

## 고주파용 대용량 단위 유전체 제조공정과 $ZrO_2$ 첨가에 따른 전기적 특성 연구

안영수<sup>†</sup> · 김준수 · 박주석 · 김홍수 · 한문희 · 노광수\*  
한국에너지기술연구소 기능소재연구센터  
\*한국과학기술원 재료공학과  
(2002년 4월 10일 접수; 2002년 8월 1일 승인)

### Study on Condition of Fabrication Processing for R. F. High-power Unit Capacitor and Electrical Characteristics according to Addition of $ZrO_2$

Young Soo Ahn<sup>†</sup>, Joon Soo Kim, Joo Seok Park, Hong Soo Kim,  
Moon-Hee Han and Kwang Soo No\*

Functional Materials Research Center, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

\*Department of Material Science and Engineering, Korea Advanced Institute of  
Science and Technology, Daejeon 305-701, Korea

(Received April 10, 2002; Accepted August 1, 2002)

#### 초 록

$ZrO_2$  첨가량 변화에 따른 전기적 특성과 고주파 대용량 세라믹 캐패시터 제조공정 조건을 규명하기 위하여 고주파 대용량 세라믹 캐패시터의 제조 및 전기적 특성에 관하여 연구하였다. 단위 캐패시터는 테이프 캐스팅법으로 제조되었으며, 유전체 및 바인더의 최적조성은 57.5~60.0 : 42.5~40.0 wt%이다. 슬러리의 점도는 4000~5000 cps이며, 이 슬러리를 사용하여 제조한 그린 테이프는 뛰어난 캐스팅 상태를 유지하고 있다. 80°C에서 200 kg/cm<sup>2</sup>의 성형압으로 성형함으로써 최적의 적층 상태를 얻을 수 있었다. 단위 캐패시터의 전기적 특성, 특히 절연파괴 특성을 증진시키기 위하여  $ZrO_2$ 를 첨가하였다.  $ZrO_2$  첨가량이 1 wt%에서부터 5 wt%까지 첨가한 경우에는 단위 캐패시터의 유전상수 및 유전손실에 큰 영향을 미치지 못하였다. 또한 유전상수도 10 kHz에서 500 kHz 사이의 주파수 범위에서 큰 변화가 없었다. 내전압은 3 wt%를 첨가한 경우  $CaZrO_3$ 에 형성 및 입자크기 감소로 인하여 증진됨을 확인할 수 있었다.

#### ABSTRACT

Fabrication and electrical characterization of R. F. High-power unit capacitors were investigated to study on condition of fabrication processing for R. F. High-power unit capacitor and electrical characteristics according to addition of  $ZrO_2$ . The unit capacitors were fabricated using tape casting. The optimum mixture ratio of dielectrics and mixing binder for the slurry fabrication was 57.5~60.0 : 42.5~40.0 wt%. The slurry viscosity was 4000~5000 cps and casting state of green tape fabricated using these slurry was excellent. Optimum stacking was made by 200 kg/cm<sup>2</sup> pressure with 80°C heating.  $ZrO_2$  was added to improve the electrical characteristics of unit capacitor, especially breakdown characteristics. The dielectric constant and loss factor of the unit condenser having different  $ZrO_2$  amounts was not changed in the addition range of 1 to 5 wt%. Also, dielectric constant was not changed in the frequency range of 10 to 500 kHz. It was found that characteristics of resistance voltage was improved through the formation of  $CaZrO_3$  and the reduction of particle size as about 3 wt%  $ZrO_2$  was added.

**Key words :** High-power ceramic capacitor, Tape casting,  $CaTiO_3$ ,  $ZrO_2$

#### 1. 서 론

적층 세라믹 캐패시터는 소형 대용량이므로 신뢰성이 높고 고주파 특성이 우수하기 때문에 대용량이 필요한 전원회로와 대전력이 흐르는 곳의 필터용 또는 고주파가 진

행되는 스윗칭 전원용으로 사용이 증대되고 있다. 또한 고주파 가열장치에서 전력을 효율적으로 전달하기 위하여 이용되는 세라믹 캐패시터는 변환효율이 90% 이상으로 높기 때문에 변환효율이 50%인 기존의 진공관식 캐패시터에 비해 약 10% 정도의 에너지 절감효과가 있다.<sup>1)</sup>

적층 세라믹 캐패시터는 세라믹 캐패시터를 박막의 테이프 형태로 제조한 것에 내부전극을 도포하고, 이 박막 테이프를 수층 또는 수습층으로 적층시켜 소결한 후, 외부전극을 형성시켜 병렬 접속된 구조로 되어 있다. 이러

<sup>†</sup>Corresponding author : Young Soo Ahn  
E-mail : ysahn@kier.re.kr  
Tel : +82-42-860-3146 Fax : +82-42-860-3133

한 구조상의 특징으로 인하여 소형이면서도 큰 정전용량을 갖으며 신뢰성이 높고 고주파 특성도 우수하다. 이와 같은 적층 세라믹캐패시터의 장점 때문에 사용용도가 확대되고 있어 세라믹 캐패시터 재료, 전극재료 및 새로운 제조기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

적층 세라믹 캐패시터의 제조기술에는 그린 테이프 성형법, 인쇄법 및 주입법 등이 있으나 본 연구에서는 건식 적층법인 그린 테이프 제조법을 이용하였다. 이 그린 테이프 성형법을 이용한 제조공정에 있어서 특히, 슬러리 제조시 바인더의 종류와 양 그리고 적층화를 위한 적층 가압시의 조건 등이 최종 제품의 특성에 크게 영향을 미치기 때문에 적당한 제조공정 조건의 선택이 매우 중요하다. 테이프 캐스팅 성형용 슬러리 제조를 위해서는 유전체 조성물 외에 결합제, 가소제, 분산제, 소포제 및 계면활성제 등과 같은 여러 가지 종류의 유기첨가제가 사용되며,<sup>2,3)</sup> 이들 첨가제의 종류와 양 등이 테이프의 강도 및 인성, 미세구조, 열압착성, 탈지 등에 크게 영향을 미친다. 적층 가압시 가열온도 및 적층 압력이 중요한 변수로 작용하며 이때 바늘구멍이나 균열 등과 같은 결함이 없는 균일한 두께의 테이프를 사용해야 불량발생이 적다.<sup>4)</sup> 한편, 고주파 대용량 적층 세라믹 캐패시터는 고주파전류가 통과하는 동안 고전압에 견디어야 하기 때문에 여러 가지 전기적 특성 중에서 특히 내전압 특성이 매우 중요하다.<sup>4)</sup>

본 연구에서는 고주파 대용량 단위 캐패시터의 제조공정에 영향을 주는 변수들 즉, 원료 조성물과 혼합용 바인더와의 혼합비율, 이때의 슬러리 점도, 적층 가압시의 가열온도 및 적층 압력 등을 달리함에 따른 영향을 조사하였다. 그리고 제조공정 실험 결과, 확인된 최적의 제조조건을 선택하여, 고주파 대용량 단위 캐패시터의 절연과 특성을 개선하기 위하여 ZrO<sub>2</sub> 첨가에 따른 단위 캐패시터의 전기적 특성을 측정·분석하여 내전압 등에 미치는 영향을 조사하는 것이 본 연구의 목적이다. 여기서 단위 캐패시터라 함은 적층 세라믹 캐패시터를 대용량화하기 위하여 병렬 접속되는 개개의 캐패시터를 의미한다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 제조공정 변화실험

고주파 대용량 세라믹 캐패시터용 단위 캐패시터를 제조하기 위한 제조공정조건 변화 실험은 먼저 출발원료로서 유전율이 180정도이고 유전손실계수가 0.003으로 매우

낮으며 온도계수가 직선적으로 변화하는 특성을 가진 CaTiO<sub>3</sub> 재료를 주성분으로 하고, 유전손실 특성을 좋게 하기 위하여 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 소결성 및 온도변화 특성을 개선하기 위하여 PbO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 및 MgTiO<sub>3</sub> 성분들을 첨가하여 각 성분들의 총중량합이 100이 되도록 하였으며 절연과 특성을 개선하기 위하여 ZrO<sub>2</sub> 성분을 첨가하여 Table 1과 같은 유전체 조성물을 만들었다.

Table 1의 조성을 갖는 유전체 조성물에 적합한 바인더의 혼합비율을 선정하기 위하여 유전체 조성물에 바인더, 알코올, 분산제 등을 첨가하였으며, 이를 위하여 바인더로는 Ferro사 제품의 바인더(B 77305)로서 이 바인더에는 폴리비닐 부틸, 톨루엔, 변성 에틸 알코올, 폴리머, 계면활성제, 가소제, 점착제, 기공 조절제 등과 같은 결합제, 가소제, 분산제 및 기포제 등이 첨가된 바인더이고, 알코올로는 무수 에틸 알코올(이후 알코올로 표기함)이, 그리고 분산제로는 San Nopco사의 Cerasperse 5468 CF등이 사용되었다. 혼합 비율은 테이프 캐스팅에 적합한 점도를 조절하고 원료분말들의 분산을 좋게 하기 위하여 첨가되는 알코올, 분산제 등과 같은 첨가제의 양은 각각 10 wt% 및 1 wt%로 일정하게 고정하고, 결합제, 가소제 및 소포제 등이 들어있는 바인더(B77305; Ferro Co.)의 첨가량은 37.5, 40, 42.5, 45 wt%로 변경하였다. 이후 테이프 캐스팅용 슬러리를 제조하기 위하여 1차로 유전체 조성물과 볼을 넣고 12시간 동안 혼합한 후, 실내조건이 비교적 안정하게 유지될 수 있는 조건하에서 적정량의 바인더, 알코올, 분산제 등을 첨가하여 6시간 동안 2차로 혼합하였다. 혼합된 슬러리 내에는 존재하는 기포를 제거하기 위하여 20-25분 정도 탈기 한 후, 5-10분 정도 숙성하였다. 위와 같이 준비된 슬러리를 이용하여 테이프 캐스팅 실험시 슬러리의 점도가 테이프 두께에 미치는 영향 및 성형성 등을 조사하였다. 그리고 단위 캐패시터 내에 여러개의 캐패시터층이 있도록하여 정전용량을 증가시키기 위한 적층구조물 제조를 위하여 내부 전극이 도포된 테이프의 적층 가압 성형시 가열온도 및 적층 압력 변화에 따른 적층 테이프들의 성형밀도와 소결밀도를 측정하였다.

### 2.2. 단위 캐패시터의 제조 및 특성 측정 실험

단위 캐패시터의 내전압 특성 향상을 위한 단위 캐패시터 제조실험은 최적의 테이프 캐스팅 및 테이프 적층화를 위하여 수행한 2.1의 제조공정 변화실험 결과, 최적의 테이프 캐스팅 및 테이프 적층화를 위한 혼합비율

Table 1. Chemical Composition of Dielectric

CaTiO <sub>3</sub>	MgTiO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	ZrO <sub>2</sub>
65.56	0.86	7.86	10.49	2.03	2.05	1.82	6.92	3.28	2.50

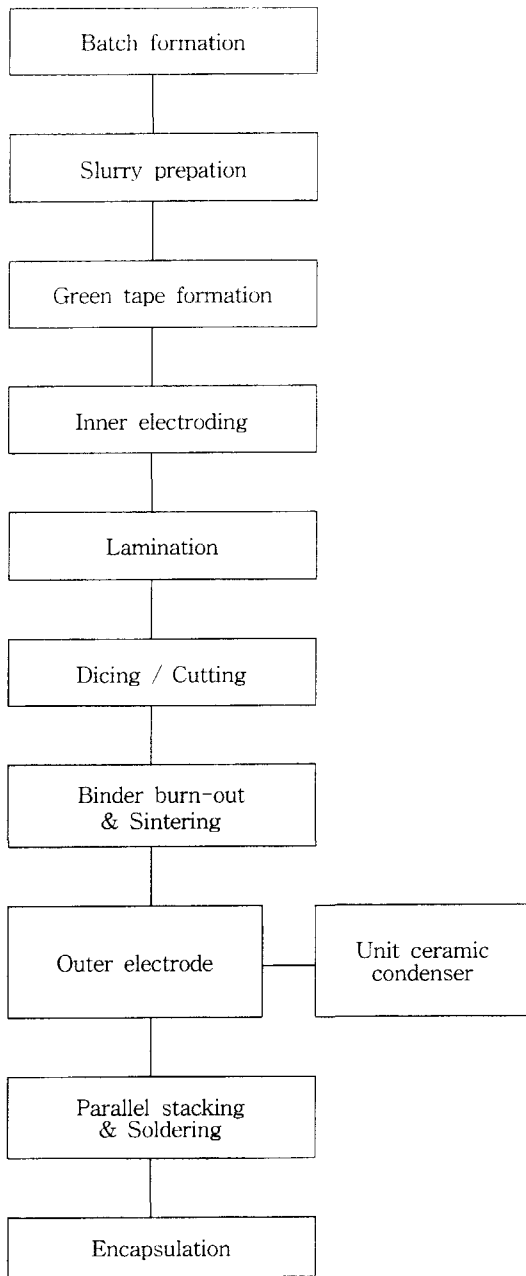


Fig. 1. Flow chart of experimental process for the fabrication of unit capacitor.

로 확인된 유전체 조성물 60 wt%, 바인더 40 wt%, 알코올 10 wt% 및 분산제 1 wt%의 혼합비율을 참고로 하여 Fig. 1에 보여지는 단위 캐패시터 제조공정도에 따라 단위 캐패시터의 내전압 특성 향상을 위한 단위 캐패시터 제조 실험을 수행하였다.

먼저 첨가되는 바인더, 알코올, 분산제를 40 wt%, 10 wt%, 1 wt%로 고정한 후, Table 1에 나타난 유전체 조성물에 ZrO<sub>2</sub> 첨가에 따른 전기적 특성변화를 조사하기 위하여 ZrO<sub>2</sub> 첨가량(1, 2, 3, 4, 5 wt%)만을 달리하여 슬러리를 제

조하였다. 이 제조된 슬러리는 이중 닥터 브레이드 장치를 이용하여 두께 90~100 μm의 테이프로 성형한 다음, 이 테이프 위에 실크 스크린 인쇄법을 이용하여 Ag: Pd = 30: 70인 내부전극을 도포하였다. 내부전극이 도포된 테이프들은 대기중에서 건조공정을 거친 다음 적층공정을 위하여 50×50 mm 크기로 절단한 후, 핫프레스 금형을 이용하여 복수매 테이프들은 80°C 정도로 가열하여 테이프 내부에 있는 바인더가 소성유동이 가증하도록 연화시킨 다음 200 kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 적층 가압한 다음 면도날 절단 방법을 사용하여 25×10 mm 크기로 절단하였다. 이 절단된 시편들은 소성 스케줄에 따라 1200°C에서 1시간 소성하였다. 소성이 완료되면 외부전극인 은 페이스트를 도포한 후, 도포된 전극이 시편에 부착되도록 600°C에서 10분 동안 소성하여 하여 약 5 nF의 정전용량을 갖는 단위 캐패시터를 제조하였다.

제조된 단위 캐패시터 소결체의 미세구조 관찰을 위해서는 광학현미경(Olympus BX60-31E51MU system, Japan) 및 주사전자현미경(Philips XL-30, Netherlands)을 이용하였으며, 슬러리의 점도는 점도계(Digital viscometer LVT, Brookfield Engineering Lab., USA)를 이용하여 측정하였다. 성형된 테이프의 성형밀도는 테이프의 무게와 부피로부터 구하였으며, 소결밀도는 아르키메데스법을 이용하여 측정하였다. 고주파 대용량 세라믹 캐패시터용 단위 캐패시터의 유전손실계수는 impedance analyzer(HP 4192A LA, Japan)를 이용하여 100 kHz에서 측정하였으며, 유전율은 측정된 유전체층의 두께, 전극면적 및 정전용량의 값들은 식(1)에 대입하여 구했다.

$$\text{유전율} = \frac{(\text{정전용량} \times \text{유전체층의 두께})}{(\text{진공에서의 유전율} \times \text{전극면적})} \quad (1)$$

주파수에 따른 유전율의 특성변화도 impedance analyzer를 이용하여 1~105 kHz 범위에서 측정하였다. DC 내전압 특성은 high voltage source measure unit(Keithly, USA)를 이용하여 측정하였다. AC 내전압 특성은 고주파 대용량 세라믹콘덴서용 4개 또는 6개의 고주파 대용량 세라믹콘덴서용 단위콘덴서 시편을 병렬로 연결하여 전극 처리한 후, high frequency power generator[선진전자(주)]를 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 제조공정 변화실험

##### 3.1.1. 바인더 혼합비율에 따른 미세구조변화

성형된 테이프의 미세구조는 최종 소결 후의 미세구조와 특성에 영향을 미치므로, 성형시 테이프의 미세구조를

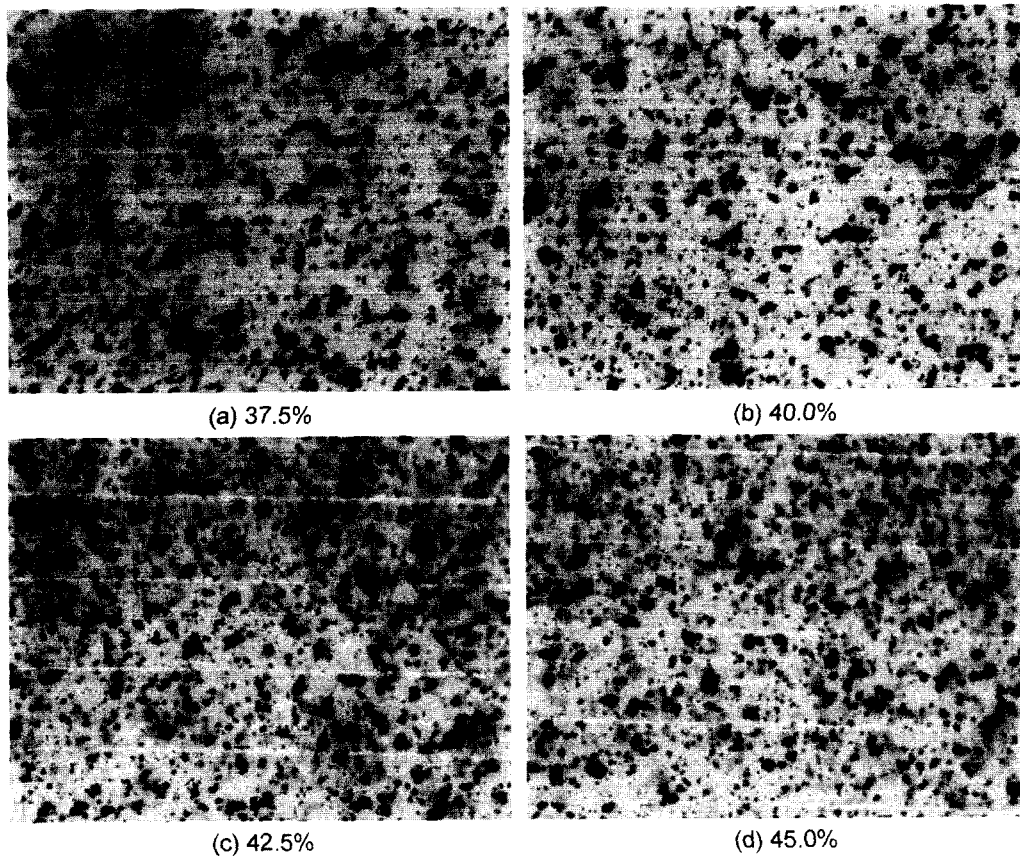


Fig. 2. Optical micrographs of unit capacitor according to the change of binder content.

최적화하는 것이 제조공정 중에서 가장 중요한 요소가 된다. 이를 위해서는 원료조성물과 바인더와의 적절한 혼합비율을 선정할 필요가 있다. 원료조성물과 바인더와의 혼합시 바인더 양이 너무 많으면 테이프의 인성이 너무 높고 원료분말들의 충전밀도가 낮아 소결 후에서 기공이 많고 치밀한 구조를 갖지 못한다. 바인더의 양이 너무 적으면 혼합시 점도가 높아 혼합 및 분쇄가 이루어지지 못할 뿐만 아니라 양호한 상태의 슬러리 제조가 불가능하다. 또한 바인더의 양이 너무 적어 용매를 첨가하여 점도를 낮출 경우에도 테이프 캐스팅시 원료 분말들간의 응집력이 낮게 되므로 테이프의 인성이 낮아지고 유연성이 없어질 뿐만 아니라 미세구조가 치밀하지 못하여 소결시 용매의 증발에 의해 큰 기공들이 존재할 가능성이 높게 된다.

Fig. 2에 원료조성물과 바인더와의 적절한 혼합비율을 선정하기 위해서는 바인더의 혼합비율을 37.5~45.0 wt% 범위로 변화시키고, 탈기 및 숙성 공정은 동일한 조건으로 하여 테이프 캐스팅 성형 실험을 한 다음, 소결 후의 미세구조를 관찰하기 위하여 소결후 바인더 혼합비율 변화에 따른 광학현미경 사진을 나타내었다. 이 결과를 보면, 바인더의 혼합비율이 증가함에 따라 미세구조내의 큰 기공들이 감소하는 경향을 보이고 있으나, 혼합비율의 차

이에 의한 유전특성 및 내전압 특성에는 큰 차이를 보이지 않았다. 테이프의 성형성은 바인더 첨가량이 40~42.5 wt% 첨가되었을 때 양호한 상태를 보였다.

### 3.1.2. 슬러리 점도에 따른 테이프 두께 변화

슬러리 점도가 성형된 테이프의 두께에 미치는 영향을 조사해 보기 위해서는 바인더 첨가량을 달리하여 제조된 슬러리의 점도를 측정하고, 탈기 및 숙성공정을 거친 다음 테이프 캐스팅 실험을 하였다. 이때 이동 필름의 진행 속도의 차이에 의한 테이프 두께의 영향을 배제하기 위하여 필름의 진행속도는 30~40 cm/min로 일정하게 하였고, 또한 이중 블레이드 높이는 슬러리가 제일 먼저 유입되는 부분의 높이는 슬러리가 최종적으로 유출되는 블레이드 높이 보다 약 20% 정도 높게 설정하여 슬러리의 액면높이에 따른 테이프 두께의 영향을 배제<sup>5)</sup>하기 위하여 동일한 조건으로 실험하였다.

Fig. 3에는 슬러리의 점도를 달리함에 따른 제조된 테이프의 두께를 나타내었다. 이 결과를 보면 바인더의 양이 적을수록 슬러리의 점도는 증가하였고 테이프의 성형 두께도 증가하는 것으로 조사되었다. 또한 첨가되는 바인더의 양이 40~42.5 wt%일 때 슬러리의 점도가 4000~5000 cps가 되었으며, 이때의 테이프 성형성이 양호하였다.

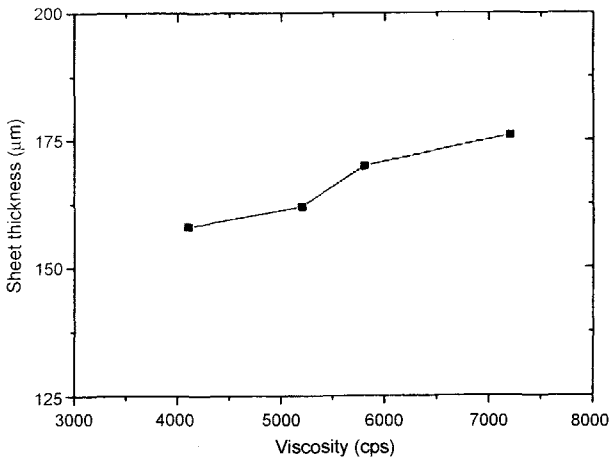


Fig. 3. Thickness according to the change of slurry viscosity.

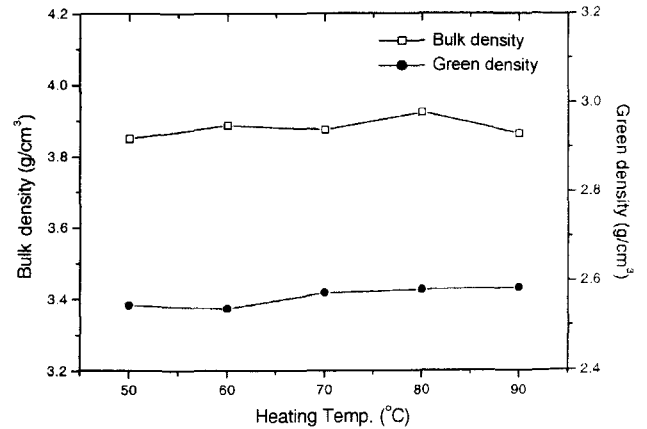


Fig. 5. Green and bulk density according to the change of stacking temperature.

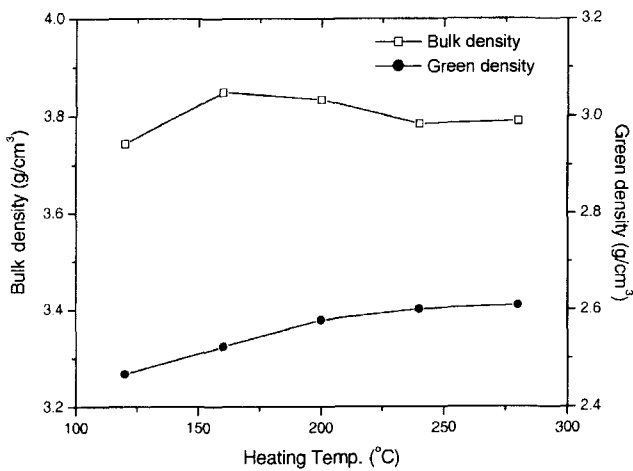


Fig. 4. Green and bulk density according to the change of stacking pressure.

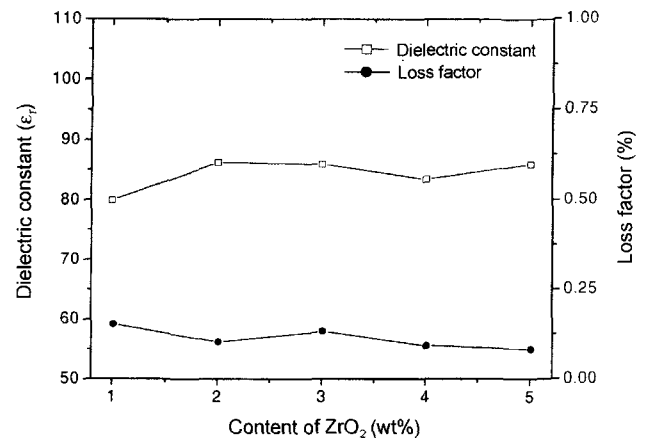


Fig. 6. DC breakdown voltage according to the change of ZrO<sub>2</sub> content.

3.1.3. 적층 가압 온도 및 압력에 따른 밀도변화

내부전극이 도포된 복수매의 유전체의 적층을 위한 테이프 적층 가압시 가열온도 및 적층압력이 성형 테이프의 밀도와 최종 소결체의 밀도에 미치는 영향을 조사하였다.

Fig. 4에는 가열온도를 80°C로 고정하고, 적층압력 변화에 따른 성형 테이프와 소결체의 밀도를 각각 나타내었다. 소성하지 않은 성형 테이프의 성형밀도는 적층압력이 증가함에 따라 증가하는데, 특히 적층압력 200 kg/cm<sup>2</sup>까지는 급격히 증가하고 이후부터는 완만하게 증가함을 보였다. 소결밀도의 경우는 성형밀도와는 다르게 적층 압력에 따른 일정한 경향성을 보이지 않고 150~200 kg/cm<sup>2</sup> 압력에서 높은 값을 나타내었다.

Fig. 5에는 적층 압력을 200 kg/cm<sup>2</sup>로 고정하고, 가열온도 변화에 따른 성형 및 소결밀도 변화를 각각 나타내었다. 그린 테이프의 성형밀도는 가열온도가 증가함에 따라 일반적으로 증가하는 경향을 나타내고 있고, 특히 70°C부

터는 성형밀도의 완만한 증가를 보였다. 소결 밀도의 경우는 가열온도에 따른 일정한 경향성을 보이지 않았고, 가열온도 80°C에서 최고값을 나타내었다. 위의 결과를 볼 때, 적층 가압시 가열온도 및 적층 압력이 높게되면 소결 과정의 바인더 탈지시 기공이 빠져나갈 수 있는 통로나 미세기공 들의 감소로 인해 소결밀도가 낮아지는 것으로 생각된다. 따라서 내부 전극이 도포된 테이프를 적층하여 적층 구조물을 성형하기 위한 적층 가압시는 위의 분석 결과를 근거로 하여 가열온도는 80°C로, 적층압력은 200 kg/cm<sup>2</sup>로 하여 최적의 적층 상태가 되도록 하였다.

3.2. 단위 캐패시터의 제조 및 특성 측정 실험

3.2.1. 유전을 및 손실계수의 변화

Fig. 6에는 ZrO<sub>2</sub> 첨가에 따른 유전을 및 손실계수의 변화를 나타내었다. 유전율은 DC 내전압 측정시편으로부터 계산되었으며, 유전체의 두께는 내전압 측정이 끝난 시편

의 광학현미경 사진에 의한 평균 두께를 기준으로 계산하였다. ZrO<sub>2</sub>의 첨가량에 따른 유전율과 손실계수 변화

양상은 경향성을 지닐 정도의 변화폭을 나타내지 않고 있어 ZrO<sub>2</sub>의 첨가에 의한 유전율 및 손실계수는 큰 변화가 없는 것으로 판단된다.

3.2.2. 주파수 특성의 변화

Fig. 7은 100 kHz에서의 유전율을 100%로 기준하여 나타낸 그림으로서 1 MHz 부근에서 급격한 유전율의 감소 현상을 나타내고 있다. 주파수가 증가함에 따라 쌍극자의 운동속도가 상대적으로 늦어 유전율에 기여하지 못하게 된다. Fig. 6에서 1 MHz 이상에서 유전율 감소 현상도 영구 쌍극자의 소멸에 의한 것으로 생각된다. 본 세라믹콘덴서의 경우 적용주파수가 100 kHz 대역이므로 1 MHz 이상에서 감소하는 유전율은 문제가 없다.

3.2.3. DC 내전압 특성의 변화

ZrO<sub>2</sub> 첨가에 따른 DC 내전압 특성변화를 Table 2에 나타내었다. 이 결과를 보면, 전체적인 경향성을 나타내 보이지 못하고 있으며 이러한 경향은 측정된 내전압값이 조성이 변화된 유전체의 특성이라기보다는 내부결함을 지

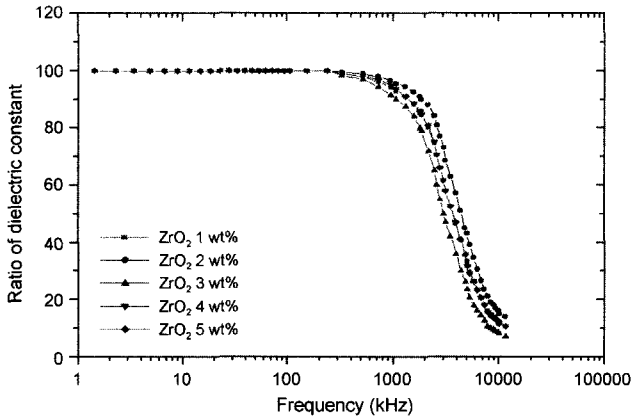


Fig. 7. Dielectric constant of unit capacitor according to the change of frequency.

Table 2. DC Breakdown Voltage According to the Change of ZrO<sub>2</sub> Content

ZrO <sub>2</sub> content (wt%)	The frequency of breakdown (%)	Thickness (μm)	DC Breakdown Voltage (V)	Electric Field (kV/mm)
1	60%	70	870	12.43
2	12.5%	95	890	9.34
3	20%	80	1090	13.63
4	10%	86	1050	12.21
5	14.3%	82	990	12.07

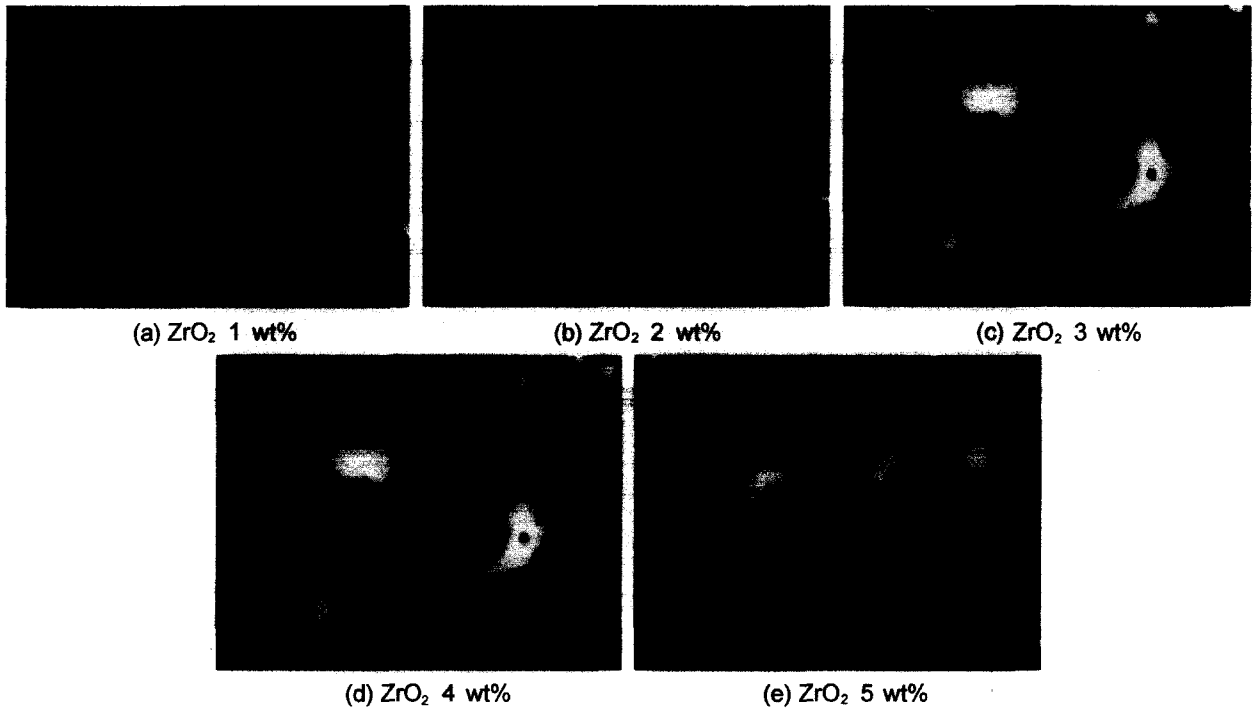


Fig. 8. SEM micrographs of unit capacitor according to the change of ZrO<sub>2</sub> content.

닌 약한 시편의 값이기 때문에 뚜렷한 경향성이 나타나지 않은 것으로 생각된다. 그러나, 절연과피가 발생하는 빈도에 있어서는 전체적으로 첨가량이 많아질수록 낮아지는 경향을 나타내고 있다.  $ZrO_2$ 는 일반적으로  $CaTiO_3$ 에서 Ti를 치환하는 것으로 알려지고 있다. 부분적으로 치환된 Zr는  $Ca(Zr, Ti)O_3$ 를 형성하면서 입자크기를 작게 한다. 본 연구에서 관측한  $ZrO_2$  양에 따른 내전압의 향상은 내전압특성이 상대적으로 우수한  $CaZrO_3$ 의 형성과 입자크기 감소에 기인한 요인으로 생각할 수 있다.

### 3.2.4. AC 내전압 특성의 변화

DC 내전압 측정 결과, 파괴되지 않은 고주파 대용량 세라믹콘덴서용 단위콘덴서 시편을 4개 또는 6개 병렬 연결하여 전극 처리한 후 측정을 하였다.  $10\text{ mm} \times 25\text{ mm}$  시편이 4개 병렬로 연결된 경우는 용량이  $20\text{ nF}$  정도로 작아서 전압을 최대로 올려도  $360\text{ V}$ 까지만 측정되어 더 높은 전압을 측정하기 위하여는 4개 이상을 연결하여야 한다. 시편 4개를 병렬로 연결한 경우,  $ZrO_2$  첨가량이 1 wt%, 2 wt%로 증가함에 따라  $340\text{ V}$ ,  $350\text{ V}$ 로 AC 내전압이 증가하다가 3 wt% 이상 첨가한 경우에는  $360\text{ V}$ 를 도달한 후, 더 이상 증가하지 못하고  $360\text{ V}$ 를 계속 유지하는 경향을 나타낸다.  $360\text{ V}$  이상의 더 높은 내전압을 측정하기 위하여 시편 8개를 병렬로 연결하여 AC 내전압을 측정 한 5 wt%의 경우,  $440\text{ V}$ 를 나타내어  $ZrO_2$  첨가량이 많아질수록 AC 내전압이 상승하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

### 3.2.5. SEM 분석

$ZrO_2$  첨가에 따른 미세구조의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 1 wt%  $ZrO_2$ 와 2 wt%  $ZrO_2$ 가 첨가된 시편의 경우에는 약간 밝은 영역과 어두운 영역으로 구분되는 미세구조를 보이고 있다. 이와 같은 현상은 조성의 차이에 의한 구분으로 생각되나 EDAX의 한계(측정영역이 표면분석만이 아닌 내부까지 확대됨)로 인해 큰 차이를 볼 수 없었다. 표면의  $0.5\text{ }\mu\text{m} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$  크기의 큐빅 형태의 밝은 입자는 Ag-Pb 전극이 에칭에 의해 녹았다가 다시 결정을 형성하여 발생한 것으로 밝혀졌다. 3~5 wt%  $ZrO_2$ 가 첨가된 경우에는 매우 밝은 영역이 나타나는데 이것은 과잉  $ZrO_2$ 로 밝혀졌다. 따라서,  $ZrO_2$  3 wt% 이상이 첨가되는 경우에는 이러한 독립된  $ZrO_2$ 에 의한 또다른 영향이 나타날 것으로 생각되므로 3 wt% 미만으로 첨가되는 것이 바람직하다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 고주파 대용량 단위콘덴서의 제조공정에 있어서 공정변수를 달리함에 따른 영향을 조사하였고, 또한  $ZrO_2$  첨가에 의한 단위콘덴서의 전기적인 특성 등을 측정 분석하여 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

1. 테이프 캐스팅 성형용 슬러리 제조시 첨가된 바인더의 양이 37.5~45.0 wt% 범위에서는 바인더의 첨가량이 증가될수록 소결 후의 미세구조내 큰 기공들이 감소하였고, 바인더의 첨가량에 따른 유전특성 및 내전압특성에는 큰 차이가 없었다.

2. 테이프의 성형성은 바인더의 양이 40~42.5 wt% 첨가되었을 때 슬러리 점도는 4000~5000 cps가 되었으며 이때의 테이프의 성형상태가 가장 양호하였다. 또한 첨가된 바인더의 양이 적을수록 슬러리의 점도는 증가하였고 테이프의 두께도 증가되는 것으로 조사되었다.

3. 적층가압시는 가열온도를  $80^\circ\text{C}$ 로, 적층압력은  $200\text{ kg/cm}^2$ 로 하였을 때 최적의 적층상태가 되었다.

4.  $ZrO_2$  첨가에 따른 단위콘덴서의 특성측정 분석결과를 보면,  $ZrO_2$  첨가량 1~5 wt% 범위내에서는 첨가량을 달리함에 따른 유전율, 유전손실계수 및 주파수 특성변화가 거의 없었으며  $ZrO_2$ 를 3 wt% 정도로 첨가하였을 때  $CaZrO_3$ 의 형성과 입자크기의 감소로 인하여 내전압특성이 향상됨을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 통상산업부 에너지기술개발사업의 연구비를 지원받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

1. M. H. Han, Y. S. Ahn, H. S. Kim, J. S. Kim, S. O. Han, S. K. Kim and K. S. No, *et al.*, "Development and Application of RF High Ceramic Condenser (I)," MOTIE, KIER-943101, 1995.
2. K. Saitoh, "Organic Materials for Ceramic Molding Process(in Jpn.)," *Ceram.*, **18** [2] 93-102 (1983).
3. Y. Kankawa, "Organic Materials Used in New Ceramics Production(in Jpn.)," *Ceram.*, **29** [7] 585-89 (1994).
4. J. M. Herbert, "Ceramic Dielectrics and Capacitors," Goden and Breach Science Publishers, pp.119-120 pp.223 1985.
5. Y. S. Ahn and M. H. Han, "On the Tape Casting Process," *Bull. of the Kor. Ceram. Soc.*, **10** [2] 152-61 (1995).