

전파흡수체용 $[\text{Ni}_x\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{(1-x-0.1)} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4]\text{-Rubber}$ Composite에 관한 연구

박 연 준* · 김 동 일**

A Study on $[\text{Ni}_x\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{(1-x-0.1)} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4]\text{-Rubber}$ Composite for Electromagnetic Wave Absorber

Youn Joon Park · Dong Il Kim***

Abstract	III. 특성분석
I. 서론	IV. 결론
II. Ferrite의 합성과 Composite의 제작	참고문헌

Abstract

The super wideband electromagnetic wave absorber in RF-A-PF type has been proposed, which can be used for an anechoic chamber, wall material to prevent TV ghost, etc. In this paper, $\text{Ni}_x\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{(1-x-0.1)} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ Ferrite Powder has been fabricated. Using this, then, $[\text{Ni}_x\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{(1-x-0.1)} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4]\text{-Rubber}$ composite for RF-layer in the RF-A-PF type absorber has been fabricated and its characteristics has been analyzed.

As a result, it has been shown that the $[\text{Ni}_x\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{(1-x-0.1)} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4]\text{-Rubber}$ composit with the quantity x of Ni_x between 0.5 and 0.6 is suitable for the RF-layer in the case of which the grain size is sub-micrometer order.

I. 서론

전자통신기술의 발달과 전자기기의 다양화로 전자파환경이 날로 악화되고 있다. 건물벽면의 반사 전파에 의한 TV Ghost장해, 교량 및 철교등에 의한 선박용 레이더의 허상, 각종 전자기기등에서 발생

하는 유해한 전자파가 기기상호간의 동작을 방해하거나 인체에 해를 미치는 등²⁾, 여러 가지 전자파장해(EMI)현상을 일으키고 있다. 이에 대한 문제의 심각성을 고려하여 기술선진국에서는 각종 법규로 EMI/EMC에 대한 규제를 강화하고 있는 실정이다.

* 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과

** 한국해양대학교 전파공학과 교수

※ 본 연구는 1997년도 한국과학재단의 특정기초과제(과제번호 : 97-01-01-04-01-2)의 연구지원에 의하여 이루어졌음.

이러한 EMI/EMC대책과 관련된 EMI측정용 전파무향실의 경우 기존의 주파수대역이 30[MHz]~1[GHz]이었으나, 향후 30[MHz]~40[GHz]영역까지 확장될 것으로 전망되고 있으며, ANSI 및 FCC등의 규격에서 요구하는 30[MHz]~1[GHz]를 흡수하기 위해서 현재 카본스티롤등의 피라밋형 유전체 전파흡수체로 적합한 것을 사용하고 있는 실정으로서, 이는 내부유효공간의 확보가 충분치 못하여 더욱 새로운 전파흡수체의 개발이 요구되고 있다. 이에 대응하여 현재 국내외적으로 RF-A-F 및 RF-A-PF형 전파흡수체등의 연구가 진행되고 있다¹⁾³⁾⁴⁾. 이와같은 광대역화를 요구하는 전파흡수체의 기본 소재로는 자성재료, 유전재료 및 도전재료 등이 있으며, 이들 재료중에서도 자성재료인 Ferrite가 주로 사용되고 있다. 이 중에서 소결형 Ferrite 전파흡수체는 MHz주파수대역에서 사용되고 있으며, Carbon 및 Rubber와 혼합한 Composite형 Ferrite 전파흡수체는 GHz주파수대역에서 사용되고 있다⁵⁾⁷⁾. 이러한 Ferrite 전파흡수체의 전파흡수특성은 반사감쇠량, 정합주파수, 정합두께 및 비대역폭등으로 평가되며, 이러한 특성은 페라이트의 전자기적 특성(복소유전율, 복소투자율, 자화, 보자력 등)과 밀접한 관련이 있다.

페라이트는 32개의 산소이온과 24개의 2가 전이 원소가 Spinel구조라는 결정형태를 이루고 있으며, 산소를 매개로한 2가 전이원소들의 초교환상호작용에 의하여 자성을 가지게 된다. 이와같은 Ferrite는 2가 전이원소를 어떤 종류를 사용하느냐에 따라서 전자기적 특성이 달라지며, 또한 2가 전이원소를 몇가지의 복합형으로 사용할 경우, 조성에 따라서 전자기적 특성이 변하게 된다. 또한 Ferrite는 Grain Size, Grain Wall Size, Domain Size, Domain Wall Size 및 Grain의 상태가 전자기적 특성에 영향을 미치므로, 제조조건(소결온도, 소결시간, 소결분위기 등)에 따라서 전자기적 특성이 변하게 된다.

따라서 본 연구에서는 전자기기로부터 방사되는 전자파를 측정하기 위한 전파무향실이나, 건물벽면에서 반사되는 TV전자파를 막기 위한 벽재로서 활용이 가능한 RF-A-PF형 초광대역 전파흡수체

의 RF층용 최적 Composite를 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 $Ni_x-Mg_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ Ferrite Powder를 제조하고, 이로부터 $[Ni_x-Mg_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4]$ -Rubber Composite를 제작한 후 이의 전파흡수특성에 관하여 연구하였다.

II. Ferrite의 합성과 Composite의 제작

본 연구에서는 복합형 등방성 Ferrite의 가장 보편적인 제조 방법인 전식법을 채택하였으며, 출발 원료로는 시약급 Fe_2O_3 , NiO, ZnO 및 MgO 분말상을 사용하였다.

각 시료의 조성비는 <표 1>과 같으며, 페라이트 분말의 합성과정은 그림 1과 같다. 즉, 조성에 따라 시료를 전자저울에서 칭량·혼합한 후 10시간 동안 Ball Mill하고, 진공오븐에서 24[hr]동안 충분히 건조하였다. 건조된 혼합상 Powder를 알루미늄질 크루시블에 담아 그림 2와 같은 온도조건으로 Calcination하였다. Calcination 후 약간의 응집된 덩어리는 유발에서 약하게 분쇄한 후 분석용 Ferrite Powder로 사용하였다. 또한 제조된 Ferrite Powder로부터 Composite를 제작하기 위하여 Silicon Rubber를 사용하였으며, Rubber : Ferrite = 1 : 4의 중량비로 칭량하여 혼합한 후, 200 [Kg/cm²]의 압력을 가하여 내경 3.05[mm], 외경 6.95[mm], 두께 4[mm] 및 내경 3.05[mm], 외경 6.95[mm], 두께 8[mm]의 원통형 Composite시편을 제작하였다.

<표 1> 복합형 등방성 Ferrite의 조성비

시편명	x	1-x-0.1
Mg36	0.3	0.6
Mg45	0.4	0.5
Mg54	0.5	0.4
Mg63	0.6	0.3

III. 특성분석

제조된 Ferrite Powder 및 Composite의 특성측

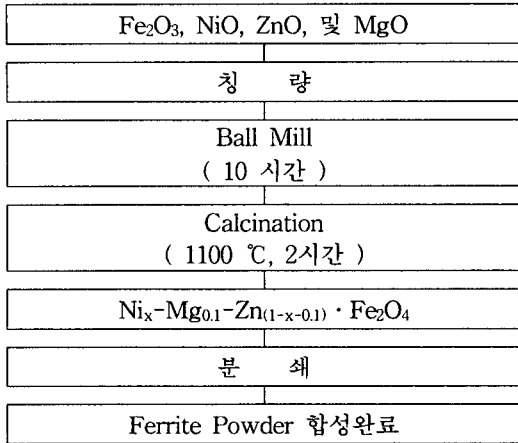


그림 1. 페라이트 분말 합성

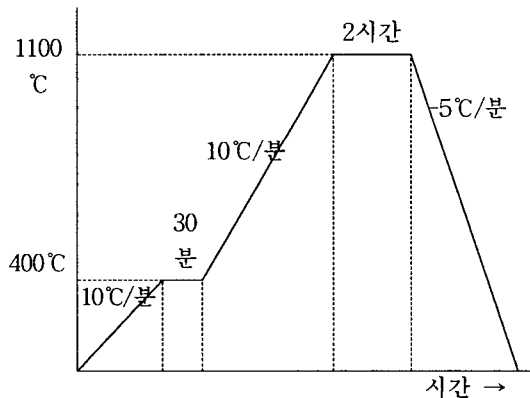


그림 2. Calcination 온도조건

정은 X.R.D.를 통하여 Calcination된 Ferrite Powder의 결정구조상태를 분석하고, S.E.M.을 통하여 Grain 형상 및 Grain Size를 분석하였으며, V.S.M.을 통하여 합성된 Ferrite Powder의 M-H 특성을 분석하고, Network Analyzer를 통하여 ϵ_r' , ϵ_r'' , μ_r' , μ_r'' 및 Reflection Loss를 측정하였다.

(1) X.R.D. 분석

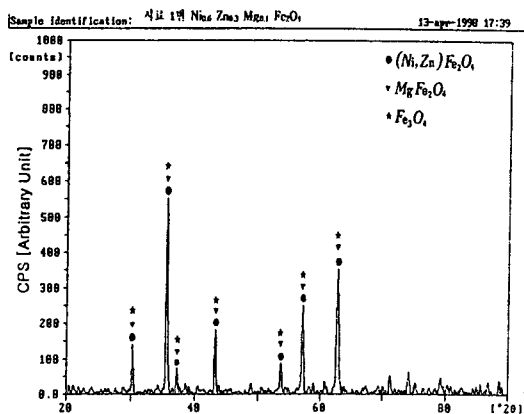
제조된 Ferrite Powder의 결정구조를 파악하기 위하여 X.R.D.분석을 하였다.

그림 3에 나타난 입사각 θ 에 대한 X선 회절패턴의 피크치에서 알 수 있는 바와 같이, 제조된 Ferrite Powder는 목표로 하는 복합형 Ni-Mg -Zn Ferrite의 Spinel 결정구조를 가짐을 알 수 있다.

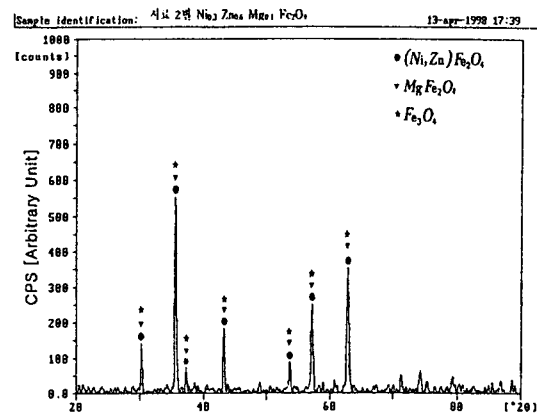
(2) S.E.M. 분석

제조된 Ferrite Powder의 Grain 형상 및 Grain Size를 파악하기 위하여 S.E.M.분석을 하였다.

그림 4에 나타난 바와같이 Grain은 Sub Micron Size를 가짐을 알 수 있으며, 이것은 일반적인 Domain 1개의 Size가 약 10[μm] 정도⁸⁾로 생각하면 Single Grain이 Single Domain의 상태임을 알 수 있다. Grain 형상은 육방정계 Ferrite가 육각판상을 가지는 것과는 달리 구상에 가까운 형상을 가지르



(a) $\text{Ni}_{0.3}\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{0.6} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$



(b) $\text{Ni}_{0.6}\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{0.3} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$

그림 3. $\text{Ni}_x\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{(1-x-0.1)} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ 의 X선회절패턴



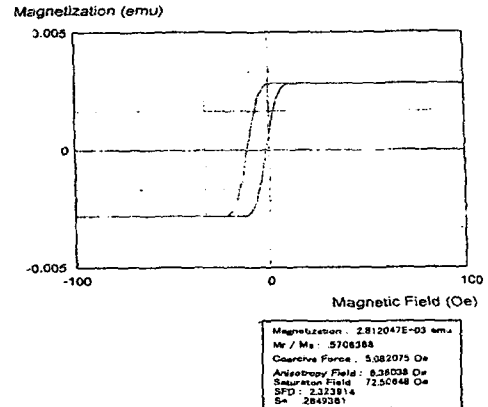
그림 4. $Ni_{0.6}-Mg_{0.1}-Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$ 의 S.E.M.사진

로서 전형적인 Spinel Ferrite의 Grain형상임을 알 수 있으며, Calcination시 열처리 프로세스의 문제로 인하여 발생할 수 있는 Grain 내부의 Pole⁹⁾은 형성되지 않았음을 알 수 있다.

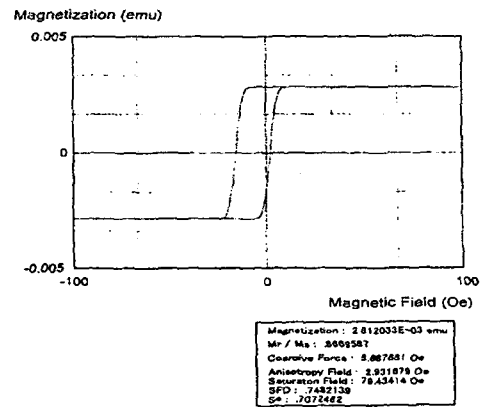
(3) V.S.M. 분석

제조된 Ferrite Powder의 자기적 특성을 파악하기 위하여 V.S.M.분석을 수행하였다.

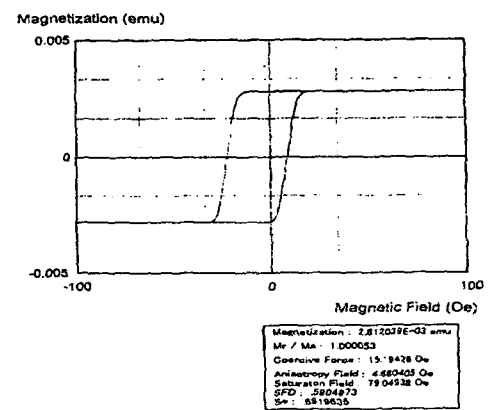
그림 5에 나타난 바와같이 제조된 Ferrite Powder의 자화(Magnetization)값은 Ni의 함량변화와는 무관하게 2.81×10^{-3} [emu]의 일정한 값을 가짐을 알 수 있다. 그러나 보자력(Coercive Force)은 Ni의 함량이 0.3[mole]일 때 5.08[Oe]이며, 0.6[mole]일 때 15.2[Oe]로서 Ni의 함량이 증가할수록 커짐을 알 수 있으며, 이로부터 Ni의 함량이 증가할수록 곡선내부의 면적도 커짐을 알 수 있다. 이것은 M-H Curve에서 곡선내부의 면적이 자기적 손실을 나타내는 양이란 사실에 주목하면, Ni의 함량이 증가할수록 자기적 손실이 크진다는 것을 알 수 있으며, 이로부터 손실을 극대화시킬 필요가 있는 $Ni_x-Mg_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ 조성의 전파흡수체 Composite용 Ferrite Powder는 Ni의 함량이 0.3보다는 0.6이 전파흡수특성이 우수하게 되리라고 예측할 수 있다.



(a) $Ni_{0.3}-Mg_{0.1}-Zn_{0.6} \cdot Fe_2O_4$



(b) $Ni_{0.4}-Mg_{0.1}-Zn_{0.5} \cdot Fe_2O_4$



(c) $Ni_{0.6}-Mg_{0.1}-Zn_{0.3} \cdot Fe_2O_4$

그림 5. $Ni_x-Mg_{0.1}-Zn_{(1-x-0.1)} \cdot Fe_2O_4$ 의 V.S.M.특성

(4) 복소유전율 및 복소투자율 분석

제조된 Ferrite Powder의 전자기적 특성을 파악하기 위하여 제작된 Composite의 복소유전율과 복소투자율을 측정하였다.

그림 6에 나타낸 바와같이 유전적 성질을 나타내는 ϵ_r' 은 약 6.2에서 8.4사이의 값을 가지며 고주파영역으로 갈수록 값이 지수적으로 감소하여 약 6 정도에 근접하는 특성을 나타내었으며, Ni의 함량에 따라서 조금 차이를 보였다.

그림 7에 나타낸 바와같이 유전손실을 나타내는 ϵ_r'' 은 Ni의 함량에 관계없이 측정주파수 범위내에서 1이하임을 알 수 있으며, 이로부터 유전손실이 대단히 적게 될 것임을 예측할 수 있다.

그림 8에 나타낸 바와같이 자기적 성질을 나타내는 μ_r' 은 Ni의 함량이 증가할수록 저주파영역에

서 값이 크며, 주파수에 대하여 지수적으로 감소하여 3~5[GHz] 범위에서 1이하로 됨을 알 수 있다.

그림 9에 나타낸 바와같이 자기적 손실을 나타내는 μ_r'' 은 Ni의 함량이 0.3인 경우에는 2[GHz]이상에서 1이하로서 자기적 손실이 적으며, 이로부터 전파흡수특성이 떨어질 것으로 예측할 수 있다. 그러나 Ni의 함량이 0.6인 경우에는 5[GHz]까지 1이상의 값을 가지므로 전파흡수특성이 양호할 것으로 예측할 수 있다.

(4) Reflection Loss

그림 10과 그림 11은 제조된 Ferrite Powder와 Silicon Rubber를 이용하여 제작한 두께 4[mm] 및 8[mm] Composite의 Reflection Loss를 측정하였다. 4[mm]의 경우, Ni의 함량이 0.3과 0.4인 Composite는

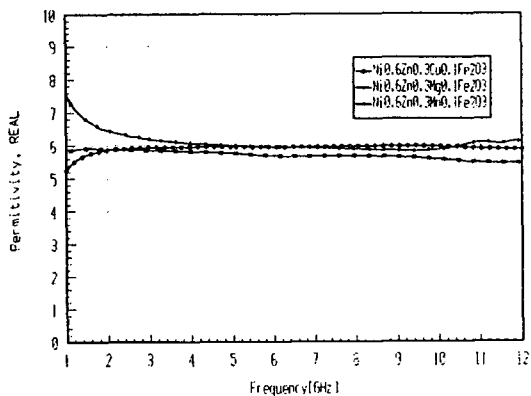


그림 6. $\text{Ni}_{0.6}\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{0.3} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ 의 ϵ_r' 특성

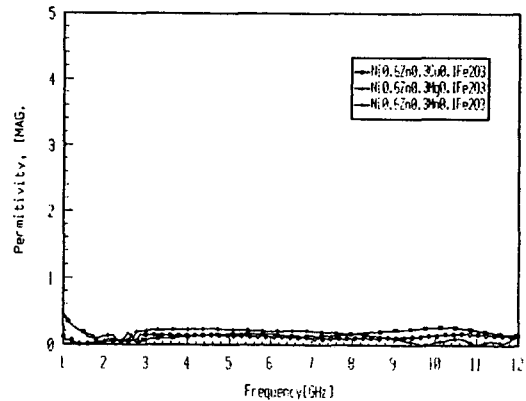


그림 7. $\text{Ni}_{0.6}\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{0.3} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ 의 ϵ_r'' 특성

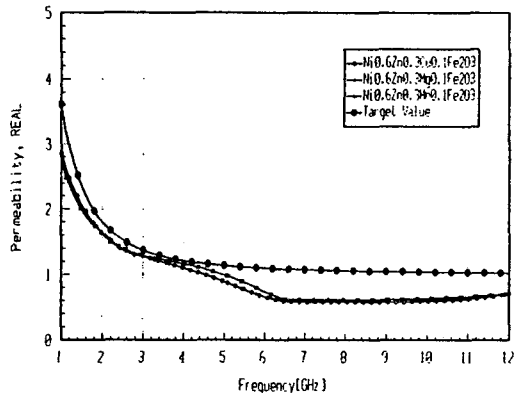


그림 8. $\text{Ni}_{0.6}\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{0.3} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ 의 μ_r' 특성

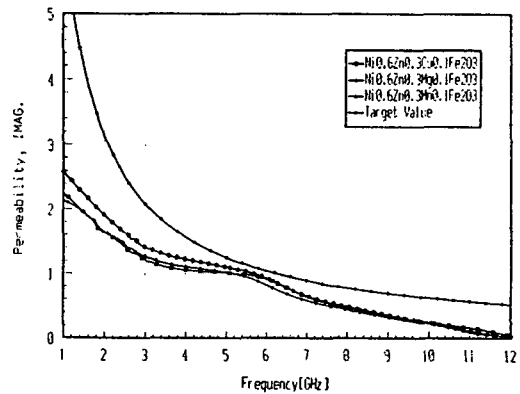


그림 9. $\text{Ni}_{0.6}\text{-Mg}_{0.1}\text{-Zn}_{0.3} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ 의 μ_r'' 특성

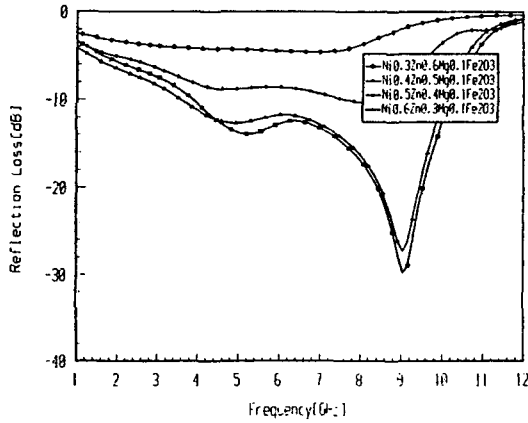


그림 10. Ni_x-Mg_{0.1}-Zn_(1-x-0.1)·Fe₂O₄의 Reflection Loss(두께 4[mm])

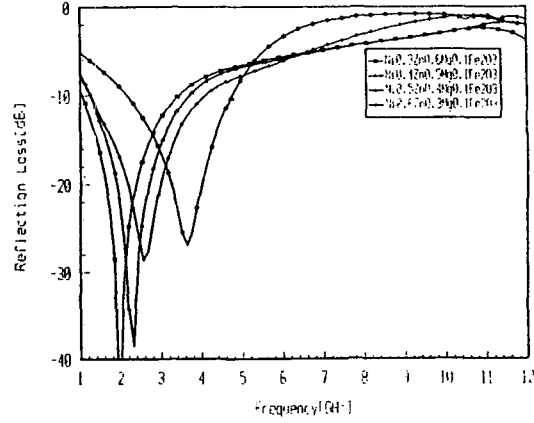


그림 11. Ni_x-Mg_{0.1}-Zn_(1-x-0.1)·Fe₂O₄의 Reflection Loss(두께 8[mm])

반사손실이 적어 전파흡수특성이 좋지 않음을 알 수 있으며, Ni의 함량이 0.5와 0.6인 경우 정합주파수가 약 9[GHz], -20[dB]이상의 Reflection Loss를 가지는 대역폭이 약 1.3[GHz]의 우수한 전파흡수 특성을 가짐을 알 수 있다. 또한 8[mm]의 경우, 4[mm]에서는 흡수특성이 좋지 못하였던 Ni함량 0.3인 재료가 약 3.7[GHz]에서 -28[dB]정도의 반사손실을 가지며 전파흡수특성이 개선되었으며, Ni의 함량이 0.4~0.6 모두 2~3[GHz]의 주파수 대역에서 우수한 전파흡수특성을 보였다.

IV. 결 론

이상의 연구를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 제조된 Ferrite Powder는 X.R.D.분석결과 복합형의 Spinel구조를 가짐을 알 수 있었다.
- (2) 성장촉진제를 첨가하지 않은 상태로 1100 [°C], 2[hr] Calcination한 결과, Grain은 Sub-Micron Size의 Single Grain-Single Domain 상태임을 알 수 있었다.
- (3) 제조된 Ferrite Powder의 자화값은 2.81×10^{-3} [emu]의 일정한 값을 가며, 보자력(Coercive Force)은 5.08[Oe]~15.2[Oe]로서 Ni의 함량이 증 가할수록 커짐을 알 수 있었다.

- (4) Ni의 함량 0.3보다 0.6인 경우가 히스테리시스 손실을 나타내는 M-H곡선내부의 면적이 크며, 또한 전파흡수특성이 우수하게 나타나 Composite에 사용하는 Ferrite Powder의 M-H곡선 내부면적이 Reflection Loss와 직결된다는 것을 밝힐 수 있었으며, M-H곡선 내부면적을 통하여 전파흡수특성을 예측할 수 있다는 것을 밝힐 수 있었다.

- (5) 제조된 Ferrite Powder를 이용하여 제작한 두께 4[mm]의 Composite는 약 9[GHz]의 정합주파수, -20[dB]이상의 Reflection Loss를 가지는 대역폭이 약 1.3[GHz]를 가졌다. 8[mm]의 경우, 4[mm]에서는 흡수특성이 좋지 못하였던 Ni함량 0.3인 재료가 약 3.7[GHz]에서 -28[dB]정도의 반사손실을 가져 두께를 두껍게 하면 전파흡수특성이 개선된다는 것을 알 수 있었다. Ni의 함량이 0.4~0.6 모두 2~3[GHz]의 주파수대역에서 우수한 전파흡수특성을 가짐을 알 수 있었다.

- (6) 이로부터 sub-micrometer의 Grain size를 가지는 Ni_x-Mg_{0.1}-Zn_(1-x-0.1)·Fe₂O₄ Ferrite Powder를 이용하는 Composite의 경우, Ni의 함량을 0.5~0.6으로 하면 RF-A-PF 초광대역 전파흡수체의 RF층을 구현할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) 김동일, “전파무향실용 RF-A-PF형 초광대역 전 파흡수체의 설계·제작 및 특성평가에 관한 연구”, 특정연구보고서, pp.1~3(1998)
- 2) 김태수 외, “전자파장해(EMI/EMC)”, 산업기술정보원, pp.3-10(1991. 7).
- 3) 内藤喜之·水本哲弥·脇田雄一 “フェライト係電波吸收體の經濟的廣大域化[II](30~1500 MHz 以上)”, 電子情報通信學會(1991, 10)
- 4) 内藤喜之·水本哲弥·脇田雄一 “フェライト係電波吸收體の經濟的廣大域化(30~1500 MHz 以上)”, 電子情報通信學會(1991, 4)
- 5) 内藤, 他 : “フェライト吸收壁の電波吸收特性”, 日本電子通信學會 論文誌 B, 52~B, 1, 26~30(1969 -1)
- 6) 김동일, 정세모 외, “카아본-페라이트 전파흡수체의 특성”, 대한전자공학회 논문지, 제26권 제1호, pp.92~97(1989. 11).
- 7) 김동일, “전자레인지 및 RAM용 $\text{MgMnZnFe}_2\text{O}_4$ 자성재료개발”, CONY산업주식회사 위탁연구과제 최종 보고서(1991.11).
- 8) 윤상옥외 3인, “자성재료세라믹스”, 반도출판사, pp.28(1996)
- 9) 김병호외 1인, “페라이트”, 청문각, pp.16~19 (1995)