

## 고유전율/저유전율 LTCC 동시소성 기판의 휨 현상

조현민<sup>ab,\*</sup> · 김형준<sup>b</sup> · 이충석<sup>c</sup> · 방규석<sup>a</sup> · 강남기<sup>a</sup>

<sup>a</sup>전자부품연구원 고주파재료연구센터

<sup>b</sup>서울대학교 재료공학부, <sup>c</sup>삼영전자공업(주)

## Warpage of Co-fired High K/Low K LTCC Substrate

Hyun Min Cho<sup>ab,\*</sup>, Hyeong Joon Kim<sup>b</sup>, Chung Seok Lee<sup>c</sup>,  
Kyu Seok Bang<sup>a</sup>, and Nam Kee Kang<sup>a</sup>

<sup>a</sup>High Frequency Materials Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Pyungtaek 451-865

<sup>b</sup>School of Materials Science & Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744

<sup>c</sup>Samyoung Electronics Co., Ltd., Sunnam 462-807

**초 록:** 본 연구에서는 고유전율(K100) 및 저유전율(K7.8) LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics) 그린 시트를 이중 LTCC 기판으로 동시 소성하는 경우, 고유전율 LTCC 내의 유리 분말 함유량에 따라 발생하는 수축 거동 변화가 이중 LTCC 기판의 휨 특성에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 유리 분말 함유량의 증가에 따른 고유전율 LTCC 그린시트의 수축률 및 유전 특성을 측정하였으며, 고유전율/저유전율 비대칭형 적층체의 소결 거동을 고온 현미경을 이용하여 실시간으로 측정하였다. 50% 유리가 첨가된 K100 조성의 경우 수축 개시 온도 및 수축 구간의 범위, 최종 수축률이 K7.8 조성과 유사하였으며, 동시 소성 시 가장 우수한 휨 특성을 나타내었다.

**Abstract:** In this paper, warpages of heterogeneous LTCC substrates comprised of high K/low K bilayered structure were investigated. The effect of glass content in high K LTCC layer on the warpage of substrate during co-firing process was examined. Shrinkage and dielectric properties of high K and low K green sheets were measured. In-situ camber observation by hot stage microscopy showed different camber development of heterogeneous LTCC substrates according to glass content in high K green sheet. High K green sheet containing 50% glass was matched to low K green sheet in the shrinkage. Therefore, LTCC substrate of Low K/High K+50%glass structure showed flat surface after sintering.

**Keywords:** LTCC, High K, Low K, Co-firing, Green sheet

### 1. 서 론

최근 들어 LTCC 기술은 이동통신의 발전과 이에 따른 단말기의 소형, 경량화 추세에 힘입어 전자부품을 집적, 모듈화하고 크기를 크게 감소시킬 수 있는 기술로서 다양한 제품들이 개발 및 양산되고 있다. 모듈용 기판으로는 유전율 10 이하의

저유전율 LTCC를 이용하여 기존의 에폭시 기판이나 알루미늄 기판을 대체하면서 수동소자를 일부 내장, 집적도를 높인 모듈 형태로 개발이 이루어졌다. 따라서 일부 수동소자들, 특히 높은 유전율 또는 많은 적층수를 필요로 하는 고용량의 캐패시터의 경우는 한정된 기판 두께에서 유전율 10 이하의 LTCC 만으로는 구현하기 어렵기 때문에 이를 해결

\*Corresponding author  
E-mail: chomin@keti.re.kr

하여 기판에 내장하는 방법이 요구되고 있다.

일반적인 방법으로 고유전율의 LTCC 분말을 페이스트로 제작한 뒤, 저유전율 그린시트 상에 프린팅하여 구현하는 방법이 많이 사용되고 있지만, 프린팅 두께에 제한이 있으며, 프린팅에 의한 두께 편차가 심해 캐패시터 용량 값의 안정성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 고유전율 LTCC 그린시트를 저유전율 LTCC 그린시트 내부에 적층하여 동시 소성하는 방법이 다양하게 연구되고 있다.

유전율이 서로 다른 LTCC 그린시트를 동시 소성하는 경우 화학 조성 차이로 인한 반응으로 원하지 않는 이차상이 생기거나 소성 거동의 차이로 인해 기판의 휨, 균열 발생 또는 기공 등이 발생할 가능성이 있다.<sup>1)</sup> 따라서 이러한 결함들을 최소화하기 위해서는 두 조성 간의 반응성 여부 확인 및 수축 온도, 수축률, 치밀화 속도, 열팽창률 등 LTCC 재료의 수축 및 열적 거동을 가능한 한 일치시켜야 한다고 알려져 있다. 특히, 모듈용 기판의 경우는 반도체 칩이나 기판 내장이 어려운 부품들을 표면 실장해야 하고 제작이 완료된 LTCC 모듈을 역시 다른 PCB 기판 위에 표면 실장해야 하므로 기판의 휨을 최소화하여야 한다. 이중 LTCC 동시 소성 중 기판의 휨 발생을 방지하기 위한 방법으로 고유전율 LTCC를 저유전율 LTCC 중간층에 적층하는 대칭형 구조(Fig. 1)가 가장 많이 연구되었다. 또한, 이 구조는 LTCC/페라이트 동시 소성에도 이용되고 있다. H. T. Kim et al.<sup>2)</sup>과 Mao Wang et al.<sup>3)</sup>의 경우는 LC 필터를 페라이트 인덕터 층과 유전체 캐패시터 층의 대칭형 구조로 동시 소성하여 구현하였으며, 전이층을 두어 소성 거동 차이로 인한 내부 응력 발생을 최소화 하였다. 하지만 대칭구조의 경우, 모듈 설계의 자유도

가 떨어지므로 부품 배치에 한계를 가지고 있는 단점이 있다.

본 연구에서는 서로 다른 유전율을 가지는 LTCC 적층체를 모듈용 기판으로 사용하기 위해 고유전율/저유전율 비대칭 구조에서의 동시소성시 휨 특성을 연구하고자 하였다. 특히, 전극과 기판과의 동시소성에서의 휨 분석<sup>4)</sup>에 자주 이용되고 있는 딜라토미터(Dilatometer) 및 고온 현미경을 이용, 고유전율 조성에 유리 분말을 첨가하면서 수축 거동의 변화를 분석하여 휨 특성에 어떤 영향을 미치는지 연구하였다.

## 2. 실험방법

저유전율/고유전율 LTCC 동시소성을 위한 저유전율 LTCC 조성은 유전율 7.8 인 DuPont 사의 9599 분말, 고유전율 조성은 유전율이 100 인 Ferro 사의 ULF101 분말을 이용하여 각각 그린시트를 제작하였다. 수축률의 변화에 따른 동시 소성 중의 휘어짐을 관찰하기 위해 저유전율 LTCC의 조성은 고정한 상태에서, 고유전율 조성에 유리 분말 (ASF-1592, Asahi Glass)를 부피비로 각각 30, 40, 50, 60, 70% 로 첨가하고 그린 시트를 제작하였다. 바인더로는 PVB, 가소제로는 DBP, 유기 용매로는 톨루엔/에탄올 조성을 이용, 3 개의 건조 구역을 가지는 테입 캐스터를 사용하여 그린시트를 제작하였으며, 두께는 50  $\mu\text{m}$  으로 고정하였다. 그린시트의 수축률은 각 그린시트를 12장씩 적층하고 라미네이션(Lamination) 후 20 mm  $\times$  20 mm 크기로 잘라 현미경으로 치수를 다시 측정된 뒤 소결로에서 최고 온도 850°C 로 약 20 분간 소성하고 다시 측정하여 계산하였다. 소성 과정에서의 수축 거동은 딜라토미터(DIL402C, Netzsch) 측정

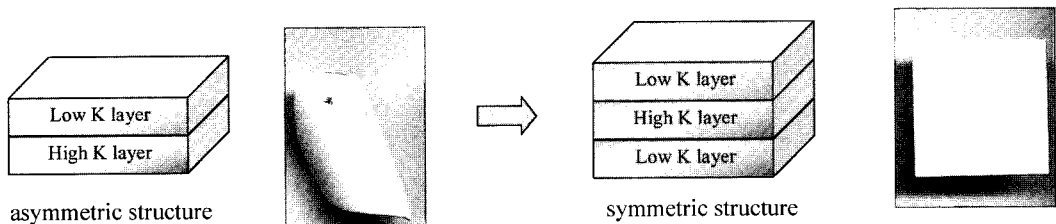


Fig. 1. Co-firing of heterogeneous LTCC green sheets with symmetric structure.

을 통해 관찰하였다. 또한, 유리 분말 첨가에 따른 고유전율 조성의 수축 거동의 변화가 저유전율/고유전율 이중 유전체 동시소성의 경우에 휨 특성과 어떤 관계가 있는 지 확인하기 위해 저유전율 및 고유전율 그린시트를 각각 6장씩 적층하고 한꺼번에 라미네이션하여 5 mm × 5 mm 의 크기로 잘라 고온 현미경(Misura 3, Expert System Solution)을 이용하여 소성의 진행과 함께 실시간으로 소성체의 휨 특성을 확인하였다. 또한, RF 임피던스 분석기(HP4291A, Agilent Technologies)를 이용하여 유리 분말의 첨가에 따른 고유전율 조성의 전기적 특성인 유전율 및 유전 손실을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 2 는 본 실험에서 사용된 유리분말이 첨가된 고유전율 LTCC 그린시트의 수축률을 종합하여 나타낸 것이다. 고유전율 그린시트의 경우 요구되는 소성온도가 950°C 이었으므로 유리 분말을 전혀 첨가하지 않았을 때는 거의 수축이 일어나지 않았지만 유리 분말 첨가량이 늘어나면서 점차 수축이 크게 일어났으며, 60% 이상에서는 오히려 수축률이 줄어들었는데, 이는 소결기구 중 유리의 재분배 시간이 짧아져 주소결단계인 고상입자의 재배열이 충분히 이루어지지 못하므로 치밀화가 감소되며 수축율과 소결밀도가 감소한 것으로 보인다. 또한, 본 연구에서 사용된 저유전율(K7.8) 그린시트의 경우, 선형 수축률은 15.5%, 두께 수축률은 28.7%, 부피수축률은 49.1% 로 50%

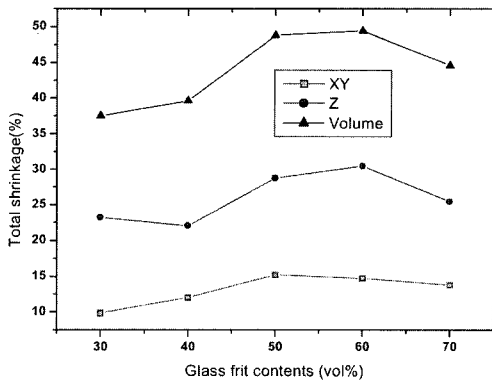
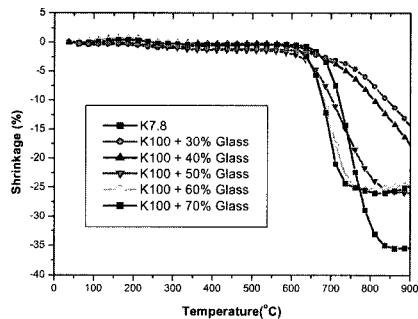


Fig. 2. Total shrinkages of K100 green sheets with different glass frit contents.

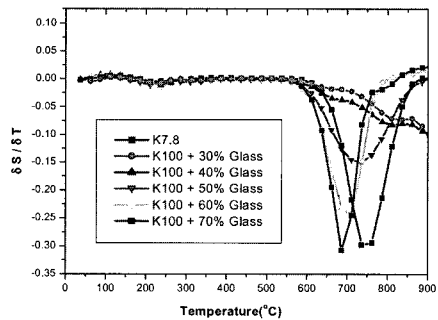
유리가 첨가된 K100 그린시트의 수축률과 가장 유사하였다.

Fig. 3 은 본 실험에서 사용된 각 그린시트를 적층한 뒤, dilatometer를 이용하여 900°C 까지 분당 5°C 로 승온 시키면서 소결체의 길이 변화를 측정 한 결과이다. 유리 분말의 함량이 증가하면서 서서히 수축 개시 온도가 낮아지며 수축 곡선의 기울기도 보다 급격해 지고 있어 수축이 일어나는 구간의 폭이 계속 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 3(b)는 Fig. 3(a) 의 수축률(S)을 온도(T)에 대하여 1차 미분한 것으로서, 치밀화가 가장 크게 일어나고 있는 온도 역시 점차 낮아지고 있음을 볼 수 있다. 특히, K7.8 과 비교할 때, 50%의 유리 분말이 첨가된 K100 의 경우 수축 곡선의 기울기 및 곡선의 모양은 틀리지만, 수축이 일어나는 온도 구간 및 치밀화가 급격하게 일어나는 온도가 유사한 특성을 보였다.

유리 분말 첨가에 따른 고유전율(K100) 조성의 1 MHz 에서의 유전 특성 측정 결과를 Fig. 4 에 나



(a) Shrinkage curves of LTCC green sheets during sintering process



(b) 1st derivative of shrinkage (S: shrinkage, T: temperature)

Fig. 3. Shrinkage behaviors of LTCC green sheets in this work.

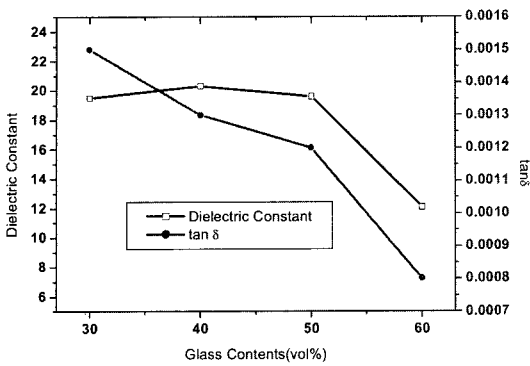


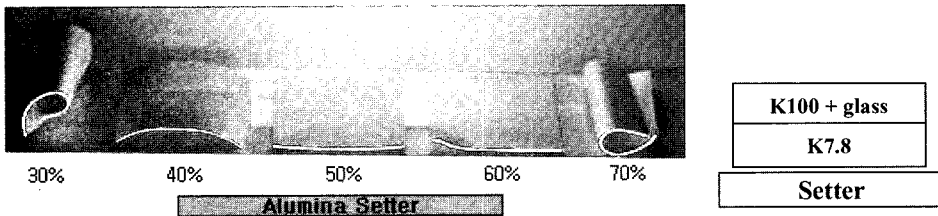
Fig. 4. Dielectric properties of K100 with different glass frit contents.

타내었으며, 소결 시 치밀화로 인한 내부 기공의 감소로 인해 50% 유리 분말을 첨가한 경우까지는 유전율이 크게 달라지지 않고 있으나, 60% 이상에서는 다량의 유리 분말로 인한 유전율 및 유전 손실의 감소가 나타나고 있다.

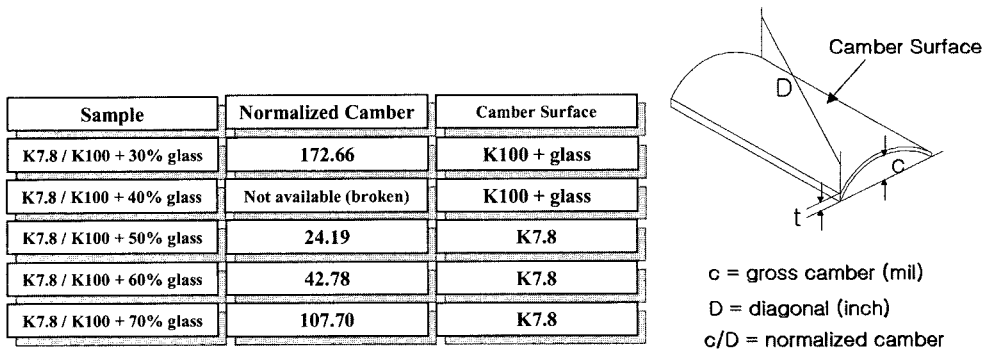
저유전율/고유전율 그린시트를 비대칭 구조로

적층한 뒤 소성한 결과는 Fig. 5와 같으며, 유리 분말의 함량에 따라 휘어짐의 척도인 표준 캠버 값이 바뀌고 있음을 알 수 있다. 하지만, 이러한 소성 후의 캠버 측정 결과로는 실제 소성 중의 휨 발생이 어떤 형태로 나타나고 있는 지 확인할 수 없으므로 고온 현미경을 이용하여 Fig. 6 과 같이 각 온도에서의 휨 특성을 확인할 수 있었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 낮은 유리 분말 함량에서는 K7.8 방향으로의 휘어짐이 주로 발생하며, K100 내의 유리 분말 함량이 증가할수록 반대방향으로의 휘어짐 현상이 커지고 있음을 알 수 있다. 60% 이상의 유리 분말이 첨가된 경우는 과량의 유리 첨가로 인해 기판이 소성이 진행되면서 아래 판에 붙어버리는 현상이 발생하여 더 이상의 캠버를 관찰할 수 없었다. 또한, 캠버의 방향은 온도가 상승함에 따라 수시로 바뀌고 있다. 이러한 캠버 방향의 변화와 수축 거동의 변화와의 관계는 Fig. 3의 결과로부터 밀접하게 연관되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 3의 수축 곡선에서 상온으로부터



(a) Images of sintered high K/low K LTCC samples



(b) Normalized camber of sintered high K/low K LTCC samples

Fig. 5. Sintered bi-layer LTCC samples with various glass contents in high K.

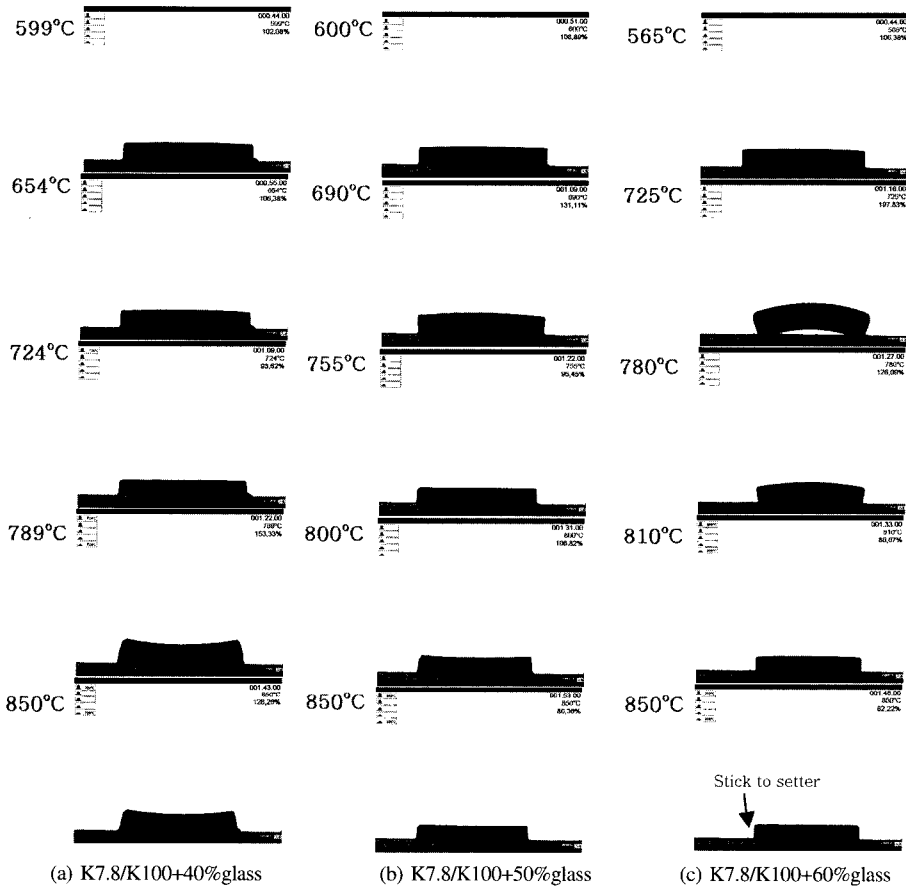


Fig. 6. Hot stage microscopy of high K/low K LTCC substrate (top: low K)

각 온도까지의 K7.8 조성의 수축률과 유리가 첨가된 K100 조성의 수축률의 차이를 표시한 것이다. Fig. 7의 결과로부터 수축률의 차이가 0일 때 휨 현상이 거의 없으며, K100에 40% 유리 분말이 첨가된 경우는 고온에서 고유전율 시트 방향으로의 캠버가 심하게 나타나고 60% 유리 분말이 첨가된 경우는 그 반대로 저온에서 저유전율 시트 방향으로의 캠버가 심하게 나타날 것을 예측할 수 있다. 이 결과는 Fig. 6의 고온 현미경 측정 결과와 상당히 유사함을 확인할 수 있다. 다만, 850°C에서 50% 유리 분말이 첨가된 K100과 K7.8의 동시소성의 경우, 고온 현미경 상으로는 거의 휨이 없이 평평한 형상을 보이고 있으나 딜라토미터에서의 수축 곡선 측정 결과에서는 두 그린시트의 수축률 차이가 심함을 볼 수 있다. 딜라토미터의 경우, 측정이 진행되면서 지지대를 통해 샘플에 약

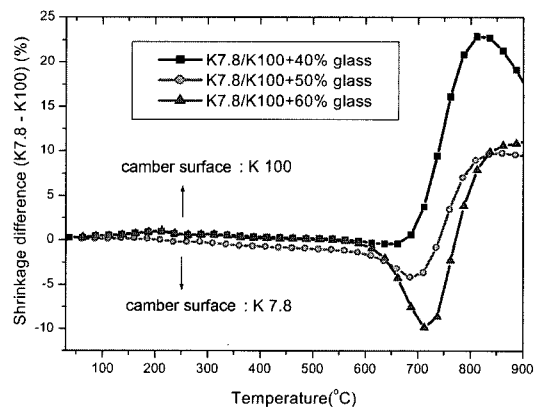


Fig. 7. Shrinkage mismatch of high K/low K LTCC substrates.

간의 압력이 가해지므로 이러한 측정 환경이 정확한 수축률 측정에 오차를 발생하였을 것으로 판단

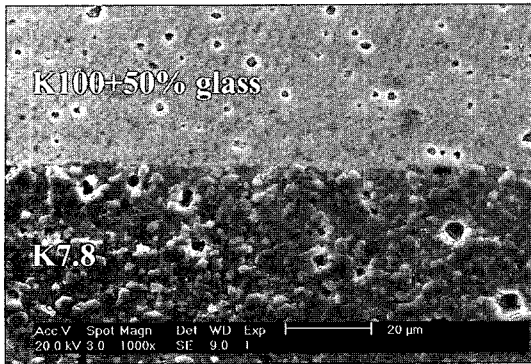


Fig. 8. Microstructure of the K100+50%glass/K7.8 LTCC substrate.

된다. 이는 Fig. 2의 최종 수축률 측정 결과에서 50% 유리 분말이 첨가된 K100과 K7.8 그린시트가 다른 조성에 비해 거의 유사한 수축률을 보이고 있음을 통해 알 수 있다. Fig. 8은 동시 소성 완료 후 두 조성의 접합면 미세구조로서 각 LTCC 조성의 확산 현상이나 미세한 균열이 없는 정확한 접합 계면을 형성하고 있다. 결론적으로, 서로 다른 유전율을 가지는 LTCC의 동시 소성의 경우, 각 온도에서의 수축률의 차이가 크면 클수록 그 온도에서 소성체의 휨 현상이 심하게 나타나지만 최종적인 수축률이 같은 경우, 최종적으로는 평평한 형상을 가지게 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 최종 수축률 측정 및 dilatometer, 고온 현미경을 통한 수축 거동 관찰을 통해 서로 다른 유전율을 가지는 LTCC의 동시 소성시 기판의 휨이 어떻게 발생하고 방지할 것인지에 대한 예측이 가능하리라 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 서로 다른 유전율을 가지는 LTCC 그린시트를 저유전율/고유전율의 비대칭 구조로 동시 소성하는 경우 고유전율 조성에 유리 분말을 첨가하면서 수축 거동 및 유전 특성의 변화를 분석하고, 저유전율 그린시트와의 동시 소성

에 있어서 고유전율 LTCC 그린시트의 수축 거동 변화가 소성 후 기판의 휨 현상에 미치는 영향을 분석하였다. 고유전율 조성에 첨가되는 유리 분말의 함량이 증가함에 따라 최종 수축률은 증가하다가 60% 이상에서는 오히려 감소하는 경향성을 보였다. dilatometer 측정 결과를 통해 유리 분말의 첨가는 수축 개시 온도를 낮추고 수축 구간의 폭을 좁게 하는 경향성을 보임을 알 수 있었으며, 유전율은 약 20 정도에서 어느 정도 유지되다가 60% 이상의 첨가량에서는 크게 감소하였다. 이중 LTCC 소성 기판의 휨 현상은 50% 유리 분말 첨가의 경우에 가장 감소하였으며, 이보다 적거나 많은 양이 첨가된 경우 Camber의 방향이 바뀌었다. 50% 유리가 첨가된 K100 조성의 경우 K7.8과 수축 곡선의 기울기 및 곡선의 모양이 다르지만 최종 수축률은 K7.8과 거의 유사하였으며, 두 유전체를 동시 소성하는 고온 현미경 결과에서도 거의 평평한 형상을 보였다. 따라서 이중 유전율의 LTCC 모듈용 기판을 제작하기 위해서는 두 가지 LTCC 그린시트의 수축률을 우선적으로 고려해야 할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. Peter Z. Cai, D. J. Green, G.L.Messing, "Constrained Densification of Alumina/Zirconia Hybrid Lamiates, I : Experimental Observation of Processing Defects", J. Am. Ceram. Soc., 80(8), pp. 1929 (1997).
2. H. T. Kim, S. K. Ko and Y. H. Kim, "Design and Electrical Properties of Multilayer Thick Film LC Filters for RF Circuits", Ceramic Transactions, 97, 241 (1999).
3. M. Wang, Z. Yue, J. Zhou, L. Li and Z. Gui, "Co-firing Behavior and Interfacial Structure of Dielectric/Ferrite Composites for Multi-Layer LC Filters", Key Eng. Mat., 224-226, 151 (2002).
4. J. Jean and C. Chang, "Effect of Densification Mismatch on Camber Development during Cofiring Nickel-Based Multilayer Ceramic Capacitors", J. Am. Ceram. Soc., 80(12), 3084 (1997).