

동축선법을 이용한 전파흡수체 특성 측정시 Air Gap에 의한 오차에 대한 연구

(A Study on the Measurement Error Induced by Air Gap of Electromagnetic Wave Absorber in the Coaxial Line Method)

金 敬 龍*, 金 旺 燮**, 朱 潤 暎***, 金 炳 扈**

(Kyung Yong Kim, Wang Sup Kim, Yoon Don Ju, and Byung Ho Kim)

要 約

동축선법을 이용하여 물질정수(복소유전율, 복소투자율)와 전파흡수체의 전파감쇠특성을 측정할 경우 시편과 치구의 간격이 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 간격이 존재할 경우 유전율 및 투자율은 실제 값보다 작게 측정이 되는데 이러한 경향은 유전율 측정에서 현저하다. 간격 중에서도 내부 간격이 외부 간격보다 크게 영향을 미친다. $Ni_{0.3}Zn_{0.7}Fe_2O_4$ 조성의 페라이트 전파 흡수체를 제조하고 시편과 측정치와의 간격을 유-페이스트로 금속 피막화시켜 간격을 제거한 다음 특성을 측정하였다. 특성 측정 결과는 보정식에 의한 계산치와 잘 일치하였다.

Abstract

The effect of air gap between specimen and jig on the material constant (permittivity, permeability) and attenuation characteristics of electromagnetic wave absorbers in the coaxial line method was investigated. The presence of a air gap made both permittivity and permeability measured lower than true value; and the tendency was greater in the case of permittivity. An inner gap compared to an outer gap was found to yield a larger difference between measured and true values. The effect of air gap was measured for a $Ni_{0.3}Zn_{0.7}Fe_2O_4$, with the gap eliminated by metallizing with Ag-paste. The measured characteristics were in good agreement with corrected values by calculation.

I. 서 론

물질의 투자율과 유전율을 측정하는 방법에는 전

송선(동축선, 도파관)을 이용하는 방법, 공진기를 이용하는 방법, 공진기섭동방법 등이 있다.¹⁾ 이 중에서 동축선을 이용한 전송선법(이하 동축선법)은 넓은 주파수 범위에서 측정이 가능하다. 따라서 전파흡수체의 경우와 같이 넓은 주파수 범위의 특성을 사용하는데 많이 사용되고 있다.

전파흡수체의 특성을 동축선법을 사용하여 측정하는 방법은 다음과 같다. 먼저 동축선 측정장치에 측정하고자 하는 시편을 고정시킨 다음 Network Analyzer를 사용하여 반사계수와 투과계수를 측정하고,

*正會員, 韓國科學技術研究院 세라믹스 硏究團
(Division of Ceramics, KIST)

**正會員, 高麗大學校 材料工學科
(Dept. Mater. Sci. Eng., Korea Univ.)

***正會員, 東西産業
(Dongsuh Corporation)

接受日字: 1991年 8月 24日

이를 이용하여 복소 유전율 및 복소투자율을 계산한 다음 이를 이용하여 임피던스 정합조건을 결정하게 된다.²⁾ 그런데 이 경우 시편과 동축선 측정장치의 내부 도체와 외부도체 사이에 불필요한 간격(이하 내부간격 및 외부 간격이라 칭함)이 존재하게 되는 데 이에 의한 영향으로 측정치에 오차가 발생하게 된다. 따라서 정확한 측정을 위해서는 이와 같은 오차를 보정하기 위한 연구가 필요하다. K. E. Matter 등은 동축선장치법을 이용하여 복소 유전율을 측정할 경우 간격의 영향을 고찰한 바 있다.³⁾ 본 연구에서는 페라이트의 복소유전율과 복소 투자율을 동축선 방법으로 측정할 경우 간격이 측정 결과에 미치는 영향을 고찰하고 이것을 보완할 수 있는 방법에 대하여 연구하였다.

II. 본 론

1. 복소유전율과 복소투자율 측정에 미치는 간격의 영향

그림1과 같이 동축선 측정 장치와 시편 사이에 간격이 존재하는 경우, 측정 커패시턴스 C_o^* 는 시편의 커패시턴스 C_{sam}^* 와 간격에 의한 커패시턴스 C_{gap}^* 의 합으로 다음의 식과 같이 등가적으로 표현할 수 있다.³⁾

$$C_o^* = \frac{C_{gap}^* \cdot C_{sam}^*}{C_{gap}^* + C_{sam}^*} \quad (1)$$

여기서 $C_{gap}^* = 2\pi \cdot \epsilon_{rg}^* / L_1$, $C_{sam}^* = 2\pi \cdot \epsilon_{rs}^* / L_2$, $C_o^* = 2\pi \cdot \epsilon_{ro}^* / L_3$ 이고, $L_2 = \ln(r_{os}/r_{is})$, $L_3 = \ln(r_o/r_i)$, $L_1 = L_3 - L_2$ 이며 ϵ_{ro}^* , ϵ_{rs}^* , ϵ_{rg}^* 는 각각 시편 복소유전율의 측정치, 보정치 및 간격의 복소 유전율이다. r_{os} 와 r_{is} 는 각각 $r_o - r_g$, $r_i + r_g$ 이며 이때 r_o , r_i , r_g 는 각각 동축선의 내부 및 외부반경과 시편과 측정장치 사이의 간격이다.

그러므로 실제 재료의 복소유전율은 다음의 식과 같이 된다.

$$\epsilon_{rs}^* = \frac{L_2 \cdot \epsilon_{ro}^* \cdot \epsilon_{rg}^*}{L_3 \cdot \epsilon_{rg}^* - L_1 \cdot \epsilon_{ro}^*} \quad (2)$$

시편과 측정장치 사이는 공기이므로 간격의 복소 유전율 (ϵ_{rg}^*)은 $1-j \cdot 0$ 이다. 이 때 식(2)를 허수부와 실수부로 분리하여 나타내면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\epsilon_{rs}' = \frac{L_2 \cdot L_3 \epsilon_{ro}' - L_1 \cdot L_2 (\epsilon_{ro}''^2 + \epsilon_{ro}'^2)}{(L_3 - L_1 \cdot \epsilon_{ro}')^2 + (L_1 \cdot \epsilon_{ro}'')^2} \quad (3)$$

$$\epsilon_{rs}'' = \frac{L_2 \cdot L_3 \epsilon_{ro}''}{(L_3 - L_1 \cdot \epsilon_{ro}')^2 + (L_1 \cdot \epsilon_{ro}'')^2} \quad (4)$$

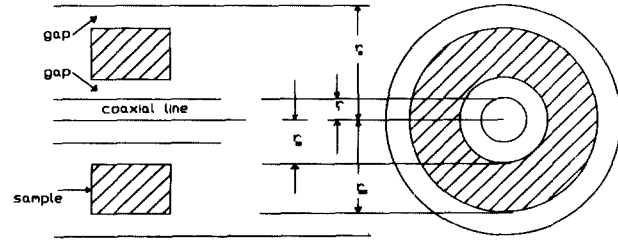


그림 1. 측정장치의 구성도
Fig. 1. Configuration of measuring system.

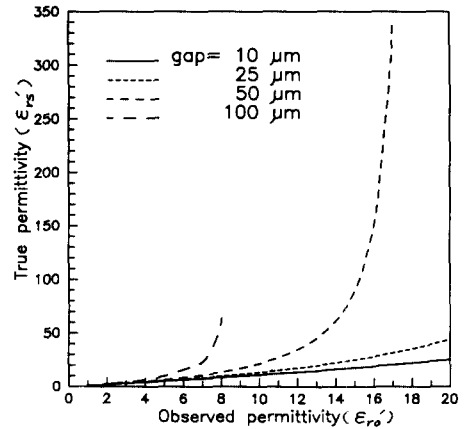


그림 2. Air gap에 따른 유전율 (ϵ_r')의 측정치 및 실제치와의 관계
Fig. 2. Relation between observed and true permittivity (ϵ_r') at the different air gaps.

그림2는 식(3)을 이용하여 복소유전율 실수부의 측정치와 보정치와의 관계를 나타낸 것이다. 측정치구와 시편간의 간격이 증가할 수록 측정치와 보정치와의 차이가 증가한다. 일반적인 페라이트 소결체의 유전율이 10 부근임을 고려할 때 신뢰할 수 있는 측정치를 얻기 위해서는 간격을 25 μm 이내로 제어해야 한다는 것을 알 수 있다. 유전율 허수부는 통상 페라이트 소결체의 경우 그 값이 매우 작기 때문에 무시할 수 있다.

그림1의 경우 재료가 페라이트와 같은 자성체인 경우 측정 인덕턴스는 다음과 같다.

$$L_o^* = L_{gap}^* + L_{sam}^* \quad (5)$$

여기서 $L_{gap}^* = \mu_{rg}^* \cdot L_1 / 2\pi$, $L_{sam}^* = \mu_{rs}^* \cdot L_2 / 2\pi$, $L_o^* = \mu_{ro}^* \cdot L_3 / 2\pi$ 이고, μ_{ro}^* , μ_{rs}^* , μ_{rg}^* 는 각각 시편 복

소투자율의 측정치, 보정치 및 간격의 복소투자율이 다.

그러므로 실제 재료의 복소투자율은 다음의 식과 같이 된다.

$$\mu_{rs}^* = \frac{L_3\mu_{ro}^* - L_1\mu_{rg}^*}{L_2} \quad (6)$$

시편과 측정장치 사이의 간격에 있는 대기의 복소 투자율을 $1-j\cdot 0$ 로 하고 식(6)을 허수부와 실수부로 분리하면 다음의 식과 같이 된다.

$$\mu_{rs}' = \frac{L_3\mu_{ro}' - L_1}{L_2} \quad (7)$$

$$\mu_{rs}'' = \frac{L_3\mu_{ro}''}{L_2} \quad (8)$$

그림3과 4는 복소투자율 실수부와 허수부의 측정치와 보정치와의 관계를 나타낸 것으로서 유전율의 경우와 마찬가지로 간격이 증가할 수록 측정치와 보정치의 차이가 증가하지만 유전율의 경우보다는 그 영향이 적다.

2. 내부 간격과 외부 간격의 영향

식(3)에서 (8)까지의 논의는 그림1과 같은 구성에서 내부간격과 외부간격이 같은 경우에 관한 것이다. 그러나 실제 시편을 제조할 경우 내부간격과 외부간격이 서로 다를 경우도 있다. 내부간격을 r_{ig} , 외부간격을 r_{og} 라고 하면

$$r_{os} = r_o - r_{og} \quad (9)$$

$$r_{is} = r_i + r_{ig} \quad (10)$$

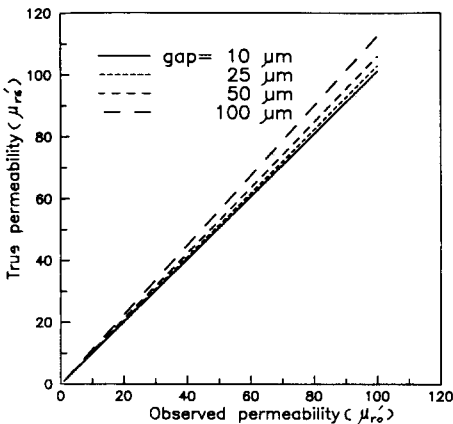


그림 3. Air gap에 따른 유전율 (μ_r')의 측정치 및 실제치와의 관계

Fig. 3. Relation between observed and true permeability (μ_r') at the different air gaps.

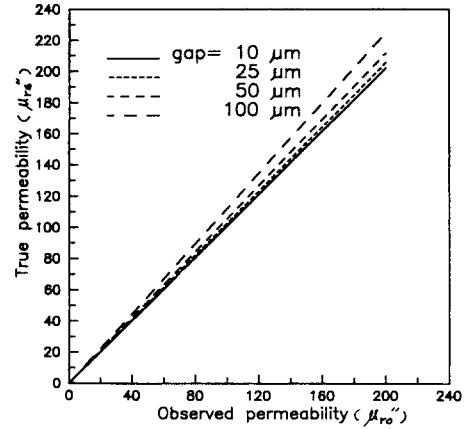


그림 4. Air gap에 따른 투자율 (μ_r'')의 측정치 및 실제치와의 관계

Fig. 4. Relation between observed and true permeability (μ_r'') at the different air gaps.

가 된다.

그림5는 식(9)와 (10)을 적용하여 복소유전율 실수부의 측정치와 보정치에 미치는 내부 및 외부 간격의 영향을 나타낸 것이다.

그림에서도 알 수 있듯이 전체 간격의 합이 같을 경우 내부간격이 작아질수록 측정치와 보정치와의 차이가 줄어든다. 따라서 외부 간격보다는 내부간격의 제어에 관심을 기울여야 한다. 위에서 믿을 만한

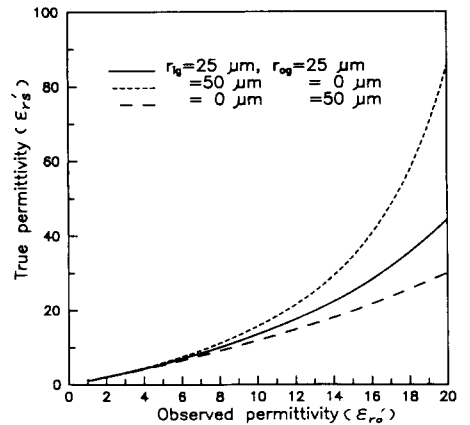


그림 5. 내부 및 외부 간격에 의한 유전율 (ϵ_r')의 측정치 및 실제치와의 관계

Fig. 5. Relation between observed and true permittivity (ϵ_r') at the different inner and outer gaps.

측정치를 얻기 위해서는 간격을 25 μm 이하로 제어해야 한다고 설명한 바 있으나 실제 소결체의 경우 이와 같은 정밀도로 간격을 제어하기는 매우 힘들다. 이상의 결과로부터 외부 간격은 50 μm 정도가 되더라도 내부 간격을 없앨 수 있는 방법이 강구 되어야 한다는 것을 알 수 있다.

그림6은 식(9)와 식(10)을 적용하여 복소투자율 실수부의 측정치와 보정치에 미치는 내부 및 외부 간격의 영향을 나타낸 것이다. 그림3,4의 경우와 마찬가지로 그 영향은 유전율의 경우보다 작지만 경향은 위의 설명과 같다는 것을 알 수 있다.

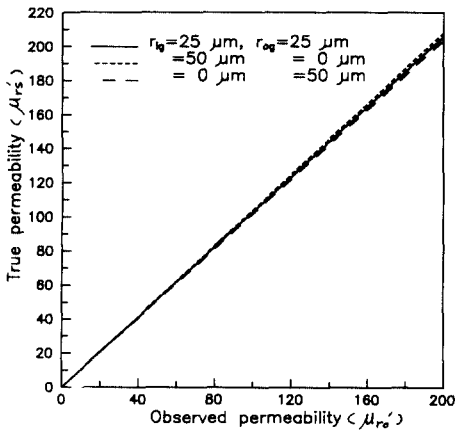


그림 6. 내부 및 외부 간격에 의한 투자율(μ_r')의 측정치 및 실제치와의 관계

Fig. 6. Relation between observed and true permeability (μ_r') at the different inner and outer gaps.

3. 내부간격 제어와 전파감쇠특성의 측정

이상의 계산 결과를 확인하기 위하여 $\text{Ni}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 의 조성을 갖는 페라이트 소결체를 제조하였다. NiO , ZnO , Fe_2O_3 를 조성에 맞춰 평량한 후 24시간 습식 혼합하였다. 혼합분말을 건조한 후 900 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 하소하였다. 하소분말은 24시간 ball milling하여 재분쇄하고 건조시켰다. 건조 분말을 동축형 몰드를 사용하여 가압성형한 후 1200 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 소결하였다. 소결된 페라이트의 복소유전율, 복소투자율과 전파감쇠 특성을 Network Analyzer (HP 8510A)와 동축선 측정장치 (HP 85051-60007)를 사용하여 50~1400MHz 범위에서 측정하였다. 광학 현미경을 이용하여 시편의 정확한 치수를 측정하여 간

격을 산정한 결과 내부간격(r_{1g})은 16.5 μm , 외부간격(r_{0g})은 121 μm 였다. 간격을 없애기 위하여 Ag-paste로 metallizing 처리를 하였다.³⁾ metallizing에 의해 내부 간격을 없앤 시편의 복소투자율, 유전율 및 전파감쇠특성을 같은 방법으로 측정하여 상호 비교하였다.

그림7은 제조된 시편의 복소유전율 측정치와 Ag-paste를 이용하여 metallizing시켜 간격을 제거하고 측정된 측정치와의 관계를 나타낸 것이다. metallizing에 의해 간격을 제거하면 실제 유전율은 간격이 있는 시편의 측정치보다 증가하는 것을 알 수 있다. 위에서도 설명한 바와 같이 시편을 제조할 경우 측정장치와 완전히 일치하게 제조한다는 것은 불가능하기 때문에 간격에 의한 오차가 발생할 수 있다. 이와 같은 경우 간격을 측정하여 식에 의해 보정하여 줄 수도 있으나 metallizing에 의해 간격에 의한 오차를 효과적으로 제어할 수 있다.

그림8은 제조된 시편의 복소투자율 측정치와 metallizing시켜 간격을 제거하고 측정된 측정치와의 관계를 나타낸 것으로서 유전율의 경우와 같은 결과를 보이고 있다.

이와 같이 측정된 복소유전율과 복소투자율에 의해 재료의 전파흡수특성이 결정되게 된다.⁴⁾ 그림9는 제조된 시편의 전파감쇠특성 측정치와 광학 현미경으로 결정한 간격과 측정치를 사용하여 보정한 값, 그리고 Ag-paste를 이용하여 metallizing시켜 간격을

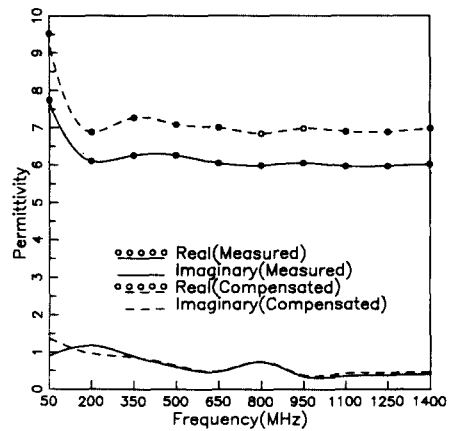


그림 7. 시편의 유전율 측정치간의 관계 (간격이 있는 경우와 금속피막에 의해 간격을 제거한 경우)

Fig. 7. Relation between measured permittivities of the specimen (with and without the air gap by metallizing).

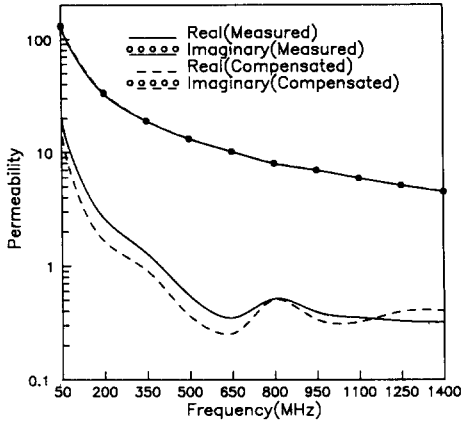


그림 8. 시편의 투자율 측정치간의 관계(간격이 있는 경우와 금속피막에 의해 간격을 제거한 경우)

Fig. 8. Relation between measured permeabilities of the specimen(with and without the air gap by metallizing).

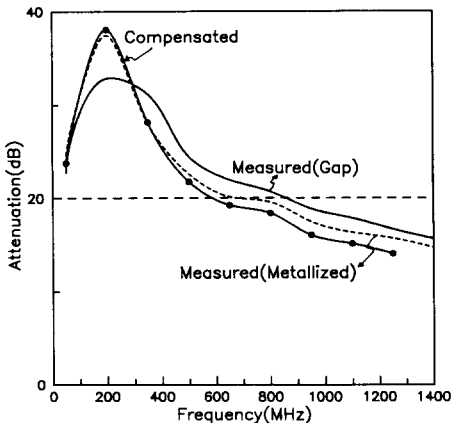


그림 9. 시편의 전파감쇠특성(간격이 있는 경우와 금속피막에 의해 간격을 제거한 경우 : 보정치=식에 의한 계산값)

Fig. 9. Attenuation behaviors of the specimen (with and without the air gap by metallizing:compensated=calculated value).

제거하고 측정된 측정치와의 관계를 나타낸 것이다. 간격의 영향을 고려하여 보정하면 실제의 경우(간격이 없기 때문에 전파흡수 특성은 단지 시편의 물질 특성에 의해서만 결정된다고 가정할 경우) 측정치보다 높은 주파수 대역에서 전파감쇠능력이 저하되는 경향을 보인다. 본 실험에서 제조한 시편과 같은 간

격이 존재하는 경우 재료정수 측정치와 보정치가 1~2정도 밖에는 차이가 나지 않지만 전파감쇠특성의 경우는 실제 유효주파수 대역(실용상 전파흡수체로 이용 가능한 20dB 이상의 전파감쇠가 일어나는 주파수 대역) 50~750MHz가 간격에 의해 50~850MHz로 측정된다는 것을 고려하여 볼 때 정확한 전파흡수체의 특성을 측정하기 위해서는 간격이 미치는 측정오차에 주의해야 한다. 계산에 의한 보정치와 metallizing에 의해 간격을 제거시킨 시편의 측정치가 비교적 잘 일치하는 것을 보아 metallizing 법이 이와 같은 간격에 의한 오차를 방지할 수 있는 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다.

III. 결 론

본 연구에서는 페라이트 전파흡수체의 특성측정을 위하여 복소유전율과 복소투자율을 동축선 방법으로 측정할 경우 간격이 측정 결과에 미치는 영향을 고찰하고 이것을 보완할 수 있는 방법에 대하여 연구하였다. 측정장치와 시편 사이에 간격이 존재할 경우 실제 재료정수(유전율, 투자율)보다 작게 측정이 되며 이와 같은 경향은 간격이 증가할 수록 증가한다. 간격이 측정오차에 미치는 영향은 투자율보다 유전율의 경우에 크며 신뢰할 수 있는 측정치를 얻기 위해서는 간격을 25 μ m 이하로 제어할 수 있어야 한다. 이 이상의 간격이 존재할 경우 측정치에 큰 오차가 발생하는데 이 때 측정장치와 시편 사이의 간격을 Ag-paste로 충전시키는 metallizing법이 이와 같은 간격에 의한 오차를 방지할 수 있는 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다.

參 考 文 獻

- [1] 岡田文明, "마이크로파 페라이트의 평가법", *Electronic ceramics*, vol. 17, pp. 57, 1985.
- [2] A.M. Nicolson, et al., "Measurement of the intrinsic properties of materials by time domain techniques", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. IM-19, pp. 377, 1970.
- [3] K.E. Matter, et al., "Influence of wall contacts on measured complex permittivity spectra at coaxial line frequency", *IEEE Trans. Micro. Theory and Tech.*, vol. MTT-39(3), pp. 532, 1991.
- [4] Y. Naito and K. Suetake, "Application of ferrite to electromagnetic wave absorber and its characteristics", *IEEE Trans. Micro. Theory and Tech.*, vol. MTT-19(1), pp. 65, 1971.

著 者 紹 介

金 敬 龍 (正會員) 第28卷 第8號 A編 參照
현재 한국과학기술연구원 세라믹스연구부 근무중

金 旺 變 (正會員) 第28卷 第8號 A編 參照
현재 고려대학교 공과대학 재료공학과 박사과정 재학중



金 炳 鷹(正會員)
1942年 8月 20日生. 1969年 일본 와세다대학 응용화학과 학사. 1971年 동대학 응용화학과 공학석사. 1975年 동대학 응용화학과 공학박사. 현재 고려대학교 공대 재료공학과 교수. 주관심분야는 유리 및 전자부품용 세라믹 분말 합성임.

朱 潤 噉(正會員)
1967年 1月 24日生. 1989年 고려대학교 재료공학과 학사. 1991年 동대학 재료공학과 공학석사. 현재 동서산업 연구원. 주관심분야는 전자부품용 세라믹스 제조 및 측정임.