J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 9, No. 6, 2000, 31-35
≫ 研究論文 ≪

Mn-Zn ferrite 廢棄物과 시멘트를 이용한 電波吸收體

†趙完植 · 金鍾悟*

高機能性 磁性材料 硏究센터, *忠南大學校 工科大學 新素材工學部

Microwave Absorber Prepared by Using the Wasted Mn-Zn Ferrite and the Cement

Wan-Shik Cho and Chong-Oh Kim*

Research center for advanced magnetic materials at Chungnam Natl. Univ.
**Division of Materials Engineering, Chungnam National University*

요 약

Mn-Zn ferrite 폐기물을 시멘트와 혼합한 복합전파흡수체를 제작하여 재료정수 및 반사감쇠량을 조사하였다. 지지재로 사용한 시멘트는 실리콘 고무의 재료정수와 비교하여 높은 복소유전율($\varepsilon_r' = 7.6$, $\varepsilon_r'' = 0.6$)을 나타내었고, Mn-Zn ferrite 폐기물과 시멘트의 혼합무게비(F/C)가 증가함에 따라 복소유전율은 감소하였고, 복소투자율은 증가하였다. 최대반사감쇠량을 나타내는 주파수는 F/C가 1에서 3으로 증가함에 따라 2.7 GHz에서1.3 GHz로 감소하였고, 정합두께는 8.7 mm에서 12.7 mm로 증가하는 경향이 나타났다. 모든 시편에서 최대반사감쇠량은 -40 dB 이상으로 Mn-Zn ferrite 폐기물을 전파흡수체로 활용이 가능하다.

주제어: Mn-Zn ferrite, 시멘트, 복합전파흡수체, 재료정수, 반사감쇠량, 혼합무게비

ABSTRACT

The complex permeability, the complex permittivity and the reflection loss are investigated in the composite microwave absorbers which are mixed with the wasted Mn-Zn ferrite and the industrial cement. The cement has larger the complex permittivity than that of the rubber. The complex permittivity is decreasing with the increment of the mixing ratio of Mn-Zn ferrite to cement (F/C in weight) and the complex permeability is increasing with the increment of F/C. The maximum reflection loss is above -40 dB at all samples. The matching frequency is in the range of 1.3 GHz to 2.9 GHz and is decreasing with the increment of F/C from 1 to 3. The matching thickness is increasing with the increment of F/C. The wasted Mn-Zn ferrite and the cement is very useful material for the composite microwave absorber.

Key words: Mn-Zn ferrite, cement, the composite microwave absorber, the reflection loss, F/C

1. 서 론

현대 정보화 사회의 근간인 디지탈 기술과 반도체 기술 등의 급속한 발달은 전자기기의 경량화, 소형화, 고속화와 광역화를 가능하게 하고, 또한 전자기기들을 작은 구동 에너지로도 동작시킬 수 있게 하였다. 그런 반면 전자기기들은 인위적인 제어가 어려운 자연현상을 원인으로 하는 미소한 전자파 장해에도 민감하게 반응하여 오동작을 일으키게 되고, 또 많은 전기.전자장치가 사회전반에 보급됨에 따라 전자파 밀집도가 증가하게 되어 전자파 환경을 악화시켜 전자기파에 의한 기기의 오동작, 고장 및 파괴를 일으키거나 심지어 인체에 해로움까지도 야기할 수 있어 대책 마련이 시급하다. 전자파장해(Electromagnetic Interference)문제를 해결하기 위해서는 여러 측면으로 접근할 수 있는데, 크게 나누어 소극적 대응과 적극적 대응으로 구분할 수 있다. 먼

† 2000년 3월 13일 접수, 2000년 8월 30일 수리
† E-mail: wscho77@cnu.ac.kr

저 소극적 대응이란 노이즈에 강한 부품 선택 및 이상적인 회로 설계로 불요 전자기파의 방출을 억제하는 방법인데, 이것은 전자기기의 경량화, 소형화, 고속화와 광역화에 따른 전자파 발생의 급격한 증가 추세로 미루어 볼 때 한계가 있다 하겠다. 이에 반해 적극적 대응은 전자파를 차폐 및 선택적으로 흡수할 수 있는 손실재료를 사용하여 어느 정도의 전자파 환경 내에서는 장해를 받지 않고 정상적으로 작동할 수 있도록 내성을 강화시키는 방법이다. 이러한 용도로 사용되고 있는 전파흡수체의 재료로는 carbon 분말, 탄소섬유등의 자유전하가 전기장과 동상으로 이동하여 도전손실이 발생하는 도전손실재료,[1] $BaTiO_3$등의 dipole이 전자기장의 대응하여 유전손실이 발생하는 유전손실재료[2]와 금속 자성재료, 산화물 자성재료등의 스핀 운동이 전자기장 변화에 대응하여 자성손실이 발생하는 자성손실재료[3]등이 있다. 그러나 도전손실재료를 이용한 전파흡수체는 유전율의 실수부(ε_r')와 허수부(ε_r'')가 주파수에 대하여 변화가 완만한 단점을 가지고 있으며, 유전손실재료는 고주파 영역에서 유전손실이 크지 않아 비실용적인 단점을 가지고 있다. 그러나 자성손실재료를 이용한 전파흡수체는 투자율의 실수부(μ_r')가 작고 투자율의 허수부(μ_r'')가 큰 주파수대역에서 전자파흡수능이 20 dB이상으로 주요 전파흡수체의 손실재료로 사용되고 있고, 전자파 흡수대역을 증가시키기 위하여 자성손실재료와 실리콘 고무를 혼합한 복합 전파흡수체가 개발되어 사용되고 있다.[4] 그러나 자성손실재료로 사용되는 Ni-Zn ferrite, Mg-Zn ferrite, Mn-Zn ferrite 등은 출발원료 및 제조 공정비가 고가인 단점으로 인해 특수용도로 사용이 제한되고 있다.

따라서 본 연구에서는 자성손실재료를 산업폐기물로 처리되고 있는 형상불량의 Mn-Zn ferrite를 이용하고 지지재를 건축용 시멘트로 한 복합전파흡수체를 제작하여 전파흡수특성을 조사하고 재료정수 및 반사감쇠량에 미치는 ferrite와 시멘트의 혼합무게비(F/C)를 동축선법을 이용하여 조사하였다.

2. 실험방법

형상불량의 Mn-Zn ferrite는 연속진동형 밀링(continuous vibrating mill)으로 조분쇄하고, 조분쇄된 분말은 다시 attrition 밀링하였다. 밀링시간을 조절하여 분말을 제조하고, 채(sieve)를 이용하여 8 μm의 평균 입경으로 분리하였다. 제조된 Mn-Zn ferrite 분말은 1급 시멘트에 혼합하였다. 이때 혼합하는 과정에서 시멘트와 물이 ferrite와 균일하게 섞이도록 세심한 주의가 요구되는데, 이 과정이 성형체의 특성을 변화시킬 뿐만 아니라, 성형체가 유지될 수 있는 강도에 영향을 줄 수 있기 때문이다. Ferrite와 시멘트의 혼합무게비(F/C)는 1에서 3까지 조절하였다. 균일하게 혼합된 시료를 외경 7 mm, 내경 3 mm인 torroid형태의 금형을 사용하여 5 mm 두께로 동축형 시편을 제작하였다. 성형시 혼합분말과 금형의 벽면간에 작용하는 마찰과 접착을 방지하기 위해서 금형의 벽면에 이형제를 발라준 후 성형하였다. 미분쇄된 Mn-Zn ferrite 분말의 결정구조는 XRD (X-Ray Diffractometry)를 이용하여 분석하였고, 평균 입경은 Fritsch Particle Sizer Analysette 22 장비로 측정하였다. 본 연구에서 사용한 Mn-Zn ferrite의 평균입경은 7.9 μm로 측정되었다. 형상불량의 Mn-Zn ferrite의 자기적 성질은 시료진동형자력계(VSM)를 이용하여 자화값(magnetization)과 항자력(coercivity)을 측정하였다. 전파흡수체 시편의 재료정수인 복소유전율(complex permittivity)과 복소투자율(complex permeability)은 Hewlett-Packard사의 85107A Network analyzer를 사용하여 동축관(내경 3 mm, 외경 7 mm, 길이 100 mm)에 측정용 시편을 삽입하고 시편뒷면을 단락 한 후 100 MHz~6 GHz 주파수 대역에서 S-parameter를 측정하는 동축선법[5]을 사용하였다. S-parameter로부터 재료정수를 계산하여 반사감쇠량(Reflection loss, dB)을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

자성손실재료인 Mn-Zn ferrite의 결정구조를 분석하기 위한 XRD 측정한 결과를 Fig. 1 에 나타내었다. X-선 회절상을 JCPDS Standard File과 비교한 결과

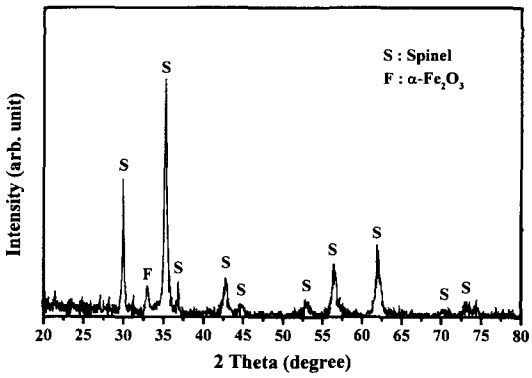

Fig. 1. XRD pattern of the wasted Mn-Zn ferrite powder.

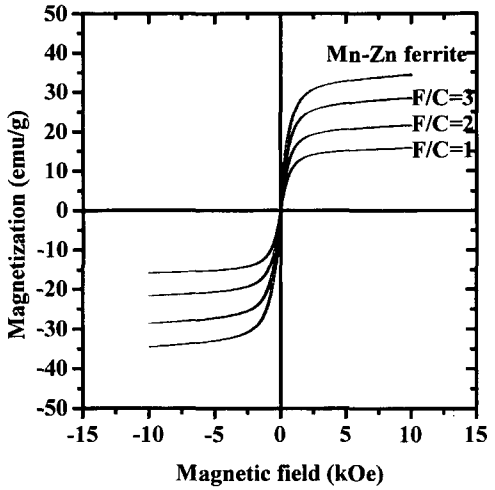

Fig. 2. M-H hysteresis curve of the microwave absorbers with various F/C ratios.

Spinel상과 α-Fe_2O_3의 회절상이 나타났다. Spinel상은 Fe_2O_3를 주성분으로 32개의 산소이온이 면심입방구조(BCC)를 이루고 금속 양이온이 면심입방구조의 8면체 자리(octahedral site)와 4면체 자리(tetrahedral site)에 고용되어 금속 양이온들의 spin moment가 산소이온의 p 궤도를 통한 초교환상호작용(superexchange)에 의해 준강자성(ferrimagnetism)을 가지는 구조로 ferrite의 자기적 성질의 기원이 된다. 본 연구에서 사용한 Mn-Zn ferrite 폐기물은 자발자화를 가지고 있지 않는 2차상인 α-Fe_2O_3가 혼재되어 초투자율(initial permeability)이 감소할 것으로 예상된다.[6]

Fig. 2 는 평균입경 7.9 μm의 Mn-Zn ferrite 분말과 F/C를 1에서 3까지 조절한 시편을 시료진동형자력계로 측정한 M-H 이력곡선을 나타낸 것으로 Mn-Zn ferrite 분말의 포화자화는 34.2 emu/g이고, 항자력은 66.2 Oe를 나타내었다. 지지재인 시멘트와 혼합한 시편은 F/C의 증가에 비례하여 포화자화는 증가하나, 항자력은 Mn-Zn ferrite 분말과 같은 값을 나타내고 있다. 이러한 값들은 Mn-Zn ferrite bulk상에서 나타나는 자기적 성질과 비교하여 포화자화는 작고, 보자력은 큰 것으로 이러한 경향은 저손실 및 고투자율용 Mn-Zn ferrite가 혼합된 조성과 Mn-Zn ferrite의 미분쇄에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 3(a), (b) 는 본 실험에서 지지재(matrix)로 사용한 시멘트와 F/C를 1에서 3까지 조절한 시편의 복소유전율을 측정한 결과이다. Fig. 3(a) 에서 시멘트의 경우 ε_r'는 100 MHz에서 9.3으로부터 감소하여 2 GHz이상의

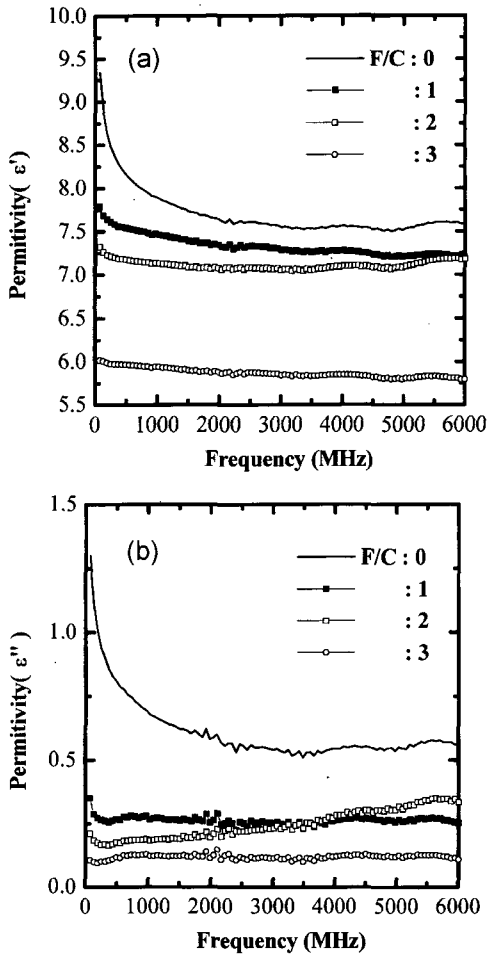

Fig. 3. Real and imaginary parts of permitivity for microwave absorber specimens. (a) Real parts of permitivity, (b) Imaginary parts of permitivity

주파수에서 7.6 정도의 일정한 값을 나타내고 있다. Fig. 3(b) 에서 ε_r"는 100 MHz에서 1.3으로부터 2 GHz 이상이상의 주파수에서 0.6 정도를 나타내고 있다. 지지재로 사용된 시멘트는 일반적인 복합전파흡수체의 지지재로 사용되고있는 실리콘 고무의 복소유전율(μ_r'=2.8, μ_r"=0)에 비해 매우 큰 복소유전율을 가지고 있어 시멘트에 의한 유전손실 tanε($=\varepsilon_r"/\varepsilon_r'$)이 존재할 것으로 판단된다. Fig. 3 에서 복소유전율은 ferrite를 혼합함에 따라 시멘트의 복소유전율보다 작은 값을 가지고, F/C 증가에 반비례하여 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 시멘트보다 유전율이 작은 Mn-Zn ferrite의 혼합비가 증가함에 따라 나타나는 현상으로 사료된다.

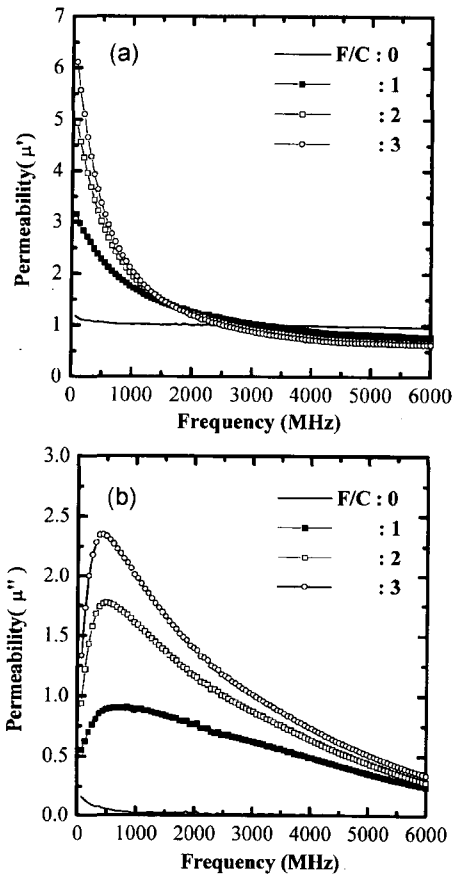

Fig. 4. Real and imaginary parts of permeability for microwave absorber specimens. (a) Real parts of permeability (b) Imaginary parts of permeability

Fig. 4(a), (b) 에 나타난 시멘트의 복소투자율은 실수부가 1, 허수부가 0 으로 전파흡수체의 자성 손실에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. F/C의 증가에 따라 투자율의 실수부는 1.5 GHz이하의 주파수에서는 혼합비가 클수록 작은 값을 나타내지만, 주파수의 증가에 따라 급격한 감소가 발생하여 그 이상의 주파수에서는 혼합비와 무관하게 1 이하의 작은 값을 나타내고 있다. 투자율의 허수부는 480 MHz 까지 증가하여 최대값을 가지고 그이상의 주파수 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내고, Mn-Zn ferrite 혼합비가 클수록 큰 값을 나타내고 있다. 이상의 재료정수에 대한 결과로부터 투자율의 허수부(μ'')가 특정주파수에서 최대값을 가진 후 감소하고, 투자율의 실수부(μ')는 연속적인 감소가 발생하고 있다. 복소유전율을 고려한 유전손실과 복소투자율을 고려한 자성손실tanδ(= μ''/μ')을 검토하면 지지재인 시멘트만을 사용한 시편에서는 유전손실에 의한 전파흡수특성을 가지고, ferrite를 혼합한 시편에서는 자성손실에 의한 전파흡수특성이 발생할 것으로 판단된다.

Mn-Zn ferrite 폐기물을 시멘트와 혼합한 복합전파흡수체의 재료정수로부터 반사감쇠량(Reflection loss)의 계산은 다음과 같다.[7] 우선 전파흡수체 표면의 규격화 입력임피던스(Z_{in}) 및 반사계수(Γ)는 아래의 식(1)와 (2)와 같고,

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \tanh\left(j\frac{2\pi d}{\lambda}\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}\right) \quad (1)$$

$$\Gamma = \frac{Z_{in}-1}{Z_{in}+1} \quad (2)$$

여기서 Z_{in} : 규격화 입력임피던스
μ_r : 복소 투자율 ($\mu_r'-j\mu_r''$)
ε_r : 복소 유전율 ($\varepsilon_r'-j\varepsilon_r''$)
d : 전파흡수체 두께
λ : 자유공간에서의 파장
Γ : 반사계수

입사된 전자파가 반사되지 않고 모두 전파흡수체에 흡수되기 위한 조건인 무반사조건(Γ=0)을 만족하기 위한 규격화 임피던스의 정합조건[7]은

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} = \tanh\left(j\frac{2\pi d}{\lambda}\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}\right) = 1 \quad (3)$$

식 (3)과 같다. 따라서 μ_r', μ_r'', ε_r', ε_r'', d, λ등의 변수들을 적절히 제어하여 전파흡수체를 설계하고 제조할 경우 우수한 전파흡수특성을 얻을 수 있다. 자유공간과 전파흡수체의 경계면에서의 반사감쇠량은 아래의 식(4)에 의하여 계산된다.[8]

$$\textit{Reflection loss}(\mathrm{dB}) = 20\log\left|\frac{Z_{in}-1}{Z_{in}+1}\right| \quad (4)$$

측정된 복소투자율과 복소유전율은 물질의 고유특성이므로 시편의 두께가 결정되면 일정 주파수에서 반사 감쇠량이 결정된다. 따라서 복소투자율과 복소유전율을 특정 조건에서 측정하여 시편의 모든 두께에서 반사감쇠량을 구할 수 있다.[9]

Fig. 5 는 100 MHz에서 6 GHz 범위의 주파수에서 측정된 재료정수를 식(4)에 대입하여 계산한 반사감쇠량이다. 측정 주파수에서 최대반사감쇠량이 나타나는 두께를 규격화임피던스의 정합조건에 부합되는 정합두께

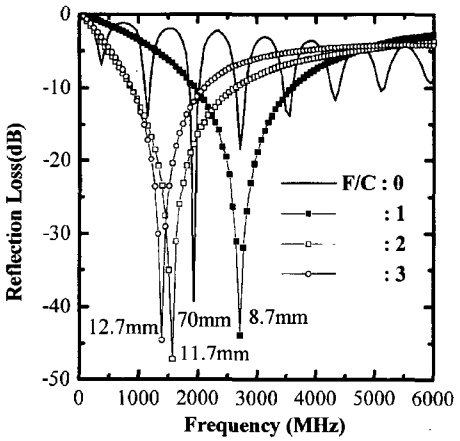

Fig. 5. The reflection loss of wasted Mn-Zn ferrite-cement composite microwave absorber with various F/C ratio.

로 규정하여 주파수에 따른 반사감쇠량의 변화를 나타내었다. F/C가 1인 8.7 mm시편의 경우 2.7 GHz에서 -44 dB이고, F/C가 2인 11.7 mm시편에서는 1.6 GHz에서 -47 dB이다. F/C가 3인 12.7 mm시편의 경우 1.3 GHz에서 -45 dB의 반사감쇠량이 나타나고 있다. 따라서 F/C의 증가에 따라 정합주파수는 낮은 영역으로 이동하고, 정합두께는 증가하는 경향을 보이고 있다. 시멘트만 사용한 시편의 경우 1.9 GHz에서 -39 dB의 반사감쇠량이 나타나고 주파수에 대하여 주기적인 피크(peak)들이 관찰되나 시편의 두께가 70 mm로 매우 두껍고 -20 dB이상의 주파수 대역이 매우 좁은 특징이 나타나고 있다. 시멘트의 반사감쇠량은 Fig. 3 에 나타난 바와 같이 큰 복소유전율에 기인한 것으로 판단된다.

4. 결 론

Mn-Zn ferrite 폐기물을 일반 건축용 시멘트와 혼합한 복합전파흡수체를 제작하여 재료정수 및 전파흡수능을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지지재로 사용한 시멘트는 복소투자율은 거의 없으나 큰 복소유전율을 지니고 있어 유전손실에 의한 전파흡수가 발생한다.
2. F/C의 증가에 따라 복소유전율은 감소하고 복소투자율은 증가하는 것은 F/C의 제어에 의하여 정합주파수와 정합두께의 조절이 가능하다고 판단된다.
3. F/C를 1에서 3으로 조절한 결과 -40 dB 이상의 반사감쇠량을 나타내는 8.7~12.7 mm 시편두께, 1.3~2.7 GHz의 주파수를 UHF대역(0.3~3 GHz)용 전파흡수체의 제조가 가능함을 확인하였다.

참고문헌

1. 清水康敬, 西方敦博, 木松一 : "ゴム カ-ボン シ-トによるレ-ダ電波障害對策用 吸收體", 電子通信學會 技術研究報告, EMCJ84(16), 1-8, 일본 (1984).
2. 內藤喜之, 原忠 -武者利光 : "フェライト損失の特性", 電子通信學會 論文誌, 53-C(9), 631-638 (1970).
3. 清水康敬, 末武國弘 : "誘電性損失材料 による 實用的 廣帶域 電波吸收體壁", 電子通信學會 論文誌, 53-B(9), 143-150 (1970).
4. Y. Naito and K. Suetake : "Application of ferrite to electromagnetic wave absorber and its characteristics", IEEE, MTT-19, 1, 65-72 (1971).
5. William B. Weir : "Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies", Proc. of the IEEE, 62(1), 33-36 (1974).
6. 德江哲夫, 石野健 : "HF~VHF帶用 フエライトの燒結條件と磁氣特性の關係", 電子通信學會 論文誌, 52-C(6), 299-304 (1969).
7. 內藤喜之 : "電波吸收體", 58-76, オ-ム社, 東京, 일본 (1987).
8. 乾哲司 : "電波吸收體", , エレクトロニク セラミクス, 冬號, 18-24 (1985).
9. 신재영, 오재희 : 복합 ferroxplana 전파흡추체의 재료정수와 전파흡수 특성, 한국자기학회지, 1(2), 49-54 (1991).

趙 完 植

- 충남대학교 재료공학과 졸업
- 충남대학교 공학박사
- 충남대학교 고기능성자성재료연구센터 전임연구원

金 鍾 悟

- 서울대학교 물리학과 졸업
- 일본 東北대학교 공학박사
- 충남대학교 신소재공학부 교수
- 한국재료학회 회장(현)
- 충남대학교 고기능성자성재료연구센터 소장(현)