

알루미늄 필름, 전도성 직조섬유/나노 카본블랙 탄소섬유복합재료의 전자파 차폐 효과에 관한 연구

한길영[#], 송동한^{*}, 배지수^{**}, 안동규^{***}

A Study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of the Aluminum film, Conductive Fabric and Nano Carbon black/Carbon Fiber Reinforced Composites

Gil-Young Han[#], Dong-Han Song^{*}, Ji-Soo Bae^{**}, Dong-Gyu Ahn^{***}

ABSTRACT

This study investigated electromagnetic interference(EMI) shielding effectiveness(SE) of the aluminum film, conductive fabric and nano carbon black carbon fiber reinforced composites. We fabricated carbon fiber reinforced composites filled with nano carbon black where they bonded aluminum film and conductive fabric. The measurements of SE were carried out frequency range from 300MHz to 1.5GHz. It is observed that the SE of the bonded aluminum film and conductive fabric composites is the frequency dependent, increase with the increase in filler nano carbon black content. The aluminum film bonded composites showed higher SE compared to that of carbon black and conductive fabric. The aluminum film bonded epoxy composite was shown to exhibit up to 80dB of SE. The result that aluminum film bonded composite can be used for the purpose of EMI shielding as well as for some microwave applications.

Key Words : Electromagnetic interference(EMI : 전자파 간섭), Shielding effectiveness(SE : 차폐 효과), Conductive Fiber (전도성 직조섬유), Nano Carbon black(나노카본블랙)

1. 서 론

현대의 인간은 전자파에 둘러싸여 살고 있다고 해

도 과언이 아닐 만큼 인간의 몸은 다양한 종류의 전자파에 노출되어 있다.

우리가 사용하는 모든 전기전자기기에는 전류가 흐르고 있으며 이 전류의 주위에는 전계와 자계가 유도 되는데 전위차에 의해 공간이 생긴 전계가 시간적으로 변화하면 그 주위에 전자계가 발생한다.^[1]

전자기기에서 방사 또는 전도 되는 전자파가 다른 기기의 기능에 장애를 주는 것을 전자파 장애(Electromagnetic interference :EMI)라 한다. 불필요한

교신저자 : 조선대학교 기계공학과

E-mail : kybhan@mail.chosun.ac.kr

* 조선대학교 대학원 기계공학과

** 조선대학교 대학원 기계공학과

*** 조선대학교 기계공학과

전자파인 노이즈는 고도로 자동화된 공장에서 로봇이 오작동을 일으켜 생산에 큰 차질을 빚거나, 인공심장을 가진 사람이 전자파 장애로 인한 인공심장 오작동으로 의식을 잃거나, 비행기가 전파 장애로 계기 오작동을 일으켜 항로를 이탈하거나, 군사용 레이더 통신기기의 오작동 등은 잘 알려진 사실이다.^[2]

EMI(Electromagnetic interference), EMS(Electromagnetic susceptibility), EMC(Electromagnetic compatibility)등과 같이 전자제품이나 통신기기 등에서 방출되는 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 급증하고 있으며, 전자파를 반사, 흡수할 수 있는 재료개발의 필요성이 절실히 요구되고 있는 실정이다.^[3-9]

금속은 전자파차폐에 사용되는 가장 일반적인 재료이다. 재료에 따라서 가격이 비싸고 무게가 무겁다는 단점이 있다. 비강도, 비강성, 굴곡성, 경량성 등이 우수한 섬유강화 복합재료는 전자장치의 하우징(Housing)재료로 많이 사용되고 있지만, 전자파 간섭으로부터 보호될 수 있어야 한다. 고분자 재료가 모재인 복합재료는 전기적으로 절연체이기 때문에 전자파 차폐효과는 거의 없다.

전자파를 차폐하기 위한 도전성 플라스틱은 부도체인 범용 플라스틱(Matrix)에 금속섬유, 탄소섬유 등의 도전성(Electrically conductive) 충전제(Filler)를 혼합(Blend)하여 도전화한 복합재료(Polymer-matrix composites containing conductive fillers)로써, 이러한 재료들을 사용하는 기술적인 방법이 연구되고 있다.

Z. Dou 등^[10]은 Aluminum alloy-fly ash 복합재료와 2024 알루미늄의 전자파차폐효과를 실험하여 30.0KHz-600MHz 범위에서 2024 알루미늄과 Aluminum alloy-fly ash 복합재료는 각각 약 36-46 dB 과 40-102dB의 차폐효과를 얻을 수 있었다고 보고하였다. X. Luo 등^[11]은 탄소섬유-탄소기지재 복합재료를 제작하여 0.3MHz- 1.5GHz의 주파수 범위에서 전자파차폐효과를 측정된 결과 124dB의 우수한 차폐효과를 얻을 수 있었다고 보고하였다.

Renee M 등^[12]은 에폭시를 기지재로 사용한 단섬유 구리를 혼합하여 1.0GHz에서 45dB 이상의 전자파차폐효과를 얻을 수 있었다고 보고하였다. 플라스틱 매트릭스는 일반적으로 부도체이기 때문에 전자파차폐에 직접적으로 기여하지는 않으나 혼합된 도전성 충전제의 연결성(Connectivity)에 관계되고, 연결성의 향

상은 전기전도도를 높여 전자파차폐효과를 높게 된다. 전자파차폐용 플라스틱 하우징의 제조는 플라스틱 하우징을 제조한 후 그 표면에 도전성도료를 도장하거나 금속박막을 코팅하여 도전성을 부여하는 방법을 택하는 것이 일반적이다.

따라서 본 연구에서는 탄소섬유에 나노 카본블랙을 혼합하여 성형한 탄소섬유강화복합재료(carbon fiber reinforced plastics : CFRP)와 CFRP에 알루미늄 필름과 전도성 직조섬유를 접착한 CFRP, Aluminum film/CFRP, Conductive fabric/CFRP의 전자파 차폐효과를 고찰하기 위하여 기지재인 에폭시에 카본블랙 중량비 변화 및 시험편 두께변화에 따른 탄소섬유강화 복합재료를 제작하여 300MHz- 1.5GHz의 주파수 대역에서 전자파차폐효과에 대한 특성을 고찰하였다.

2. CFRP, Aluminum film/ CFRP, Conductive fabric/ CFRP 복합재료의 제작방법

2.1 재료의 선정

본 연구에서 사용된 카본블랙은 코리아카본블랙의 HI-BLACK 41Y를 사용하였으며, 알루미늄은 SAM-A ALUMINUM 회사의 AG3381, 전도성 직조섬유는 일흥 EMT회사의 Ni+Cu Fabric 제품을 사용하였다. 각 재료의 물성은 Table 1, Table 2, Table 3에 각각 나타내었다.

Table 1 Typical properties of HI-BLACK 41Y

TRAD NAME	Surface Area(mg/g)	Particle Diameter(nm)	Apparent Density (Kg/m3)	pH
HI-BLACK 41Y	150	19	170	8

Table 2 Typical properties of Aluminum

TRAD NAME	Thickness (μ m)	Tensile Strength (kg/mm2)	EL(%)
AG3381	5.1	7.6	2.0

Table 3 Typical properties of Conductive Fabric

TRAD NAME	Thickness (μm)	T/S (kg/mm ²)	Bursting Strength (kg/cm ²)
HR2201	100	26.2~25.2	9

강화제인 섬유는 한국화이버사의 일방향 탄소섬유 매트(Toray CAT-300)를 사용하였으며, 기지재인 에폭시와 경화제는 각각 LR-67과 LH-33으로 한국카본 제품이며, 주로 섬유강화 복합재료의 기지재로 사용되거나 코팅 등에 사용되는 재료이다.

2.2 제작방법

카본블랙을 용매인 아세톤과 혼합하여 분산시킨 후, 이 용액과 에폭시를 혼합하여 2000 rpm으로 30분 동안 교반 하였다. 이 과정에서 아세톤의 급격한 기화를 막으면서 용액의 점성을 낮게 유지하기 위해 40℃로 유지하였다. Fig. 1은 교반기(homogenizer)와 온도를 유지하기 위한 장치를 보여준다.

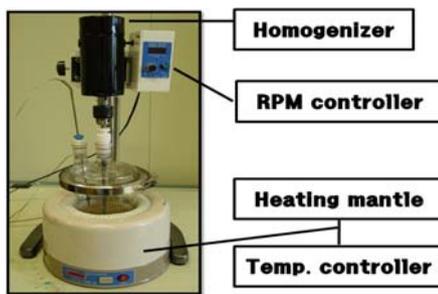


Fig. 1 Homogenizer and temperature control system

이 용액을 상온에서 12시간, 80℃에서 24시간 동안 오븐에 넣어 용매를 제거하고 카본블랙과 에폭시만으로 이루어진 혼합물을 얻었다. Mold하판에 알루미늄 필름, 전도성 직조섬유를 위치시킨 후에 이 혼합물과 경화제를 2 : 1의 비율로 혼합하여 이형제를 바른 Mold에 부어서 섬유매트에 함침 시킨 후 80℃에서 핫프레스로 압축 성형하여 섬유강화 복합재료를 제작하였다. 시험편 제작과정을 Fig. 2에 도시하였다.

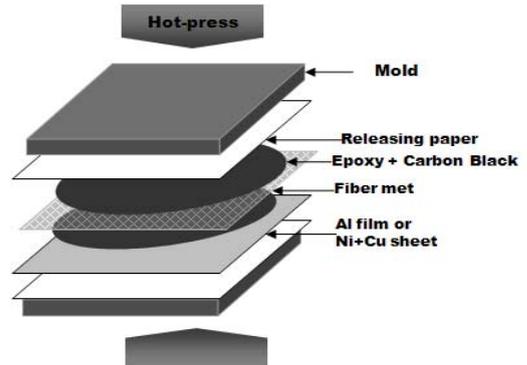


Fig. 2 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

카본블랙의 중량비를 각각 1.3wt%, 2.0 wt%, 2.7 wt%로 변화시켜서 에폭시에 혼합하였으며, 핫프레스를 이용하여 350x250mm의 시험편을 두께 0.7, 1.1, 1.6mm로 각각의 시험 조건에 대하여 3개씩 판넬을 제작하였다. Fig. 3(a)는 카본블랙의 입자를, Fig. 3(b)는 1.3wt%에서의 카본블랙이 첨가된 에폭시 복합재료 표면의 주사전자현미경(scanning electro microscopy: SEM)사진이다. Fig. 3(b)와 같이 Carbon black이 기지재인 에폭시 사이에 고르게 잘 분포되어 있음을 확인할 수 있었다.

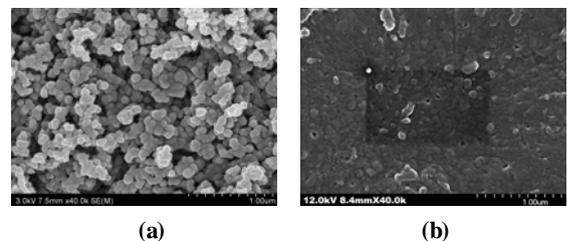


Fig. 3 (a) Microstructures of Carbon black powder, (b) Microstructures of specimen with 1.3wt% carbon black

제작한 판넬은 다이아몬드 휠 커터를 이용하여 Fig. 4와 같은 플랜지형 동축전송선 측정치구에 맞추어 Fig. 5와 같은 ASTM D4935-89 규격을 참고하여 직경이 133mm인 시편을 각각의 시험 조건별로 3개씩 제작하였다. Fig. 5에 (a) Reference 시험편, (b) Load 시험편을 도시하였다.

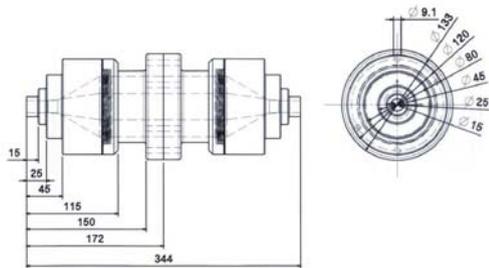


Fig. 4 Flanged coaxial transmission line holder

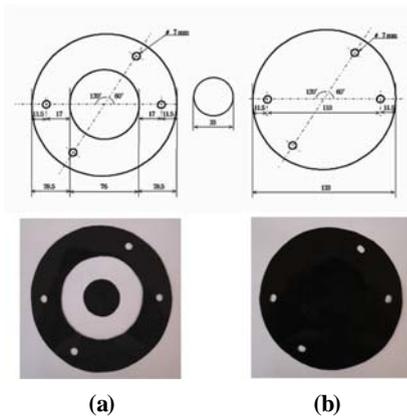


Fig. 5 Dimensions of reference and load specimens for EMI shielding effectiveness test (a) Reference (b) Load

3. CFRP, Aluminum film/ CFRP, Conductive fabric/ CFRP 복합재료의 전자파차폐 측정방법

3.1 NIST 측정 방법^[13]

차폐효과를 측정하기 위하여 미국의 국립 표준기술연구원(NIST : National Institute of Standards and Technology)에서는 기존의 표준 시험 방법인 ASTM ES 7-83이 가지는 문제점을 보완한 새로운 방법을 제안하여 ASTM D4935-89로 채택하였다. 이 방법은 기존의 ASTM ES 7-83 방법에서 와셔모양의 시편과 측정 치구와의 접촉저항에 따라 측정결과가 크게 달라지는 현상과 달리 Fig. 4와 같은 동축 플랜지(coaxial

flange) 사이에 Fig. 5와 같은 디스크형의 시편을 넣고 용량성 결합으로 측정하는 측정반복도가 매우 높은 시험방법 이다.

3.2 전자파 차폐효과 측정시스템

본 연구에서는 전자파 측정 실험장치 시스템(EMC test system : Rohde & Schwarz)을 사용하였으며, Fig. 6에 측정 장비와 시험편의 적용법을 도시하였다. 제작한 각 시험편의 전자파 차폐효과를 측정하기 위하여 Fig. 5의 Reference시험편을 Fig. 6의 플랜지형 동축 전송선 측정 치구에 넣고 Fig. 6의 EMC tester 에 각 주파수대에서 발생한 송신전력에 대한 수신전력의 값을 EMC test receiver에 저장한다. 같은 방법으로 Load시험편에도 적용하여 Reference 시험편과 Load시험편의 차를 차폐효과로 구하였다.

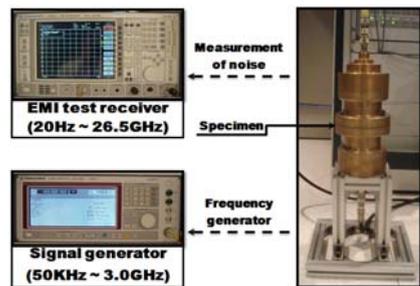


Fig. 6 Photographs of EMC test system (Rohde & Schwarz)

전자파 차폐효과는 일정한 크기의 송신 전력에 대해 측정치구내에 시편이 놓여있을 때 와 없을 때 수신되는 전력의 비를 구함으로써 계산되어지며 위 방법에 의해 측정되는 전자파 차폐효과는 다음 식으로 계산하였다.

$$SE(\text{dB})=10\log P_1/P_2$$

여기서, SE : Shielding effectiveness

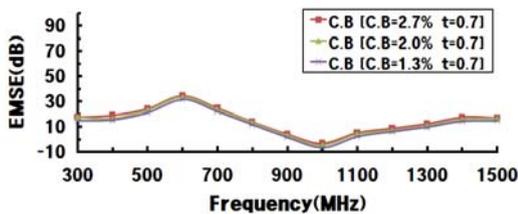
P_1 : 시편이 있을 때의 power

P_2 : 시편이 없을 때의 power

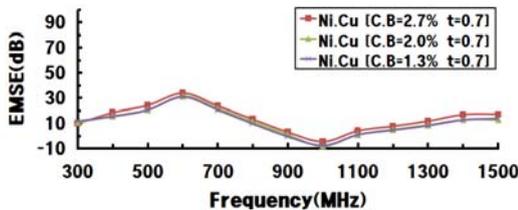
4. 결과 및 고찰

4.1 카본블랙 함량에 따른 전자파 차폐효과

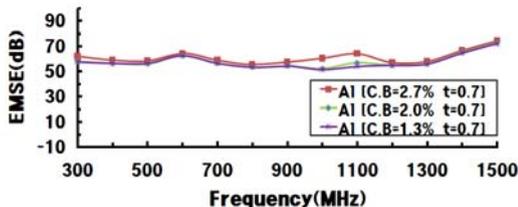
카본블랙의 첨가량이 증가하면 할수록 전도성이 우수해지기 때문에 전자파의 차폐효과는 증가할 것으로 예측되나 카본블랙의 첨가량을 3.0%이상의 중량비율로 첨가할 경우 수지의 점성이 높아지기 때문에 성형이 어려웠다. 본 연구에서는 각각의 재료에 대하여 카본블랙 첨가중량비율 1.3%, 2.0%, 2.7%의 실험결과를 비교하였다.



(a) Carbon black



(b) Conductive fabric



(c) Aluminum film

Fig. 7 SE as a function frequency measured in the 300MHz~1.5GHz range due to carbon black weight fraction(%) variation

Fig. 7은 시험편 두께 0.7mm에서 카본블랙 첨가 중

량비율을 1.3%, 2.0%, 2.7%로 변화시킨 경우의 충전재인 (a)카본블랙을 첨가한 CFRP, (b)전도성 직조섬유를 접착한 CFRP, (c)알루미늄 필름을 접착한 CFRP의 전자파 차폐효과를 측정된 실험결과이다.

Fig. 7의 (a), (b), (c)의 실험결과 모두 카본블랙 첨가 중량비율이 증가 할수록 차폐효과는 대부분 증가하였다. 카본블랙만을 첨가한 CFRP인 Fig. 7 (a)는 저주파수 대역인 350MHz 이하 에서는 첨가중량율이 1.3%보다 2.0%로 증가할 때 약 5dB 정도 증가하는 경향을 보이지만 400MHz 이상의 주파수대역에서는 큰 차이를 보이지 않고 증가하다가 600MHz에서 카본블랙의 중량비율이 2.7%인 경우 차폐효과가 약 37dB로 가장 높게 나타났다. Fig. 7 (b)는 (a)와 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 전도성 직조섬유에서는 차폐효과가 거의 없음을 나타내고 있다. 따라서 전도성 직조섬유의 경우 Ni+Cu 섬유를 직조하는 조건에 따라서 재료의 연속성이 떨어지게 되므로 전자파 차폐효과에 커다란 영향을 미치지 않고 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 7 (c)는 우수한 차폐효과를 나타내고 있으며, 600MHz와 1.1GHz에서 약 65dB의 차폐효과를 보였다. 따라서 카본블랙의 중량비율이 3%이하에서 차폐효과에 미치는 영향이 크게 작용하지 않는 것을 알 수 있었다.

4.2 시편두께 변화에 따른 전자파 차폐효과

Fig. 8의 (a), (b), (c)는 카본블랙의 첨가 중량비율 2.7%이며 시험편의 두께를 0.7, 1.1, 1.6mm 로 변화시킨 두께의 변화에 따른 차폐효과를 비교하였다. 시험편의 두께는 전자제품의 하우징재로 사용할 경우 플라스틱 표면에 도전성 도료, 도전성 테이프 등으로 피복처리, 금속박막의 코팅 등을 가정하여 두께를 가능한 얇게 성형하였다.

Fig. 8의 (a), (b), (c)의 경우 대부분 시험편의 두께가 증가할수록 차폐효과가 감소하는 경향을 보였으나 (a)의 카본블랙만을 충전한 경우 시험편의 두께 1.6mm인 경우가 1.1mm 인 경우보다 차폐효과가 약간 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 전도성 고분자재료를 충전한 시험편의 경우 1.6mm 이내에서 두께에 따른 차폐효과에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

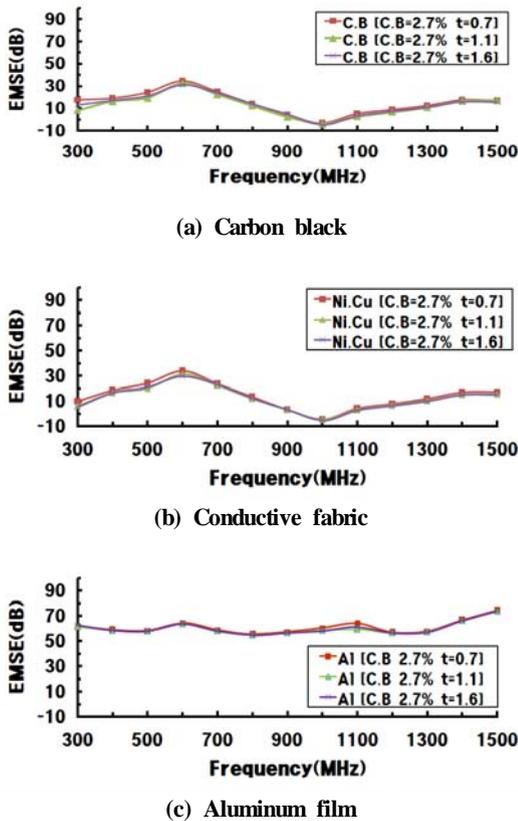


Fig. 8 SE of CFRP due to of thickness variation (carbon black weight fraction 2.7%)

4.3 재료 변화에 따른 전자파 차폐효과

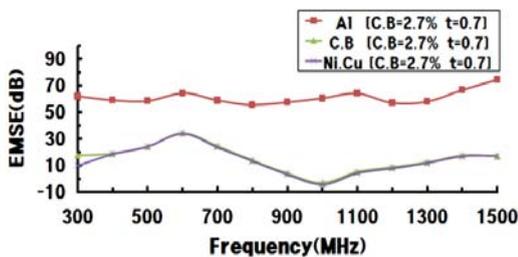


Fig. 9 SE as a function frequency measured in the 300-1500MHz range due to material variation

Fig. 9는 시험편 두께 0.7mm, 카본블랙 첨가 중량 비율이 2.7%인 카본블랙만이 충전된 CFRP (a), 여기

에 Ni+Cu 전도성 직조섬유를 접착한 CFRP (b), 알루미늄 필름을 접착한 CFRP (c)의 전자파 차폐효과를 비교한 것이다. (a)와 (b)의 경우는 거의 유사한 차폐효과를 보이고 있으나, (c)재인 알루미늄 필름이 접착된 시험편이 가장 우수한 차폐효과를 보였다.

(a), (b)와 (c)재의 차폐효과는 약 600MHz에서 각각 약 31dB, 61dB로 측정 되었으며, (a)와(b)재는 거의 유사한 경향을 나타낸 반면 (c)재의 경우가 (a) (b)재보다 약30dB이 높게 나타남을 보였다. 이는 전도성 직조섬유는 차폐능을 거의 갖지 못하고 있으며, 그 원인은 구리와 니켈 섬유를 직조할 때 개구율이 직물 (fabric)의 연속성을 떨어뜨린 결과로 판단된다. 또한 약 1GHz에서 (a), (b)재는 차폐효과가 크게 저하한 반면에 (c)재는 저하하지 않고 약간 상승하는 경향을 보이는 것은 재료에 따라서 특정 주파수대에서 발생하는 공진에 의한 영향으로 판단되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 실험을 통하여 나노카본블랙을 충전재로 한 탄소섬유강화 복합재료(CFRP)와 CFRP에 Ni+Cu전도성 직조섬유와 알루미늄 필름을 접착한 탄소섬유강화 복합재료의 전자파차폐효과를 실험을 통하여 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CFRP의 충전재인 나노카본블랙을 첨가시키는 중량비율이 3% 이하에서의 중량비율에 따른 차폐효과는 아주 낮게 나타났다.
2. 도전성 복합재료인 CFRP의 두께를 1.6mm 이하에서 실험한 결과 차폐효과는 두께의 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있었다.
3. 알루미늄 필름을 접착한 CFRP가 1.5GHz에서 차폐효과가 약 80dB 정도의 우수한 차폐효과를 얻을 수 있었다.

6. 후 기

이 논문은 2006년도 조선대학교 교내 연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. O. S. Kweon, J. C. Jung, H. You, "Conductive Plastics for EMI Shielding", *Polymer*, Vol. 7, No. 6, 1983.
2. 강박광, "전자파 차폐용 도전성수지" 기술동향보고서 KISTI, pp3-8, 2003.
3. Chin, W. S. and Lee, D. G., "Dielectric Characteristics of the Polymers Containing Nano-size Conductive Carbon Black Powders," *J. of the KSCM*, Vol. 17, No.5, pp. 68-77, 2004.
4. Chung, D. D. L., "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials," *Carbon*, Vol. 39, pp. 279-285, 2001.
5. Kim, H. M., Kim, K., Lee, S. J., Joo, J., Yoon, H. S., Cho, S. J., Lyu, S. C. and Lee, C. J., "Charge transport properties of composites of multiwalled carbon nanotube with metal catalyst and polymer: application to electromagnetic interference shielding," *Current Applied Physics*, Vol. 4, pp. 557-580, 2004.
6. Chen, H. C., Lee, K. C. and Lin, J. H., "Electromagnetic and electrostatic shielding properties of co-weaving-knitting fabrics reinforced composites," *Composites Part A*, Vol. 35, pp. 1249-1256, 2004.
7. Yang, S., Lozano, K., Lomeli, A., Foltz, H. D. and Jones, R., "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon nanofiber/LCP composites," *Composites Part A*, Vol. 36, pp. 691-697, 2005.
8. Yuping, D., Shunhua, L. and Hongtao, G., "Investigation of electrical conductivity and electromagnetic shielding effectiveness of polyaniline composite," *Science and Technoly of Advanced Materials*, pp. 1-6, 2005.
9. Jung, P. B., Mallick, A. K. and Won, M. S., "Comparison of Electromagnetic-Wave Shielding Effect in Glass Fiber Reinforced Nano Composites," *J. of the KSPE*, Vol. 22, No. 10, pp. 121-128, 2005.
10. Zuoyong Dou, Gaohui Wu, Xiaoli Huang, DongLi Sun, Longtao Jiang, "Electromagnetic shielding effectiveness of aluminum ally-fly ash composites," *Composites Part A*, Vol. 38, pp. 186-191, 2006.1
11. Xiangchung Lue, D. D. L. "Electromagnetic interference shielding using continuous carbon-fiber, carbon-matrix and polymer-matrix composites," *Composites part B* 30, pp. 221-231, 1999.
12. Renee M. Bagwell, Joseph M. Mc Manaman, Robert C. "Short shaped copper fibers in an epoxy matrix : Their role in a multifunctional composite," *Composites Science and Technology* 66 pp. 522-530, 2006.
13. Y. C. Chung, H. G. Yoon, W. G. Kim, "Measurement method of electromagnetic wave characteristic," *Polymer Science and Technology* vol. 16, No. 4, pp. 513-520, 2005.8