

## Long-shape aperture 를 갖는 구조물의 Electronic Shielding Effectiveness 연구

허 유\* (경희대 기계.산업시스템공학부), 김민호 (경희대 대학원 기계공학과)  
김인석 (경희대 전자정보공학부), 백영남 (경희대 기계.산업시스템 공학부)

### Electronic Shielding Effectiveness of the Structure with Long-shape Aperture

Y. Huh(Mech. & Ind. Systems Eng., College., KHU), M.H. Kim(Mechanical Eng. Dept., Graduate school, KHU)  
I.S. Kim(Electronics & Information, College, KHU), Y.N. Paik(Mech. & Ind. Systems Eng., College, KHU)

#### ABSTRACT

Wide spread using of mobile and handy electronic apparatus is giving rise to a question on the harmfulness of health and causing troubles when electrical and electronic equipments are in use. This paper reports on the experimental results obtained by using a pliable and structured specimen that has a long shape aperture, made of stainless steel fibers. Based on the TEM mode transfer structure that was designed and manufactured through HFSS, we measured electromagnetic shielding effectiveness, where the network analyzer was applied. We could draw a conclusion from this research that the metal fabric showed a good electromagnetic shielding effect, mainly by means of the good reflex loss at the fiber surface. Even though the material itself possesses a good absorption loss, the specimen revealed that structural factors, e.g., the shape of the aperture, the size of the aperture, etc., can have a more influence on the shielding effect than the components of material have. A special notice is required for modeling and analyzing the electromagnetic characteristics of metal fabrics, because there exists a strong possibility that multiple reflection can happen on the surface of metal fibers, which can presume a model of fiber bundle and fabric structure.

**Key Words** : stainless steel fiber(스테인레스 강 섬유), metal fabrics(금속직물), electromagnetic shielding effectiveness (전자파 차폐 유효성), absorption loss (흡수손실), reflection loss(반사손실), long shape aperture(장형간극), structural factors(구조인자)

#### 1. 서론

최근 전기를 기반으로 동작하는 기기들과 전파 통신의 이용 증대로 인해 전자파의 인체 유해성과 전기 기기간의 영향으로 인한 오동작 등에 대한 문제가 활발하게 논의되고 있다. 계속되는 다양한 전기 이용기기의 보급과 전파 통신의 수요증대에 따라 전자파의 차폐성능은 전기기기와 전파통신 기기들의 품질 평가의 중요한 요인으로 작용하고 있다. 특히 이러한 전자파의 차폐성능은 용도에 따라 불필요한 잡음의 발생분제와 직결되어 통신 효율에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 경우에 따라 통신교란을 일으켜 유효정보의 손실을 가져오므로 이의 차단은

전기전자기기의 성능을 결정하는 데에 중요한 역할을 하고 있다. 더구나 휴대용 전기전자장비의 사용이 증가됨에 따라 경량/소형화 되는 추세에 따라 인체의 착용에 따른 전자파의 유해성에 대한 논란이 커지고 있다.

이러한 전자파의 문제를 극복하기위해 지금까지 비교적 강성이 높은 재료를 이용하여 고정된 형태의 box 구조물에 전자파 발생기기를 삽입하고, 이를 차폐재로 코팅하거나, 차폐성이 있는 재료로써 고정 case 를 만들어 사용하고 있다. 그러나 고정형상을 가진 차폐 box 의 사용은 휴대에 따른 착용에 불편하고, 대단위 전자파 차폐 구조물에 사용하기 어려우며, metal sheet 를 사용하려면 구조의

자체 무게가 크게 증가하게 되는 문제가 발생한다. 따라서 착용에 따른 불편함을 해소하고 전자파 차폐를 위한 건축 구조물에의 응용을 확대하기 위하여 본 연구에서는 전자파 차폐성을 지닌 섬유를 원료로 하여 이의 구조물이 가진 전자파 차폐성능을 측정하고 차폐유효성을 확인하였다.

## 2. 측정 장치

본 연구에서는 휴대폰의 주파수 대역인 2 GHz 대에서 전자파 차폐성질을 가지는 금속 섬유로 만들어진 직물을 대상으로 그 직물의 전자파 차폐 특성을 측정하기 위하여 차폐특성 측정기구를 개발하였다. 차폐측정장치는 크게

- 1) MIL-STD-285 method,
- 2) The Coaxial Holder method,
- 3) The Dual-Chamber method, 그리고
- 4) The Dual TEM Cell Method 가 있다.

본 연구에서 사용된 차폐특성 측정은 Coaxial Holder 법을 바탕으로 하였으며, 기구물은 TEM (Transverse Electro Magnetic) 모드의 전송구조, 즉, 동축케이블의 구조를 HFSS (High Frequency Structure Simulator : 유한요소법을 이용하는 수치해석 도구)에 기초하여 설계/제작하였다. 차폐측정용 기구물의 실물은 Fig. 1 에서 보여주는 사진과 같다.

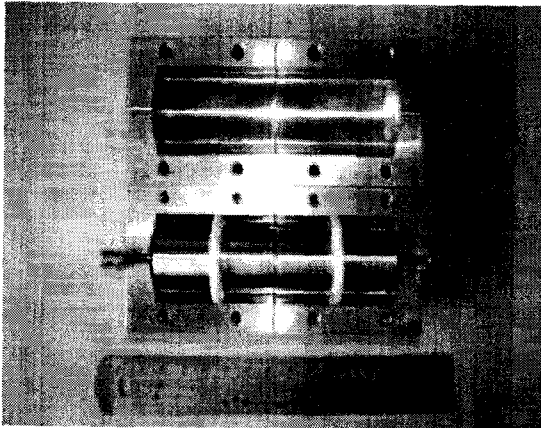


Fig. 1 Photograph showing the inside of the TEM transmission structure.

측정기구물은 서로 대칭형태의 모양을 가지며, 중앙부위에 1mm 의 간격을 두어 직물시료를 삽입할 수 있게 하였다.

먼저 측정 기구의 투과 특성과 반사 특성을 찾아내기 위하여 네트웍분석기 (Network Analyzer)를

이용하여 1.6 ~ 2.4 GHz 주파수 대역에서 시료의 삽입없이 S-parameter (Scattering Parameter), 즉, 반사 및 투과특성을 나타내는 반사계수(S11)와 투과계수(S21)를 측정하였다. 일반적으로 차폐효과를 나타내는 Shielding Effectiveness  $SE_{dB}$  는 다음과 같이 정의된다:

$$SE_{dB} = 10 \log \left[ \frac{\text{incident power density}}{\text{transmitted power density}} \right]$$

따라서 Shielding Effectiveness 는 S-parameter 의 투과계수의 음의 값, 즉  $-S_{21}$  과 같으며 반사계수 S11 은  $S_{11} - S_{21}$  로 나타낼 수 있다.

Fig. 2 는 시료를 삽입하지 않은 측정기구의 투과 특성과 반사특성을 보여주고 있다.

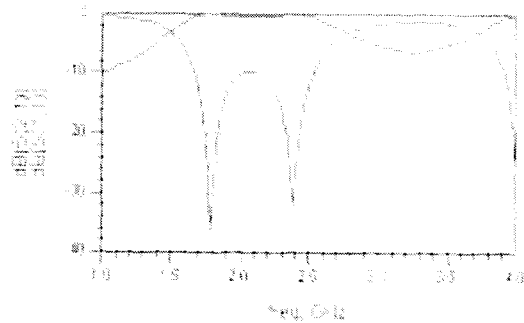


Fig. 2 Characteristics of the shielding effectiveness of the measuring system obtained by Network Analyzer (dB : 10 log S-parameter)

본 연구를 위하여 제작된 측정용 시료 지그 (jig)의 투과특성 S21 은 약 0.6 dB 보다 작으므로 투과성이 대단히 좋으며, 반사특성 S11 은 1.78 GHz 와 2.38 GHz 의 두 주파수에서 공진특성을 보여주고 있다. 즉, 직렬공진의 특성을 보여주어 이 공진 주파수에서는 투과특성을 더욱 정확하게 측정할 수가 있다. 그러나 공진주파수 이외의 주파수대, 예를 들어 1.5~1.65 GHz 대에서는 반사손실이 약 10 dB 보다 작게 나타나서 더 광대역의 차폐효과를 측정하기 위해서는 Coaxial Holder 의 반사특성을 약간 개선시킬 필요가 있다고 생각한다.

## 3. 실험

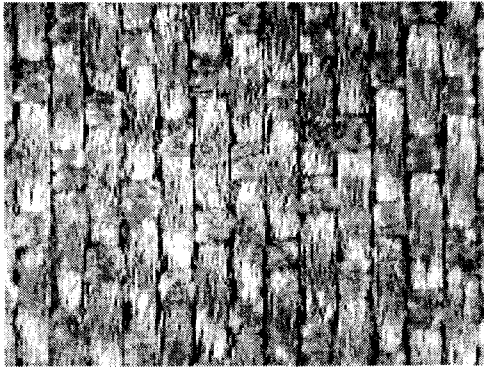
본 연구에서 사용한 시료는 금속섬유 방적사를 이용하여 제작한 직물이고 사용된 금속의 성분은 Table 1에 주어진 바와 같다.

Table 1. Components in the specimen

Element	Weight Percentage	Atomic Percentage	Error (표준편차 %)
Cu	1.9075	1.6618	0.0247
Ni	10.3763	9.7859	0.0494
Fe	70.8565	70.2387	0.1599
Mn	0.9809	0.9885	0.0228
Cr	15.4165	16.4139	0.0905
Si	0.4623	0.9112	0.0079

Table 1 에서 보는 바와 같이 사용된 시료는 Fe, Cr 그리고 Ni 을 주성분으로 하고 비교적 다량의 Cu 가 포함되어 있는 stainless steel 로 구성되어 있다. 이러한 원료를 바탕으로 staple yarn 을 만들고, 다시 2 합사하여 제작한 직물시료는 Fig.3 에 주어져 있다.

a)



b)



Fig. 3 Photographs of the specimen used for the experiment

(a: woven fabric, b: Cross-section of the warp yarn)

그리고 시료의 사양은 Table 2 에 주어진 바와 같다.

Table 2. Specifications of the specimen used

Fiber	length : 80mm thickness : 7 $\mu$ m
Yarn	single yarn (warp yarn) linear density : 181tex thickness : 0.385mm 2plied yarn (weft yarn) linear density : 185/93tex thickness : 0.465mm
Fabrics	Fabrication : weaving warp distance : 0.446mm. weft distance : 0.577mm thickness : 0.835mm

#### 4. 실험결과 및 토의

측정기구에 금속직물시료를 삽입한 후, 차폐 특성을 측정된 결과는 Fig. 3 에 주어져 있다. 이에 의하면 시료로 사용된 직물은 1.6~2.5 GHz 대의 전자파에 대하여 투과성 S-parameter 가 53 dB 로 거의 완벽한 차폐특성을 얻을 수가 있었다. 본 실험에서 다루었던 주파수 범위를 확장하여 1.5~3.0 GHz 의 주파수 범위에서도 대단히 양호한 투과 차폐성을 확인할 수 있다. 그러나 3.5~4.0 GHz 주파수대에서는 차폐성이 30 dB 에 달하는 수준으로 1/1000 정도 투과되는 양호한 수준이었으나 설계된 장치의 다른 주파수영역에 비하여 약간 저하된 상태를 확인할 수 있다. 반면에 실험에 사용된 시료의 반사 특성은 입사된 전자파 거의 전부가 반사되는 것으로 나타났다. 따라서 본직물의 전자파 차폐성은 직물 내부에서 흡수되는 것보다는 반사에 의해 이루어지고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

일반적으로 연속체로서의 고체물과 달리 형태적으로 일정 구조를 가지면서도 기본재료(Basic material)의 입체적 또는 평면적 연속성을 갖지 않고 air gap 이 있어서 기본 재료간에 간격이 주어지는 재료들을 Small-Aperture-Metals (SAMs) family 라고 부른다. SAMs family 는 전자파 입사면의 basic material 이 차지하는 면적이 air gap 면적에 대하여 0.01~0.5 배 범위에 이르지만, 형태적으로 하나의 재료로 다룰 수 있는 정형구조를 가지고 있으므로 차폐모델에 의하면 차폐효과  $SE_{dB}$  는

$$SE_{dB} = 20 \log\left[\frac{\lambda/2}{g}\right] \quad \text{for } g < \lambda/2$$

$$= 0 \quad \text{for } g \geq \lambda/2$$

여기서,  $\lambda$ : wavelength,  
 $g$ : airgap dimension,

로 표시된다. 이 식에 의하여 차폐효과  $SE_{dB}$  를 계산해보자. Table 2 에 주어진 바와 같이 경사 또는 위사 밀도에 따라 airgap 이 가질 수 있는 dimension 의 크기가 0.5~0.6 mm 이고, 2 GHz 의 파장이 150 mm 이므로 차폐효과는 42~44 dB 에 이른다. 이러한 계산 결과는 대체로 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

일반적으로 SAMs family 의 구조는 일종의 미소 쌍극자의 배열로 생각하고 각각의 쌍극자끼리는 이웃하는 근접지역에서 서로 극의 상쇄효과를 갖는 모델로 묘사할 수 있으므로 일반적으로 차폐효과는 주로 반사손실에 의하여 나타나고 흡수손실은 거의 없는 것으로 알려져 있다.

그러나 본 실험에 사용된 시료의 원료가 자성물질인 stainless steel 로 이루어져 있기 때문에 conductivity 는 좋지 않은 반면 (copper 를 기준으로 상대 conductivity 가 약 0.02 수준), permeability 는 비교적 좋은 특성 (예를 들어 10 kHz 이하의 저주파대에서 copper 를 기준으로 상대 permeability 가 200 수준, 그러나 주파수가 증가함에 따라 감소하는 성질이 있음)이 있으므로 흡수손실은 크지만 반사손실은 대단히 작다. 따라서 본 연구에 사용된 시료는 재료 측면에서 흡수손실이 크고 반사손실이 작은 stainless steel 인 반면, 구조측면에서는 SAMs family 가 가지는 특성인 흡수손실은 거의 없고 반사손실에 의하여 차폐효과가 나타난다는 사실을 의미한다. 실제 실험 결과에 의하면 금속섬유 구조물의 차폐효과는 거의 반사에 의하여 나타나고 있으므로, stainless steel 이 가지는 재료의 차폐특성보다는 구조에 의한 차폐특성이 지배적이라고 볼 수 있다. 더욱이 사용된 시료는 단순한 airgap 의 배열 구조가 아니라, 섬유로 구성된 원료형태를 집속하고 이를 다시 평면상에서 직교 배열된 형태를 가지고 있다. 이러한 형상 구조는 겉으로 보기에 일정 간격의 airgap 을 가지는 구조로 보이지만, 실제로는 섬유형태의 원료가 두 방향으로 직교하는 동시에 각 방향의 원료들은 실의 형태로 변환되면서 또 다시 내부적으로 길이 방향으로 구조화되어 있다. 따라서 airgap 이 hole

형태로 정형화되어 있지 않으며, 집속 섬유간의 airgap 이 길이 방향으로 긴 모양 (long-shape aperture)을 가지고, 동시에 단면모양이 임의성을 가지게 된다. 이에 따라 입사파가 섬유표면에서 반사되는 경우, 다양한 반사경로를 통하여 전자파의 손실이 누적되어 결과적으로 시료를 통과하는 전자파의 투과손실을 가져오는 multiple reflection 효과가 나타나기 쉽다. 따라서 직물형태의 차폐재는 SAMs family 에 대한 차폐모델을 바탕으로 직물과 실의 구조에 따른 airgap 의 모양과 반사경로를 감안한 차폐해석이 이루어져야 될 것으로 생각된다.

## 5. 결론

계속되는 가전기기의 보급과 정보통신의 발달에 따른 생활환경에 전자파밀도가 높아져서 각종 전기전자기기의 오동작을 유발하거나 인체 유해성에 대한 논란이 계속되고 있는 실정이다. 이러한 전자파의 장해를 최소화하기 위하여 불요전자파의 간섭(EMI: 전자파 간섭)을 억제하거나, 일정 환경에서 정상적 동작을 할 수 있는 내성(EMS: 전자파 감응성)을 강화시키는 방법이 있다. 이러한 전자파 양립성(EMC:electro-magnetic compatibility)의 수단은 크게 1) 필터(filtering), 2) 접지(grounding), 3) 배선(wiring) 그리고 4) 차폐(shielding)등이 있다. 본 연구에서는 금속섬유를 이용하여 섬유물의 차폐특성을 찾아내고, 이의 활용을 위하여, stainless steel fiber 로 만들어진 직물 시료를 대상으로 TEM 전송매체를 이용한 차폐측정을 하였다. 그 결과 현재 cell-phone 에서 사용되는 2 GHz 전후의 주파수대에서 차폐특성은 대단히 우수하였으며, airgap 을 갖는 금속 연속체인 SAMs family 와 같이 흡수손실보다는 반사손실(반사계수)에 의하여 차폐효과가 나타남을 확인하였다. 이는 구조인자에 의하여 차폐효과가 크게 영향을 받는다는 것을 의미하며, 이에 영향을 미치는 직물의 구조, airgap, 실의 선밀도 등에 따른 시료의 shielding 효과에 대한 모델링이 필요한 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. Donald R.J. White and Michael Mardiguian, Electromagnetic Shielding, A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility, Vol. 3, Interference Control Technologies, Inc., Gainesville, Virginia, 1988.