

휴대전화용 전파흡수체에 있어 페라이트 입자크기와 투자율, 시편제작온도에 따른 전파흡수특성

옥승민*, 김동일*, 송재만**

*한국해양대학교 전파공학과, **한국해양대학교 산업기술연구소

EM Wave Absorption Properties by Particle Size and Permeability of Ferrite, Preparation Temperature in Absorber for Mobile Phone

Seung Min Ok*, Dong Il Kim*, Jae Man Song**

*Dept. of Radio Sciences & Eng., Korea Maritime Univ.

**Research Institute of Industrial Technology Korea Maritime Univ.

요 약 : 본 연구에서는 Ferrite의 입자크기와 시편의 제작온도를 고려한 초투자율이 2,500과 10,000인 MnZn ferrite를 이용하여 휴대전화용 전파흡수체의 전파흡수능을 조사하였다. Ferrite 입자크기가 증가함에 따라 휴대전화용 주파수인 1.8 GHz에서 전파흡수능이 증가하였으며, 시편제작 온도가 증가함에 따라 휴대전화용 주파수에서 역시 전파흡수능은 향상되었다. 이를 이용하여 제작한 두께 1 mm의 전파흡수체는 휴대전화용 주파수인 1.8 GHz에서 -3.8 dB의 우수한 흡수능을 나타내었다.

핵심용어 : 휴대전화, 전파흡수체, MnZn ferrite, 입자크기, 시편제작 온도

ABSTRACT : In this study, investigated electromagnetic wave absorptivity of absorber for mobile phone because permeability that consider Ferrite's particle size and manufacture temperature of Sample uses MnZn Ferrite that is 2,500 and 10,000. According as Ferrite particle size increases, electromagnetic wave absorptivity increased in 1.8 GHz that is frequency for mobile phone, and electromagnetic wave absorptivity was improved too in frequency for mobile phone according as preparation temperature increases. In 1.8 GHz that absorber of thickness 1 mm that manufacture using this is frequency for mobile phone displayed excellent absorptivity of -3.8 dB.

KEY WORDS : mobile phone, absorber, MnZn ferrite, particle size, preparation temperature

1. 서 론

오늘날 전자파장해에 대한 규제가 국제적으로 엄격해지고 있음에도 불구하고 국내의 이 분야 기술기반은 우리의 주요 수출 경제국인 일본, 미국, 그리고 EU와 비교하여 낙후되어 있어 우리나라 산업의 근간을 이루고 있는 수출업체에 구체적인 지원을 해주지 못하고 있는 것이 현실이다. 휴대전화에서 발생하는 유해 전자파가 지금까지 휴대전화 전자파의 인체유해성이 분명하게 입증된 사례는 없으나, 뇌종양과 기억력 감퇴 등을 불러올 우려가 높은 것으로 지적되고 있으며 동물실험에서는 유해하다

지속적으로 이루어지고 있다. 현재 휴대전화 산업은 우리경제의 한 축을 이루고 있을 정도로 그 규모가 성장하였으며 또한 우리나라의 휴대전화 이용자 수는 전체 인구의 반이 넘는 것으로 조사되고 있고 특히 청소년층도 폭넓게 이용하고 있는 것으로 발표 되고 있다. 따라서 휴대전화에서 발생하는 유해전자파에 대한 대책은 휴대전화 산업이 우리 경제에서 차지하는 비중과 국민건강을 고려할 때 매우 절실하다고 생각된다. 뿐만 아니라 이와 같은 전파흡수체의 기술개발은 통신수단이 매우 중요한 선박의 안전성확보에도 크게 기여하리라 생각된다[1].

본 연구는 실용적인 면을 고려한 휴대전화기용 전파흡수체를

인 MnZn ferrite와 시편제작온도, Ferrite 입자의 크기등을 제어하고 이들과 전파흡수능과의 상관관계를 연구하였다.

2. 전파흡수체의 제작 및 측정

2.1 전파흡수체의 제작

본 연구에서는 $Fe_2O_3 : MnO : ZnO = 67.5 : 24 : 8.5 \text{ mol } \%$ 의 조성비를 가지며 초투자율 2,500과 초투자율 10,000인 MnZn ferrite를 이용하여 첫 번째로 1.11 μm 에서 20 μm 까지 7단계로 Ferrite 입자크기를 제어하였다. 이렇게 각기 입자크기가 다른 초투자율 2,500과 10,000의 Ferrite 파우더를 CPE(Chloride poly ethylene)에 혼합하여 본 연구실에서 자체 제작한 Roller를 이용하여 두께 1 mm, 2 mm 및 3 mm의 Sheet형의 전파흡수체로 이때 시편의 제작 온도는 $70 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지되도록 제작하였으며, 두 번째로 입자크기 3.2 μm 인 초투자율 2,500인 MnZn ferrite와 입자크기가 2.6 μm 인 초투자율 10,000인 MnZn ferrite를 지지체인 Carbon Silicon Rubber(Carbon 함유량 32%)과 87 : 13 wt%의 혼합비로 혼합하여 시편두께 1 mm의 Sheet형 전파흡수체를 제작하였다. 시편을 제작하는데 있어 온도 이외에 다른 조건은 모두 같게 하였으며 제작온도는 본 실험실의 제작 조건을 고려하여 10 $^\circ\text{C}$, 30 $^\circ\text{C}$, 50 $^\circ\text{C}$, 그리고 70 $^\circ\text{C}$ 로 하여 제작하였다.

그림 1은 원료를 일정하게 조성하여 질소 중 950 $^\circ\text{C}$ 에서 2시간 동안 1차 소결을 하였고, 1차 소결 후 다시 분쇄 및 혼합하여 1310 $^\circ\text{C}$ 에서 2시간 동안 질소 중에서 2차 소결한 MnZn ferrite를 분쇄기를 이용하여 분쇄시간을 달리하여 Ferrite의 입자크기를 제어한 제작 공정을 나타내고 있으며, 그림 2는 역시 같은 공정으로 2차 소결까지 끝난 MnZn ferrite를 Carbon Silicon Rubber(Carbon 32% 함유)와 합성하여 각기 다른 온도에서 시편을 제작하고 그 특성을 조사 · 분석하였다.

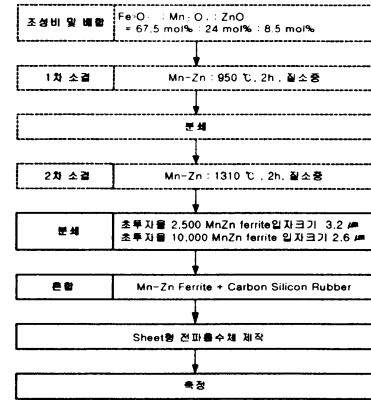
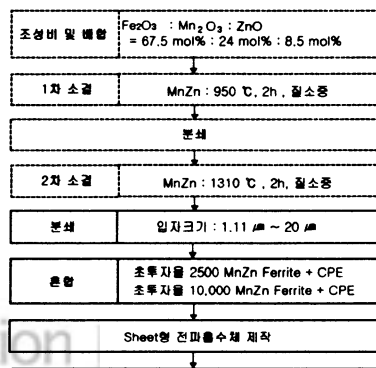


Fig. 2 Manufacturing process of a sheet-type ferrite absorber.

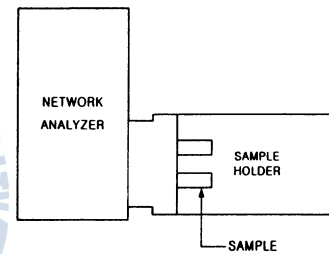


Fig. 3 Reflection Coefficient Measurement System

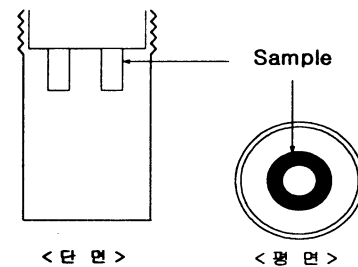


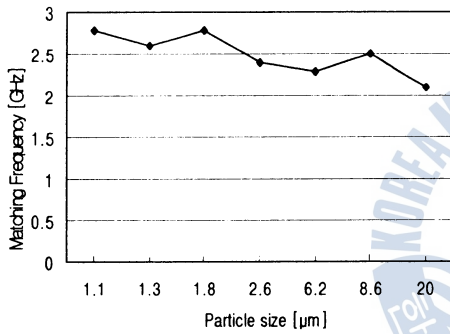
Fig. 4 Sample Holder

2.2 측정

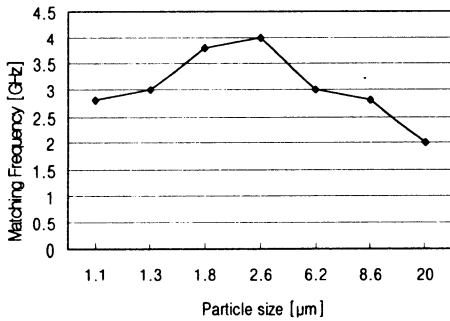
본 논문에서는 제작한 복합형 전파흡수체를 펀치를 이용하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm, 두께 1 mm의 형상을 갖게 하였다. 그림. 3과 4는 본 실험에서 반사계수 및 복소투자율 측정을 위해 사용한 Network analyzer와 Sample holder를 나타낸 것이다.

3. 전파흡수능 평가

ferrite에서는 입자의 크기가 증가함에 따라 정합주파수가 낮은 주파수 쪽으로 이동함을 나타내고 있다. Shengping 등은 바륨 (Ba) ferrite 전파흡수체에서 입자크기가 5 μm 와 65 nm 일 때 정합주파수가 입자의 크기가 작은 65 nm 일 때 보다 높은 주파수 쪽으로 이동함을 보인 바 있으며, 본 실험의 그림 5에서도 같은 경향을 보이고 있다[2]. 초투자율 10,000인 MnZn ferrite의 경우에는 입자크기가 증가함에 따라 정합주파수가 증가하다가 다시 감소함을 보이고 있다. 이와 같은 사실로부터 동일한 두께를 갖는 전파흡수체에서 입자의 크기를 제어함에 따라 정합주파수를 제어할 수 있음을 알 수 있다.

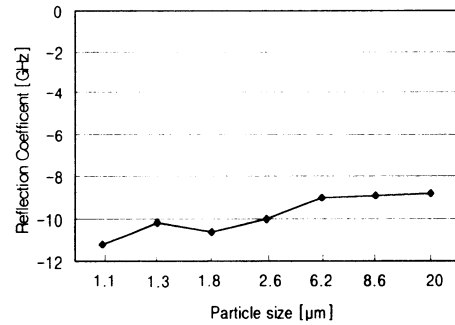


(i) $\mu_i = 2,500$

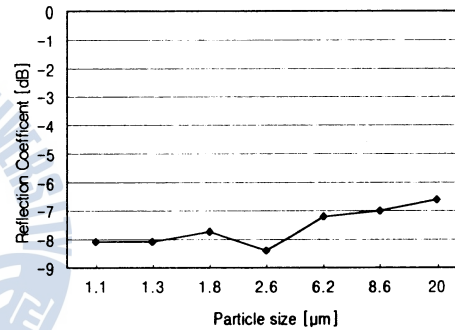


(ii) $\mu_i = 10,000$

Fig. 5 Variation of matching frequency as a function of the average size of particles in a sheet-type electromagnetic wave absorber with the thickness of 3 mm for (i) $\mu_i = 2,500$ and (ii) $\mu_i = 10,000$

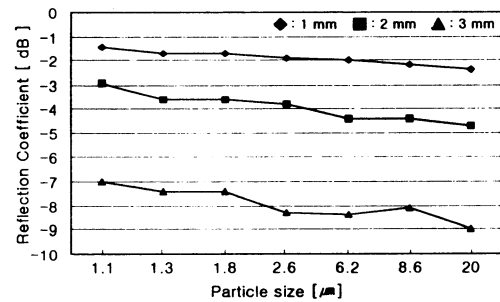


(i) $\mu_i = 2,500$



(ii) $\mu_i = 10,000$

Fig. 6 Variation of absorption ability at matching frequency as a function of the average size of particles in a sheet-type electromagnetic wave absorber with the thickness of 3 mm for (i) $\mu_i = 2,500$ and (ii) $\mu_i = 10,000$



(i) $\mu_i = 2,500$

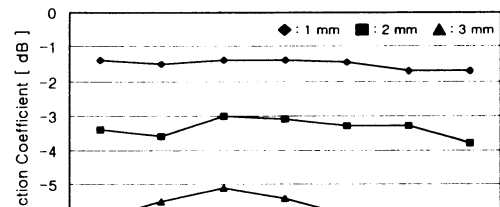


Fig. 7 Absorption ability at 1.8 GHz as a function of the average size of particles in a sheet-type electromagnetic wave absorber with the thickness of 1 mm, 2 mm, and 3 mm for

(i) $\mu_i = 2,500$ and (ii) $\mu_i = 10,000$

그림 6은 입자크기에 따른 정합주파수에서 전파흡수능의 변화를 나타낸 것으로 입자의 크기가 증가함에 따라 전파흡수능이 감소함을 보이고 있다.

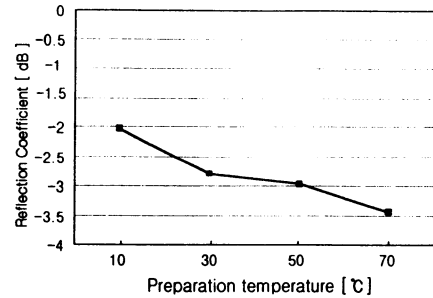
그림 7은 휴대전화기의 사용 주파수인 1.8 GHz에서 입자크기에 따른 전파흡수능의 변화를 나타낸 것으로 시편의 두께가 각기 다른 1 mm, 2 mm, 및 3 mm에서 모두 입자의 크기가 증가함에 따라 전파흡수능이 증가함을 보이고 있다. 이는 그림 5에서 보인 바와 같이 평균입자의 크기가 증가함에 따라 정합주파수가 2.75 GHz에서 2.2 GHz로 이동함에 따라 1.8 GHz에서 더 좋은 전자파 흡수 성능을 보인 것으로 해석할 수 있다[3].

휴대전화 단말기의 중심 사용 주파수인 1.8 GHz에서는 초투자율이 큰 10,000보다 초투자율이 2,500일 때 더 좋은 전파흡수능을 가지는 것을 확인하였다.

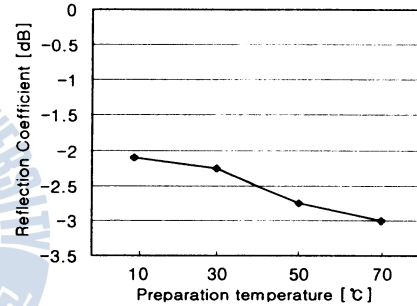
3.2 시편제작 온도에 따른 전파흡수능

그림 8은 시편두께를 1 mm로 제작온도를 각기 10 °C, 30 °C, 50 °C 그리고 70 °C로 달리하였을 때의 휴대전화용 중심사용 주파수인 1.8 GHz에서 전파흡수능을 정리한 그래프로써 제작 온도가 증가함에 따라 그 전파흡수능 또한 증가함을 확인할 수 있으며, 제작 온도 70 °C에서 제작한 시편의 경우 초투자율 2,500 MnZn ferrite와 초투자율 10,000 MnZn ferrite 모두 1.8 GHz에서 -3.4 dB와 -3 dB인 매우 우수한 전파흡수능을 나타내고 있다. 이에 대한 원인을 규명하고자 자성재료의 손실에 영향을 크게 미치는 것으로 보고 되고 있는 투자율을 조사하였으며 이를 그림 9에 나타내었다[4].

그림 9는 시편의 제작온도가 각각 10 °C, 30 °C, 50 °C, 그리고 70 °C일 때 주파수를 함수로 하는 투자율을 나타낸 것으로 시편의 제작 온도가 증가함에 따라 실수부의 값이 증가하고 높은 투자율을 갖는 고온에서 제작한 시편일수록 보다 낮은 주파수에서 투자율의 실수값이 급격한 감소를 보이고 있는데, 이는 Snoek의 법칙을 잘 만족하고 있음을 알 수 있다[5].

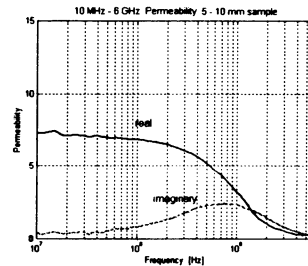


(i) $\mu_i = 2,500$

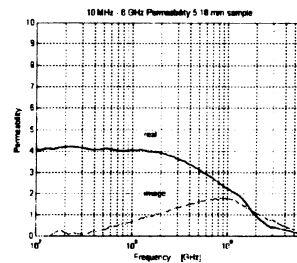


(ii) $\mu_i = 10,000$

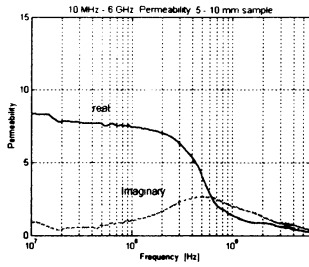
Fig. 8 Reflectivity measured at 1.8 GHz as a function of preparation temperature for (i) $\mu_i = 2,500$ and (ii) $\mu_i = 10,000$



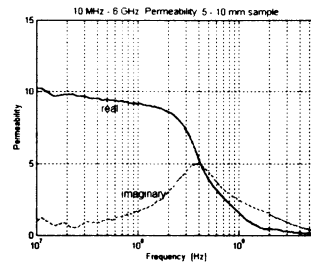
(i) $\mu_i = 2,500$



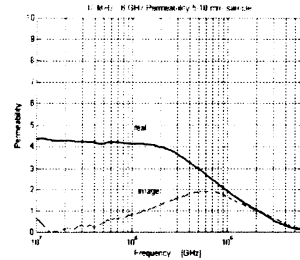
휴대전화용 전파흡수체에 있어 페라이트 입자크기와 투자율, 시편제작온도에 따른 전파흡수특성



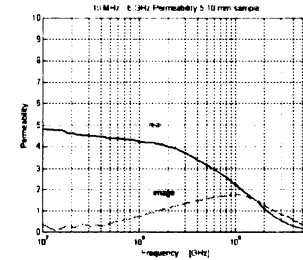
(i) $\mu_i = 2,500$



(i) $\mu_i = 2,500$

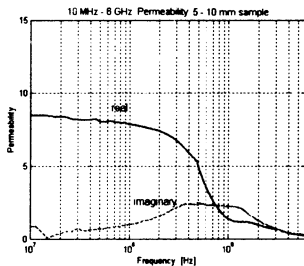


(ii) $\mu_i = 10,000$
(b) 30 °C

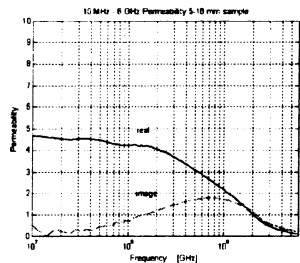


(ii) $\mu_i = 10,000$
(d) 70 °C

Fig. 9 Permeability as a function of frequency for specimens prepared at 10 °C, 30 °C, 50 °C, and 70 °C for (i) $\mu_i = 2,500$ and (ii) $\mu_i = 10,000$



(i) $\mu_i = 2,500$



(ii) $\mu_i = 10,000$
(c) 50 °C

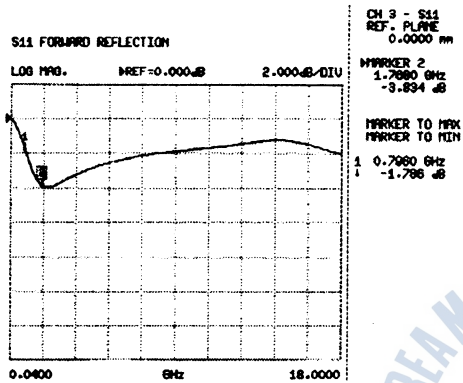
Ferrite를 자성손실재료 한 전파흡수체의 흡수능은 자기손실 $\tan \delta = (\mu''/\mu')$ 과 매우 밀접한 관계가 있으며 $\tan \delta > 1$ 일 때 우수한 흡수능을 나타낸다[6]. 초투자율 2,500인 MnZn ferrite의 특성 그래프 그림 9의 (a), (b), (c), 그리고 (d)에서 $\tan \delta > 1$ 를 나타내는 주파수는 각각 1.5 GHz, 800 MHz, 750 MHz, 400 MHz로 시편의 제작온도가 증가함에 따라 저주파로 이동함을 보이고 있고, 초투자율 10,000 MnZn ferrite의 특성그래프 그림 9의 각각 그림에서 $\tan \delta > 1$ 를 나타내는 주파수는 11 GHz 부근으로서 일정한 경향을 보여준다.

3.3 Ferrite 입자크기와 시편제작 온도를 고려한 고성능 전파흡수체

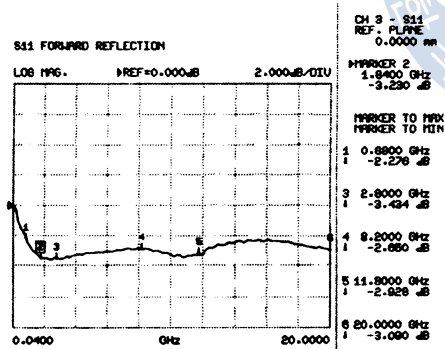
앞 절에서 Ferrite의 입자크기가 증가 할수록 그리고 제작 온도가 높을수록 휴대전화의 사용 주파수인 1.8 GHz에서 높은 전파흡수능을 가지는 두 조건을 이용하여 시편을 제작하였다.

앞 절의 Ferrite 입자크기와 시편제작 온도에서 보여진 동일한 개각 곡선을 가지며 투자율은 2,500과 10,000인 MnZn ferrite의

그림 10은 시편 두께 1 mm 시편에 대해 휴대전화기의 사용주파수인 1.8 GHz에서의 전파흡수능의 특성을 초투자율 2,500과 10,000인 MnZn ferrite를 비교하여 나타낸 것으로 초투자율이 2,500인 MnZn ferrite가 1.8 GHz에서 -3.8 dB의 우수한 전파흡수능을 나타냄을 보이고 있다.



(i) $\mu_i = 2,500$



(ii) $\mu_i = 10,000$

Fig. 10 Reflectivity as a function of frequency for a sample with Mn-Zn : Carbon Silicon rubber = 87 : 13 wt% (t = 1 mm) for (i) $\mu_i = 2,500$ and (ii) $\mu_i = 10,000$

4. 결 론

$Fe_2O_3 : MnO : ZnO = 67.5 : 24 : 8.5 mol\%$ 의 조성비를 가지는 초투자율이 2,500과 10,000인 MnZn ferrite를 이용하여 Ferrite의 입자크기, 시편제작 온도를 제어하며 시편의 전파흡수능, 복소투자율등을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다. MnZn ferrite의 입자크기가 증가함에 따라 정합주파수는 낮은

있는 $\tan \delta > 1$ 을 나타내는 주파수가 저주파 쪽으로 이동하고 이로 인해 휴대전화의 중심사용 주파수인 1.8 GHz에서 시편의 제작온도가 증가함에 따라 흡수능이 증가하는 모습을 나타내었고, 초투자율 10,000 MnZn ferrite의 경우 초투자율이 2,500인 MnZn ferrite와는 상이하게 $\tan \delta > 1$ 을 나타내는 주파수는 11 GHz 부근에서 일정한 패턴을 보여주었다. 하지만 시편의 제작온도가 증가함에 따라 흡수능이 증가하는 모습은 동일함을 확인하였다.

이와 같은 실험결과를 기초로 Ferrite 입자크기와 투자율, 시편의 제작온도가 매우 중요한 인자임을 확인하였고, 그 결과 본 연구에서는 초투자율 2,500인 MnZn ferrite를 이용하여 입자크기가 20 μm 일 때 그리고 시편의 제작 온도 $70 \pm 2^\circ C$ 로 제작한 시편의 두께 1 mm로 휴대전화용 사용주파수 1.8 GHz에서 -3.8 dB의 매우 우수한 전파흡수능을 나타내는 전파흡수체를 개발하였다.

본 연구에서 개발한 sheet형 전파흡수체는 실용성을 겸비한 고성능 전파흡수체로 휴대전화 단말기로부터 누설되는 불요전자파를 흡수하기에 적합하므로 휴대전화 단말기에 실질적인 응용이 기대된다.

- 사사 -

“본 연구는 대학IT연구센터인 충남대학교 전자파환경기술연구센터의 지원으로 수행되었습니다.”

참 고 문 헌

[1] 이기철, “전자파 장애동향과 안전대책”, 한국산업안전공단 안전검인증센터 2001. 1

[2] S. Ruan, B. Xu, H. Suo, F. Wu, S. Xiang, and M. Zhau “Microwave absorptive behavior of ZnCo-substituted W-type Ba hexaferrite nanocrystalline composite material”, J. of MMM, 212, pp. 175-177, 2000

[3] 김호철, 이병택, 정연춘, 엄진섭 “MnZn계 페라이트-고무 복합체의 마이크로파 대역에서의 전기적 특성 및 전자파 흡수 특성”, 전자파학회 논문지, 제4권 2호, pp. 41-47, 1993. 6

[4] 橋本修, “電波吸收体入門”, 森北出版社, p. 13, 1997

[5] A. Goldman, “Modern ferrite technology”, Van Nostrand Reinhold, p. 75, 1990