

# Ni-Zn 페라이트의 조성비에 따른 전자파 흡수특성과 미세구조에 관한 연구

논문  
8-6-9

## A Study on the Electromagnetic Wave Absorption Properties and Microstructure by the Composition Ratio of Ni-Zn ferrite

조재원, 진성빈, 문현욱, 신용진  
Jea-Won Cho, Sung-Bin Jin, Hyun-Wook Moon, Yong-Jin Sin

### Abstract

This paper describes a study on absorption properties of electromagnetic wave by the composition ratio of Ni-Zn ferrite.

Ni-Zn ferrite was composed of 48~52mol% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 18~22mol% NiO and 26~34mol% ZnO. The sintering of the composition was carried out at 1200°C for 2 hours. Through the experiments, it was found that the resonance phenomenon occurred at low frequency range for high permeability and vice versa. In the case of the composition of 49mol% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 20mol% NiO and 31mol% ZnO, the bandwidth ranged from 0.35GHz to 0.95GHz with the absorption thickness of 10mm. Also, in the case of the composition 51mol% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 22mol% NiO and 27mol% ZnO, the bandwidth ranged from 0.48GHz to 1.2GHz with the absorption thickness of 6mm.

**Key words(중요용어)** : electromagnetic wave(전자파), resonance phenomenon(공명현상), frequency range (주파수 범위), band width range(대역폭 범위)

### 제 1 장 서 론

전자파흡수체는 소리의 경우 흡음재, 빛의 경우 흑색에 상당하는 불체로서, 입사한 전자파를 흡수하고 열로 변환하여 반사파를 생기지않게 한다.<sup>1)</sup> 이상적인 전자파흡수체는 전자파의 입사방향, 편파 또는 주파수에 관계없이 입사전자파를 흡수해서 반사파를 생기지 않게 하는 것이다. 그러나, 실제로는 이상적인 것은 있을 수가 없기 때문에 반사계수가 어떤 허용치 이하가 되는 것을 말한다.

허용반사계수에는 명확한 기준값은 없으나, 보통은 -20dB이하(전자계 반사계수  $\Gamma^2=0.1$ , 전력반사계수  $\Gamma_p=0.01$ , 전압정재파비 VSWR=1.2), 혹은 -30dB이하(전자계 반사계수  $\Gamma^2=0.03$ , 전력반사계수  $\Gamma_p=0.001$ , 전압정재파비 VSWR=1.06)로 하는 경

우가 많다. 즉, 전자의 경우, 입사한 전자파에너지의 99%가 흡수체에 의해서 흡수되며, 후자는 99.9%가 흡수되는 경우이다. 따라서 이와 같은 전자파흡수체를 모든 주파수에 대하여 적용할 수 있는 것을 만드는 일은 간단한 일이 아니다.<sup>2,3)</sup>

전자파흡수재료는 도전성 전자파흡수재료, 유전성 전자파흡수재료 및 자성 전자파흡수재료의 3종류로 크게 분류할 수 있다. 그 가운데 자성 전자파흡수재료로서 자성손실재료의 대표적인 것으로 페라이트가 있다. 이것은 페라이트판의 뒤에 금속판을 부착한 것으로서 비교적 넓은 주파수에 걸쳐서 좋은 흡수특성을 나타낸다. 정합주파수는 재료에 따라서 정해지는데, 대략 0.3~1.5GHz의 범위이다. 흡수체의 두께는 대부분 주파수에 관계없이 5~8mm로서 얇다.

한편 산업적인 면에서도 전파암실, TV전파 및 레이더전파의 반사방지, 전자기로부터의 누설전파방지, 안테나 특성개량 등에 전자파흡수체가 응용되고 있다.

전자파흡수체에는 W(wide band)형 및 N(narrow

\* : 명지대학교 전자공학과  
접수일자 : 1995년 8월 7일  
심사완료 : 1995년 8월 31일

band)형의 두 종류가 있다. W형 전자파흡수체의 응용예로서는 전파무향실(전파암실), 전자칸막이 등이 있고, N형 전자파흡수체의 응용예로서는 건물에 의한 TV전파의 반사방지, 교량 등에 의한 레이다의 반사방지, 전파전송로의 무반사부하등이 있으며, Ni-Zn페라이트를 이용한 응용범위로는 전자기기, 전자레인지의 누설전파방지, 안테나 특성의 개선 및 전파회로 소자로의 응용분야가 있다.

본 연구에서는 흡수체인 Ni-Zn페라이트를 제조하여 조성비에 따른 미세구조와 그 두께에 따른 전자기적 특성에 미치는 영향을 관찰하여, 전자파 흡수특성의 개선과 박층화의 가능성을 조사하였다.

### 제 2 장 실험 방법

본 연구에서 사용한 시편은 소결 페라이트로서, 그 조성은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 48~52mol%, NiO 18~22mol% 및 ZnO 26~34mol%로 하였으며, 표 2-1에 정리하여 나타내었다.

표 2-1. 시료의 조성비[mol%]

Table 2-1. Composition of sample[mol%].

elem- ents No.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NiO ZnO			elem- ents No.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NiO ZnO		
	1-1	48	18		34	3-1	50
2	48	19	33	2	50	19	31
3	48	20	32	3	50	20	30
4	48	21	31	4	50	21	29
5	48	22	30	5	50	22	28
2-1	49	18	33	4-1	51	18	31
2	49	19	32	2	51	19	30
3	49	20	31	3	51	20	29
4	49	21	30	4	51	21	28
5	49	22	29	5	51	22	27
				5-1	52	18	30
				2	52	19	29
				3	52	20	28
				4	52	21	27
				5	52	22	26

시편의 제작은 먼저, 원료를 칭량하여 분말:중류수:볼의 질량비를 1:2:3으로 하였으며, 24시간 동안 60rpm으로 습식분쇄한 다음, 다시 24시간 이상 진공오븐기를 이용하여충분히 건조시켰다. 이 시료를 노내에서 225℃/hr의 승온속도로 900℃까지 올린 다음, 이 온도에서 1시간 동안 1차 하소한 후에, 다시 950℃에서 2차 하소하였다. 이 시료를 다시 습식분쇄하고 건조한 것을 100메쉬로 시브(sieve)하였다. 그리고 이 시료를 몰드에 넣고 600Kg/cm<sup>2</sup>

의 압력으로 성형하였다. 성형된 시편을 200℃/hr의 승온 속도로 1000℃까지 높인 다음, 이 온도에서 1시간 동안 1차 소결한 다음, 다시 1200℃에서 2시간 소결하였다. 소결온도의 결정은 TG-DTA 측정결과와 고상반응이 끝나는 1200℃를 소결온도로 정하였다.

특성의 측정은 X-선회절분석, 그리고 7mm 동축관(HP85051-60007)과 네트워크 분석기(HP 85051 B)를 사용하여 복소유전율과 복소투자율 값을 구한 뒤에 컴퓨터·시뮬레이션으로 감쇄량을 측정하였다.<sup>4)</sup>

그리고 주사전자현미경을 사용하여 미세구조를 관찰하였으며, 초투자율의 측정을 위하여, 시편을 토로이달형으로 만들고, 0.35mm 에나멜선을 20회 균일하게 감았다. 임피던스 분석기(HP4194A)를 사용하여 주파수 100KHz~300MHz에서의 시편의 자기인덕턴스를 측정하고, 다음 식으로 부터 초투자율을 구하였다.<sup>5,6)</sup>

$$\mu_i = \frac{l_e L \times 10^9}{4\pi A N^2} [CGS-emu]$$

여기서, L은 자기인덕턴스[H], l<sub>e</sub>는 코어의 유효길이[cm], A는 유효단면적[cm<sup>2</sup>] 및 μ<sub>i</sub>는 초투자율[H/cm]이다.

### 제 3 장 결과 및 고찰

그림 3-1은 각 시편의 X-선회절분석의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 대부분 페라이트화가 진행되어 있고 소량의 α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 고용되어 있음을 알 수 있다. 이 α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 대부분이 결정립계에 존재하는 것으로 생각된다.

그림 3-2는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 증가에 따른 소결시편의 미세구조의 변화를 보인 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 증가할 수록, 또 ZnO가 감소할 수록 소결이 잘 이루어져 있음을 알 수 있다.

한편, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 증가와 더불어 결정립이 성장하면서 입자의 치밀화로 결정내부 및 결정입계에 존재하는 기공이 감소하였으나, 시편 5-1의 경우에는 입자가 조대성장하여 다수의 기공을 볼 수 있다. 일반적으로 입계나 결정립내부의 기공은 자력이동을 방해하기 때문에 입계나 기공이 적을 수록 투자율은 증가하게 된다.<sup>7)</sup>

그림 3-3은 1200℃에서 소결시킨 시편의 NiO의 증가에 따른 미세구조의 변화를 보인 것이다. 그림

에서 알 수 있는 바와 같이, 대체적으로 NiO가 증가할 수록, 또 ZnO가 감소할 수록 소결이 잘 이루어져 있음을 알 수 있다. 시편 2-1과 2-2 이 외의 시편은 그림에서 보는 바와 같이, 결정립이 치밀하게 성장되어 있다. 시편 2-5의 경우는 결정립의 크기는 비슷하나 다소의 기공이 형성되어 있음을 볼 수 있다.

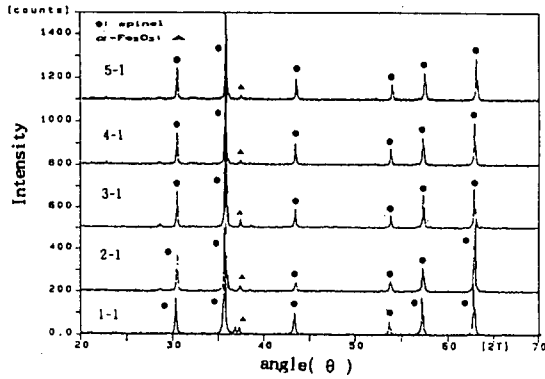


그림 3-1. Ni-Zn페라이트의 X-선 회절패턴  
Fig. 3-1. X-ray diffraction patterns of Ni-Zn ferrite.

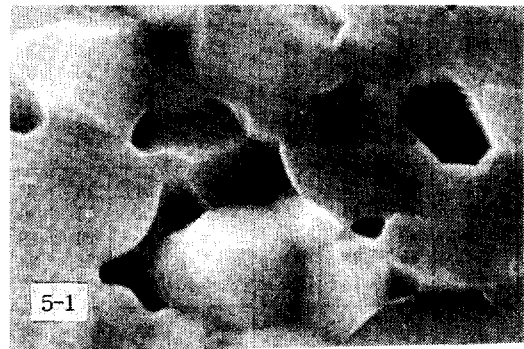
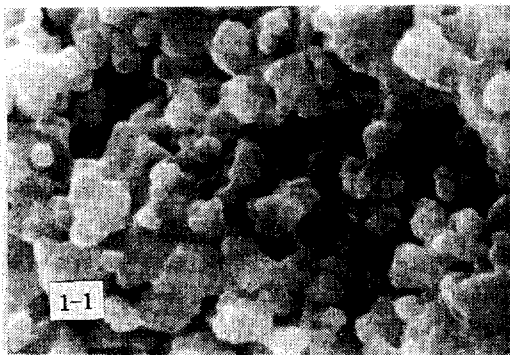
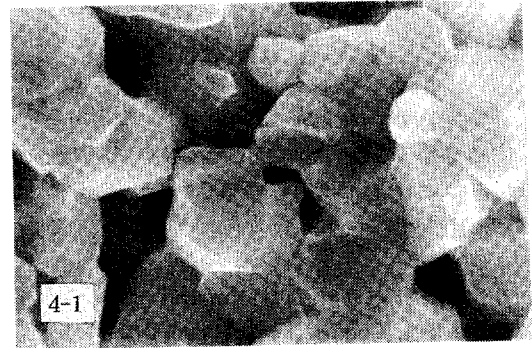
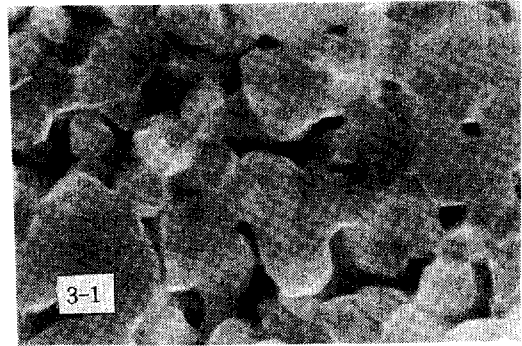


그림 3-2. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 양에 따른 SEM 사진(× 8,000)

Fig. 3-2. SEM micrographs according to Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents(× 8,000).

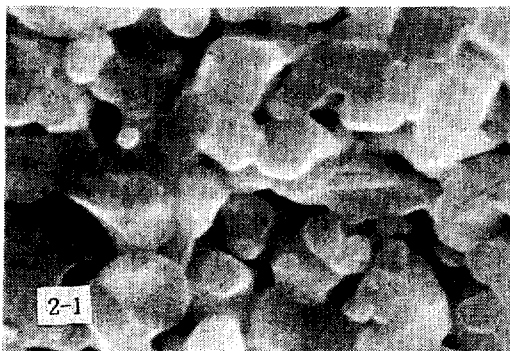


그림 3-4는 조성비에 따른 Ni-Zn페라이트의 초투자율의 주파수의존성을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 투자율곡선의 공명현상은 초투자율이 커질 수록 낮은 주파수 쪽으로 이동하고 있으며, 이는 “Snoek의 한계”와 잘 부합하고 있음을 알 수 있다.<sup>8)</sup> 또 그림 3-2의 SEM 사진과 그림 3-5를 비교해 보면, 소결이 잘 이루어진 시편일 수록 입자의 균일한 성장으로 인하여 초투

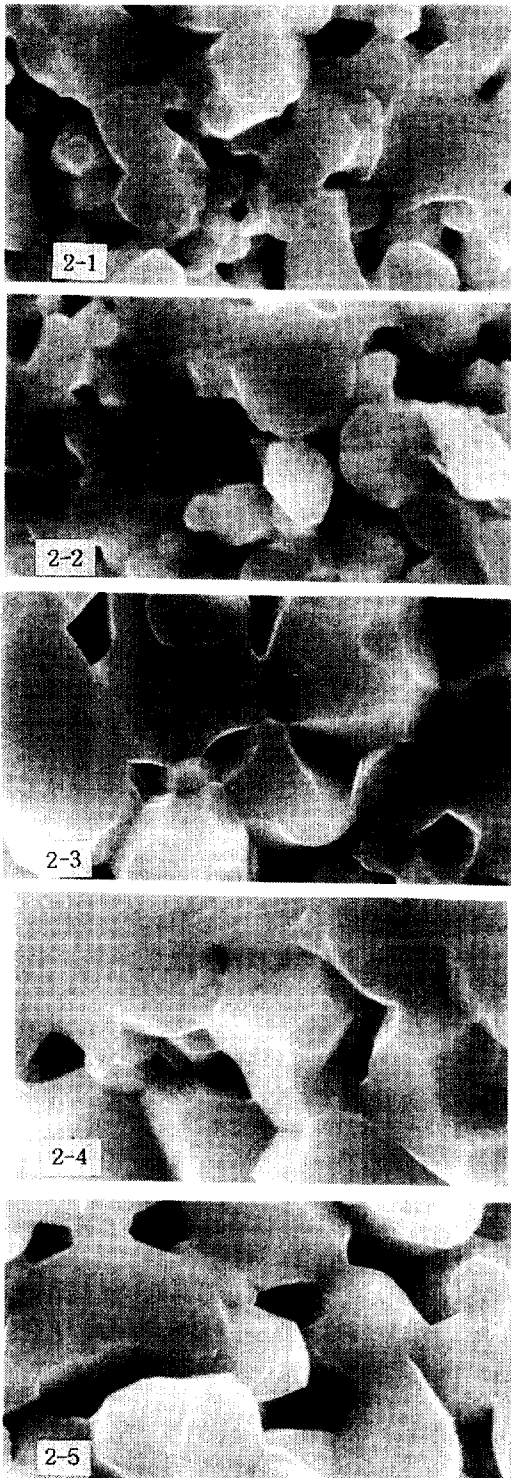
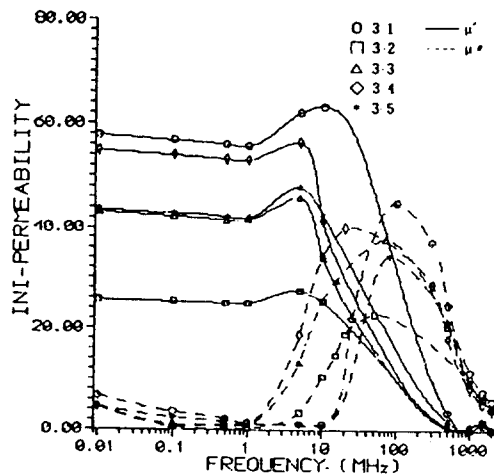
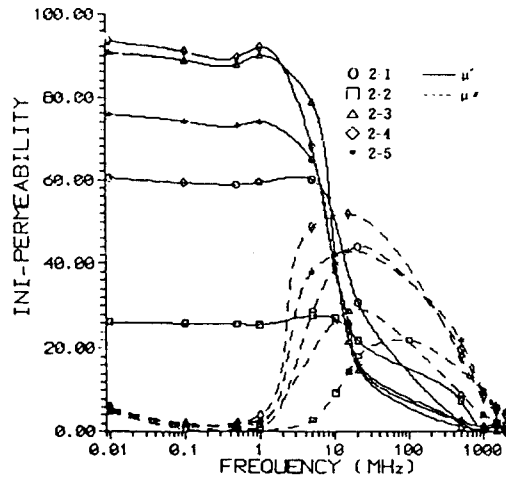
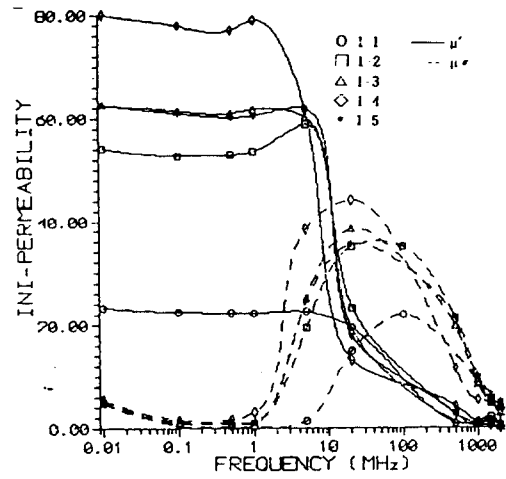
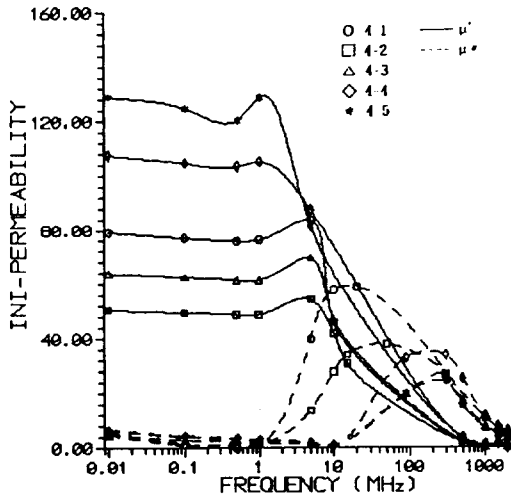
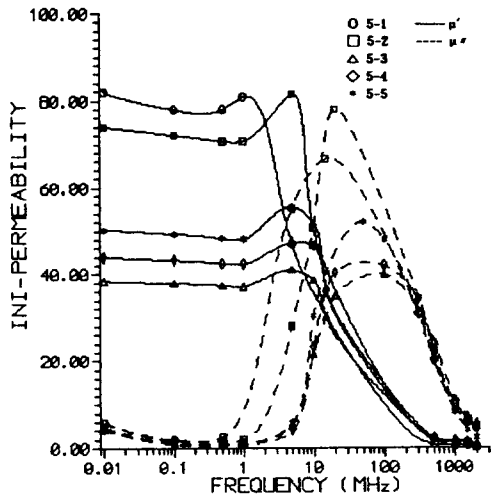


그림 3-3. NiO의 양에 따른 SEM사진( $\times 8,000$ )  
 Fig. 3-3. SEM micrographs according to NiO contents( $\times 8,000$ ).





(d)



(e)

그림 3-4. 조성에 따른 Ni-Zn페라이트의 주파수의 의존성

Fig. 3-4. Frequency dependency of Ni-Zn ferrite by the compositions.

자율이 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 그리고 복소투자율도 낮은 주파수 쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다.<sup>9)</sup> 시편 5-1의 경우는 입자의 크기가 크게 증가했으나, 결정립이 성장하면서 결정립 내부에 기공이 생성되고, 자벽의 이동시에 편닝현상으로 초투자율이 감소하여 80정도로 시편 4-1과 비슷하게 형성된 것으로 생각된다.

한편, 그림 3-3과 그림 3-4(b)로 부터, 입자의 크기가 증가할 수록 투자율이 높아지고 공명주파수가 낮은 주파수대로 이동하고 있음을 알 수 있

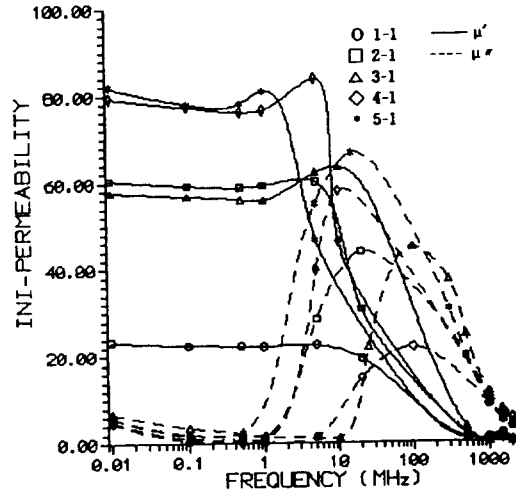


그림 3-5. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 양에 따른 Ni-Zn페라이트의 주파수 의존성

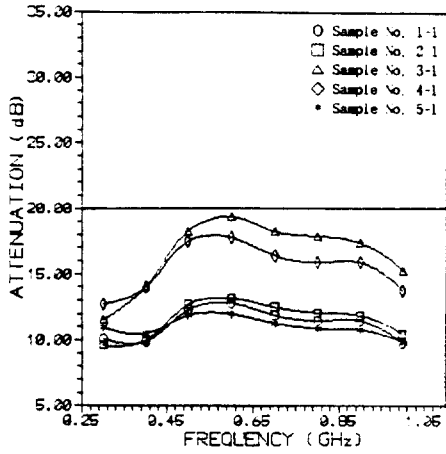
Fig. 3-5. Frequency dependency of Ni-Zn ferrite by the contents of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

다. 그러나, 시편 2-5는 다소의 기공이 형성되어 있으므로, 자벽의 이동이 용이하지 못하여 투자율이 약간 감소한 것으로 생각된다.

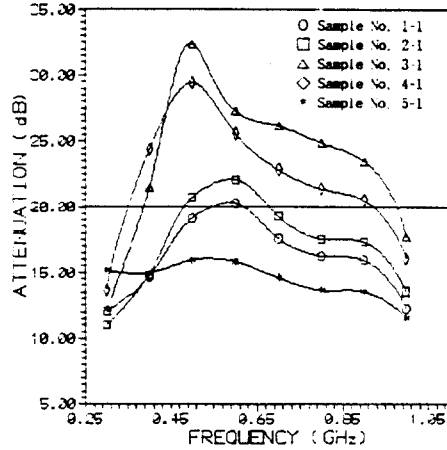
이것은 입자의 크기가 초투자율과 복소투자율에 영향을 미친다는 사실을 의미하는 것으로서, 입자 크기가 증가할 수록 자벽이동이 용이하여 초투자율이 증가하게 되고, 따라서 공명주파수는 낮은 주파수대로 이동한 것으로 생각된다.<sup>10,11)</sup>

소결한 시편중 초투자율이 작은 이유는 입경이 작기 때문에 입계에 의한 자벽이동의 방해와 시편 내부에 존재하는 기공의 반자계효과(demagnetization effect)때문인 것으로 생각된다. Snoek의 주장에 의하면 초투자율이 작은 경우에는 공명주파수가 높아지는데, 이는 주파수 분산이 높은 주파수 대역에서 일어나는 것으로도 알 수 있다. 복소투자율의 경우는 입계 및 기공에 의하여 전기저항이 증가하여 와전류손실이 낮아지기 때문에 작게 나타난 것으로 생각된다.<sup>15,14)</sup>

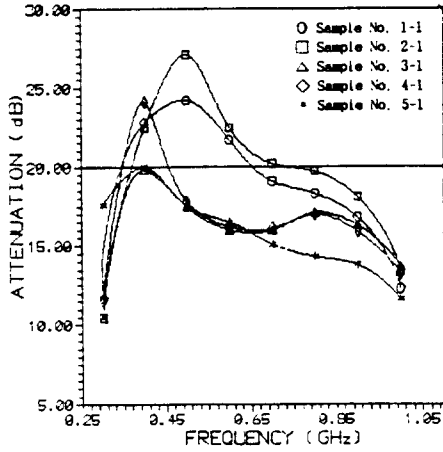
그림 3-6은 7mm의 50Ω에어라인, HP8510B, IBM-PC, XY플로터를 이용하여 시편의 S-파라미터(S<sub>11</sub>, S<sub>12</sub>)를 측정하여 계산한 결과를 나타낸 것인데, 각 시료의 두께를 변화시켰을 때의 감쇄량에 따른 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 두께가 증가할 수록 -20dB이상 흡수할 수 있는 대역폭은 좁아지고 낮은 주파수대로 이동한다. 이 경우 대략 두께 4~5mm의 정합 두께에서 흡수대역과 감쇄량이 양호하다. 시편 3-1의



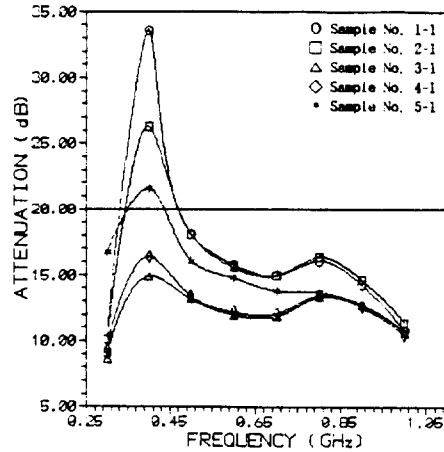
(a) Sample thickness:3mm



(b) Sample thickness:4mm



(c) Sample thickness:5mm



(d) Sample thickness:6mm

그림 3-6. Ni-Zn페라이트의 감쇄량에 따른 주파수 의존성

Fig. 3-6. Frequency dependency by attenuation of Ni-Zn ferrite.

경우, 두께 3~4mm일 때 대역폭과 감쇄량은 다른 시편보다 높는데, 일반적으로 전자흡수체의 흡수두께에 따른 흡수대역폭과 감쇄량은  $\epsilon'' = \epsilon' - j\epsilon''$ ,  $\mu'' = \mu' - j\mu''$ 에 관계된다. 즉, 투자율의 주파수 의존성과 유전율의 주파수 의존성이 흡수체의 고유특성에 관계된다. 페라이트의 경우 투자율의 주파수 의존성이 증가할수록 흡수대역폭은 증가하고, 투자율이 클수록 손실이 커지므로 감쇄량은 증가한다. 그러므로 흡수두께에 따라 흡수대역폭과 감쇄량이 크게 변화를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서, 전자파흡수체에서 유전율과 투자율, 그리고 주파수가 일정한 값을 가질 경우에는 정합두께로서 흡수대역폭을 조절할 수가 있음을 알 수 있다.

표 3-1은 시료의 두께에 따른 전자파흡수특성 (-20dB이상)의 범위를 타나낸 것이다. 도표에서 보는 바와 같이, 대략 4~7mm의 정합두께를 가지며, 흡수대역폭은 0.35~0.95GHz 사이에 있음을 알 수 있다. 특히 흡수두께 6mm에서 0.48~1.12GHz의 대역폭을 얻을 수 있었다.

#### 제 4 장 결 론

이상에서 기술한 바와 같이, 조성비에 따른 Ni-Zn페라이트의 전자파 흡수특성에 대하여 조사 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Ni-Zn페라이트의 입자크기가 증가할 수록 초투

표 3-1. 시료의 두께에 따른 전자파흡수특성 (20dB이상)

Table 3-1. Electromagnetic wave absorption properties by sample thickness.

Sample No.	Thick-ness (mm)	Band width (GHz)							
		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1-1	5								
2	5								
3	5								
4	7								
5	4								
2-1	5								
2	4								
3	10								
4	5								
5	4								
3-1	4								
2	4								
3	5								
4	5								
5	4								
4-1	4								
2	6								
3	5								
4	4								
5	6								
5-1	6								
2	4								
3	4								
4	4								
5	5								

자율이 증가하고 공명 주파수는 낮은 주파수대로 이동하였다.

- 2) 소결특성은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 증가할 수록 ZnO가 감소할 수록 소결이 잘 이루어 졌다.
- 3) 흡수두께가 증가할 수록 대역폭은 좁아지고 낮은 주파수대로 이동하였으며, 대략 4~5mm의 정합두께에서 흡수대역과 감쇄량이 양호함을 알 수 있었다.
- 4) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 49mol%, NiO 20mol% 및 ZnO 31mol% 조성의 경우, 흡수두께 10mm에서 대역폭은 0.35~0.95GHz이고, 또 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 51mol%, NiO 22mol% 및 ZnO 27mol% 조성의 경우, 흡수두께 6mm에서 대역폭 0.48~1.2GHz를 얻을 수 있었다.

이상과 같이, 본 연구에서 사용한 Ni-Zn페라이트의 전자파흡수특성은 UHF(350~1.12GHz)대역에서의 조건을 만족하고 있으며, 실용면에서 텔레비전 고스트 방지용과 같은 전자파흡수체로서의 활용 가능성을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

1. N.Natio; “電波吸收體”, オーム社, 53(1987).
2. 清水康敬; “電波吸收體”, 日本電子學會誌, 546 (1985.5).
3. 日本電波新聞; “Nois 對策技術” 1990年 5月 1日
4. A.M.Nicolson; “Measurement of the intrinsic properties of materials by time domain techingues”, IEEE Trans. Inst. Meas., IM-19, 377(1970).
5. W.B.Weir; “Automatic Measurement of Complex dielectric constant and Permeability at micro-wave frequency”, Proc. IEEE, 62(1), 33(1974)
6. Chris Bowick; “RF Circuit Design”, Howard W.Sams & Co., 18(1990).
7. Lionel M Levinson; “Electronic Ceramics”, Marcel Dekker Inc. (1987).
8. 太天薫造, 近脚廳身; “フェライトの高周波損失”, 金屬物理, 3(4), 129(1957)
9. E.Roess; Proc. Int. Conf. Ferrites, JPN., 203 (1973).
10. J.Smith and H.P.J.Win; “Ferrites”, Philips’ Technical Library, 229(1965).
11. TDK Coporation; “With Ferrite, 16(1988).
12. 金敬龍, 金旺燮, 朱潤燾; “30MHz~1000MHz 高周波帶域에서 Ni-Zn계 페라이트의 燒結條件에 따른 電波吸收特性”, 韓國窯業學會誌,28(8), 640(1991).
13. 趙載元, 文鉉旭, 曹致鉉, 愼鏞璉; “Ni-Zn-Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 組成比에 따른 電波吸收 特性과 微細構造에 관한 研究”, 韓國電氣電子材料學會, 秋季學術大會論文集, 144(1993)
14. 趙載元, 文鉉旭, 曹致鉉, 愼鏞璉; “Ni-Zn-Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 組成比에 따른 電波吸收特性에 관한 研究”, 韓國材料學會, 秋季學術大會論文集, 23(1993)

**저자소개**



**조계원**

1965년 9월 10일생. 명지대학교 전자공학과 학사. 동 대학원 전자공학 석사. 현재 대우전자 연구원.



**문현욱**

1960년 8월 7일생. 명지대학교 전자공학과 학사. 동 대학원 전자공학 석사. 명지대학교 박사과정 수료.



**진성빈**

1966년 7월 4일생. 명지대학교 전자공학과 학사. 동 대학교 대학원 석사. 현재 명지대학교 박사과정.



**신용진**

1935년 10월 20일생. 고려대학교 물리학과 이학사. 고려대학 대학원 물리과 석사. 명지대학교 대학원 전기공학 박사. 현재 명지대학교 전자공학과 교수.