

LTCC LC Filter의 Microwave 소결 (Microwave Sintering of LTCC LC Filter)

P2

안주환, 선용빈, 김석범
경기대학교 재료공학과

Abstract

이동통신기기 등의 고주파용 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) LC filter의 소결에 있어 기존의 소결공정인 전기로 소결공정과 microwave를 이용한 소결공정을 이용하여 소결하였을 때 LC filter의 수축율과 무게감소, 그에 따른 밀도의 변화, SEM을 이용한 표면형상 분석을 통해 급속가열을 통한 공정시간의 단축, 낮은 에너지 소비로 인한 제조단가의 절감, 균일한 가열로 인한 소결온도의 저하 등의 장점을 갖는 microwave sintering을 적용할 수 있는 가능성을 제시하였다.

1. Introduction

난소결성인 세라믹스를 소결 하는 방법으로 에너지 절약 차원뿐만 아니라 물성의 증진을 도모하기 위해 plasma 소결법, 발열반응의 반응열을 이용하는 자기 연소법(SHS), 및 microwave 소결법과 같은 새로운 기술들이 사용되고 있다.

이 중에서 microwave는 원래 통신분야에서 사용되었으나 microwave에 의해 물질이 가열될수 있다는 사실이 알려진 세계 제2차 대전 이후로 건조, 식품의 조리, 화학반응, 의료 등 여러 분야에서 microwave를 응용하려는 연구가 지속적으로 진행되어왔으며, 미국에서는 냉동육의 해동과 조리, 고무의 경화처리 등에 90%이상이 microwave heating을 사용하고 있다.¹⁾

Microwave 가열법은 재료 자체가 microwave를 흡수하여 가열이 이루어지므로 에너지 효율이 높고 균일한 가열을 할수 있으며, 공정시간이 적게 소요되어 저전력에 따른 에너지의 효율을 증대할수 있어 공정원가를 획기적으로 절감시킬수 있을 뿐만 아니라,^{2,3)} 형상이 복잡한 대형 제품도 용이하게 대량생산할 수 있다는 장점을 가지고 있어⁴⁾, 1980년대 중반 이후부터 세라믹스의 소결에 이용하려는 연구가 활발히 수행되어 왔다. 지금까지 구조 세라믹스(Al_2O_3 , ZrO_2 , ZTA, Al_2O_3 -TiC, Si_3N_4 , B_4C , TiB_2), 전자 세라믹스($BaTiO_3$, PZT, PLZT, superconductor), 생체 세라믹스(hydroxyapatite) 등의 다양한 세라믹 재료에 microwave를 이용한 소결이 사용되었는데 여러 연구자들에 의해 위의 장점 이외에도 소결온도가 감소하고, 기계적, 전기적, 자기적 물성이 향상되는 등의 “마이크로웨이브 효과”가 보고되었다.^{5) 9)} 이러한 연구의 대부분이 2.45Ghz대에서 실시되었는데 이는 값싼 가정용 microwave 오븐이 쉽게 고온용 가열로로 개조가 가능하다는 장점 때문이었다. 그러나 아직까지 microwave와 세라믹 재료의 상호반응 및 가열특성에 대한 이론은 정립되지 않아서 microwave field에서의 소결기구가 명확하게 밝혀지지 않고 있으며, 연구자의 실험조건(주파수, 출력, insulation box 구성방식, microwave field의 균일도 등)에 따라 다른 결과를 보이고 있다.

2. Experimental Procedure

2.1 LTCC LC Filter의 소결

본 실험에서는 상용되고 있는 Ba-Ti계 산화물의 조성을 가진 LTCC LC filter를 사용하였다. 전기로(Tube)에서 소결시 $2^{\circ}C/min$ 의 승온속도를 가졌고 $330^{\circ}C$ 에서 burn out을 2시간 동안 하였고, $880^{\circ}C$ 에서 30분간 소결 하였다.

Microwave소결시, 먼저 전기로에서 burn out 공정을 거친 후에, 전기로와 마찬가지로 880℃ 소결온도에서는 30분간 유지하였다.

본 연구에서 사용한 microwave 장치는 일반 가정용 전자오븐(LG전자, MR-M274)으로써 흔히 'untuned multimode cavity'라고 불리는 것이다. microwave 발생장치는 주파수가 2.45GHz, 최대출력이 700W였으며 cavity내에 고온 내화벽돌(high temperature insulation brick)을 놓고 isolate brick으로 단열된 mold를 만들었다. susceptor는 Al₂O₃ Cement 70wt%: SiC(1500 μ m) 30wt%의 조성을 사용하여 제작하였다.(Fig. 1)

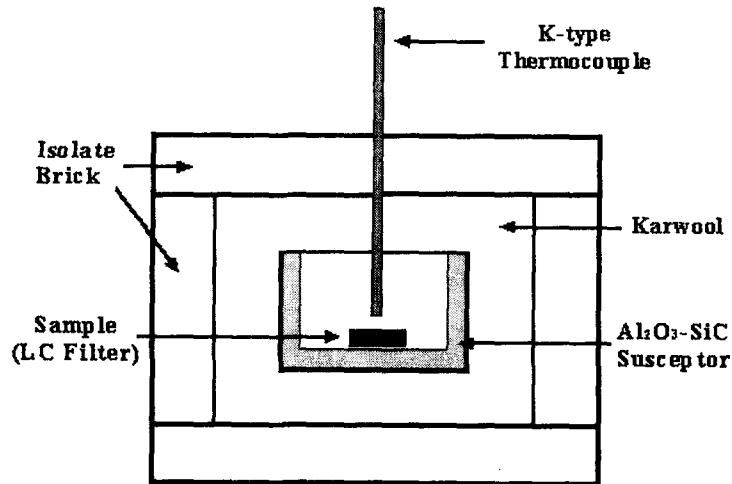


Fig. 1. Schematic of Microwave Oven.

Microwave의 소결온도 graph는 Fig. 2와 같다.

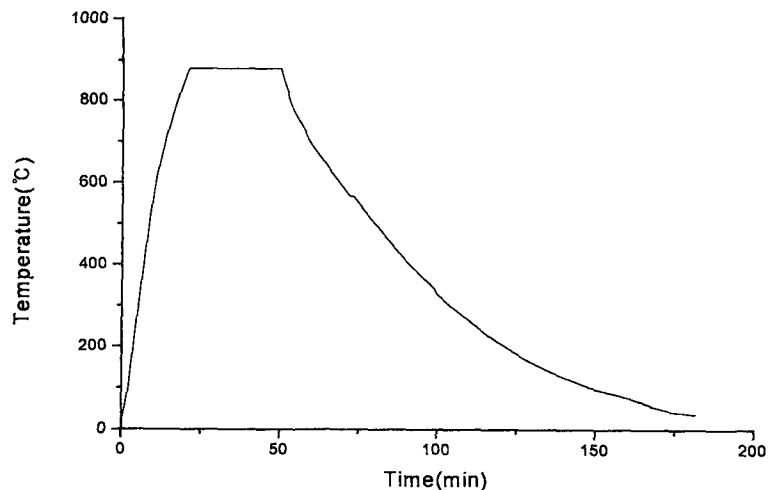


Fig. 2. Temperature profile of Microwave Sintering.

2.2 측정 및 분석

소결된 LC filter의 각 소결 공정별로 소결전·후의 LC filter의 치수는 micrometer를 이용하여 측정하였고, 전자저울을 이용하여 무게를 측정하여 소결 전후의 밀도를 계산하였다.

표면형상 분석을 위해 SEM을 이용하여 LC filter의 Ag paste 표면과 ceramic 표면을 관찰하였다.

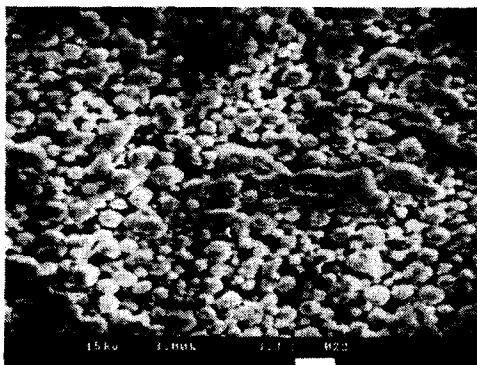
3. Results and Discussion

Table.1.은 소결전후의 LC filter의 평균수축율과 무게감소율, 그에 따른 소결후 평균밀도에 대하여 나타낸 것으로 전기Tube로의 경우와 비교하여 microwave sintering의 경우에 보다 더 큰 수축율을 보이고 있는 반면 무게 감소율은 별반 차이를 보이지 않는다. 그에 따른 소결후 평균밀도는 microwave sintering의 경우에서 보다 크게 나타난다. 이는 전기로에서의 간접가열에 의한 소결 방식보다 microwave의 특징인 자체발열을 통한 가열과 LC filter의 균일한 가열로 인한 결과로 보여진다.

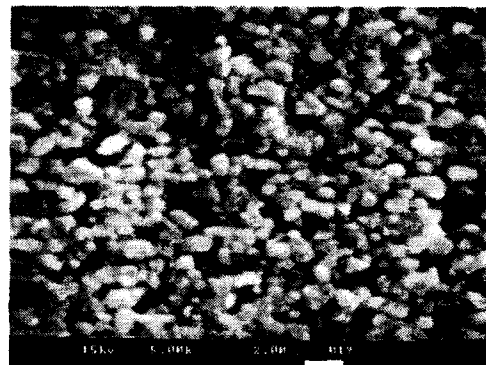
Table 1. 소결 전후의 수축율 및 평균밀도

소결공정		Tube Furnace Sintering	Microwave Sintering
평균수축율 (%)	두께	8.29	12.24
	폭	7.10	10.16
	길이	7.38	11.79
무게감소율(%)		13.82	13.75
소결후 평균밀도		3.22	3.64

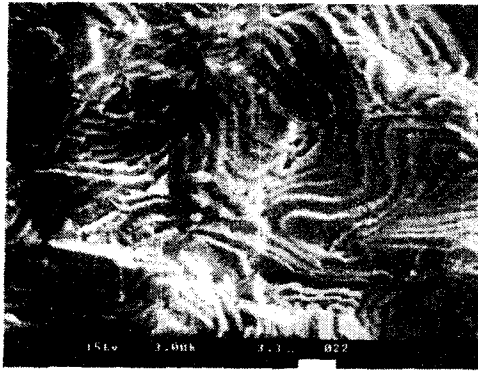
Fig .3 은 소결 전후의 SEM 사진들이다. Ag paste의 표면사진을 보면 소결방법에 따라 형상이 다르게 나타난다. 전기로에서 소결한 경우(c)에는 Ag의 표면이 층상표면을 보이는 반면 microwave 소결의 경우(e)에는 planar 표면을 보이고 있어 균일하게 성장하였음을 볼 수 있었다. ceramic의 표면은 전기로 소결(d) 보다 microwave 소결(f)시 적은 기공율을 가짐을 볼수 있었다. 이러한 치수와 물성의 변화는 LC filter의 전기적 특성에 영향을 미칠 것으로 판단되어지며 이에 대한 연구가 진행될 것이다. 이상의 결과에서 일반 전기Tube로보다 소결시간 단축에 따른 낮은 에너지 소비, 그에 따른 제조원가 절감 등의 장점을 가진 microwave 소결을 LTCC LC filter의 소결에 적용시킬 수 있다. 그러나 정밀한 온도제어를 위한 susceptor의 제작, 소결온도인 880℃까지 30분 내외로 승온시키는 급속가열로 인해 낮은 온도(burn out 온도인 330℃)에서의 온도제어가 어려워 전기로에서 burn out 공정을 해야하므로 microwave 소결과정에서 burn out 공정을 제어할 수 있는 연구가 진행되어야 하겠다. 또한 microwave의 경우에는 소결과정에서 전기Tube로 보다 급속 냉각에 따른 두 물질(Ag-Ceramic)의 수축율 차이로 인해 Ag paste가 떨어져 나가는 현상을 발견할 수 있다.



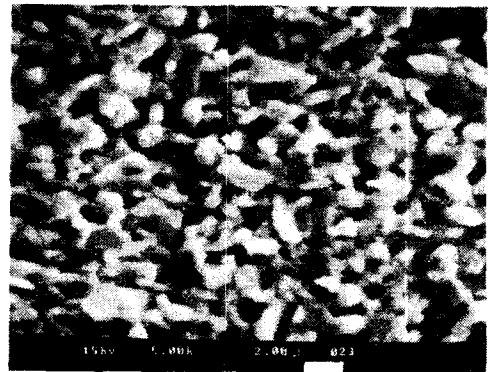
(a)



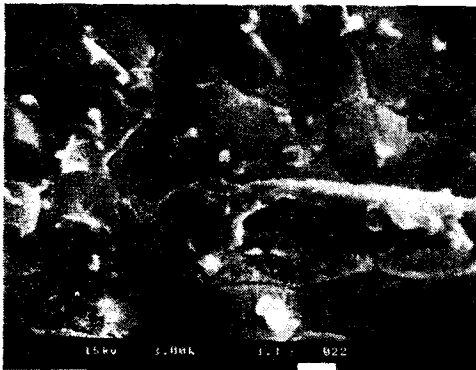
(b)



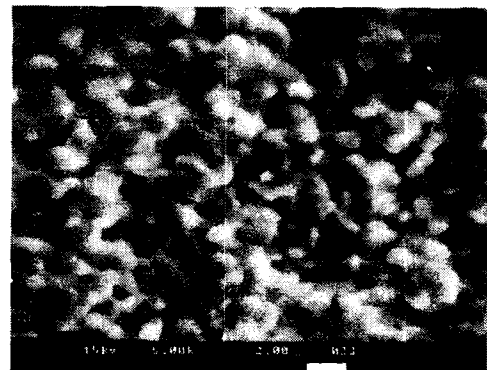
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig 3. LC Filter SEM 사진.

- (a) 소결전 Ag paste , (b) 소결전 LTCC
 (c) 전기로 소결 후 Ag paste , (d) 전기로 소결후 LTCC
 (e) Microwave 소결후 Ag paste , (f) Microwave 소결후 LTCC

4. Conclusion

microwave 소결이 전기Tube로 보다 큰 수축율과 그에 따른 큰 밀도를 가지고 있다. 또한, Ag paste의 표면이 planar한 균일한 표면을 보이고, ceramic의 표면에는 적은 기공율을 보이고 있다. 이는 microwave 소결의 경우에서 균일한 가열이 이루어졌고, 실제 소결온도가 더 높음을 알 수 있었다.

Reference

- [1]. W. H. Sutton. "Microwave Processing of Ceramic Materials" Am, Ceram, Soc, Bull. 68(2), 376-386 (1989)
 [2]. David E. Clark. "Microwave Processing of Materials" Annu. Rev. Mater. Sci. 26.299-331 (1996)
 [3]. R.D. Blake and T.T. Meek "microwave Processed Composite Materials" J. Mater. Sci. Lett. 5. 1097-98 (1986)

- [4]. W.R. Tinga and S.O. Nelson. "Dielectric Properties of Materials for Microwave Processing-Tabulated." J. Microwave Power. 8(1). 23-65 (1973)
- [5]. J.Batt, J.C.P.Binner, T.E.Gross, N.R.Greenacre, M.G.Hamlyn .M.Hutcheon. W.H.Sutton. C.M.Weil. "A Parallel Measurement Programme in High Temperature Dielectric Property Measurement : An Update" Ceramic Trans. 59. 243-250
- [6]. L.M Sheppard, "Manufacturing Ceramics with Microwave: The Potrntial for Economical Production" Am. Ceram. SOC. Bull. 67[10]1656-1661
- [7]. R.L. Beatty, W.H. Sutton, M.F. Iskander, Mat. Soc. Symp. Proc.Vol.269.Microwave Processing of Materials III.Pittsburgh, PA, 1992.
- [8]. D.E. Clark, F.D. Gac, and W.H. Sutton, Microwave: Theory and Application in Materials Processing, Ceramic Transactions, Vol.21,Am. Ceram. Soc, westerville, OH, 1991
- [9]. M.F. Iskander, R.J. Lauf, and W.H. Sutton, Mat. Res. Soc. Symp. Proc.Vol.347, Microwave Processing of Materials IV.Pittsburgh, PA, 1994.