

## 자성 페라이트 용사피막의 전자파 차폐 특성

정 태 식\* · 김 태 형\* · 박 경 채\*

\*경북대학교 금속공학과

### Electromagnetic Wave Shield Characteristics of Thermal Sprayed Ferrite Coatings

Tae-Sik Jung\*, Tae-Hyung Kim\* and Kyeong-Chae Park\*

\*Dept. of Metallurgical Engineering, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

#### Abstract

In these days, many advanced nations have enforced import restrictions against things emitting electromagnetic wave which has report that it is so harmful.

In general, electromagnetic wave is composed of electric wave and magnetic wave. The reflection of electromagnetic wave is mainly reflected by conductive materials and the magnetism loss is generated by magnetic ferrite. The magnetism loss of ferrite is separated by eddy current loss, residual magnetism loss and hysteresis loss.

Thermal sprayed coating is intended to manufacture because of simple processes and high efficient electromagnetic wave shielding.

The high efficient thermal sprayed coatings were made from the magnetic ferrite materials that characterizes absorption of electromagnetic wave, and the electric conductive materials that characterize emitting of electromagnetic wave.

This study was manufactured thermal sprayed coatings to improve absorption-efficiency, and measured the electromagnetic wave shielding efficiency. As the experimental results, high electromagnetic wave shield efficiency was obtained at wave frequency 2GHz to thermal sprayed ferrite coatings manufactured by size distribution range of thermal spray powders, 38~88 $\mu$ m.

(Received September 21, 2001)

Key Words : Thermal spray, Electromagnetic wave, Magnetic ferrite, Shielding efficiency, Residual magnetism loss, Heat treatment

#### 1. 서 론

최근 디지털 전자공학의 발달로 전자제품에서 발생되는 전자파가 급격히 증가하고 있다. 또한 제품의 경량화를 목적으로 하는 하우징 재료로 전자파 차폐기능이 없는 비전도성 재료인 플라스틱을 사용함에 따라 전자파 간섭이 심각한 문제로 대두되고 있다<sup>1)</sup>. 그리고 전자파가 인체에 해로운 영향을 미친다는 학계의 연구보고서도 점차 증가되고 있는 추세이다.

여러 선행 연구에 의해서 전기·전자제품의 전자파 발생에 대한 규제가 점차 강화되고 있다. 선진국에서는 1996년부터 전자파 규제(EMC)를 실시하고 있으며 점차 그 규제의 폭이 넓어지고 있고, 또한 자국제품의 시

장확대를 위하여 전자파 규제를 통한 전자제품 등의 수입규제 조치도 상당수 시행하고 있다. 따라서 우리 산업체에서도 전자파 차폐기술 개발에 고심하고 있는 실정이다. 특히 개인 휴대 전화의 전자파 외부누출로 인한 문제를 해결하기 위해 전자파의 차폐 및 흡수를 위한 재료개발이 절실히 요구된다. 이러한 시대적·사회적 요구에 의해 전자파 차폐기술이 개발되고 있다.

현재 국내·외에서 연구되고 있는 전자파 차폐를 위한 방법은 금속의 도전성을 이용하여 전자파를 반사시키는 방법과 자성재료를 수지와 혼합하여 성형하는 방법이 주로 사용되고 있으나 도전성을 이용한 방법은 전자파를 소멸시키지 않고 단순히 반사시키는 메카니즘이므로 그 한계가 있고 페라이트를 수지와 혼합하여 사용

하는 경우는 전자파 차폐효율이 수지의 양과 관계가 있으며 사용되는 자성재료의 직경이 수 나노미터(nm)크기로 아주 미세한 분말을 사용하기 때문에 분말제조가 어렵고 고가의 제조비가 문제되고 있다. 이와 같이 국내·외에서 전자파 차폐를 위한 기술을 개발중이나 각각의 장단점이 있다. 특히, 국내에서는 선진국에서 개발된 내용을 보완하는 정도에 그치고 있으며, 전자파 차폐 효율을 측정하기 위한 측정기술이 개발된지도 채지 몇 년이 지나지 않고 있다<sup>2,3)</sup>.

전자파는 전기파와 자기파의 형태로 존재하며 주로 도전성 금속에 의해 반사가 되고 자성 페라이트에 의해 자기손실이 발생하여 감쇠된다. 페라이트의 자기손실은 와전류손실, 공진현상에 의한 잔류손실, 외부자장에 의한 이력손실로 구분할 수 있다<sup>8)</sup>.

따라서 본 연구에서는 유전율과 투자율을 고려하여 전자파 흡수/감쇠 능이 우수한 것으로 알려진 자성페라이트를 이용하여<sup>4-7)</sup> 용사에 의한 공정으로 전자파 차폐효율이 우수한 피막을 제조하였고, 그 특성을 고찰하였다<sup>9-11)</sup>.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 크게 페라이트 분말을 용사에 적절한 분말로 만들기 위한 실험과 이를 통해 페라이트 전자파 흡수피막을 제조하는 실험, 또 이 피막의 여러 가지 물리적 성질을 알아보기 위한 실험, 마지막으로 열처리 전후의 전자파 차폐효율을 측정하기 위한 실험으로 이루어졌다.

모재는 일반적으로 가전 제품의 하우징 재료로 쓰고 있는 냉연 강판을 사용하였고 화학조성은 Table 1과 같다. 모재의 두께는 0.7 mm의 박판을 사용하였다. 또 본 실험에서 사용한 페라이트분말의 조성은 Table 2와 같다. Table 2와 같은 조성의 분말은 현재 용사에

**Table 1** Chemical compositions of base metal (wt.%)

Element	C	Mn	P	S	Ti	Fe
Composition	0.003	0.05	0.009	0.006	0.042	bal.

**Table 2** Chemical compositions of ferrite powders (wt.%)

Element	Ba	Sr	Fe	Si	Ca	Oxy
Composition	0.10	8.60	61.29	0.46	0.47	bal.

적절한 입도로 생산되고 있지 않으므로 직경 3~4mm의 소결페라이트를 이용하여 용사분말로 제조하였다. 본 실험에서는 적절한 용사분말을 제조하기 위해 불밀장치를 이용하였다. 또 분말간의 마찰에 의해 과도한 힘의 발생으로 분말이 예리하게 파쇄되는 것을 막기 위해 메틸 알콜을 넣었다. 이리하여 분말의 형상을 SEM으로 관찰하였고, 페라이트 용사분말의 성분원소 분포를 알아보기 위해 EPMA분석을 하였다. 그리고 불밀링 후의 상의 변화를 확인해보기 위해 XRD시험을 하였다. 유동도 측정은 ASTM B213-90에 의한 hall flow-meter(ALCAN POWDER AND PIGMENTS)를 이용하여 측정하였다.

본 연구에서는 전자파 차폐용 용사피막 제작 시의 변수로 분말의 입도를 조정하여 시행하였다. 즉 전자파 흡수피막의 기공율에 따른 전자파 흡수특성을 알아보기 위해 분말의 입도를 제어하여 각각 38~88 $\mu$ m, 88~106 $\mu$ m로 분급하여 용사를 행하였으며 피막의 각종 물성 및 차폐특성을 측정하였다. 용사기는 METCO사의 5P-II의 화염 용사건을 사용하였고 이때의 용사조건은 Table 3과 같다.

전자파 차폐피막의 미세조직은 피막의 표면을 1mm 제거한 후 0.3 $\mu$ m의 알루미늄 분말로 연마한 피막의 표면을 SEM을 통해 관찰하였다. 기공율은 image analyzer를 이용하여 측정하였고 측정장치의 사양은 Media-cybernetics : materials proanalyzer-V3.0을 사용하였다.

용사층의 성분 분석을 위해 EDX분석을 행하였으며, 용사피막의 상 분석을 위해 용사피막에 대해 X-선 회절시험을 행하였다. X-선 회절시험은 Cu target, 가속 전압 30kV, scan speed 4°/min, 2 $\theta$ 는 20~80°의 조건이었다. 그리고 시편의 성분원소들이 균질화 되도록 1100 °C에서 4시간 열처리를 하였다. 열처리한 시편과 열처리하지 않은 시편의 조직을 광학현미경으로 관찰하고 각각의 성분원소의 분포를 알아보기 위해 EPMA를 통해 면분석을 행하였다. 그리고 열처리 전후

**Table 3** Conditions of thermal spray

Spray gun	Metco 5P-II	
Flow meter pressure (psi)	Oxy.	40
	Acet.	40
Spray distance (mm)	120	
Spray angle (°)	90	
Feed rate indicator (g/min)	76	
Flow control valve	20	
Powder size range ( $\mu$ m)	38~88	
	88~106	

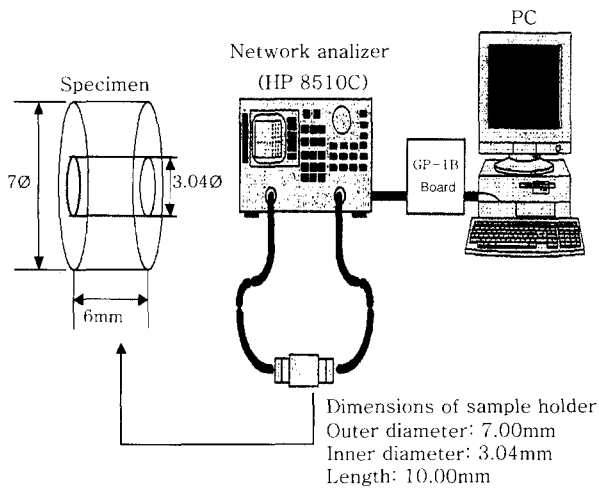


Fig. 1 Experimental set-ups for the measurements of RAM(Radar Absorbing Material)'s properties, physical dimensions and shape of sample

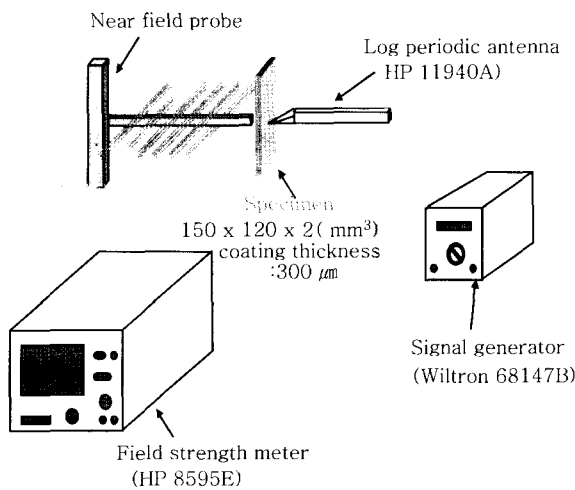


Fig. 2 Schematic of measuring the shielding efficient properties

의 전자파 차폐효율을 측정 비교하였다.

본 실험에서 전자파 차폐효율을 측정하기 위해 두가지 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법으로 S-parameter 법을 이용하여 측정하였다<sup>12,13)</sup>. 이 경우에 사용한 전자파 흡수능 측정장치 및 회로망 시험기에 장착하는 시편의 모식도를 Fig. 1에 나타내었다<sup>14)</sup>.

그리고 두 번째 방법의 전자파 차폐 측정 장치는 Fig. 2와 같다. 이 경우에는 용사한 자성재료의 물질상수를 구하여 전자파 차폐효율을 구하였다. 여기서는 용사 시 기공율에 따른 전자파 차폐효율을 비교검토하기 위해 모재인 Ti-1F강판에 용사를 한 후 전자파 차폐 측정실험을 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 용사 분말의 특성

용사에 적절한 입도의 분말을 만들기 위해 볼밀 장치를 이용하여 30분 동안 볼밀을 행하였고, 볼밀 전후의 분말의 형상을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3과 같이

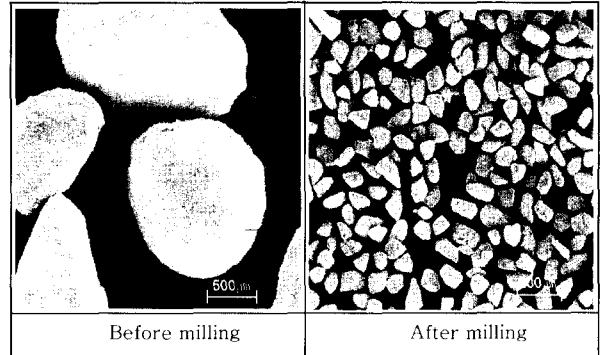


Fig. 3 Morphology of ball-milled powders

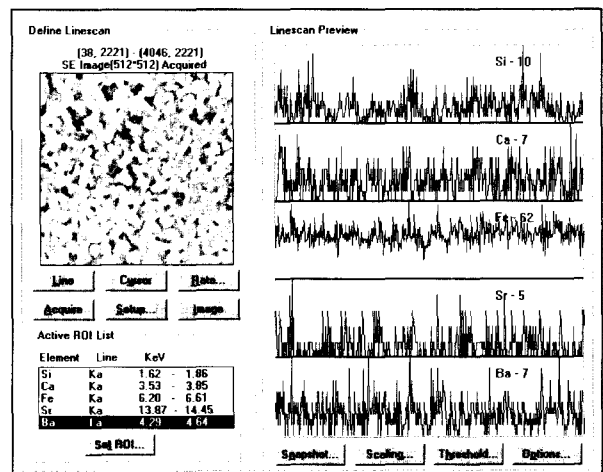


Fig. 4 EPMA analysis of ball milled powders

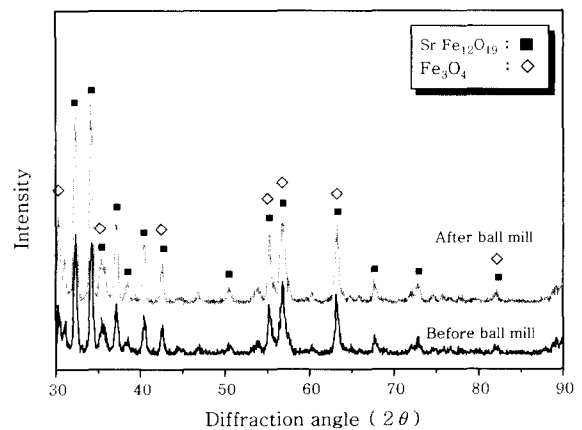


Fig. 5 XRD analysis of ferrite powders

불밀 후의 분말의 입도가 100 $\mu\text{m}$ 내외의 거의 구상형태로서 용사에 적합하였다. Fig. 4는 용사 분말의 EPMA분석 결과이다. Fig. 5는 페라이트 분말의 불밀 전후의 XRD분석을 한 결과이다. 여기서 용사 분말의 각 성분은 입자 내에 골고루 잘 분포되어 있으며, 불밀 전후의 상의 변화가 없음을 알 수 있다. 그리고 분말의 유동도 측정결과 5.5~6.5g/sec로 용사에 적합한 유동도를 나타내었다.

### 3.2 용사 피막의 특성

용사 피막의 XRD분석 결과는 Fig. 6과 같다. 페라이트 용사 분말의 용사 후 상변화를 알아보기 위해 Fig. 5와 6을 비교하면 용사 분말은 용사해도 상의 변화가 없이  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 와  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 의 2상이 나타났다. 용사 분말의 입도에 따른 용사 피막의 미세조직은 Fig. 7과 같다. 그리고 용사 피막의 기공률 측정 결과는 Fig. 8과 같다. 여기서 분말의 입도가 커질수록 기공률이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 입도가 38~88 $\mu\text{m}$ 의 경우 입자가 완전 용융되어 모재와의 젖음성이 좋아서 스플랫(splat)이 얇고 긴밀하게 접합되었고, 용사분

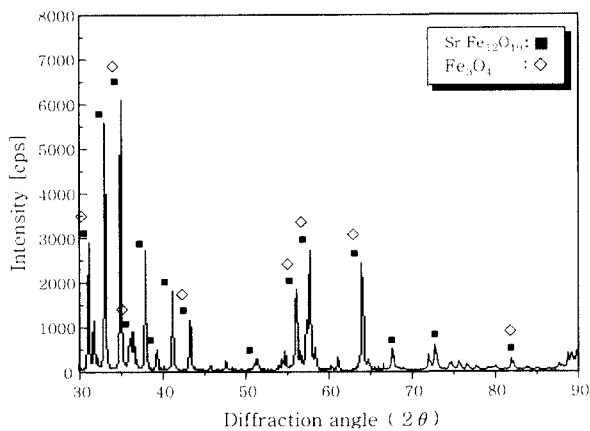


Fig. 6 XRD analysis of thermal sprayed coatings

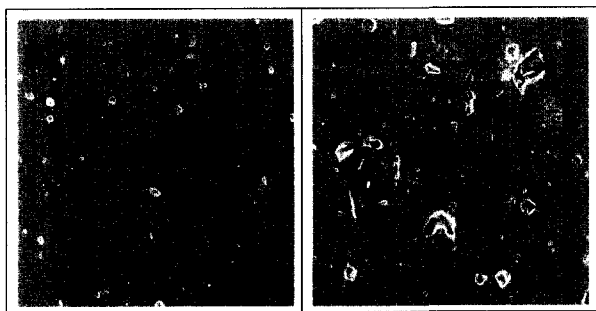


Fig. 7 Microstructures of thermal spray coatings on powder size distribution range : a) 38~88  $\mu\text{m}$ , b) 88~106 $\mu\text{m}$

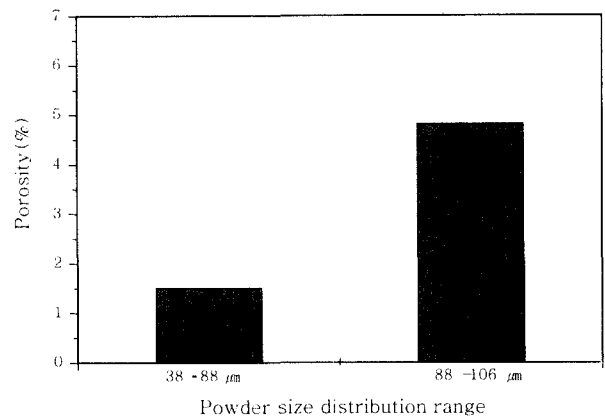


Fig. 8 Porosity ratio of thermal sprayed coatings

말의 입도가 88~106  $\mu\text{m}$ 의 경우에는 일부 팬케익 형태의 스플랫과 미용융 입자가 일부 용융된 입자에 둘러싸여 용사되었기 때문으로 판단된다.

### 3.3 용사 피막의 전자파 차폐 특성

본 실험에서 목표로 정한 휴대전화기 및 가전제품에

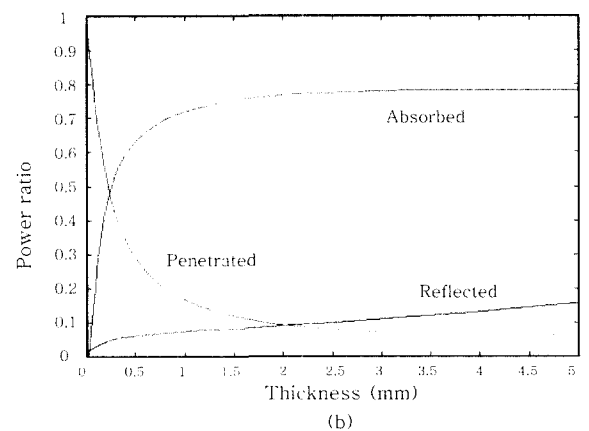
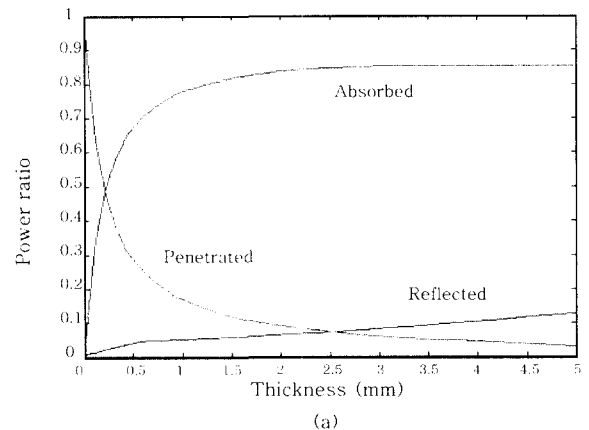


Fig. 9 Power ratio on coating thickness at electromagnetic wave 2GHz on powder size distribution range (a) 38~88 $\mu\text{m}$ , (b) 88~106 $\mu\text{m}$

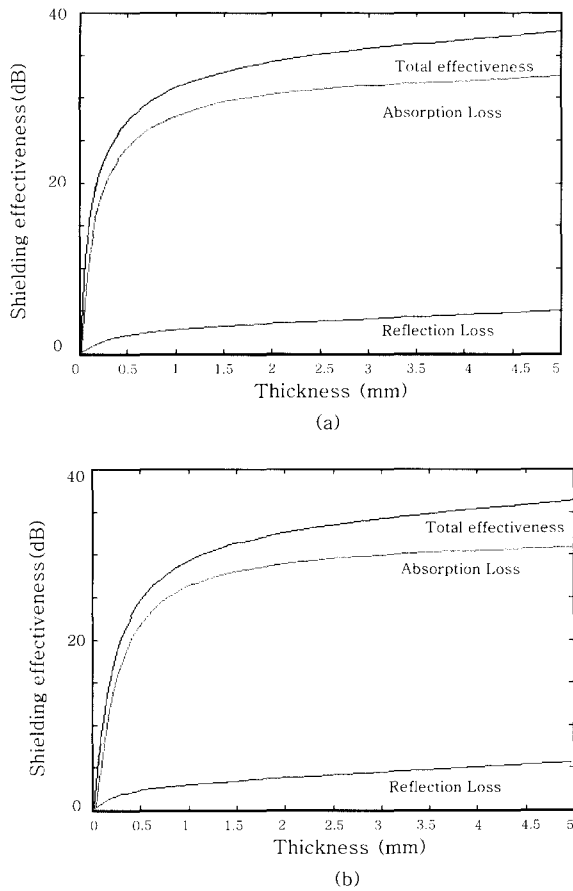


Fig. 10 Shielding effectiveness on coating thickness at electromagnetic wave 2GHz on powder size distribution range (a) 38~88 $\mu$ m, (b) 88~106 $\mu$ m/106 $\mu$ m

서 발생하는 전자파의 주파수중 1.5GHz에서 2.5 GHz 대역범위에서 투자율 측정결과 2GHz대역에서 전자파 차폐효율이 가장 우수할 것으로 예상된다<sup>15,16)</sup>. 따라서 2GHz대역에서 코팅 두께에 따른 전자파 차폐효율 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 이는 입사전력을 1로 하였을 때 흡수된 전력과 반사된 전력(다중반사 포함) 그리고 투과된 전력의 비를 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있듯이 기공율이 4.8%인 경우보다 기공율이 낮은 1.5%인 경우가 우수한 결과를 나타내었다. Fig. 9의 결과를 용사피막의 전자파 차폐효율로 나타내면 Fig. 10과 같다. Fig. 9와 Fig. 10에서의 결과와 같이 자성 페라이트 소결분말을 이용하여 적절한 유동도와 입도를 제어한 용사분말을 제조한 후 용사공정을 통하여 피막을 제조한 결과 전자파 차폐효율이 30~40 dB인 우수한 전자파 차폐효율을 얻을 수 있었다. Fig. 11은 용사피막 5mm의 경우 용사분말의 입도에 따른 전자파 차폐효율을 각각의 차폐 요소별로 나누어 비교한 결과이다. 여기서 알 수 있듯이 용사입자 크기 및 기공율에

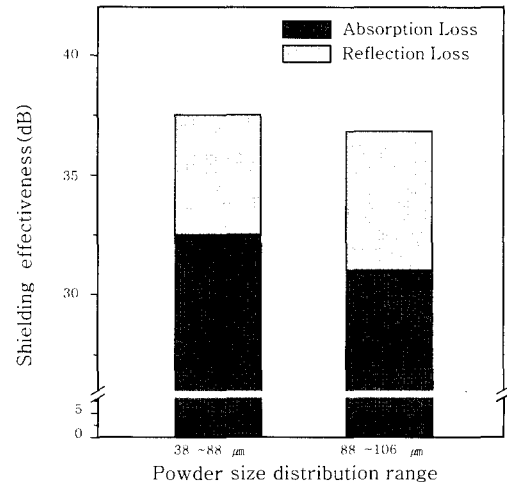


Fig. 11 Shielding effectiveness of coatings at electromagnetic wave 2GHz according to powder size distribution range on coating thickness 5mm

관계없이 용사피막의 전자파 차폐효율의 주된 기구는 흡수손실이고 반사손실은 작은 영향을 나타내고 있다. 그러나 기공율이 낮은 용사 입자가 작은 경우는 기공율이 높고 용사입자가 큰 경우 보다 흡수손실이 큰 반면 반사손실은 작았다. 이것은 용사피막의 기공은 반사손실을 높이고 용사분말의 미세는 흡수손실을 높이는 것으로 판단되어 진다. 이는 기공이 반자계 효과 (demagnetization effect)를 가져오며, 전기저항이 증가하여 와전류손실이 낮아지고 복소투자율도 낮아지기 때문인 것으로 사료된다<sup>17,18)</sup>.

### 3.4 용사 피막의 열처리에 따른 전자파 차폐 특성

전자파 차폐피막의 XRD분석결과 SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 2가지 형태의 상이 나타났다. 이러한 상이 어떻게 분포하고 있는지를 알아보기 위해 광학현미경을 이용하여 조직관찰을 하였다. Fig. 12은 용사피막의 열처리 전후의 조직관찰 결과를 나타내었다. 열처리 전의 시편



Fig. 12 Microstructures of shield coatings at powder size distribution range 38~88 $\mu$ m (a) as spray, (b) after heat treatment

은 흰부분으로 나타나는 조직과 검은 부분의 조직이 각각 층을 이루고 있고, 열처리한 시편은 균일한 형태의 조직이 나타났으며 기공이 분포된 전형적인 소결조직과 유사한 형태의 조직이 관찰되었다. 이는 열처리 시 각각의 성분들의 확산에 의한 결과로 사료된다.

각 성분원소들의 분포를 알아보기 위해 EDX를 통한 면분석을 실시하였다. 면분석 결과는 Fig. 13에 나타내었다. Fig. 13에서와 같이 각각의 성분원소들이 열처리 전과 열처리 후에 그 분포가 다르게 나타났다. 열처리 전은 기공도 많고 Sr분포가 불균일하나, 열처리 후에는 기공도 적어지고 Sr분포도 고르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 미세조직이 전자파 차폐효율에 미치는 영향을 알아보기 위해 각각의 시편을 Fig. 2의 장치를 이용하여 상대적인 전자파 차폐효율을 측정하였다. 측정결과는 Fig. 14와 같다. 열처리 전의 피막에 비해 열처리 후의 피막이 전자파 차폐효율이 우수하였

다. 그 이유는 위에서 언급했듯이 피막의 조성이 균일하고 전자파 차폐효율이 우수한 것으로 나타난 SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>상이 전체적으로 고르게 분포하고 있기 때문으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 용사 후 열처리를 통하여 SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>상이 골고루 분포하는 피막을 제조하는 것이 우수한 전자파 차폐피막을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자성페라이트 중 Sr이 함유된 소결 페라이트를 볼필법에 의하여 용사에 적절한 용사분말로 제조한 후 화염 용사법으로 전자파 차폐피막을 제작하였다. 그리고 페라이트 분말의 용사 시 분말의 입도가 기공율에 미치는 영향을 알아보기 위해 분말을 각각 38~88 $\mu$ m, 88~106 $\mu$ m로 제조하여 용사를 한 후 기공율을 측정하였고, 이것이 전자파 차폐에 미치는 영향을 분석하였다. 또 열처리에 따른 용사피막의 전자파 차폐 특성을 알아보기 위해 열처리 전후의 용사피막에 대한 미세 조직 관찰, 성분 분석, 전자파 차폐 시험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 페라이트 용사분말의 입도에 따른 피막의 기공율 및 미세조직관찰에서 분말의 입도가 작을수록 피막의 기공율이 작음을 알 수 있었다.
- 2) 전자파 반사손실은 기공율이 클 때 더 많은 것으로 나타나고, 전자파 흡수손실은 기공율이 작을 때 더 많은 것으로 나타났다.
- 3) 용사피막의 전자파 흡수/차폐특성은 기공율이 작은 38~88  $\mu$ m 입도범위의 용사분말이 우수한 결과를 나타내었다. 이는 기공이 반자계 효과(demagnetization effect)를 가져오며, 전기저항이 증가하여 와전류손실이 낮아지고 복소투자율도 낮아지기 때문인 것으로 사료된다.
- 4) 열처리 한 용사피막은 미세조직의 균질화로 열처리 전의 용사피막보다 전자파 차폐효율이 더 우수하게 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 山下 博司, 小野 信幸, 橋本 康雄, 石 野建, 井上 光雄, 秋田 慶 : 日本電子通信學會誌, 61-B(1978), 729 (in Japanese)
2. KISTI Homepage (<http://www.kisti.re.kr>) : Foreign Science Technology Trend, Electro-wave Technology (in Korean)
3. Korea Research Institute of Standard and Science : Electro-wave Shielding / Absorption Ability Composition Material's Capacity Valuation Technology (1994)

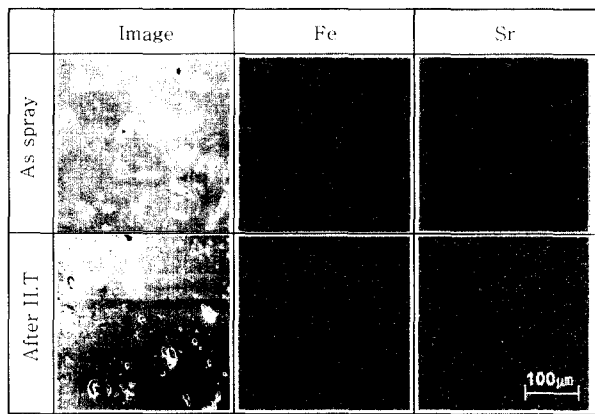


Fig. 13 EDX analysis of shield coatings according to heat treatment of coatings made at powder size distribution range 38~88 $\mu$ m

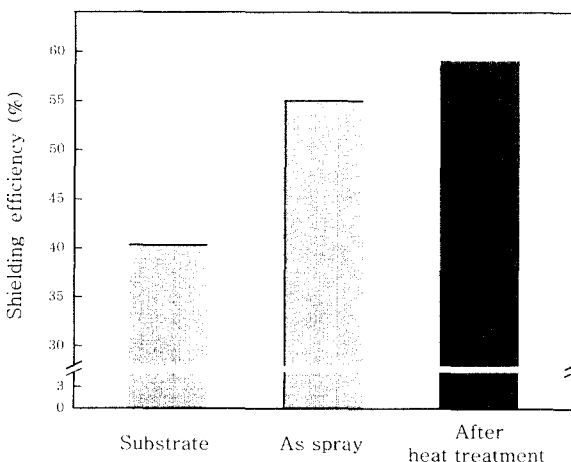


Fig. 14 Shielding efficiency according to heat treatment of coatings made at powder size distribution range 38~88 $\mu$ m

- 45-48 (in Korean)
4. 日本經濟産業新聞, 97. 2월 14일자 (in Japanese)
  5. Krishan K. Chawla : Composite Materials-science and engineering (1998), 86
  6. 石野建, 電波吸收體로의 適用, 工業材料, **36-4** (1990), 55-60 (in Japanese)
  7. 김영희 편저 : 자기 및 자성재료 (1997), 241 (in Korean)
  8. B. Wielage, S. Steinhäuser : Manufacture and properties of composite coatings, J. of thermal spray technology, **8**, 512-516
  9. Analysis of Electro-magnetic Wave Shielding Effectiveness by Conductivity Metal Coating's Electricity Conduction. Material Research Society of Korea, **9-9** (1999), 913-917(in Korean)
  10. J. W. Joung and W. J. Lee : Microstructure and absorbing properties of electromagnetic wave of Cu-Ni-Zn ferrite, Materials research society of Korea, **5-5** (1995), 512-517 (in Korean)
  11. Perambur S. Neelakanta : Handbook of electro-magnetic materials (1995), 447
  12. B. M. Yang, E. S. Byon and K. C. Park : Thermal sprayed AlSiMg/TiC composite coatings, Journal of KWS, **18-5** (2000), 98-111 (in Korean)
  13. A.M. Nicolson and G. F. Ross : Measurement of the intrinsic property of materials by time-domain techniques, IEEE Trans, IM-**19-4**, (1970), 377-382
  14. H. B. Sequerra, Technical Report TR89-83, Martin Marietta Lab, (1989)
  15. Barium M-type Ferrite as an Electromagnetic microwave absorber in the GHz range, Material Trans. JIM, **39-10** (1998), 1080-1083
  16. R. C. Zowarka, J. R. Uglum, J. L. Bacon, M. D. Driga, R. L. Sledge, and D. G. Davis: Electromagnetic Powder Deposition Experiments, IEEE Trans. on Mag. **35-1** (1999), 268-273
  17. Y. Naito, K. Suetake: Application of ferrite to electromagnetic wave absorber and its characteristics, IEEE Trans, Microwave theory & Tech, **19-1** (1971), 65-72
  18. H. Ota, M. Kimura, and R. Sato: M-type Ferrite composite as a microwave absorber with wide bandwidth in the GHz range: IEEE Trans on magnetics, **35-5** (1999), 3154-3156