층된 커패시터 섹션을 열간 압착하여 병렬 커패시터 C의 소자 형태로 제작하였다. 요구되는 커패시턴스와 최대 내전압을 고려하여 병렬 커패시터 C의 직렬연결 수를 정하고 각 병렬 커패시터 간의 절연을 위하여 격리 마이카 시트를 삽입한 후 C와 C사이를 직렬로 연결하기 위한 납땜을 시행하였다. 제작된 커패시터 본체에 단자를 연결한 다음 고압용 에폭시 DWR 930A를 경화 온도 80°C에서 1시간 동안 진공 함침을 실시하였다. 필요에 따라 완성된 커패시터의 외부를 가공 및 코팅 처리하였다.

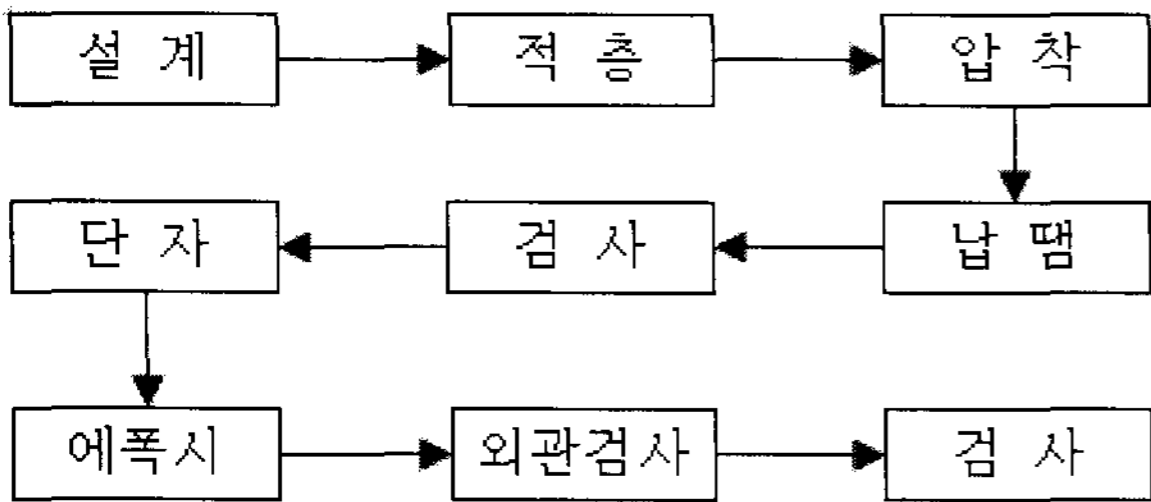
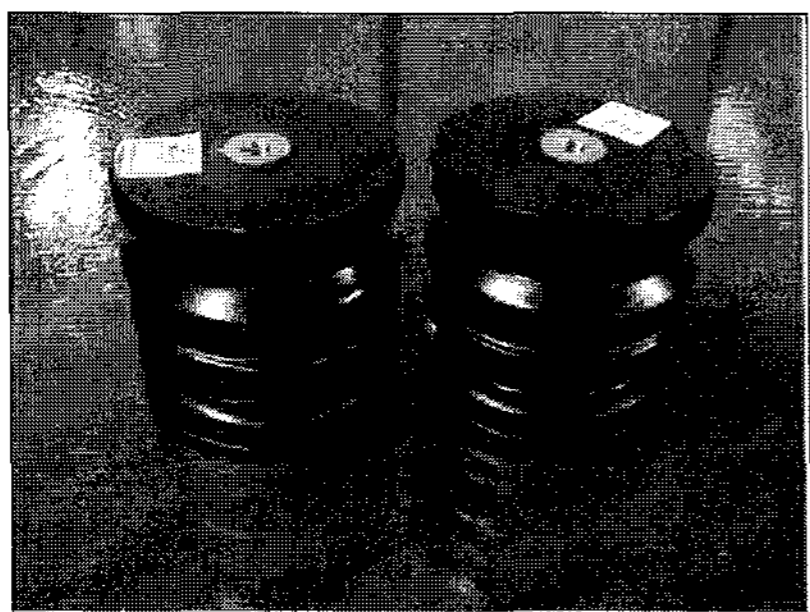


그림 2 에폭시-마이카 커패시터의 제작 공정도
 Fig. 2 Schematic diagram of fabrication process for epoxy-mica capacitors

그림 3은 본 연구에서 제작된 80pF 17kV AC와 80pF 50kV AC의 에폭시-마이카 커패시터의 외형을 나타낸다. 외형을 구성하는 재료로는 고절연용으로 적합한 에폭시 소재를 이용하였으며, 외부에 굴곡을 주어 고압부와 저압부의 표면거리를 최대화 하여 표면오염 등에 의한 Flash Over 가능



(a)



(b)

그림 3 본 연구에서 제작된 커패시터의 외형: (a) 80pF 17kV AC, (b) 80pF 50kV AC

Fig. 3 Epoxy-mica capacitors fabricated in this study : (a) 80pF 17kV AC, (b) 80pF 50kV AC

성을 최소화하였다. 단자의 재질은 도전성과 작업성을 고려하여 황동소재를 사용하였다. 에폭시-마이카 커패시터의 외형 크기는 커패시턴스와 최대 내전압에 따라 결정이 되는데, 설계과정을 거쳐 80pF 17kV AC의 경우 90mm×90mm이고, 80pF 50kV AC의 경우 95mm×180mm로 결정하였다.

제작된 마이카 커패시터의 주파수에 따른 전기적 특성(임피던스, 커패시턴스, 손실률) 변화는 HP4278A 커패시터 미터로 측정하였다. 또한 열 충격에 따른 제작된 커패시터의 정전용량, 내전압, 손실률 등의 변화를 측정하기 위하여 단기간의 열 충격 시험 및 장기간의 온도 Cycling시험(신뢰성 시험) 모두를 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전기적 특성

제작된 80pF 17kV AC의 에폭시-마이카 커패시터에 대한 임피던스, 커패시턴스, 손실률 특성 등을 HP4278A C-Meter로 측정하여 그 우수성이 입증된 외국 Adwel社의 동급 사양 제품의 특성과 비교하였다.

그림 4는 제작된 에폭시-마이카 커패시터를 Adwel社의 제품과 비교한 주파수에 대한 임피던스 특성을 나타낸다. 그림에서 실선은 본 연구에서 제작된 에폭시-마이카 커패시터(SIR제품)의 특성을 나타내고 점선은 Adwel社의 동급 사양 제품의 특성을 나타낸다. Adwel社 제품의 경우는 69MHz의 공진주파수를 갖고, 제작된 커패시터의 경우는 65MHz의 공진주파수를 가지며, 임피던스 값들도 서로 비슷하므로 임피던스의 주파수 특성이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 또한 공진주파수 이전의 주파수 증가에 따른 임피던스 값의 감소는 제작된 소자가 공진주파수 미만의 주파수에서 용량성인 커패시터소자의 특성(임피던스 크기=1/(2πfC))을 나타내고, 공진주파수 이상에서 주파수 증가에 따른 임피던스 값의 증가는 제작된 소자가 공진주파수 이상에서 유도성인 인덕터 소자의 특성(임피던스 크기=2πfL)으로 변화됨을 나타낸다.

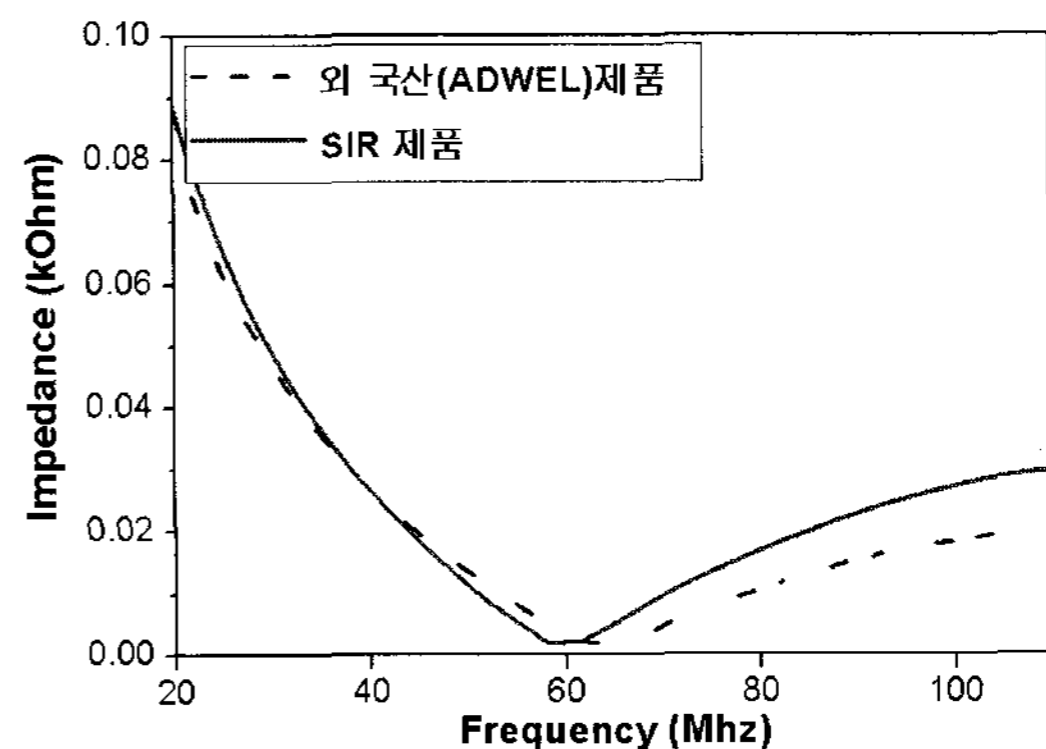


그림 4 제작된 에폭시-마이카 커패시터와 Adwel社 제품의 주파수에 대한 임피던스 특성 비교

Fig. 4 Impedance-frequency characteristic of fabricated epoxy-mica capacitor compared with that of Adwel sample

그림 5는 제작된 에폭시-마이카 커패시터를 Adwel社의 제품과 비교한 주파수에 대한 손실률 특성을 나타낸다. 그림에서 최저 피크 값은 공진주파수를 나타낸 것으로서 그림 4의 공진주파수와 일치함을 알 수 있다. 그림 5 내의 확대된 그림으로부터 제작된 커패시터는 0.05% 이내의 손실률 (1MHz에서의 손실률 $D = 0.00098\%$)을 나타내며, 표 1에 제안된 손실률 사양을 만족하고 Adwel社 제품(1MHz에서의 손실률 $D = 0.001\%$)과 유사하게 우수한 손실률을 나타냄을 알 수 있다.

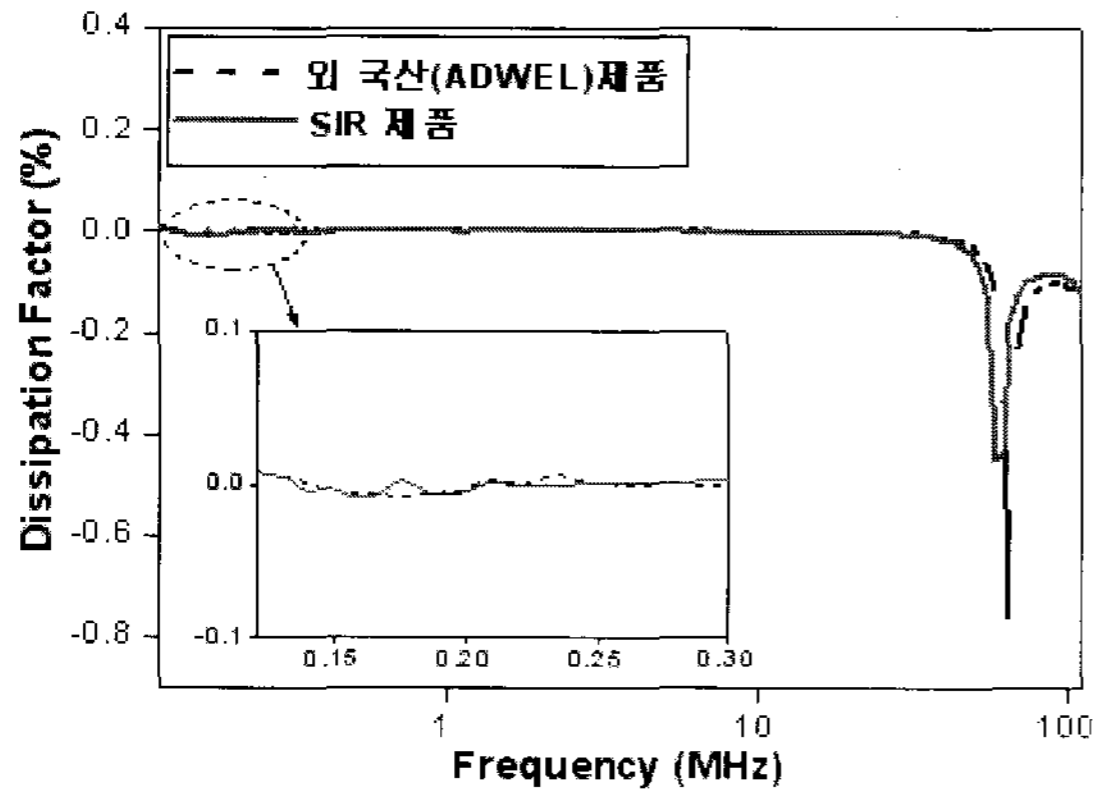


그림 5 제작된 에폭시-마이카 커패시터와 Adwel社 제품의 주파수에 대한 손실률 특성 비교

Fig. 5 Dissipation factor-frequency characteristic of fabricated epoxy-mica capacitor compared with that of Adwel sample

그림 6은 제작된 에폭시-마이카 커패시터를 Adwel社의 제품과 비교한 주파수에 대한 커패시턴스 특성을 나타낸다. 그림에서 커패시턴스 값이 주파수가 증가함에 따라 양의 피크 값에서 음의 피크 값으로 전위되며 0의 지점을 지나게 되는데 0을 지나는 주파수가 공진주파수를 의미한다. 이는 앞선 그림 4와 5의 공진주파수 결과와 일치함을 알 수 있다. 또한 공진주파수 이전의 양의 커패시턴스 값은 제작된 커패시터가 공진주파수 미만의 주파수에서 용량성인 커패시터소자의 특성을 나타내고 공진주파수 이상의 음의 커패시턴스 값은 제작된 커패시터의 특성이 공진주파수 이상에서 유도성으로 변화됨을 나타낸다. 그림 6 내의 확대 그림으로부터 제작된 커패시터는 1 MHz에서 79.5pF의 커패시턴스 값을 가지며, 86.5pF의 Adwel社 제품과 유사한 커패시턴스의 주파수특성을 갖게 됨을 알 수 있다.

따라서 그림 4~6의 결과로부터 본 연구에서 제작된 마이카 커패시터는 Adwel社 제품과 동등한 주파수에 대한 우수한 전기적 특성을 나타냄을 알 수 있다.

3.2 열 충격 시험 결과

그림 7은 개발된 에폭시-마이카 커패시터에 적용된 열 충격 시험 조건을 나타낸다. 단기적인 열 충격에 따른 커패시턴스, 내전압, 손실률, 외관상태의 변화를 알아보기 위하여 열 충격 시험을 실시하였다. 상온(26°C)에서 20분, 고온(135°C)에서 24시간, 상온에서 24시간, 저온(-35°C)에서 24시간,

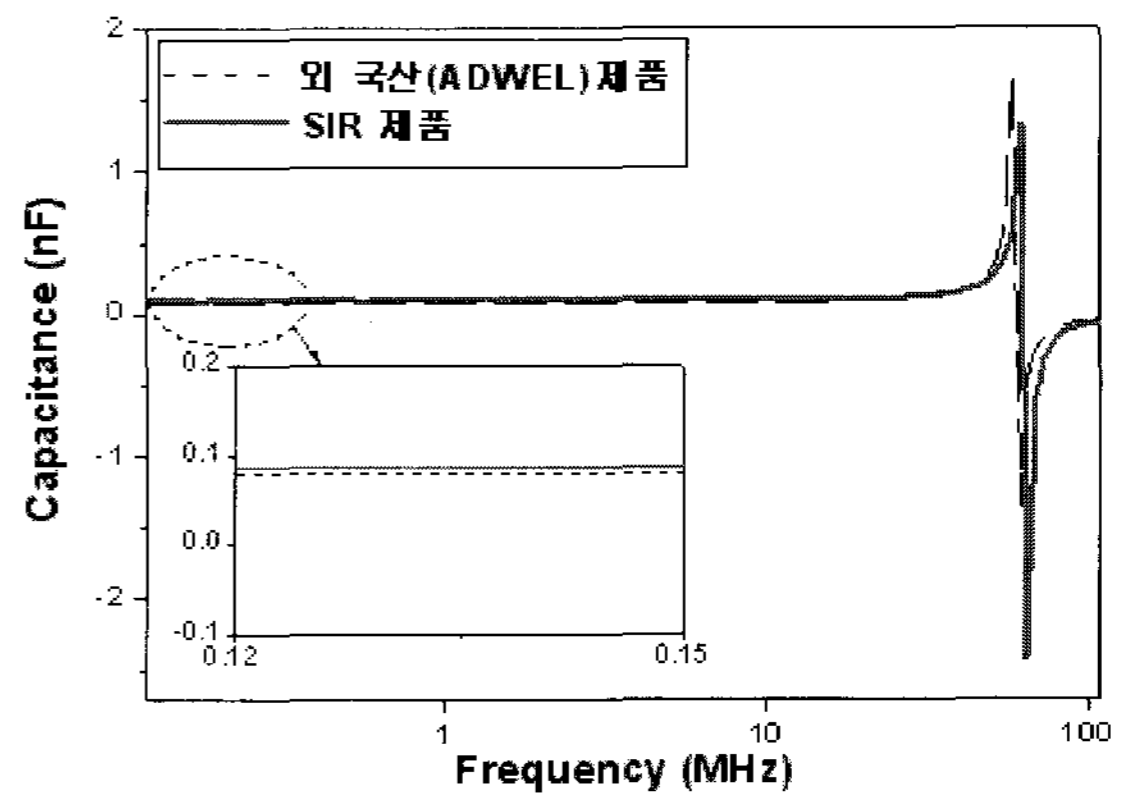


그림 6 제작된 에폭시-마이카 커패시터와 Adwel社 제품의 주파수에 대한 커패시턴스 특성 비교

Fig. 6 Capacitance-frequency characteristic of fabricated epoxy-mica capacitor compared with that of Adwel sample

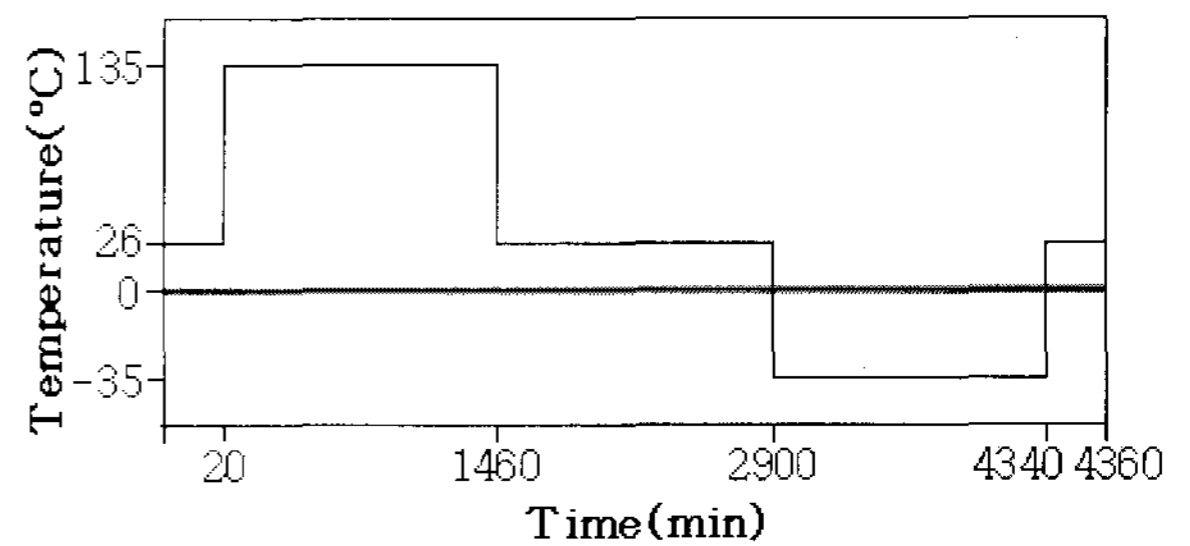


그림 7 개발된 에폭시-마이카 커패시터에 적용된 열 충격 시험 조건

Fig. 7 Thermal shock test condition applied for epoxy-mica capacitors developed

상온에서 20분의 순으로 열 충격을 가한 후 커패시턴스, 내전압, 손실률의 변화를 측정하였다. 열 충격 시험은 환경시험 방법-전기/전자-온도 변화 시험 방법규격인 C-0255:2001 (IEC 60068-2-33:1971, IEC 60068-2-14:1984)의 기준에 따라 실시되었다.

표 2는 그림 7의 조건을 적용한 후의 80pF 17kV AC와 80pF 50kV AC 커패시터에 대한 열 충격 시험 결과를 나타낸다. 표의 결과에서 알 수 있듯이 열 충격을 가한 이후에도 커패시턴스, 내전압, 손실률 및 외관 상태에 변화가 발생하지 않아 개발된 마이카 커패시터는 우수한 열 충격 특성을 보이고 있다.

3.3 온도 Cycling Test 결과

그림 8은 장기적인 열 충격에 따른 제작된 커패시터의 커패시턴스, 내전압, 외관 상태 등의 변화를 알기 위하여 사용된 온도 cycling 시험(신뢰성 시험)의 온도 변화 조건을 나타낸다. 온도 cycling 시험은 500시간동안 -35°C에서 135°C까지의 온도범위에서 온도변화율을 1°C/min으로 하여 실시

하였다. 이때 -35°C 와 135°C 에서 유지시간을 4시간으로 하였다.

표 2 열 충격 시험 결과의 요약

Table 2 Summary on results of thermal shock test

Parameters	Before test		After test	
	Capacitance (pF)	87	80	87
Maximum AC Voltage (kV AC)	18	50	18	50
Dissipation Factor (%)	0.03	0.04	0.03	0.04
Appearance Condition	OK	OK	OK	OK

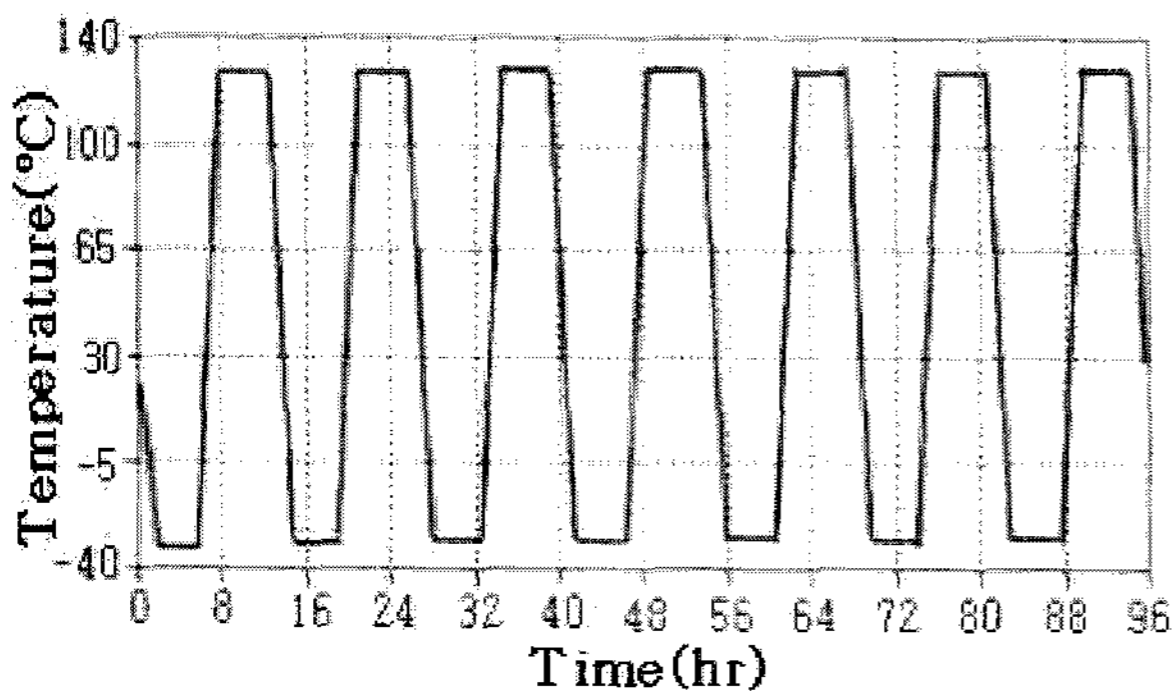


그림 8 온도 Cycling 시험에 사용된 조건

Fig. 8 Condition used for temperature cycling test

표 3은 온도 cycling 시험 결과를 요약하였다. 온도 cycling 시험 결과, 커패시턴스는 80pF 17kV AC 경우 시험 전 87.5pF에서 시험 후 87.3pF으로, 80pF 50kV AC 경우 시험 전 83.5pF에서 시험 후 83.2pF으로 거의 변화가 없었고, 내전압과 외관 상태도 변화를 보이지 않는 것으로 보아 개발된 커패시터는 장기적인 온도변화에도 매우 안정적인 것으로 평가되었다.

표 3 온도 Cycling Test 결과의 요약

Table 3 Summary on results of temperature cycling test

Parameters	Before test		After test	
	Capacitance (pF)	87.5	83.5	87.3
Maximum AC Voltage (kV AC)	18	56	18	56
Appearance Condition	OK	OK	OK	OK

4. 결 론

본 논문에서는 전량 수입에 의존하고 있는 고전압 대용량 모터, 발전소 발전자, 대용량 전동기 등의 단락현상 및 감시 시스템의 고주파 필터 센서로 사용되는 에폭시 마이카 커패시터를 국내 기술로 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 임피던스, 손실률, 커패시턴스 등의 주파수 특성은 캐나다 Adwel社의 동급 제품과 비교한 결과 특성이 거의 일치하는 것으로 나타났다.
2. 단기적인 열 충격시험 결과 시험전과 시험후의 커패시턴스, 내전압, 손실률, 외관상태가 변화 없이 안정한 것으로 나타났다.
3. 장기적인 온도 Cycling Test 결과 시험전과 시험후의 커패시턴스, 내전압과 외관상태의 변화는 없는 것으로 보아 개발된 커패시터는 장기적인 온도변화에도 매우 안정적인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 지원에 의하여 이루어진 2007년도 산학연 공동기술개발컨소시엄사업의 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 신희상, 조성민, 강철, 김재철, 강동식, 조국희, "고압 회전기 부분방전 신호의 노이즈 특성 분석", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회논문집, pp.287-290, Nov. 2007.
- [2] Dong-Sik Kang, Yong-Joo Kim, Young-Ho Yun, "Evaluation of Reliability on the 6.6kV Class Ceramic Coupler for On-line Partial Discharge Measurement in Winding Machines", KIEE International Transactions on Power Engineering, Vol. 54, No. 2, pp. 69-75, Feb. 2005.
- [3] 윤대희, 황돈하, 신병철, 김용주, 이광식, "회전기 고정자 권선에서의 운전 중 절연열화 진단기법", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp.89-93, Nov. 2000.
- [4] T.E. Goodeve, G.C. Stone, and L. Macomber, "Experience with Compact-Mica Capacitors for Rotating Machine Partial Discharge Detection", Electrical Electronics Insulation Conference, and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, pp. 685-689, September 1995.
- [5] J.S. Bowers, "Characterization of Reconstituted Mica Paper for Use in High Voltage Capacitors", Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, pp. 303-307, October 1999.

저 자 소 개



윤 의 중 (尹 宜 重)

1962년 2월 21일생. 1985년 2월 고려대 공대 전자공학과 졸업(학사). 1988년 12월 미국 The University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 5월 미국 The University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1994년 6월~1996년 8월 미국 The University of Texas at Austin 부설 Center for Magnetics Post-Doctor 연구원. 1996년 9월~현재 호서대 시스템제어공학과 교수. 주관심분야: Metal/Oxide/Metal (MOM) 박막소자에서의 양자화현상, Fiber-Optic Magnetic Sensor 개발, 자성박막 재료 및 소자의 개발, chip inductor 개발, 고전압 마이카 커패시터 개발
Tel : 041-540-5675
Fax : 041-540-5587
E-mail : ejyun@hoseo.edu



김 재 욱 (金 宰 煜)

1993년 2월 호서대학교 전자공학과졸업(공학사). 1998년 8월 호서대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 2003년 8월 호서대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 2006년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 전임강사. 주관심분야: 자동제어, 퍼지 제어, chip inductor 개발, 자성박막 재료 및 소자의 개발
Tel : 041-580-2119
E-mail : jwkim@nsu.ac.kr



최 철 순 (崔 喆 洵)

1970년 12월 25일생. 1993년 2월 강릉대학교 재료공학과 졸업(학사). 1995년 7월 서광전자(주) 연구 개발부 입사. 2000년 6월 에스아이알(주) 입사. 2007년 7월 에스아이알(주) 대표이사취임. 주관심분야 : 마이카 커패시터개발, 특수 고전압 커패시터 개발, 대 전류 커패시터 개발, 유전체 세라믹 조성 개발 및 유전체 부품 개발, 자동차 전장 부품 및 LC 필터 개발
Tel : 041-858-2187
Fax : 041-858-2189
E-mail : changjo1225@empal.com



이 동 혁 (李 東 赫)

1983년 11월 15일생. 2002년 3월~현재 호서대 시스템제어공학과 학사과정. 주관심분야: 자성박막 (chip) inductor 개발, 고전압 마이카 커패시터 개발
Tel : 041-548-0167
Fax : 041-540-5587
E- mail : seotajiband@nate.com