

제강Slag 충전 폐플라스틱/복합 전도성 filler 복합재료의 전자파 차폐 효과

강영구[†] · 송종혁^{*}

호서대학교 안전시스템공학과 · ^{*}호서대학교 벤처전문대학원
(2004. 9. 20. 접수 / 2004. 11. 24. 채택)

EMI Shielding Efficiency of Recycled Plastic/Hybrid Conductive filler Composites filled Electro Arc Furnace Slag

Young-Goo Kang[†] · Jong-Hyeok Song^{*}

Department of Safety System Engineering, Hoseo University

^{*}Graduate School of Venture, Hoseo University

(Received September 20, 2004 / Accepted November 24, 2004)

Abstract : Electromagnetic interference(EMI) shielding characteristics of composite filled with Cu flake and carbon brush powder as hybrid conductive filler and EAF slag have been studied. The coaxial transmission line method of ASTM D4935-99 was used to measure the EMI Shielding effectiveness of composites as formulation in frequency rage 100~1,000MHz. The SE also increases with the increase in filler loading.

The hybrid filler filled composites show higher SE compared to that of only Cu flake. The correlation between SE and conductivity of the various composites is also discussed. The results indicate that the composites having higher filler loading($\geq 40\text{wt.}\%$) can be used for the purpose of safety materials to protect hazardous electromagnetic interference.

Key Words : electromagnetic interference, Cu flake, shielding effectiveness, conductive filler, conductive composites

1. 서 론

전자, 통신기기의 급속한 발전 및 대량 보급에 의해 전자기기의 사용이 급증하고 있으며 이에 따른 전자파의 유해성이 제4의 공해로 대두되고 있다.

전기·전자 제품에서 발생하는 전자파는 산업기기 오작동의 원인이 되어 산업재해를 유발할 수도 있으며 인체에 있어서는 바이오투의 불균형을 유발하고 뇌종양, 혈액암 등의 원인이 될 수 있다고 보고되고 있다¹⁻³⁾. 특히 고분자 기술의 발전과 함께 전자, 전기 및 통신기기의 하우징 재료가 금속에서 우수한 가공성, 경량성, 경제성 등의 장점을 갖는 플라스틱으로 대체되고 있는데 대부분의 플라스틱 재료는 일반적으로 절연체(insulator)로서 전자파를 반사시키거나 흡수하지 못하고 투과하는

특성 때문에 플라스틱 재료의 전자파 차폐 문제가 새로이 부각되고 있다. 일반적으로 플라스틱 재료의 전자파 차폐를 위해서는 플라스틱 재료에 전기 전도성을 부여하여야 하며 이를 위해 적용되는 기술로는 전도성 물질을 용매상에 분산시킨 용액(solution)을 플라스틱에 코팅하거나⁴⁾ 니켈, 은, 구리 등의 금속을 플라스틱 표면에 무전해 도금하는 방법^{5,6)}, 열가소성수지(thermoplastics)에 전기전도성 충전재(conductive filler)를 첨가하여 성형 가공하는 방법^{7,8)}, 본질적으로 전기전도성 고분자를 합성하는 방법^{9,10)} 등이 있다.

이중에서 전기전도성 물질을 열가소성 수지에 분산시킨 복합재료는 다른 방법에 비해 신뢰성이 높고 경제성이 우수하여 널리 사용되고 있으며 Table 1에 나타낸 바와 같이 전자파 차폐 효율 정도와 차폐 목적에 따라 다양한 전도성 충전재들이 사용되고 있다. 전도성 충전재의 함량이 증가할수록 소재의 비저항이 낮아져 전자파 차폐효율은 증가하지만

[†]To whom correspondence should be addressed.
ygkang@office.hoseo.ac.kr

Table 1. Some usual conductive fillers and their incorporation loading in thermoplastics⁽¹⁾

Enhancing type	Typical content (wt%)	Additive type	Typical content (wt%)
PAN carbon fiber	30	Ketjen carbon black	5~15
Graphite fiber	10	Furnace carbon black	30~40
Aluminium fiber	30	Aluminium flakes	40
Stainless steel fiber	5	Aluminium powders	30
Nickel-coated graphite fiber	10	Copper powders	30
Gold-plated glass fiber	30	Nickel-coated glass beads	20

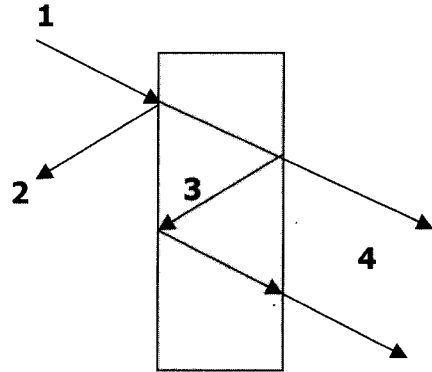
소재의 기계적 강도가 저하되기 때문에 높은 차폐 효율과 소재의 강도특성 모두를 만족시키기 위한 충전재로는 주로 fiber상의 금속이나 Nickel, gold 등이 코팅된 탄소 또는 유리섬유 등이 사용된다^(12,13).

단순 첨가형 충전재로는 대표적으로 전도성 carbon black과⁽¹⁴⁾ powder 또는 flake상⁽¹⁵⁾의 금속이 널리 사용되고 있으나 평균적인 차폐효과를 위해서는 충전함량이 30wt(%) 이상이 되어야 하며 이들 전도성 충전재들은 대부분 고가의 수입품들이기 때문에 본 연구에서는 폐기되는 구리전선을 수거하여 flake 상으로 가공한 후 고 동함량의 폐carbon brush와 혼합하여 전도성 filler로 사용하였으며 합철 성분을 갖는 제강 slag와 함께 혼합하여 페플라스트릭 matrix 수지에 첨가하고 전자파 차폐 효율을 측정하여 전자파 차폐 관련 저가 안전소재로서의 적용가능성을 확인하였다.

2. 이론

2.1. 차폐효율(SE, shielding effectiveness)

전자파 차폐는 외부에서 입사되는 전자파 간섭 (EMI, electromagnetic interference)의 차폐를 의미하며 전자파를 표면에서 반사시키거나 흡수시켜 내부로 투과되는 것을 방지하는 것이다. 차폐에 의한 전기·전자 기기의 보호능력을 차폐효율(SE, shielding effectiveness)이라 하며 전자파의 감쇄율을 의미하는 것으로 decibel(dB)로 표시한다. 차폐재료에 전자파가 입사되면 Fig. 1과 같이 반사, 회절, 흡수, 투과 현상이 나타나며 이때 차폐효과의 총계를 차폐효율이라 한다. 보통 0~10dB는 차폐효과가 거의 없다고 판정되며 10~30dB는 최소한도의 차폐효과, 30~60dB는 평균적인 차폐효과, 60~90dB는 평균 이상, 90dB 이상의 차폐효율은 초정밀 전자·통신 기기나 군사용 목적을 위한 최고 기술에 의한 차폐효과를 의미한다.



Shielding Material

Fig. 1. Schematic of EMI shielding (1: incident wave, 2: reflected wave, 3: multiple internal reflection, 4: transmitted wave)⁽¹⁶⁾

3. 실험

3.1. Cu flake 가공

본 연구에서 전기전도성 충전재로 사용된 Cu flake는 0.08 ϕ , 0.26 ϕ 의 직경을 갖는 폐동선을 롤(rolling) 가공을 통해 압연 후 커팅장치를 통과시킴으로써 2~3mm 크기로 절단하여 flake상으로 가공하였다. Roll가공 후 flake의 폭(width)과 두께(thickness)는 0.08 ϕ 폐동선의 경우 0.26mm와 30 μ m였으며 0.26 ϕ 폐동선의 경우 0.88mm와 50 μ m를 나타내었다. Fig. 2는 폐동선을 flake상으로 가공하는 공정을 나타낸 것이다.

3.2. 전자파 차폐 복합성형체 제조

매트릭스 수지인 폐HDPE를 분쇄하여 진공건조기에서 60 $^{\circ}$ C, 12hr 동안 건조하고 90 $^{\circ}$ C에서 24hr 이상 건조된 200mesh 이하 입도의 EAF slag powder,

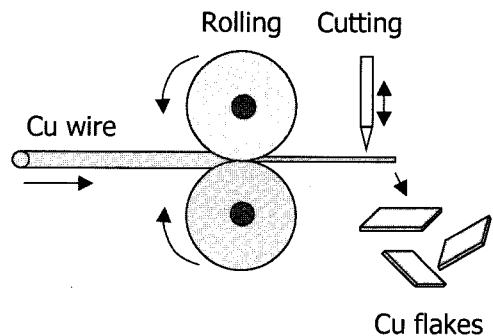


Fig. 2. Process of manufacturing for conductive filler

두가지 두께로 가공된 페Cu flake와 페carbon brush powder를 formulation에 따라 double cone mixer에서 30rpm으로 10분간 혼합한 후 열압착 성형기를 이용하여 200mm×200mm의 금형내에서 190℃의 온도로 압착성형하였다.

3.3. 전자파 차폐 복합성형체의 기계적 강도 특성 및 Morphology 특성

본 연구에서는 전도성 filler로서 flake상의 구리와 powder상의 carbon brush를 혼합하여 사용하였기 때문에 이들의 formulation에 따른 복합성형체의 강도특성을 평가하기 위해 ASTM D638 규격에 의한 인장강도 특성과 ASTM D256 규격에 따른 충격강도 특성을 평가하였으며 Zooming stereomicroscopy (OSM-1, dongwon science)를 이용해 전도성 충전재 및 성형체의 표면을 60배의 배율로 관찰하였고 전도성 충전재의 분산상태를 확인하기 위해 SEM ((PSEM-75, RJ Lee Instruments Ltd.)을 이용하여 성형체의 파단면을 gold sputtering 한 후 100배의 배율로 관찰하였다.

3.4. 전자파 차폐 복합성형체의 전기전도도 및 차폐효율(Shielding Effectiveness) 측정

복합 성형체의 전기적 특성은 Micro-Ohmmeter를 이용하여 4 Probe method로 측정하였으며 체적저항을 계산하여 formulation에 따른 값을 비교하였다. 전자파 차폐효율 측정은 ASTM D4935-99¹⁷⁾에 따라 제작된 Flanged circular coaxial transmission line method를 이용하였고 제조된 판상의 전자파 차폐 복합성형체를 Fig. 3에 나타난 규격으로 가공하고 전자파 발생기와 수신기 기능을 갖춘 Network Analyzer (HP 8720C)를 사용하여 100MHz~1,000MHz의 주파수 범위에서 차폐효과를 측정하였다.

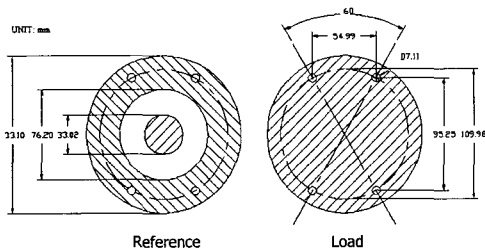


Fig. 3. Dimensions of reference and load specimens for EMI shielding effectiveness test

차폐효과(SE, Shielding Effectiveness) 계산은 shielding material이 있을 때와 없을 때의 전력비로 계산되며 아래의 수식 (1)으로 표현된다.

$$SE = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (\text{decibels, dB}) \quad (1)$$

P_1 = received power with a material present

P_2 = received power without a material present

4. 결과 및 고찰

4.1. 기계적 강도 특성 및 Morphology 특성

전도성 충전재 및 slag powder가 첨가되지 않은 페HDPE 성형체는 Table 3에서와 같이 인장강도 168.4kgf/cm², 충격강도 22.8kgfcm/cm²을 나타내었으나 slag powder를 50wt(%) 첨가할 경우 인장강도 80.2kgf/cm², 충격강도 4.64kgfcm/cm²로 매우 낮은 강도특성을 나타내었다. 이는 유기물인 페HDPE matrix와 무기물인 slag powder의 낮은 계면결합력 때문이며 페HDPE의 함량을 50wt(%)로 고정하고 가공된 Cu flake와 Slag powder를 혼합하여 충전한 경

Table 3. Mechanical strength and volume resistivity of EMI shielding composites

Formulation of Filler	Tensile Strength S(kgf/cm ²)	Izod Impact Strength (kgfcm/cm ²)	Volume Resistivity (Ω -cm)
Not filled(HDPE 100)	168.4	22.8	1×10 ¹³
Slag50	80.2	4.64	5×10 ¹²
Cu flake(30 μ m)20/Slag30	82.3	4.41	7×10 ⁸
Cu flake(30 μ m)30/Slag20	88.8	4.28	3×10 ⁵
Cu flake(30 μ m)40/Slag10	101.2	4.34	850
Cu flake(50 μ m)30/Carbon brush10/Slag10	92.4	4.05	600
Cu flake(50 μ m)20/Carbon brush20/Slag10	89.1	3.88	475
Cu flake(50 μ m)10/Carbon brush30/Slag10	83.5	3.56	250
Cu flake(30 μ m)30/Carbon brush10/Slag10	91.1	4.08	360
Cu flake(30 μ m)20/Carbon brush20/Slag10	87.2	3.98	150
Cu flake(30 μ m)10/Carbon brush30/Slag10	85.4	3.74	95

Content of Recycled HDPE of Filled Composites : 50wt(%)

우 Cu flake의 함량이 증가함에 따라 인장강도 특성은 향상되었으나 충격강도 특성은 감소하였다. 인장 특성의 향상은 비중이 큰 Cu flake의 함량이 증가할 경우 filler 전체의 체적충진량이 감소함으로써 matrix 수지의 부피분율이 증가한 결과이며 충격강도 특성의 감소는 Cu flake의 morphology 특성으로 인한 낮은 anchor effect 때문에 충격에 의한 matrix 수지 계면에서의 분리가 쉽게 일어나기 때문이다. 페HDPE와 slag의 함량을 고정하고 Cu flake와 carbon brush를 혼합 filler로 40wt(%) 충전한 경우는 carbon brush의 함량이 증가함에 따라 강도특성이 감소하였으며 Cu flake의 두께가 30 μ m인 경우가 50 μ m인 경우와 비교해 Cu flake 함량 감소에 따른 강도특성의 감소폭이 작았는데 이는 상대적으로 큰 aspect ratio (L/D)에 기인한 것으로 사료된다.

페Cu flake와 페carbon brush가 혼합 filler(Fig. 4(a))로 충전된 전자파 차폐 복합성형체는 표면 특성 분석 결과 Fig. 4(b)에 나타내었듯이 분산상태가 양호하였으나 matrix 내에 carbon brush의 aggregation이 부분적으로 나타났으며 이러한 특성은 강도특성의 저하로 나타남을 알 수 있다. 복합성형체의 파단면을 SEM을 이용하여 측정한 결과 Fig. 5에서와 같이 Cu flake 단독으로 충전된 성형체(a)가 carbon brush와 복합으로 충전된 성형체(b)에 비해 안정된 분산상을 나타내었으며 Fig. 5(a)에 나타낸바와 같이 Cu flake와 matrix 계면 사이에 접착력이 없음을 확인할 수 있는데 이는 Table 3에 나타낸 Cu flake 함량 증가에 따른 충격강도 특성 감소의 원인임을 알 수 있다. 이러한 문제는 silane계열이나 titanate 계열의 coupling agent를 이용하여 무기계 충전재를 표면처리 함으로써 강도 특성 및 전기전도도를 향상시킨 연구결과^{17,18)}에서와 같이 적절한 coupling agent를 적용함으로써 해결할 수 있으리라 사료된다.

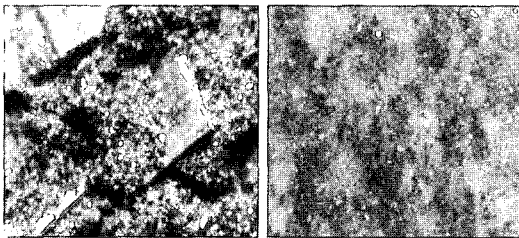


Fig. 4. Morphology of conductive filler and EMI shielding composites (zooming stereomicroscopy, $\times 60$)

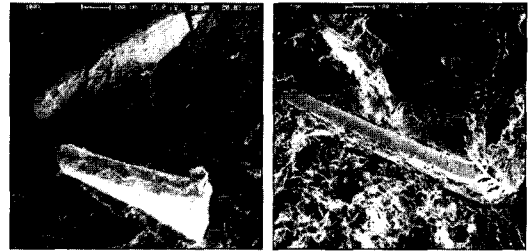


Fig. 5. SEM photographs of fractured surfaces of EMI shielding composites (SEM, $\times 100$)

4.2. 전기적 특성 및 전자파 차폐 효과

복합성형체의 전기적 특성을 시험한 결과 filler가 첨가되지 않은 페HDPE 성형체와 slag powder가 50wt(%) 첨가된 성형체의 경우 거의 절연체에 가까운 전기적 특성을 나타내었으나 Cu flake를 20wt(%) 충전할 경우 체적저항이 $7 \times 10^8 \Omega\text{-cm}$ 으로 ESD (Electro Static Dissipative)수준으로 감소하였으며 Cu flake 함량을 40wt(%) 충전할 경우 850 $\Omega\text{-cm}$ 으로 낮은 체적저항을 나타내었다.

Cu flake와 carbon brush를 복합 filler로 적용한 성형체의 경우 Cu flake 단독 적용의 경우보다 우수한 전기전도 특성을 나타내었으며 carbon brush 함량이 증가함에 따라 고분자 matrix 내에 분산된 전기전도성 충전재의 체적분율의 증가로 체적저항이 감소하는 결과를 나타내었다. Cu flake의 두께에 따른 전기전도 특성은 상대적으로 aspect ratio(L/D)가 큰 30 μ m Cu flake의 경우가 50 μ m Cu flake와 비교해 우수한 전기전도 특성을 나타내었다.

전기적 절연체인 페HDPE 성형체는 발생하는 신호를 모두 투과시켜 전자파 차폐효과가 전혀 없는 것으로 나타났으며 slag powder만을 50wt(%) 충전한

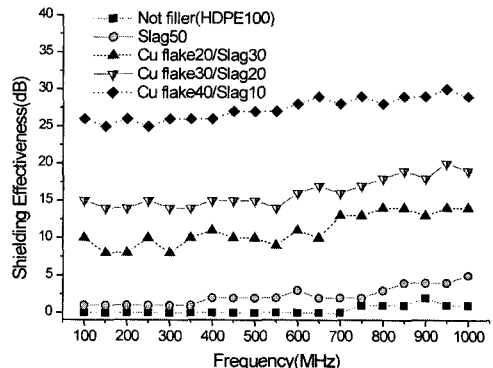


Fig. 6. Shielding effectiveness of EMI shielding composites filled Cu flake with 30 μ m thickness.

성형체 또한 낮은 전기 전도성으로 인하여 매우 낮은 차폐효과를 나타내었다. Cu flake를 20~40wt(%) 충전한 복합성형체의 경우 Fig. 6에 나타난 바와 같이 Cu flake 충전 함량에 따라 평균 11.1~27.4dB의 차폐효과를 나타내었으며 Cu flake 40wt(%) 복합성형체의 경우 측정된 주파수 범위(100~1,000MHz)내에서 고른 차폐효과를 나타내었다.

50 μ m 두께의 Cu flake와 carbon brush가 복합 filler로서 충전된 성형체의 두 filler의 배합비율에 따른 전자파 차폐 효과를 측정된 결과 전도성 filler 총 함량 40wt(%)를 기준으로 Cu flake/carbon brush 중량비율을 30/10, 20/20, 10/30으로 충전한 성형체의 주파수 변화에 따른 전자파 차폐특성은 Fig. 7에서와 같이 함량비에 따른 전자파 차폐효과의 차이가 크지는 않았으나 carbon brush의 함량이 증가함에 따라 평균적인 차폐효과가 증가하였으며 이는 성형체의 전기전도도 증가가 차폐효과와 관련 있음을 나타내는 결과이다.

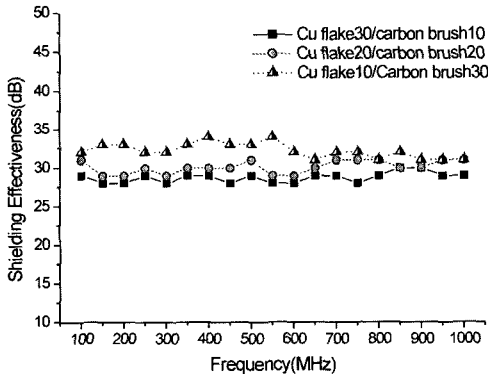


Fig. 7. Shielding effectiveness of EMI shielding composites filled Hybrid filler(Cu flake thickness : 50 μ m)

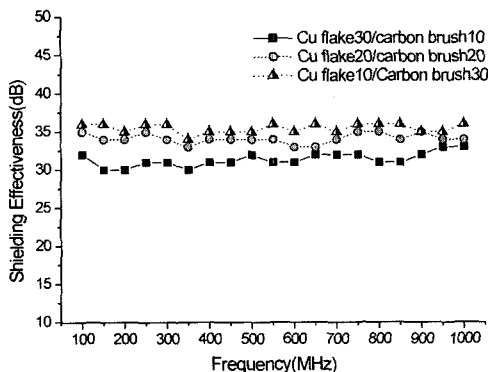


Fig. 8. Shielding effectiveness of EMI shielding composites filled hybrid filler(Cu flake thickness : 50 μ m)

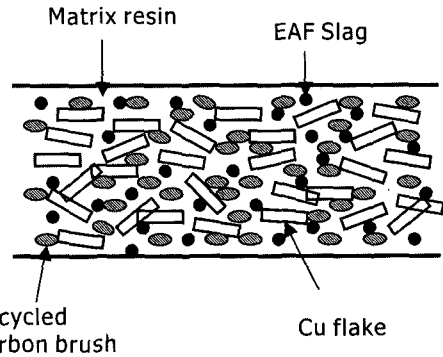


Fig. 9. Ideal structure of EMI composite for stable formation of conductive network

30 μ m 두께의 Cu flake가 충전된 복합 filler 적용 성형체의 경우 Fig. 8에서와 같이 두 filler의 함량비에 따른 전자파 차폐효과 특성은 50 μ m 두께의 Cu flake 충전 성형체와 비슷한 경향을 나타내었으며 함량비에 따라 평균 31.3~35.4 dB의 우수한 차폐특성을 나타내었다. 50 μ m 두께의 Cu flake가 충전된 성형체에 비해 filler의 체적분율이 크고 aspect ratio가 높기 때문에 전반적으로 높은 전자파 차폐효과를 나타내었다.

4. 결 론

Cu flake와 carbon brush를 복합 filler로 충전한 전자파 차폐 성형체는 Cu flake 만을 충전한 성형체와 비교하여 높은 전자파 차폐효과 특성을 나타내었으며 측정된 주파수 범위 내에서 비교적 안정한 차폐효과 특성을 나타내었다. 이는 Cu flake 만을 충전한 경우 전도성 filler의 부피분율이 작기 때문에 filler의 분산 및 배향이 Fig. 9와 같이 이상적인 구조를 갖지 않을 경우 전기전도 특성에 필요한 network 형성이 용이하지 않아 전자파 차폐효과에 영향을 주기 때문이다.

본 연구에서는 50 μ m와 30 μ m의 두께를 갖는 Cu flake를 적용하였는데 30 μ m Cu flake의 경우가 우수한 전자파 차폐특성을 나타내었다. 이는 평균 aspect ratio(L/D)가 높은 경우가 matrix 수지 내부에서 전기전도의 향상을 위한 network의 형성이 용이하기 때문이며 전자파 차폐효과를 위한 내부구조의 network 형성에 있어 전기전도도와 함께 충전재의 체적충진비가 중요한 변수임을 의미하는 것이다.

전자·통신 산업의 발전으로 각종 전자기기 사용의 급증과 함께 전자파 차폐 소재의 수요가 확대되

고 있는 실정에서 고가의 전도성 filler 대신 폐기물을 가공하여 전자파 차폐소재를 제조함으로써 유해 전자파 차폐를 위한 경제성 있는 고분자 안전소재의 개발 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- 1) C.C. Johnson and A. W. Guy in "Biological Effects of Electromagnetic Radiation" (J. M. Osepchuck Ed.), IEEE Press, N. Y., pp. 47~43, 1987.
- 2) J. T. Hoback and J. J. Reilly, J. of Elastomers and Plastics, 20, 54, 1988.
- 3) S. T. Shinn, Y. C. Fa, Mat. Sci. Eng. A 302, p. 258, 2001.
- 4) Kawakubo, Chuba T. and Otaka, T., Plating Surface Finishing, 78(2), p. 48, 1991.
- 5) C. Y. Huang and J. F. PAI, Eur. Polym. J. Vol. 34, No. 2, pp. 261~267, 1998.
- 6) Pletcher and Welch, "Industrial Electrochemistry", Ch. 8, Blackie A&P, 1993.
- 7) J. M. Crosby and J. E. Travis, Rubber World 193, 30, 1985.
- 8) T. Katsura, M. R. Kamal, and L. A. Utracki, Polym. Compos. 6, p. 282, 1985.
- 9) Taka, T., Synth. Metals, 41(43), p. 1177, 1991.
- 10) L. W. Shacklette and N. F. Colaneri, J. Vinyl Technol., 14(2), p. 118, 1992.
- 11) M. Q. Zhang, Study on the Structure-Property Relation of Electrical Conductive Polymeric Composites, PhD thesis, Zhongshan University, Guangzhou, China, 1991.
- 12) C. Y. Huang, W. W. Mo, Surface and Coatings Technology 154, pp. 55~62, 2002.
- 13) S. S. Tzeng, F. Y. Chang, Materials Science and Engineering, A302, pp. 258~267, 2001.
- 14) N. C. Das, D. Khastgir, T. K. Chaki, A. Chakraborty, Composites, Part A31, pp. 1,069~1081, 2000.
- 15) W. M. Wright and G. W. Woodham, Conductive Plastics, Conductive Polymer and Plastics (J. M. Margolis, ed.), Chapman and Hall, New York, p. 119, 1989.
- 16) A. Moguez, Composite materials modification for EMI shielding, Proceedings of the 9th International Conference of the Society for the Advancement of Material and Process Engineering European Chapter, Milan, pp. 237~252, 1988.
- 17) 강영구, 송종혁, Coupling agent 처리에 따른 난연 Composite의 기계적 특성 및 난연특성 연구, 2004, 한국산업안전학회 춘계학술발표회, pp. 465~469, 2004.
- 18) S. J. Monte, Kenrich Petrochemicals Inc, Ken-react Reference Manual, pp. 65~69, 1985.