

# MCM-C용 유전체 재료의 소성과 유전율에 따른 Buried 인덕터의 전기적 특성 변화

임우, 이우성, 조현민, 유찬세, 강남기, 박종철  
전자부품연구원 통신부품연구센터  
(E-mail : limw@nuri.keti.re.kr)

## Sintering Characteristics of Dielectric Material for MCM-C & Electrical Characteristics of Buried Inductor as a function of Dielectric constant

W. Lim, W. S. Lee, H. M. Cho, C. S. Yoo, N. K. Kang, J. C. Park  
Telecommunication Component Research Center,  
Korea Electronics Technology Institute(KETI)

### 1. 서론

은 전극과의 동시소성을 위해서 유전체 재료는 매우 낮은 소결온도가 요구되는데 이를 위하여 저유전율 세라믹스에 용점이 낮은 유리질 성분을 다량 첨가하여 낮은 소결온도를 갖게 된다. 따라서 유리질 성분의 함유가 많은 저온소성 재료의 경우 일반적인 경우와는 다른 소결 Profile을 고려해야 한다. 이에 따라 바인더 Burnout 조건, 유리질의 유동성에 따른 승온조건의 변수에 따른 소결체의 기공변화에 대하여 살펴보았다.

또한 본 연구에서는 위의 결과를 바탕으로 재료의 유전율 변화에 따른 Buried형 인덕터의 전기적 특성의 변화에 대하여 살펴보려고 3D 시뮬레이터인 HFSS를 사용하여 실측치와 유사한 전기적 특성을 갖도록 시뮬레이션 방법을 조절하여 재료의 유전율 변화에 따른 Buried형 인덕터의 전기적 특성의 변화에 대하여 살펴보고, 이에 대한 결과를 실제 샘플을 제작하여 전기적 특성의 변화를 확인하고자 하였다.

### 2. 실험 방법

본 실험에서는 저온소결(< 900℃)이 가능한 유전체 재료로서 Ferro사의 L1, NEG사의 MLS-40 분말을 사용하였다. 세라믹 Green Sheet 제조를 위하여 바인더 시스템과 은전극은 Ferro사의 B-73225, FX 33-254를 각각 사용하였고 분말, 바인더, ZrO<sub>2</sub> Media을 혼합, 48시간동안 볼밀하여 슬러리를 제조하였다. 이때 바인더양을 조절하기 위하여 50(분말, 무게비):50(바인더, 무게비), 55:45, 60:40, 그리고 65:35의 조건으로 조성비를 달리하여 슬러리를 제조하였다. 이후 Tape Caster(Yokoyama)로 슬러리를 이송하여 50μm의 두께를 갖는 세라믹 Green Sheet를 제조하였다<sup>[4]</sup>. 제조된 Green Sheet는 Lamination과 절단을 행한후 Box Furnace(Fisher Scientific)에서 소결하였다. 바인더 Burnout을 위하여 450℃까지 0.1, 1℃/min의 승온속도로 탈지하였으며, 유리질의 유동특성을 감안하여 650~800℃까지 0.1, 0.5, 1℃/min로 각각 승온하였다. 각각의 소성과정을 통해 얻어진 샘플에 대하여 주사전자현미경(SEM)을 이용 500배율 촬영을 하였으며, 아르키메데스 방법을 이용하여 소성밀도를 측정하였다. 재료의 물성측정은 Impedance/Gain-Phase Analyzer(HP4194A), Impedance/Material

Analyzer(HP4291A), Network Analyzer(HP8753D)를 사용하여 Dielectric Constant 등의 특성을 측정하였다. 유전율의 변화에 따른 인덕터의 전기적 특성을 확인하기 위하여 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 Simulation을 행하였으며 동일한 조건으로 칩 형태의 인덕터를 제작하여 두 결과를 비교하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### a. 저온소성재료의 소결

Green sheet(Powder50[w/o]:Binder system50[w/o])에 대한 TMA 분석을 통하여 유리질 성분의 거동을 확인하여 보았다.

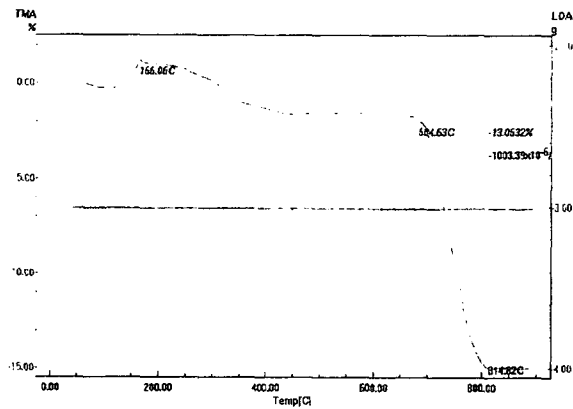


Fig. 1. TMA analysis of Ferro 50:50 L1 green sheets.

이에 대한 결과를 Fig. 1에 나타내었는데 분석을 통하여 유리질 성분의 Tg점은 약 450°C 내외인 것을 알 수 있고, 650°C 부근에서 연화점이 형성된 것으로 확인되었다. 따라서 바인더 Burnout조건과 연화점에서부터의 소결 Profile을 바꾸어 유리질 성분이 소결과정에서 시편에 어떠한 영향을 주는지 관찰하여 보았다.

바인더 탈지 조건을 0.1-1.0 °C/min로 승온하여 소성한 경우는 조건의 변화에 대하여 별다른 변화를 찾아볼 수 없으며 혼합비에 따른 변화도 찾아볼 수 없었다. 0.1 °C/min에 따른 샘플의 주사전자현미경 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 따라서 승온속도를 변화시킨 탈지 조건의 경우 샘플의 소성에 별다른 영향을 끼치지 못하는 것으로 판단된다.

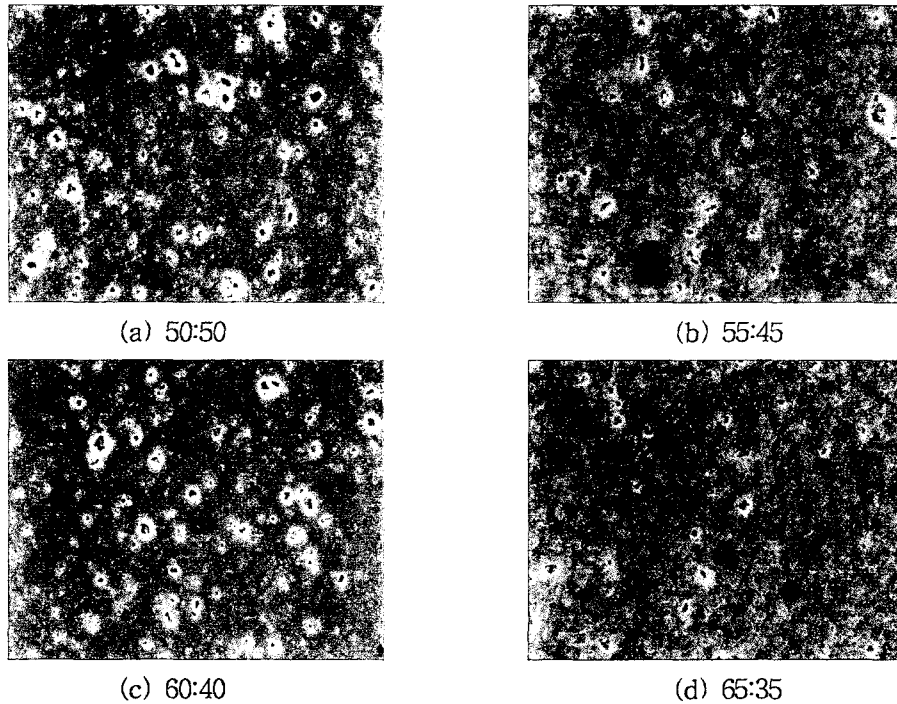


Fig. 2. SEM photography of 0.1°C/min burnout condition.

1.0 °C/min의 바인더 탈지조건으로 유리질의 연화점에서부터 승온속도를 0.1, 0.5, 1.0°C/min의 조건으로 달리한 경우 주사전자현미경 사진을 통해서 기공의 수가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며 혼합비 변화에 따른 조건에도 50:50의 경우와 65:35의 경우를 비교할 때 기공수의 변화가 나타난 것을 알 수 있다.

승온속도 0.1°C/min에 관한 주사전자현미경 사진을 Fig. 3에 나타내었는데 승온속도가 낮을수록 기공의 수가 감소하는 것을 확인할 수 있으며 시편표면의 상태도 양호한 형태를 갖는 것을 알 수 있다. 배합비 변화에 대해서도 경향성을 나타내는데 바인더의 양이 적을수록 기공의 수가 적은 것을 확인할 수 있다. 이것은 소성초기 탈지후 바인더가 위치하였던 곳은 모두 기공이 되므로, 출발조성에서 바인더의 양이 적은 경우는 원천적으로 적은 기공을 가지고 출발하기 때문이다. Fig. 3을 통해서 기공수뿐만 아니라 기공의 크기가 작아진 것도 확인할 수 있는데 이것은 소결시 기공과 기공이 연결되었다가 합체되는 현상이 많이 줄어들었기 때문으로 판단된다.

연화점에서부터의 승온속도를 변화시킨 경우에는 전반적으로 기공의 수와 크기가 줄어든 것을 확인할 수 있었는데 이것은 샘플내에 존재하고 있던 유리질 성분이 연화점에서부터 유동성을 갖게 되어 기공을 메워 기공을 제거하고, 기공과 기공간의 통로를 차단하여 기공의 합체를 방지하는 역할을 하였기 때문인 것으로 판단된다. 승온속도가 높으며 소성특성이 좋지 않았던 경우는 연화점에서부터의 승온속도가 너무 높아 유리질 성분이 기공을 메우기 전에 소결온도까지 도달하였고, 세라믹 입자의 Bonding이 일어나는 높은 온도이므로 샘플의 외부영역이 차단되어 기공이 외부로 유출될 수 있는 통로가 차단되었기 때문인 것으로 판단된다.

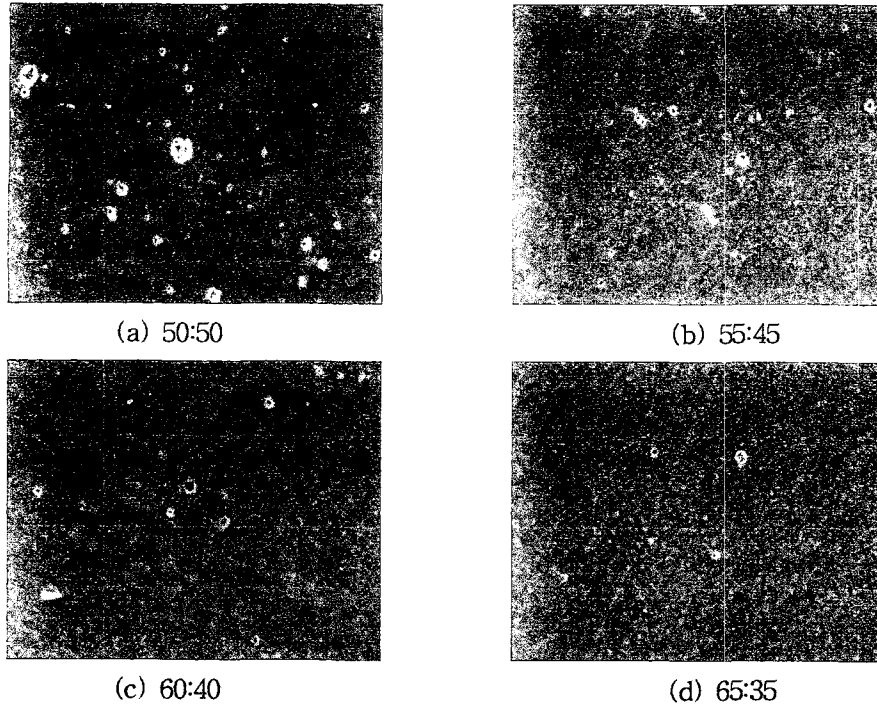


Fig. 3. SEM photography of 0.1°C/min softening zone heating rate condition.

#### b. 유전율

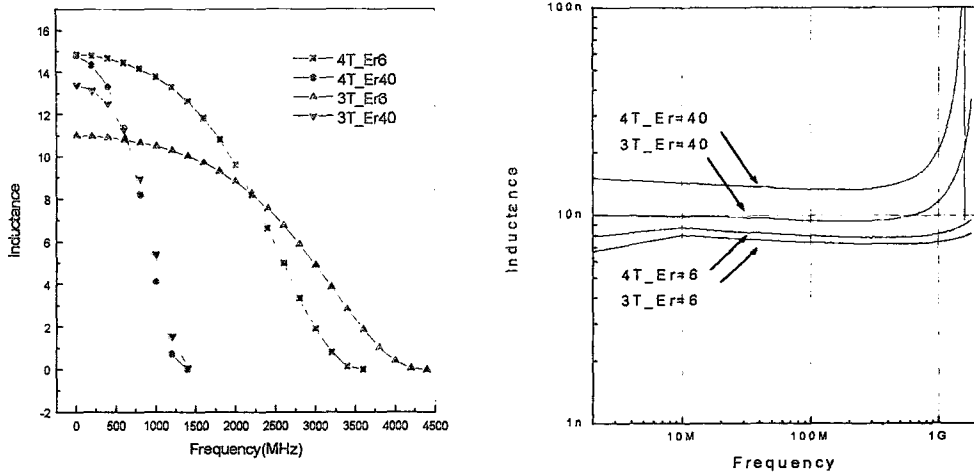
인덕터 재료에 있어 재료의 유전율에 관한 연구는 거의 이루어져 있지 않은데, 이 것은 고주파용 인덕터의 경우 인덕턴스를 나타내는 식에 유전율에 관한 성분이 없으며 실제 측정 한 결과로도 그 차이가 크지 않기 때문이다. 이상적인 경우 재료의 유전율은 인덕턴스에 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다. 또한 Ferrite 인덕터의 경우 재료의 유전율보다는 Permeability에 크게 영향을 받기 때문에 유전율에 관한 변화를 거의 고려하고 있지 않다. 그러나 높은 주파수와 저용량이 요구되는 고주파용 인덕터의 경우 유전율의 변화에 대하여 인덕턴스의 변화가 발견된다. 이에 대한 결과를 확인하기 위하여 HFSS를 이용하여 전극의 회전수를 3, 4Turn으로 고정하고 유전율이 6과 40인 경우에 대하여 Simulation을 행하였다. 이에 대한 결과를 Fig. 4(a)에 나타내었다. 그림을 통해서 알 수 있는 바와 같이 유전율의 변화에 대하여 인덕턴스도 변화하고 있는데, 유전율이 증가하면 인덕턴스도 증가하는 경향을 나타내고 있다.

이와 같은 Simulation 결과를 확인하기 위하여 실제 동일한 인덕터를 제작하여 전기적인 특성을 확인하여 보았다. 이에 대한 결과를 Fig. 4(b)에 나타내었는데 Simulation 결과와 동일하게 유전율이 증가함에 따라 인덕턴스도 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 이에 대한 관계식을 식 (1)에 나타내었다.

$$\text{Stripline에서 선로의 전기적 길이} = C / (\text{Er}^{1/2} \cdot f) \quad (1)$$

여기서 식 (1)이 나타내는 것은 동일한 인덕턴스 값에 대하여 유전율이 증가하면 선로의 길이가 감소하는 것을 의미한다. 따라서 동일한 길이에 대하여 유전율이 증가하면 인덕턴스가

증가하는 것을 예측할 수 있다.



[a]measured,

[b]simulated

Fig. 4. Inductance variation as a function of Dielectric constant.

### 참고 문헌

- [1] T. Nomura and A. Nakano, Proceedings of the 6th ICF, pp. 1198 - 1201, 1992.
- [2] A. Nakano, et. al., Proceedings of the 6th ICF, pp. 1225 - 1228, 1992.
- [3] R. E. Mistler, D. J. Shanefield and R. B. Runk, "Tape Casting of Ceramics", pp. 411-88 in Ceramic Processing Before Firing, edited by G. Y. Onoda and L. L. Hench, Wiley, Newyork (1978).
- [4] J. Y. Hsu, et. al., IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 33, No. 5, september 1997.
- [5] Richard A. Ladew, "Integrating Passive Components", Proceedings of the International Symposium on Microelectronics (ISHM), Los Angeles, California, October 24-26, pp. 59-65, 1995
- [6] Raymond L Brown, Andrew A Shapiro, Paul W. Polinski, "The Integration of Passive Components into MCMs Using Advanced Low-Temperature Cofired Ceramics", The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging, Vol. 16, No. 4, pp. 328-338, Forth Quarter, 1993.