

## 탄소섬유강화 에폭시 복합재에서 섬유의 배향이 전자기파 반사 및 투과 특성에 미치는 영향

심환보<sup>†</sup> · 김태진\* · 이보성

충남대학교 화학공학과

\*쌍용중앙연구소

(1997년 3월 6일 접수, 1997년 8월 11일 채택)

## Effects of Fiber Orientation on Reflectivity and Transmittivity of Microwave for Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites

Hwan-Boh Shim<sup>†</sup>, Tae-Jin Kim\* and Bo-Sung Rhee

Department of Chemical Engineering, Chungnam National University

\*SsangYong Research Center

(Received 6 March 1997; accepted 11 August 1997)

### 요 약

본 연구에서는 탄소섬유강화 복합재의 전자기파 차폐 특성에 관해 연구하였다. 탄소섬유-에폭시 프리프레그 135플라이를 몰더에 적층한 후 가열-가압법에 의해 성형하여 차폐시료제작에 사용하였다. 이때 섬유는 24 ton/mm<sup>2</sup>, 36 ton/mm<sup>2</sup>의 탄성률을 갖는 두 종류를 사용하였으며, 0, 30, 60, 90도의 배향각을 고려하여 시편을 절단하였다. 주파수 분산실험은 1 GHz에서 25 GHz까지 회로망 분석기를 이용하여 수행하였다. 그 결과 배향각도가 커지면서 투과 손실량이 적었으며, 특히 90도의 배향각에서는 주파수가 높아지면서 0.1%만이 투과될 뿐이었다(99.9% 차폐를 의미함). 또한 기존의 등방성 재료에서의 체적저항과 차폐효과와의 반비례 관계는 본 섬유강화 복합재료에서는 성립하지 않았다. 즉 동일 구성(섬유함량, 섬유등급 같은)의 재료에서 섬유의 배향에 따라 차폐효과는 크게 다른 것으로 관측되었다. 따라서 섬유강화 차폐재료 제조에서는 성형체의 강도뿐만 아니라 효과적인 차폐 역할을 위해서는 섬유의 배향에 대한 영향을 크게 고려해야 할 것으로 판단된다.

**Abstract**—In this research, the microwave shielding characteristics of the carbon fiber reinforced composites were studied. Carbon fiber-epoxy prepregs of 135 plies were laminated, hot-pressed and prepared for measuring the shielding effectiveness. Two kinds of carbon fibers with the modulus of 24 and 36 ton/mm<sup>2</sup> were used and the fiber orientation angles of the composite sample were 0, 30, 60 and 90 degree, respectively. The experiments were carried out by using the network analyzer(HP 8510) in the corresponding frequency ranges of 1 GHz-25 GHz. As a result, the transmission loss was decreased as increase in the fiber orientation angle for the direction of the microwave. Especially, the composite sample with the fiber orientation of 90 degree shielded the microwave up to 99.9%(0.1% is only transmission power). Also the inverse proportional relationship between volume resistivity and shielding effectiveness in the typical isotropic materials were not established in the fibrous composite materials of this research. That is, in spite of the same constituent materials(such as fiber content, fiber grade), the shielding effectiveness as to the fiber orientation was revealed as a great differentiation. So, on preparing the fiber reinforced composites, the controlling of the fiber orientation within the composites must be considered for the shielding effectiveness as well as the mechanical properties of the fibrous composites.

**Key words:** Carbon Fiber, Reflection Loss, Transmission Loss, Microwave Shielding, Shielding Effectiveness, Fiber Orientation

### 1. 서 론

21세기를 맞이하는 현 시점에서 정보전달과 에너지원에 대한 관심이 급속도로 증가하고 있는 추세에 있다. 리모콘 장난감, 고속도로, 항공·선박 그리고 위성통신에 이르기까지 정보전달면에 있어 전자파의 이용은 가히 혁명적인 역할을 수행해오고 있으며, 가정용

전자레인지, 세라믹의 고속소결로, 의료용 기구, 입자가속기, 식품가공, 태양에너지 전송 등의 에너지원으로서도 또한 전자파는 광범위하게 응용되고 있다.

이와 같은 다양한 전자기파 응용면, 특히 통신수단의 발달은 필연적으로 전자파의 주파수 스펙트럼을 확장·세분화하여 이용할 수 밖에는 없었다[1]. 이에 따라서 현재 우리가 위치하고 있는 공간에는

무수히 많은 전자기파들이 존재한다. 그러나 각종 전파가 혼재하는 이러한 상황은, 이를 필요로 하지 않거나 특정 주파수만을 필요로 하는 기기에는, 일종의 공해가 될 수밖에 없다. 전자기파에 의한 문제는 물, 대기의 물질오염에 이어 무형의 공간오염이라 정의할 수 있으며, 예기치 못하는 사고 및 상황을 유발시킬 수 있다. 이러한 현상은 각종 물체에 의해 반사되어 나온 전파와 예기치 않게 누설된 전파에 기인한다. 불요불급한 전파의 반사는 각종 전자기기에 심각한 전파장해를 유발시키는 경우가 허다하다. 이러한 피해현상을 전자파 장애(Electro-Magnetic Interference, 이하 EMI)라 부르고 있다. EMI의 영향은 밀집도가 크고 정밀한 부품을 많이 사용하는 장비일수록 민감하기 때문에, 소형화, 고집적화, 고속화, 소전력화 및 다기능화를 지향하는 현대 전자산업에 있어서 가장 치명적인 장애요인으로 대두되고 있다[2].

불요 전자파에 대한 장애현상을 방지하기 위해서는 일차적으로 발생원에서 전자파가 기준치 이상 누설되지 않도록 하는 것이 중요하다. 피해 대상기기 측에서도 불요 전자파의 침입을 차단시키는 노력이 요구된다. 이러한 목적으로 전자파 차폐재료가 이용되고 있다. 전자파 차폐재료로는 전기적 특성이 잘 알려진 금속 재료를 전통적으로 많이 사용해 왔다. 그러나 근래에 들어 금속재료에 비해 값이 싸고, 가벼우며, 가공하기가 쉬운 플라스틱 재료 및 복합재료(기존의 FRP는 유리섬유 강화) 등이 개발되어 전기 및 전자제품의 외장재로 기존의 금속재료를 대체해 나가고 있는 실정이다[3].

그러나 플라스틱 재료는 대부분의 전자파에 대해서 무방비 상태이기 때문에 충전제를 함께 이용하는 것이 효과적이다. 지금까지 주로 사용된 전자파 차폐용 복합재료는 고분자 기지재에 각종 금속 섬유나 분말을 첨가하여 만든 재료이기 때문에 비중이 크고, 기계적 물성이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 기계적 충격이나 진동이 심한 전자기기(예를 들어 자동차 또는 항공기 등의 고속운송 체계의 부품)의 경우에는 그 사용이 제한된다. 기계적 내구성을 요하는 전자파 차폐재료로 고강도의 연속 및 단섬유가 함침된 복합재료의 사용을 검토해 볼 필요가 있다. 근본적으로 전자파 차폐효과는 높은 전기전도도특성(작은 skin depth)에 기인하기 때문에, 우수한 차폐재료로는 낮은 전기저항 특성을 갖는 섬유가 요구된다.

이러한 이유에서 구조체인 동시에 전자파 차폐재료로서 기계적 강도, 열·전기적 특성이 우수한 탄소섬유를 강화한 탄소섬유 복합재료의 응용 가능성을 검토해 볼 필요가 있다고 하겠다. 따라서 본 연구에서는 섬유강화 복합재(연속 혹은 단섬유 보강)의 전자기파 차폐 특성 연구의 기초 데이터로 섬유의 방향을 전자기파 진행 방향에 따라 이상 배향을 하여 그 특성을 비교·검토하고자 하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2-1. 복합재 제조방법

탄소섬유강화재는 한국화이버의 에폭시로 함침된 프리프레그를 사용했으며, 기본 물성은 Table 1과 같다.

상기 프리프레그를 15 cm × 5 cm 스테인레스 스틸로 제작된 몰드에 135 ply를 일방향으로 적층하여 가열-압축기(hot-press)에 의해

Table 1. Characteristics of carbon fiber used in this study

Carbon fiber Prepreg* (commercialized)	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Modulus (ton/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Diameter (μm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
CU0753	380	24	1.6	7	1.77
HCU075	320	36	1.3	6.8	1.81

\*manufactured by HANKUK CARBON Co. Ltd.

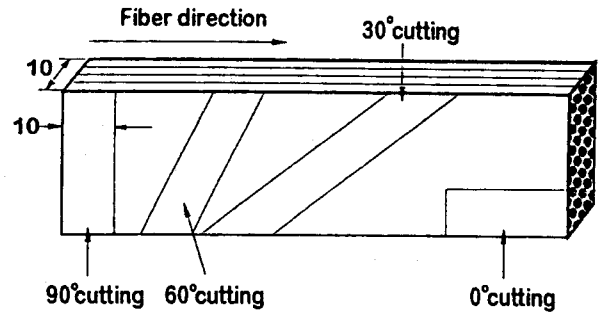


Fig. 1. Sample cutting direction for idealizing the orientation of the reinforcement fibers.

승온과정 중 70 °C 부근에서 가압을 시작하여 경화가 종료될 때까지 10 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 유지하면서 ply사이 섬유-모재 사이의 균열을 최소화하였다. 경화온도는 80 °C까지 승온하여 1시간 정도 경화하고 난후 130 °C에서 다시 1시간정도 2차 경화를 시켰다. 제조된 복합재의 밀도는 1.36 g/cm<sup>3</sup>로 약 60 %의 섬유 함량을 보였다.

### 2-2. 차폐시료 제작

가로×세로(15 cm×5 cm) 적층 복합시편을 우선, Fig. 1에 보이는 방법으로 섬유배향각을 고려하여 가로, 세로, 각각 약 1 cm 정도로 0°, 30°, 60°, 90°로 절단하였다. 절단된 CFRP(carbon fiber reinforced plastics)를 내경 3.04 mm, 외경 7 mm인 원통형으로 가공한 뒤, 두께 1, 3, 5, 7 mm 도넛 모양으로 절단(slicing)하여 최종 전자파 차폐 특성 실험 시편을 제작하였다. 제조된 시편 크기 및 섬유배향의 개략도는 Fig. 2와 같다.

### 2-3. 전기전도도측정

전자기파에 대해 0°, 30°, 60°, 90°로 각각 일정한 배향을 한 탄소 섬유강화 에폭시 복합시편의 전기적 특성(저항, R)을 KEITHLEY 580 Micro Ohmmeter로 측정하여, 아래의 식에 의해 체적저항(ρ)를 계산하여 재료의 상대적인 값을 비교하였다. 측정 방법은 4단자법(4 probe method)에 의해 행해졌으며[4], 시편과 4단자와의 접촉저항을 최소화하기 위해 藤倉化成株式會社の 전기전도성 도료(Ag-paste)를 이용하여 접촉시켰다.

$$\rho_v = \left( \frac{E}{I_v} \right) \left( \frac{A}{t} \right) = \frac{R_v A}{t} \quad (1)$$

여기서 E: applied potential(volts)

I: measured current(amperes)

R<sub>v</sub>: resistance of the sample(ohms)

A: area of the sample in the electrical field(cm<sup>2</sup>)

t: thickness of the sample(cm)

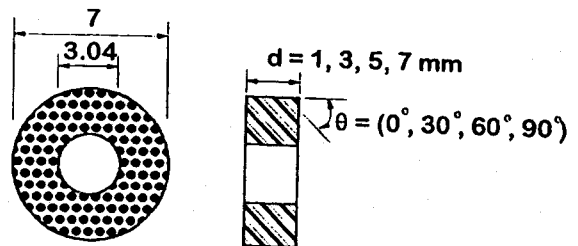


Fig. 2. Cross-section of the samples and fiber orientation form.

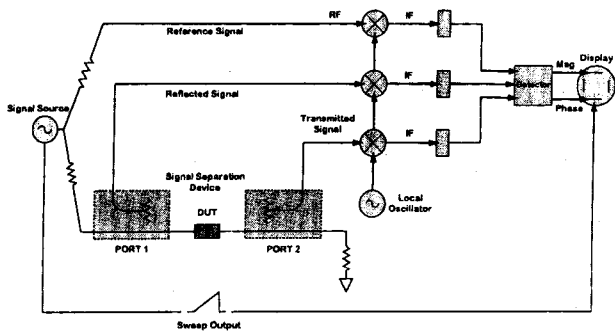


Fig. 3. Simplified block diagram of network analyzer for measuring scattering coefficient(S-parameters).

#### 2-4. 전자기파 차폐측정 장비 및 계산방법[5]

차폐측정은 Hewlett Packard社의 HP8510C 회로망 분석기(Network Analyzer)를 사용하였다. 대상 주파수 대역은 1-25 GHz범위에서 수행되었다. Fig.3에 회로망 분석기의 개략도를 나타내었다. 크게 신호원(signal source), DUT(device under test), 검파기(detector) 그리고 표시화면(display) 등으로 구성되어 있다. DUT는 내경 3.04 mm, 외경 7mm로 이루어져 있으며, port 1쪽에서, 장입된 시료에 신호를 보내었을 때 반사신호와 투과신호를 각각 입사신호와 비교하여 크기(magnitude)와 위상(phase)을 측정한다. 이 값이 바로 S-parameter로서 반사손실(reflection loss, RL), 투과손실(transmission loss, TL), 유전율(permittivity), 투자율(permeability) 및 복소임피던스(complex impedance) 등을 계산할 수 있다[5]. 신호원은 위에서 처럼 port 1을 기준으로 할 수도 있고, port 2를 기준으로 할 수도 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 전기적 특성

탄소섬유강화 플라스틱(carbon fiber reinforced plastics, CFRP)은 탄소섬유의 전도성 때문에  $10^{-2}$ - $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$  정도로 탄소섬유의 고성능(high performance, HP) type이 범용(general performance, GP) type에 비해서 1/3-1/8의 낮은 저항률을 나타낸다. 이것은 고성능 type이 흑연화가 보다 진행되어 있기 때문이라 생각할 수 있다[6]. 이는 섬유 제조공정상 원료의 종류(핏치계, PAN계 혹은 레이온계), 방사기의 노즐모양(공동형, C형) 그리고 열처리(탄화 및 흑연화)온도 등에 따라서 분자배향을 섬유의 축방향으로 얼마나 효과적으로 유도하느냐에 달려 있다. 축방향으로의 전도도가 우수하면 상대적으로 횡방향으로의 전도도는 감소하는 경향을 보인다. 이는 섬유축내에 방향족 판상 구조 영향으로 섬유내의 작은 단위의 복합개념으로도 생각할 수 있다. 본 연구에서는 저탄성과 고탄성(고성능)의 섬유를 선택해서 섬유의 미세구조 및 거시적으로 섬유의 배열방향에 따른 전자기적 특성을 비교하였다. 섬유의 탄성률(분자배향) 차이에도 불구하고 단면조직을 관찰해 보면 섬유 표면에서의 배향은 섬유제조 과정에서 표면과 수평방향으로 우수한 배향(제안모델: circumferential radial, onion skin, sheath-core and three dimensional model)을 하는 것으로 여러 연구자들[7-10]에 의해 관찰된 바 있다. Fig. 4에 섬유단면의 구조를 보여주고 있다. 물론 섬유의 중심으로 갈수록 비교적 분자배향은 무질서해진다. 이는 고주파에서의 표피효과(skin effect)와 상관이 있을 것으로 사료되며, 따라서 90도 상의 전자기파반사, 흡수에는 큰 영향이 없을 것으로 예상되어진다. 우선 배향각도 별로 구성된 시편의 체적저항값을 측정하여, Table 2에 정리하였다.

강화된 섬유의 배향각이 약 30°씩 커짐에 따라 체적저항값이 대략적으로 2배정도의 증가를 보이는 것으로 확인되었다. 이 실험결과

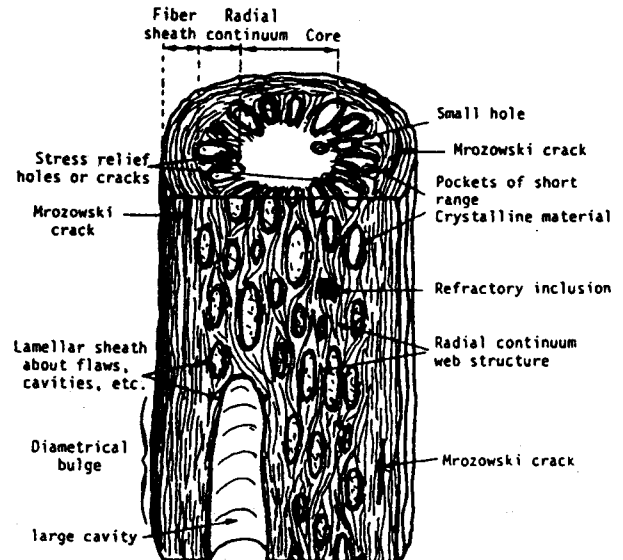


Fig. 4. Structural model for a high modulus carbon fiber.

에서 간혹 전기저항이 적은, 즉 전기전도성이 우수한, 배향각 0°인 시편이 가장 우수한 전자기파의 반사차폐 효과를 얻을 수 있을 것으로 오인될 수 있다. 본 실험에 이용된 재료는 섬유강화 복합재료로서 열적, 전기적으로 이방성을 보인다. 뒷 절에서도 언급하겠지만 실제로 배향각도별로 측정된 차폐효과에서 배향각이 전자기파 진행과 수직인 90°를 보일 때가 최대인 것으로 확인되었다. 이는 도전손실을 고려할 때 전기장(electric field)과 수평방향으로 놓인 섬유배열에서 원인을 찾을 수 있다. 즉, 전기장이 저항도전체와 평행에 놓일 때 전류가 발생하며, 이것은 바로 저항열손실로 전자기파가 흡수되는 기구로 고려될 수 있다.

#### 3-2. 전자기파 반사 및 투과특성

다음에 반사손실(reflection loss, RL), 투과손실(transmission loss, TL) 및 차폐효과(shielding effectiveness, SE) 등에 대해 간단한 정의부터 내려 두기로 한다. 반사손실,  $RL[\text{dB}] = 10 \log[P_r/P_i]$ 로서 정의되며, 이는 입사전력( $P_i$ )에 대한 반사전력( $P_r$ )의 비를 나타내는 값으로 예를 들어  $RL = -1 \text{ dB}$ 이면,  $P_r/P_i = 10^{-1/10} = 0.7943$ 으로 79.43%의 전력을 반사하는 것을 의미한다. 투과손실,  $TL[\text{dB}] = 10 \log[P_t/P_i]$ 로서 반사손실의 정의와 같은 개념으로 이해할 수 있다.  $TL = -30 \text{ dB}$ 인 경우 0.1%의 전력만이 투과되고, 나머지 99.9%의 전력은 반사나 흡수에 의해 차단되는 것을 의미한다. 따라서 전자기파 차폐효과정도 표기 중의 하나는 입사전력( $P_i$ )에 대한 투과전력( $P_t$ )의 비를 decibel (dB)로 나타낸 것으로 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\text{차폐효과(shielding effectiveness, SE)} = 10 \log[P_i/P_t] \quad (2)$$

Table 2. Volume resistivity as to fiber orientation

Sample names	Fiber orientation (degree)	Vol. resist. $\times 10^{-1}$ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	$\rho_w/\rho_0$
CU0753 (TM=24 ton/mm <sup>2</sup> )	0	0.512	1
	30	1.01	1.973
	60	2.09	4.098
	90	4.07	7.950
HCU0753 (TM=36 ton/mm <sup>2</sup> )	0	0.283	1
	30	0.77	2.721
	60	4.21	14.88
	90	8.78	31.025

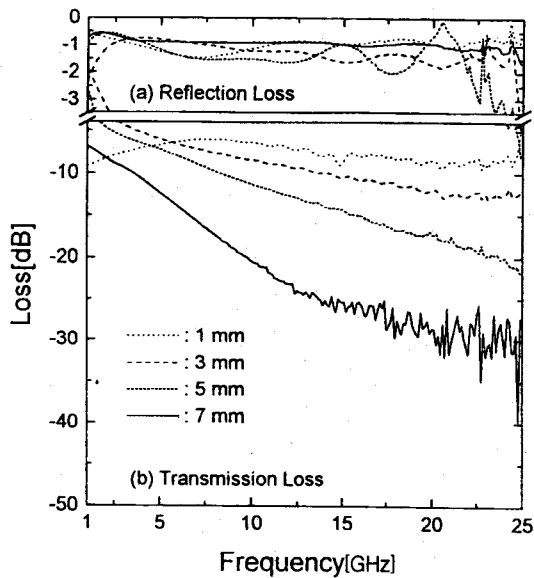


Fig. 5. Reflection and transmission loss as to sample thickness when electromagnetic waves are perpendicular to fiber orientation.

전자기 에너지가 임의의 물체(차폐재료)에 도달하면 반사(reflection), 투과(transmission) 및 흡수(absorption)의 세 가지 형태로 전자기파의 운동 경로가 분산된다. 여기서 system 내부에 기준을 두면 반사 및 흡수를 합해서 차폐란 의미로 쓰인다.

Fig. 5는  $24 \text{ ton/mm}^2$ 의 인장탄성률을 갖는 탄소섬유 일방향 적층 복합재의 섬유축에 횡(90도) 방향으로의 두께에 따른 투과 및 반사 손실에 대한 주파수(1-25 GHz) 분산 특성을 보여 주는 것이다. 그림 상단부의 fitting은 반사손실(reflection loss)을 나타낸 것으로 투과 손실에 비해 전체적으로 상당히 큰 값으로 대부분을 반사하는 것으로 이해가 된다. 또한 그 차이는 상대적으로 미미했다. 반사손실정도 보다 투과손실 기울기가 커지는 것은 고주파로 됨에 따라 반사에 의한 차폐보다는 흡수에 의한 손실차폐에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 이는 전도성 평판의 표피효과와 비교해 볼 때 복합재 시스템 전체에 걸쳐 분산되어 있는 작은 직경의 섬유( $7 \mu\text{m}$ )로 인해 고주파로 갈수록 더욱 커질 것으로 생각된다. 두께가 두꺼워지고 고주파가 될수록 투과손실(transmission loss)값이 작아진다. 다시 말해 차폐효과는 커진다. 이러한 결과와 더불어 반사손실값의 변화 및 차이를 비교해 볼 필요가 있다. 반사손실값이 주파수에 따라 감소하고 있다. 시편이 두꺼워질수록 시료당 갖는 전도성 차폐섬유의 양이 증가하여, 상대적인 전자파 분산효과가 커지며, 흡수손실이 커짐을 의미하는 것이라 볼 수 있다.

Fig. 6은  $24 \text{ ton/mm}^2$  탄성률을 갖는 탄소섬유를 보강한 경우로서 섬유배향과 전자기파가 평행(0도)이 될 때 시편 두께에 대한 주파수 분산특성을 보인 것이다. Fig. 5의 경우에 비해 경향성이 드러나지 않는 것으로 나타났다. 차폐시료 중 섬유의 배향이 전자기파 진행방향과 같은 방향으로 놓인 것으로 전기장과 전도성 물질(탄소섬유)의 동일 방향에서 야기되는 전류발생 → 저항손실 기구가 0도 이상의 각도를 보이는 시편에 비해 상대적으로 형성되지 못해 고주파로 가더라도 Fig. 5에서 보인 것처럼 반사손실 감소에 따른 투과손실 감소에 대한 것과는 대조적인 결과를 보이는 것으로부터도 예상하여 볼 수 있다. 특이한 것은 시편두께에 따른 경향은 보이지 않았다. 이러한 현상은 복합재 구성상 섬유의 편재 때문에 발생된 사항이거나 아니면 시편을 가공할 때 coaxial의 가장자리부의 파손 혹은 coaxial tube와의 공차(air gap)에 의한 측정오류로 해석해 볼 수 있을 뿐 아니

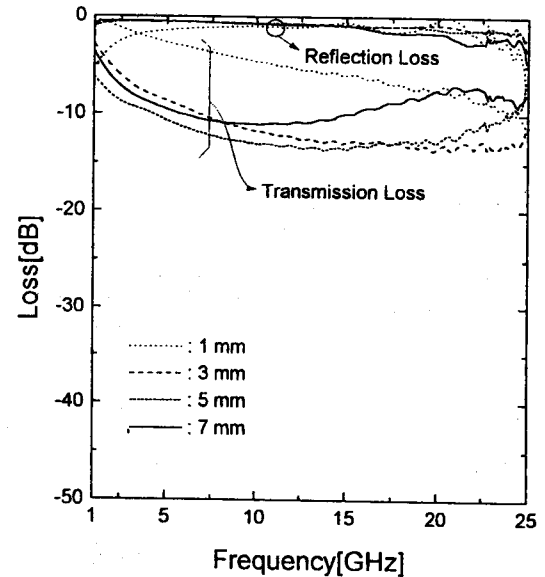


Fig. 6. Reflection and transmission loss as to sample thickness when electromagnetic waves are parallel to fiber orientation.

라 섬유의 배향이 이와같은 때 투과된 파에 대한 접지기 작용(covering factor)이 일어나지 않기 때문에 일어난 현상으로 해석해 볼 수도 있다.

Fig. 7은  $24 \text{ ton/mm}^2$  탄성률을 갖는 섬유일 때 동일 두께의 시편에서 섬유의 배향각 영향을 살펴보기 위한 실험으로 전자기파에 대해 0도, 30도, 60도, 90도의 각도로 전도성 탄소섬유 충전체가 이상 배향했을 때의 주파수 분산 특성이다. 이때 나타나는 현상은 앞서 살펴본 Fig. 5의 두께에 대한 영향과 비슷한 수준으로 나타났다. 배향 각도가 커질수록 투과손실량은 거의 Fig. 8에 보인 것처럼 크게 줄어드는 것으로 나타났다. 이상의 결과에 근거해 볼 때 섬유강화 복합재료의 경우 차폐효과는 두께뿐만 아니라 섬유의 배향각에 절대적으로 좌우되는 것으로 생각해 볼 수 있다. 이는 전자기파의 구성이 전기장(electric field)과 자기장(magnetic field)으로 구성되어 전자기파의 진행방향과 수직으로 된 섬유 배열이 전기장과는 수평에 놓이

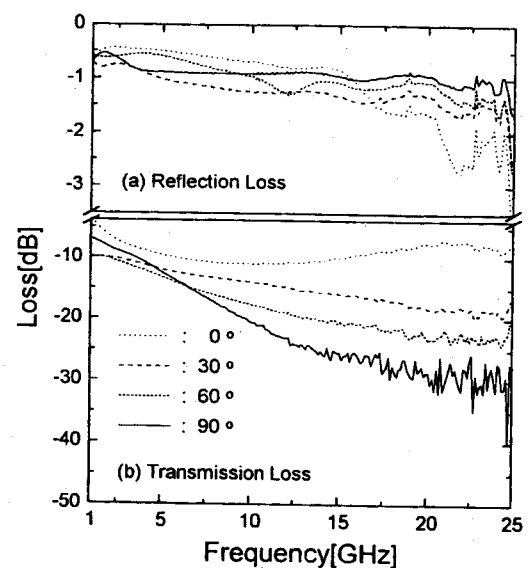


Fig. 7. Reflection and transmission loss as to fiber orientation angles. (sample thickness=7 mm)

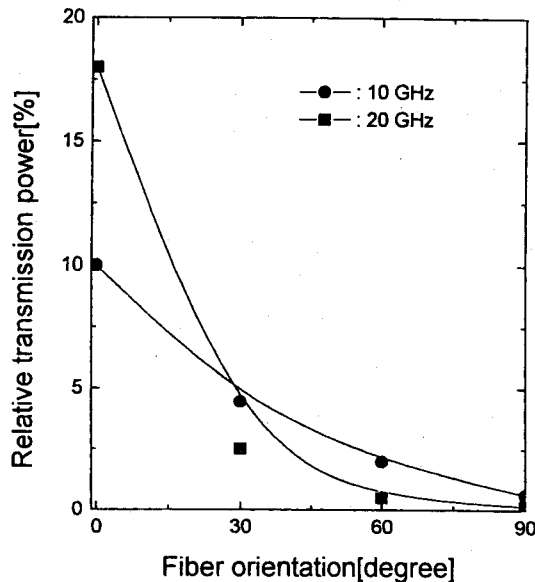


Fig. 8. Transmitted power as to fiber orientation angles of CFRP reinforced with 24 ton/mm<sup>2</sup> carbon fibers. (grade: low modulus)

게 됨으로 도전성인 탄소섬유에 전류가 발생하고 이는 저항에 의한 열로서 상피, 흡수되는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 고주파가 될수록 더욱 심화되었다.

Fig. 9는 24 ton/mm<sup>2</sup>, 36 ton/mm<sup>2</sup>의 탄성률을 갖는 두 종류 섬유 보

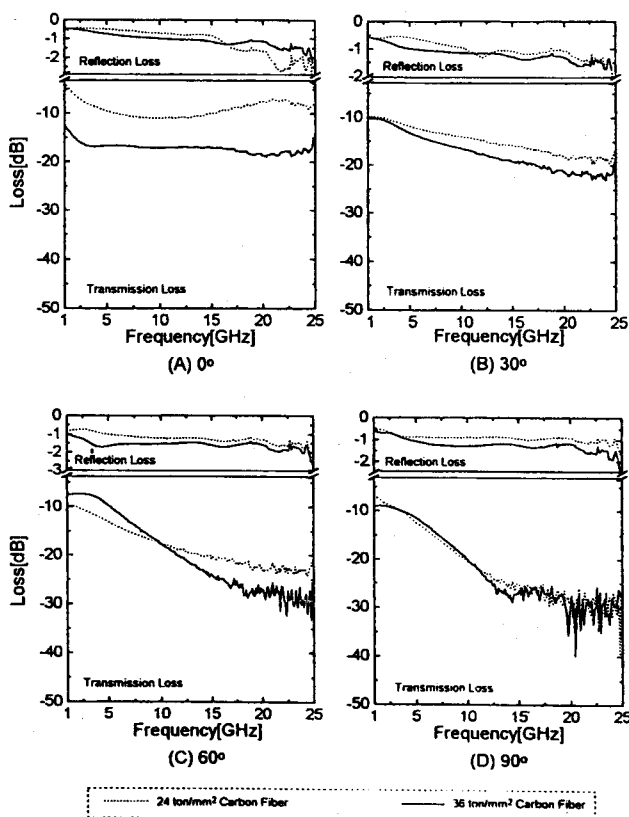


Fig. 9. Transmission loss as to carbon fiber grades and orientation angles. (dash line: 24 ton/mm<sup>2</sup> and solid line: 36 ton/mm<sup>2</sup>)

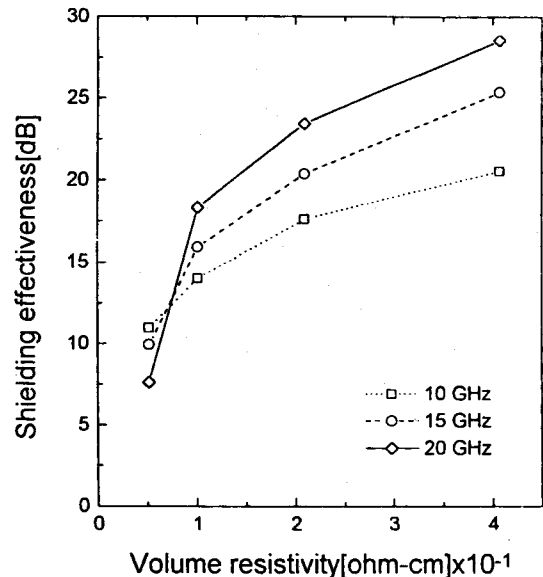


Fig. 10. Shielding effectiveness as to volume resistivity of CFRP consisted in the same constituents. (Modulus=24 ton/mm<sup>2</sup>)

강 복합재의 주파수 분산 특성을 섬유의 배향각도별로 실험한 결과이다. 전자기파와 섬유의 배향이 90도일 경우 섬유의 등급에 상관없이 동일한 차폐효과를 나타내다가 섬유각도가 작아지면서 등급의 차이가 점차로 생겨나 0도에 도달하면 고탄성률 섬유보강의 경우 평균 -17 dB, 즉 98%, 저탄성률 경우 평균 -10 dB 정도, 즉 90% 정도의 차폐를 보임으로서 전체적으로 8% 정도의 차폐효과 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 표면에서 비슷한 구조와 전도도를 갖는다는 것으로부터 90도 방향으로의 차폐효과가 비슷할 것이라는 추론을 할 수 있다. 본 실험에서 행한 주파수 범위내에서는 36 ton/mm<sup>2</sup>의 탄성률을 보이는 섬유 대신 24 ton/mm<sup>2</sup>의 저탄성 섬유를 사용해도 차폐효과는 거의 비슷한 수준으로 얻을 수 있음을 보여주는 것으로 생각할 수 있다. 저탄성을 사용함으로써 차폐재료의 제조 비용을 낮출 수 있음을 의미하기도 한다. 물론 단섬유인 경우는 섬유 분산 각도 및 전자파에 대한 섬유 노출 표면 등의 영향으로 저탄성, 고탄성 각각 다른 경향을 보일 것으로 생각이 된다. 한편 0도 방향의 차폐효과가 앞서 살펴 본 바와 같이 차이를 보이는 것은 섬유 횡단면의 구조가 등급에 따라 상이하기 때문에 나타나는 현상으로 해석할 수 있다. 한편, 전통적인 등방성 재료에서는 체적저항이 작아지면서 차폐효과가 증가하는 것이 일반적인 현상이나 본 실험과 같은 섬유보강재의 경우는 Fig. 10에서 보인 것처럼 체적저항이 커지면서 오히려 차폐효과가 커지는 것으로 드러났다. 이는 단섬유강화재료의 제조공정에서 섬유의 분산을 필요에 따라 조절해야만 차폐효과를 효과적으로 얻을 수 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

#### 4. 결 론

탄소섬유는 탄성률의 차이에 따라서 전기 및 열전도성에 있어 큰 차이를 보인다. 이는 섬유축에 배열되는 다환 방향족 판상구조의 재 배열에서 그 원인을 찾을 수 있다. 또한 이들 섬유를 강화한 복합재의 경우에는 강화한 섬유의 미세구조뿐만 아니라 섬유 자체의 배향에 의해 전기적 특성 등을 조절할 수 있다. 본 실험에서는 복합재의 제조변수 중 섬유의 등급과 배향각에 따른 전자기파차폐 특성실험이 이루어졌으며 실험결과는 다음과 같다.

동일한 구성의 재료(섬유함량 및 종류동일)에서 전기적 이방성이 클수록 차폐효과는 커진다. 이는 전기장과 도전체(탄소섬유)가 평행에 놓일 때를 의미하는 것으로 전류발생과 함께 저항손실로 이어지는 이유라고 할 수 있다. 0도의 배향각에서는 재료의 두께에 따른 주파수 특성은 크게 보이지 않았으나, 섬유의 등급에는 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 90도 배향각과 비교하여 도전체의 겹치기효과 및 전자기파가 입사하는 재료(섬유의 미세구조)의 표면구조상 상이한 전자기파 분산특성을 보이기 때문으로 판단되며, 90도의 배향각에서는 섬유의 등급에 따른 영향이 관찰되지 않았다. 이는 탄소섬유의 표면구조(방향족 판상구조)가 열초모양을 하여 표면과 평행한 것으로 섬유의 등급에 상관없이 비슷하며, 전자기파의 고주파특성이 표면에서 지배적으로 나타난다는 표피효과(skin effect)에 기인하는 것으로 생각된다.

### 참고문헌

1. 後藤尚久: "電磁波とは なにか, 見えない 波お 見るために", 講

- 談社, 175(1979).
2. 宮崎保光: 工業材料, **36**(4), 18(1988).
3. Weatherhead, R. G.: FRP Technology(fiber reinforced resin system), App. Sci. Pub. Ltd., 1980.
4. KS. C 2603, "Testing Method for Conductor-resistance and Resistivity of Metallic Resistance Materials".
5. Hewlett Packard: Measuring Dielectric Constant with the HP8510 Network Analyzer, Product Note No. 8510-3.
6. 電氣傳度(測定法, 物性値), 工業材料, **39**(16), (1991).
7. Courtaulds Ltd. Br. Patent 144, 341(1964).
8. Cziollek, J., Fitzer, E. and Weiss, R.: Carbon '80 3rd Intern. Carbon Conf., Baden-Baden, 632(1980).
9. Dauksch, H.: PhD thesis, Mulhouse and Strasbourg, cited in "Carbon Fibers" writted by Donnet(1972).
10. Gebhardt, J.J.: 14th Bienn. Conf. Carbon, Pennsylvania State Univ., Extended Abs. 232(1979).