

EMI 방지 고분자 복합재료의 활용에 관한 연구

문 탁 진 · 강 창 균 · 정 종 구*

고려대학교 재료공학과, * 동양나일론 기술연구소

(1986년 6월 23일 접수)

Application of EMI Shielding Polymeric Composites

Tak Jin Moon, Chang Gyun Kang, and Jong Koo Jeong*

Mat. Sci., Dept., Korea University, *Polymers Div., Tongyang Nylon Research Lab.

(Received June 23, 1986)

Abstract: Electrical property, as well as the mechanical properties, was observed for the PVC/Al, ABS/Al composites to evaluate the applicability of the composites as an EMI shielding material. The shielding effectiveness (SE) was found to be 30 dB when 20v% of Al filler was added to the polymer matrix, and the volume resistivity was measured as $10^0-10^1 \Omega \cdot \text{cm}$. The tensile strength and the impact strength of the composites with the same polymer/filler ratio were $4 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$ and 0.8 J/m^2 , respectively. Those results indicate a future application of the composites to the industrial products as an EMI shielding, such as computer housing et al.. The rheological property was also observed, and the results will provide an important basic information on the processing of the composites when necessary.

서 론

전자산업이 급진함에 따라 부품소재의 개발이 요구되었고 특히 플라스틱 제품의 활용이 현저하게 많아졌다. 값이 싸고 가볍다는 이점이 있는 반면, 전자제품 가동시 발생하는 전자파를 차폐하지 못한다는 단점도 있는 것이다. 따라서 전자파에 의한 간섭을 방지하는 문제는 플라스틱 소재 공업의 해결해야할 중요한 과제이다^{1~3}.

플라스틱에 전자파간섭의 방지기능을 주기 위해서 여러가지 방법과 대책이 있으나 보통 플라스틱 성형제품의 표면에 전도성 피막을 형성케 하는 표면처리 수단이 있고 또 하나는 플라스틱 안에 전도성 충전제를 넣는 소위 복합화 플라스틱의 전도화 방법이 있다. 후자인 경우 전기 전도의 메카니즘은 전도성 충전제 사이의 network 구조 형성에 의한 것임이 밝혀진 바가 있다^{4~6}.

전자인 경우 표면의 전도성 피막이 산화되기 쉽

고 또 기계적성질은 보통이지만 내구성에 취약점이 있는 반면 후자인 경우 기계적 성질이 떨어지는 경향이 있어도 반 영구적이고 제조공정이나 가공공정이 비교적 단순하다는 장점이 있다. 그러나 전도성 충전제의 종류가 다양하고 EMI(electromagnetic interference) 방지효과도 다르기 때문에 특정 플라스틱에 맞는 충전제의 사용이 필수라 하겠다.

EMI방지란 전자파의 에너지를 흡수, 또는 반사하여 표면에서의 에너지가 전달되는 것을 방지하는 것을 말한다. 이 전자파 에너지를 어느정도 감소시킬 수 있는가가 방지효과, SE(shielding effectiveness)이다. 이의 평가는 dB(decibel)로 표시되며 전자파가 입사될 때 반사손실, 흡수손실, 그리고 복합재의 내부반사들의 dB의 총합이 SE의 총계가 된다⁷. 반사손실과 흡수손실은 복합재의 비투자율, 비전도율, 주파수 및 두께등과 관계되므로 궁극적으로 복합재의 부피저항의

값으로 SE를 평가할 수 있는 것이다.

본 연구에서는 플라스틱 모체물질로 PVC와 ABS를 택하고, 금속충진제로는 구형상의 Ni과 판상의 Al을 써서 고분자/금속 복합재료를 만들어 이들 재료의 기계적성질과 전기적성질을 측정하여 전자제품의 부품소재로 활용가능한가를 조사하였다.

실 험

고분자 모체물질로 PVC(한국플라스틱 #p-1700)와 ABS(주식회사력키 HF-350)를 사용하여 Ni(일본 Kanto Chem. Co.)과 Al(미국 Transmet Co.)을 충진제로 써서 복합재료를 만들었다. 이들 수지와 충진제의 물성은 supplier의 data sheet에 의하면 다음 Table 1과 같다.

적량의 PVC와 Al을 칭량하고 산화안정제로 Ba-stearate와 Cd-stearate를 1phr씩 첨가한 후 잘섞은 다음 2-roll mill(일본 Toyoseiki 제작소, 지름 8", 길이 12")을 이용하여 170°C에서 15분간 균일하게 milling하였다. 약 0.5mm의 두께로 milling한 것을 적당한 크기로 잘라 4장을 겹쳐 press(일본 Toyoseiki 제작소)로 170°C에서 10분간 100kg/cm²의 압력으로 압축성형하여 220×220×2mm의 판으로 시편을 만들었다. PVC/Ni 시료도 같은 방법으로 제작한 바 있다⁸.

ABS수지인 경우 적량의 ABS와 Al, 그리고 1phr 정도의 EBS(ethylene bis-stearamide)를 supermixer로 1,000rpm에서 10분간 혼합하였다. 이 혼합물을 press로 220°C에서 30분간 100

kg/cm²의 압력으로 sintering하였다. 만들어진 시편의 크기는 220×200×3mm의 판상이었다.

고분자/충진제의 혼합무게 비율(wt%)은 PVC/Al일 때 10, 15, 20, 25, 30으로, ABS/Al일 때 10, 20, 30, 40, 50으로 하였다. (PVC/Ni은 참고 문헌 8에 따른다.)

기계적성질로는 인장강도와 충격강도를 측정하였다. 인장강도는 Instron Universal Testing Machine(Instron, Model 1120, 2.5kg capacity)을 사용하여 dumbbell형의 시편을 제작하여 측정하였다. 충격강도는 길이 5cm 너비 2cm의 bar형 시편을 제작하여 Charpy Impact Tester(Shimadzu Seisakusho, Ltd., Model 46428)를 이용하여 30°높이에서 실험을 하였다. 이때 시편에는 Notch를 주지 않았다. 전기 전도도는 지름 1cm의 cylinder형 시편을 준비하여 Electrometer(Keithley 610C, Solid State Electrometer, USA)와 Universal Bridge(Meguro Electric, Japan, Model MZ 827)를 이용하여 저항을 측정하였다. Space Charge와 접촉저항을 최소로 하기 위하여 은전극을 칠하였다.

Dynamic test는 길이 65mm 너비 12.7mm의 bar형 시편을 준비하여 두께를 측정하였다. 측정은 Dynamic Spectrometer(Rheometric Inc., RDS 7700)의 torsion-rectangular, rate sweep을 이용하여 18°C에서 0.5% strain을 가하면서 frequency 0.1rad/sec에서 100까지 측정하였다.

충진제의 분산상태와 충진제의 표면 상태등은 복합재의 물성에 큰 영향을 주며 따라서 EMI 방지효과에도 영향을 끼치게 된다. 충진제의 분산상태를 Fig.1에서 살펴보았을때 균일하게 분산되어 있음을 알 수 있었고 또 Al의 표면상태를 살펴보기 위해 EDX 분석을 하였더니 Fig.2, 3과 같이 표면은 산화물이 존재하지 않았으며 또한 어떠한 표면처리제도 함유되지 않은 순수한 Al 이었음을 알았다. 고분자모체물질과 충진제간의 표면흡착 또는 인력관계⁸는 보다 강한 기계적 성질을 갖는 복합재의 생산기술에 필요한 자료를 제공할 수 있으며 일보 나아가서는 전기적 성질에도 영향을 주

Table 1. Physical Properties of Resins and Metallic Fillers used in the Work

Properties	PVC	ABS	Ni	Al
Density(g/cm ³)	1.36	1.05	8.90	2.54
Volume resistivity(Ω.cm)	>10 ¹³	>10 ¹³	7.8×10 ⁻³	2.8×10 ⁻³
Av. particle size(μm)	~165	~150	7	(1×1mm)
Thermal conductivity (cal/sec.cm.°C)	~10 ⁻⁴	~10 ⁻⁵	0.22	0.53
Particle shape	sphere	sphere	sphere	flake

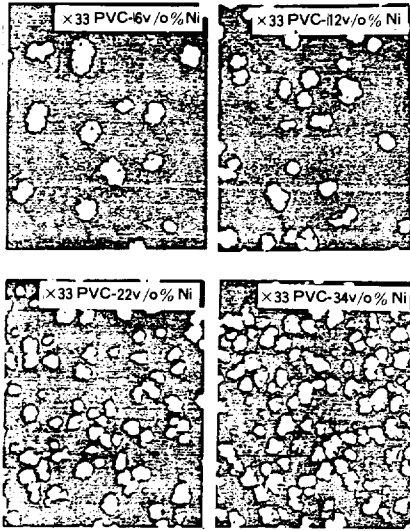


Fig. 1. The microphotographs of PVC-Ni composites.

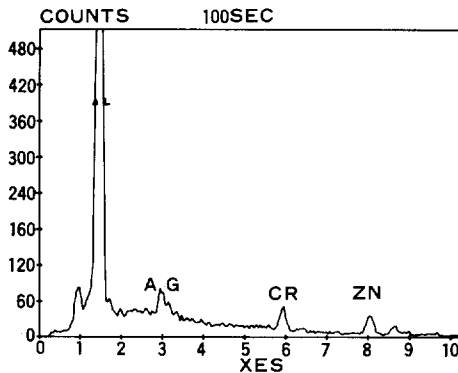


Fig. 2. KEVEX analysis of ABS/Al flake composite.

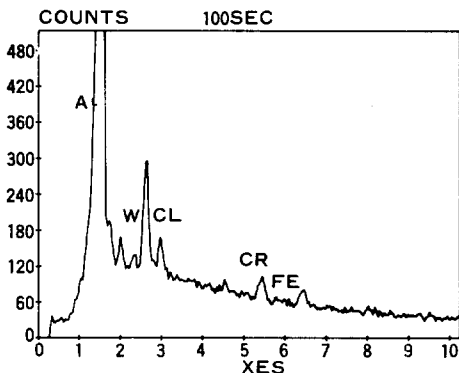


Fig. 3. KEVEX analysis of PVC/Al flake composite.

며 EMI 방지효과에 적합한 복합재의 제조기술에 도움이 될 것이다.

결과 및 고찰

시편제작과정에 따라 복합재의 전기전도성이 달라지기 때문에 이것을 측정한 결과는 Fig.4의 PVC/Ni과 같았으며 PVC/Al과 ABS/Al인 경우는 Fig.5와 같았다. PVC/Ni인 경우는 sintering과 milling 과정에 따라 현저한 전기저항의 차이가 생겼지만^{8,9} PVC/Al, ABS/Al인 경우는 큰 차이가 없었다. 이것은 고분자 물질의 크기(R_p)와 충전제의 크기(R_m)에 관계되며 Ni인 경우 $R_p \gg R_m$ 이므로 소위 전도 망상구조^{4,8}를 형성할 수 있는 반면에 Al인 경우 flake의 크기가 크기 때문에 위와 같은 망상구조 형성이 불가능하기 때문이다. Fig.5에서 약 15vol%의 Al을 ABS에 첨가하면 전기저항이 급격히 감소함을 볼 수 있고 Fig.6의 SEM의 사진에서 Al의 배열이 random하게 되어 있음을 알 수 있다. 가늘게 보여진 Al flake는 단면에 수직인 방향으로 배열되어 있는 것이고 굴곡한 면을 차지하고 있는 것들을 단면과 수평으로 되어 있는 flake들이다. 반면에 똑같이 15 vol%의 Al을 PVC에 첨가했을때도 전기 저항이 감소하지만 Fig.7의 SEM 사진에서 볼 수 있듯이 Al의 배열은 compounding할때 milling에 의한 일정방향 응력에 따라 단면에 수직으로 배열되어 있음을 알 수 있다. 따라서 앞서 설명한 망상구조 형성에 의한 전기 전도현상은 여기서는 맞지 않고 Fig.8에 보여준 model과 같이 Al flake들이 random 또는 일정하게 배열되면서 접촉되어지기 때문에 전기전도가 일어난다고 볼 수 있다.

EMI방지 효과에 대해서는 전기전도 또는 전기저항을 가지고 간접으로 평가하는데 정전기차폐, 전자기차폐, 자기차폐 등에 따라 이를 규정하는 것이 다르나 전자기차폐에 관해서는 FCC(federal communications commission) 규격을 비롯하여 국제 규격인 CISPR, 군사규격인 MIL-STD 462, 일본규격인 JRTC 등이 있다. 컴퓨터에 관한 기술규격인 FCC에서 규제하고 있는 차폐효과(SE)의 한계는 약 30dB정도이다. Fig.9는 부피저항과

SE, 또는 attenuation(dB)과의 관계를 나타낸 것이며 Table 2는 attenuation과 shielding과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 약 30dB의 SE에 해당하는 부피저항은 $10^0 \sim 10^1 \Omega \text{cm}$ 임을 알 수 있다. Cu와 Ni을 충전제로 사용했을 경우 16v% 정도에서¹⁰, Al을 충전제로 사용했을 경우 20v% 정도에서 이만한 부피저항을 나타내었다. 따라서 충전제의 첨가량은 EMI 방지용으로는 16~20v%를 쓰면 적당하나 복합재의 활용에 있어서 기계적성질이 또한 문제가 되므로 이 성질과 종합

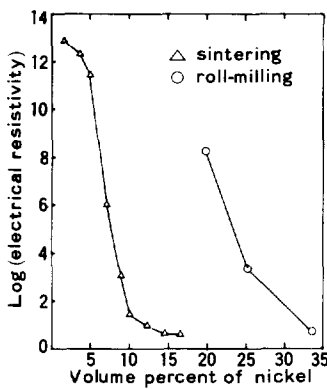


Fig. 4. Log(electrical resistivity) of PVC/Ni composites as a function of metal contents.

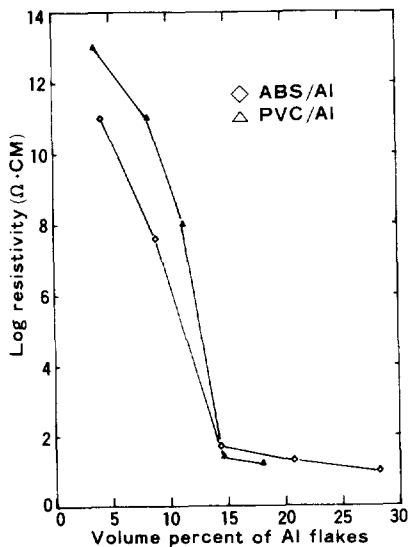


Fig. 5. The effect of volume percent of Al flakes on the electrical resistivity of PVC/Al and ABS/Al composite.

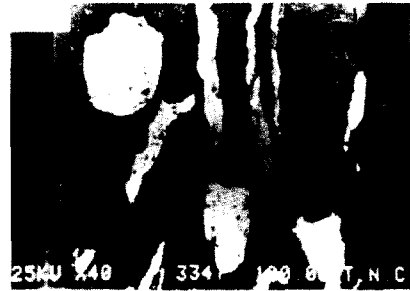


Fig. 6. Scanning electron microscope photographs of ABS/Al composite.

적으로 고려하여 활용해야 한다.

고분자 수지에 Al을 첨가한 복합재의 기계적 성질중의 하나인 인장강도에 관한 측정결과는 Fig. 10과 같다. 즉 인장강도는 milling이나 sintering의 시편 제작과정에 관계없음을 알았으며 이는 구형의 Cu나 Ni을 첨가제로 사용한 복합재료의 경우^{8,9} 보다 강도가 크고 판이한 결과이다. 첨가량에 따라 인장강도가 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 감소의 정도는 구형입자를 충전제로 사용하였을 경우에 비하여는 많이 향상되었음을 알 수 있었다^{8,9}. 사출기로 가공한 플라스틱제품의 사용인장강도는 보통 약 420kg/cm²이며 PVC/Al에서 Al 함량이 20v%일때의 인장강도는 이 범위내에 있으나 ABS/Al에서 Al함량이 20v%일 때의 인장강도는 이보다 조금 약한강도를 보여주고 있다.

그러나 컴퓨터 case나 housing으로 사용함에는

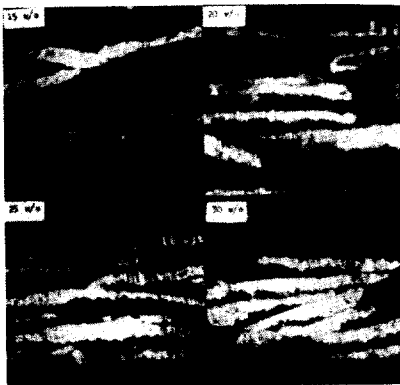


Fig. 7. Microphotographs of PVC/Al flake.

Table 2. Attenuation과 Shielding과의 관계

Attenuation(dB)	% of initial electro-magnetic radiation shielded
10	90
20	99
30	99.9
40	99.99
50	99.999
60	99.9999
70	99.99999

충분한 강도임을 알 수 있다. 수지와 충전제가 완전히 혼합되었다고 가정하였을때의 인장강도를 계산하여 실험치와 비교한 것이 Table 3이다.

이 표를 보면 PVC/Al인 경우 PVC-Al간의 adhesion이 비교적 강하며 ABS/Al인 경우 ABS-Al간의 adhesion은 약함을 볼 수 있고 소위 stress concentration에 의한 것임을 짐작할 수 있다¹¹.

충격강도에 관한 실험결과는 Fig.11과 같으며 구형의 Cu나 Ni때⁹ 보다 flake상의 Al을 충전제로 사용했을 때가 충격강도가 높았다. 본 실험에

Table 3. Ultimate Tensile Strength of PVC/Al and ABS/Al Composites

PVC/Al;wt % of Al	Ultimate tensile strength(kg/m ²)	
	Experimental	Expected value*
0	4.9×10^6	—
10	4.5	4.63×10^6
15	4.0	4.50
20	3.9	4.35
25	3.7	4.19
30	3.2	4.02
ABS/Al: 0	4.2	—
10	2.8	2.87
20	2.3	2.73
30	1.9	2.57
40	1.6	2.38
50	1.4	2.15

* Expected value

$$= \frac{\text{wt \% PVC/density of PVC}}{\text{wt \% PVC/density of PVC} + \text{wt \% Al/density of Al}} \times 4.9 \times 10^6$$

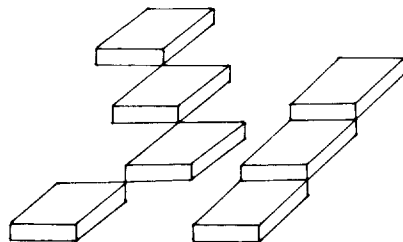


Fig. 8. Schematic diagram of conducting network.

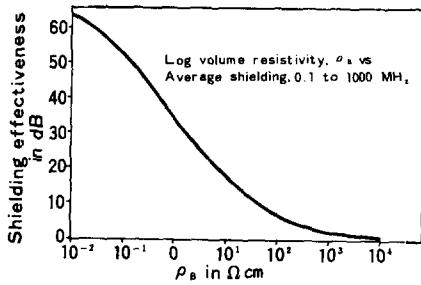


Fig. 9. Log(volume resistivity) vs. average shielding effectiveness.

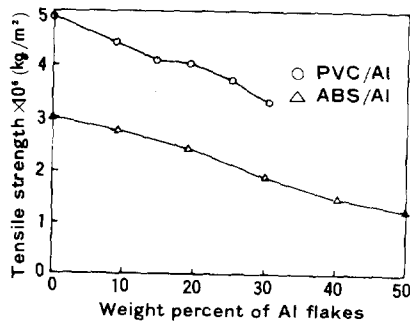


Fig. 10. Tensile strength of ABS/Al flake and PVC/Al flake composites as a function of metal content.

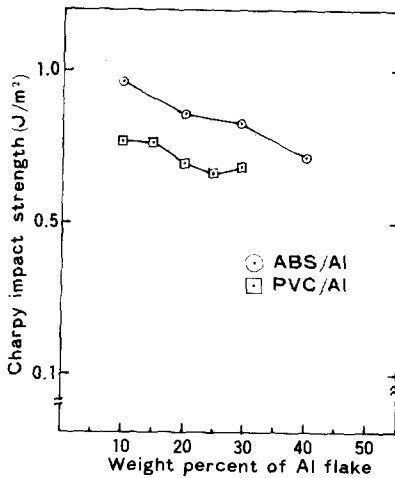


Fig. 11. The effect of weight percent of Al flake on the impact strength of PVC/Al flake and ABS/Al flake composite.

서 charpy tester를 사용했을때 notch를 만들지 않고 그대로 실험을 하였기 때문에 충격강도의 척도 (J/m^2)는 izod tester로 실험한 결과의 척도

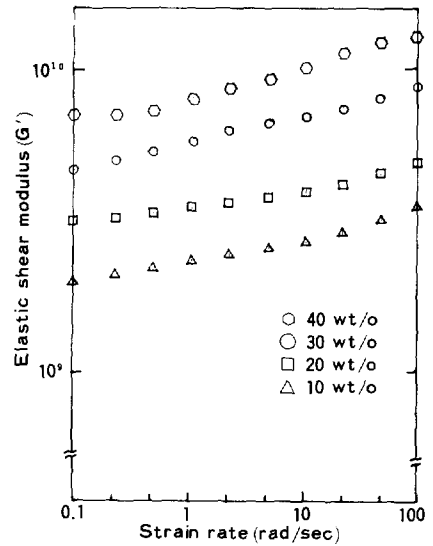


Fig. 12. The effect of weight percent of Al flake on the elastic shear modulus of ABS/Al flake composite.

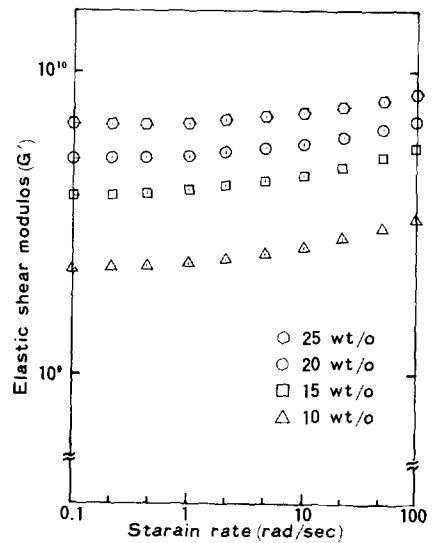


Fig. 13. The effect of weight percent of Al flake on the elastic shear modulus of PVC/Al flake composite.

(N-m/m)와는 비교하기 어려우나 충전제의 첨가량에 따른 충격강도의 감소추세는 Al일 때가 완만하였으며 전자제품의 부품활용에 충분한 강도 범위를 나타내고 있었다. Al을 20v% 첨가했을 때

의 강도는 약 0.8J/m^2 였고 ABS나 PVC만의 충격강도 보다는 낮았다.

금속입자를 충전제로 사용했을 때의 복합재의 유동학적 성질을 알면 가공공정에 크게 도움이 되

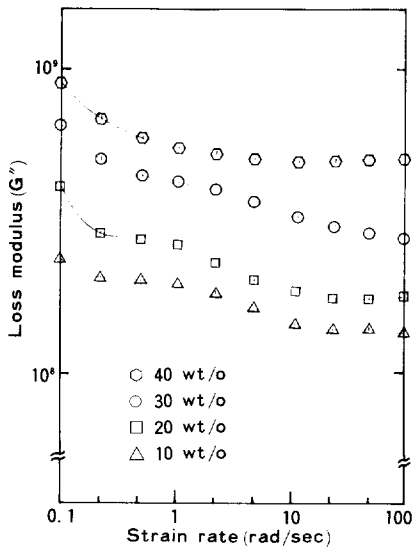


Fig. 14. The effect of weight percent of Al flake on the loss modulus of ABS/Al flake composite.

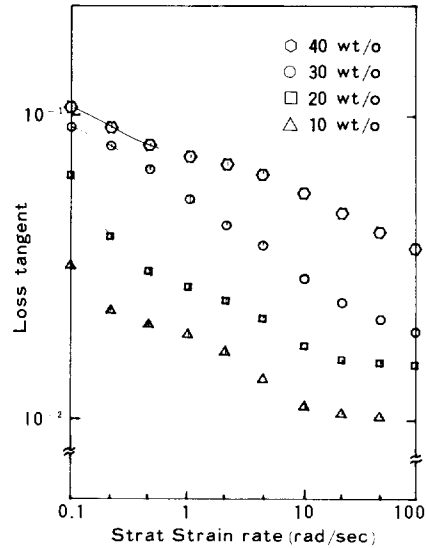


Fig. 16. The effect of weight percent of Al flake on the loss tangent of ABS/Al flake composite.

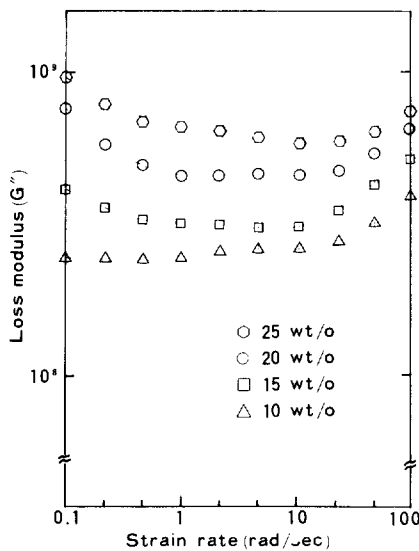


Fig. 15. The effect of weight percent of Al flake on the loss modulus of PVC/Al flake composite.

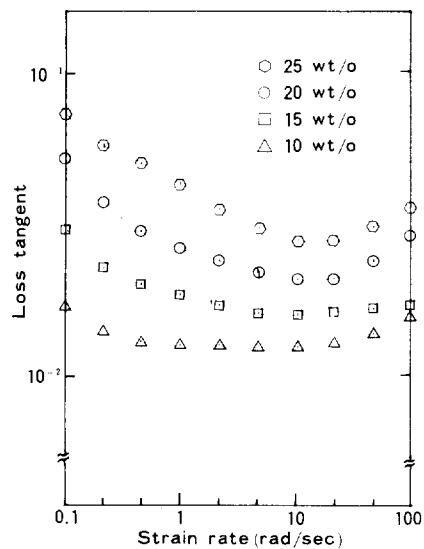


Fig. 17. The effect of weight percent of Al flake on the loss tangent of PVC/Al flake composite.

며 제품과정에서 기초자료가 될 수 있다. Fig.12, 13은 ABS/Al과 PVC/Al의 rate sweep, 즉 strain rate에 따른 elastic shear modulus, 즉 storage modulus (G')의 변화를 충전제의 첨가량에 따라 측정한 결과이다. 일반적으로 충전제가 첨가되면 G' 가 증가하는 경향이 있는데 여기서도 증가했음을 알 수 있었다.

Fig.14,15는 이들 복합재료의 loss modulus (G'')의 변화를 측정한 것이다. 이때도 G' 때와 마찬가지로의 증가추세를 보였고 G' 와 G'' 는 이물질이 첨가될 때 고분자 사슬의 움직임이 제동을 받게 되기 때문에 증가하는 것이다^{12,13}. loss tangent (Δ)의 변화도 Fig.16,17에서 보듯이 증가하는 것을 알 수 있고 Gray과 McCrum¹³이나 Nielson¹⁴도 이러한 damping 현상을 설명한 바 있다.

결 론

EMI방지에 유효한 고분자/금속 복합재료 PVC/Al, ABS/Al을 만들어 이들의 기계적 성질과 함께 전기적성질을 측정하여 EMI방지 효과는 SE의 값으로 평가하였고 전자제품의 부품으로서의 활용가치를 기계적성질 및 유동학적성질을 측정하여 평가하였다. compounding 과정에는 무관하게 Al이 약 20v% 첨가되면 $10^2 - 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 의 부피저항을 나타냈으며 이는 SE의 값이 약 30dB의 값과 일치함을 알았다. 인장강도와 충격강도도 Al이 20v% 첨가되었을때 $4 \times 10^6 \text{kg/m}^2$ 정도와 0.8J/m^2 정도의 강도를 나타냈으며 컴퓨터 case 또는 housing과 같은 제품에 활용하기에 충분한 강도였음을 알았다. 유동학적성질로 G' , G'' 및 loss tangent의 값을 측정하였고 첨가제의 함량증가에

따라 고분자사슬의 거동이 제한을 받는다는 사실을 알았으며 제품가공시에 필요한 기초자료가 됨을 알았다.

감사의 글: 본 연구는 한국 학술진흥재단에서 지원하는 연구비에 의해 실시되었으며 재단의 도움에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 中川孝夫, 工業材料, **30**, 32 (1982).
2. 前田正彦, 山本達雄, 工業材料, **30**, 42 (1982).
3. 荒木庸夫, "電磁波妨害と防止對策", 東京電機大學 出版局, p. 116 (1978).
4. R. P. Kusy, *J. Appl. Phys.*, **48**, 5301 (1977).
5. A. Malliaris and D. T. Thrner, *Ibid.*, **42**, 614 (1971).
6. J. Gurland, *Trans. Metall. Soc., AIME.*, **236**, 642 (1966).
7. S. A. Schelkunoff, 電子波論, 岩波書店, p. 321 (1964).
8. 문탁진, 최창현, 김장현, *Polymer*, **7**, 380 (1983).
9. 문탁진, 이미경, 김선호, 대한화학회지, **29**, 319 (1985).
10. 문탁진, 강창균, *Bull. Korean Chem. Soc.*, **6**, 45 (1985).
11. G. Landon, G. Lewis, and G. F. Poden, *J. Matr. Sci.*, **12**, 1605 (1977).
12. L. Holliday and J. Robinson, *Ibid.*, **8**, 301 (1973).
13. R. W. Gray and G. McCrum., *J. Appl. Polym. Sci.*, **A2**, 1329 (1969).
14. L. E. Nielson, *J. Appl. Polym. Sci.*, **10**, 97 (1966).