

## 하이브리드 전도성 직조섬유의 전자파 차폐 효과

한길영\*<sup>#</sup>, 김기열\*, 윤태순\*\*

\*조선대학교 기계공학과, \*\*호남대학교 이동통신공학과

### Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Hybrid Conductive Fabrics

Gil-Young Han\*<sup>#</sup>, Ki-Yeol Kim\*, Tae-Soon Yun\*\*

\*Department of Mechanical Engineering Graduate school of Chosun University., \*\* Department of Mobile Communications Engineering Honam University.

(Received 5 January 2015; revised in revised form 13 January accepted 2 April 2015)

#### ABSTRACT

This study investigated electromagnetic interference (EMI) shielding effectiveness (SE) of hybrid conductive fabrics. The coaxial transmission line method was used to measure the EMI Shielding effectiveness of the conductive fabrics. We designed and constructed a measuring system, consisting of a network analyzer and a device that serves as a sample holder and at the same time as a transmission medium of incident electromagnetic waves. The measurements of SE were carried out in a frequency range from 100 MHz to 2 GHz. The results of the EMI shielding experiments showed that the maximum electromagnetic shielding effectiveness (EMSE) values of sandwich type C/A/C (carbon fiber sheet/aluminum foil tape/carbon fiber sheet) and C/Ni/C (carbon fiber sheet/magnetic shielding foil/carbon fiber sheet) samples were 55 dB and 113 dB, respectively, at a frequency of 1.9 GHz.

**Key Words** : Electromagnetic interference(EMI: 전자파장해), Shielding effectiveness(SE: 차폐 효과), Hybrid Conductive Fabrics(하이브리드 전도성 직조섬유)

### 1. 서 론

최근 첨단산업 기술의 발달로 전기·전자 제품과 자동차, 항공, 우주, 통신기기의 사용이 급증하면서 이들 기기로부터 나오는 전자파는 상호 간섭으로 다른 기기의 오작동을 초래하고 인체에 여러 가지 악영향을 미치는 등 전자파장해를 동시에 유발시키고 있다. 또한 인체에 전자파가 지속적으로 작용할 경우 면역기능 저하,

생식능력 저하, 기형아 출산, 백내장, 임산부 유산, 시력 장애 등의 각종 질환을 발생시키는 등 여러 가지 악영향을 미치고 있다<sup>[1-2]</sup>. 이러한 전자파장해에 대한 대책으로 각종 엄격한 규제가 마련되어 전자파를 차폐할 수 있는 전자파 차폐용 소재개발에 대한 관심이 높아져 가고 있는 실정이다.

특히 플라스틱에 전기 전도성과 EMI문제를 극복하고 개선할 수 있는 효과적인 기술 중의 하나는 고분자 재료에 전도성 충전제를 혼입하는 기술이다<sup>[3]</sup>. 탄소섬유는 여러 가지 전도성 충전제로 입증되고 있다<sup>[4-5]</sup>. 탄소섬유의 전기저항은 금속에 비해서 훨씬 높지만, 금속과 같은

# Corresponding Author : kybhan@chosun.ac.kr  
Tel: +82-62-230-7130, Fax: +82-62-230-7234

차폐효과를 얻기 위해서는 많은 양의 탄소 섬유가 필요하다. 탄소섬유의 함유율이 높으면 우수한 차폐효과가 얻을 수 있을 것으로 예측되어 지지만 탄소섬유의 가격이 비싸기 때문에 사출성형법과 같은 성형법으로 복합 재료를 제작할 경우 생산비가 비싸게 되는 문제점이 따른다.

이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법이 탄소섬유의 표면에 얇은 금속층을 코팅하는 방법이다<sup>[6,7]</sup>. 전자파를 차폐하기 위한 도전성 플라스틱은 부도체인 범용 플라스틱에 금속섬유, 탄소섬유 등의 도전성(Electrically Conductive) 충전제(Filler)를 혼입(Blend)하여 도전화한 복합재료(Polymer-Matrix Composites Containing Conductive)로써, 이러한 재료들을 사용하는 기술적인 방법이 연구되고 있다<sup>[8-9]</sup>.

탄소 섬유에 대한 전자파 차폐에 대한 연구로서 Luo X.는 탄소섬유-탄소기지재 복합재료를 제작하여 300MHz ~ 1.5GHz의 주파수 범위에서 전자파차폐효과를 측정하였다<sup>[10]</sup>.

따라서 본 연구에서는 기계, 전기, 전자제품 등의 전자파 차폐용으로 시판하고 있는 하이브리드 전도성 직조 섬유를 구입하여 전자파 차폐효과(Shielding effectiveness, SE)를 측정하였다. 측정을 하기 위하여 ASTM D4935-89 규격을 참고한 시험편을 제작하였고, 플렌지형 동축 전송선 치구를 사용하여 샌드위치 타입으로 결합한 복합재료의 전자파 차폐특성을 고찰하였다.

## 2. 시험편 제작 방법

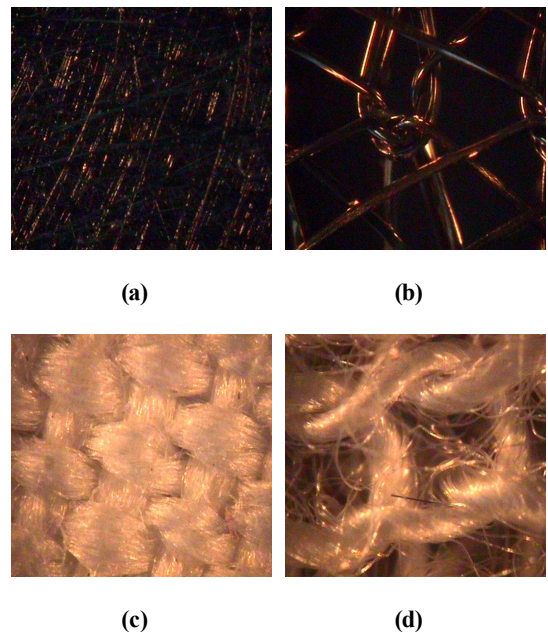
### 2.1 재료 선정

시험편 제작에 사용된 재료는 (주)X-Blue 사의 제품이다. Laminated Electromagnetic Wave(EMW) Absorber Sheet (적층 전자파흡수시트)는 탄소섬유 배향이 랜덤한 순도 100%의 탄소섬유로 제작되었고 양면이 이형재로 마감되어 있어 사용하기 편리하다. Table 1은 시험편으로 사용된 재료에 대한 특성을 도시하였다.

Fig. 1은 시험편 제작 시 사용된 (a) EMW Absorber Sheet(carbon fiber), (b) Mesh fabric, (c) Shield Wear, (d) Silverell Fabric 시험편의 단면을 확대한 사진이다.

**Table 1 Typical property of materials**

Material	Width [mm]	Weight per unit area [g/m <sup>2</sup> ]	Thickness [mm]	Component
EMW Absorber Sheet	1210	34	0.445	Carbon fiber sheet
Aluminum Foil Tape	50	.	0.05	Al alloy
Magnetic Shielding Foil	380	.	0.1	Ni 80% alloy
Shield Wear	1500	115	.	Cotton 90%, Cu 9.5%, Ag 0.5%
Silverell Fabric	1570	134	.	Rayon 84%, Ag/Nylon 16%
High Performance Mesh Fabric	.	40	0.1143	Nylon 100%



**Fig. 1 Microstructure of Fabrics**

- (a) EMW Absorber Sheet(carbon fiber) (× 300)
- (b) Mesh Fabric (× 300)
- (c) Shield Wear (× 300)
- (d) Silverell Fabric (× 300)

## 2.2 시험편 제작

시험편 제작을 위해 에폭시와 경화제를 아세톤 (Acetone)과 혼합하였다. 이 혼합물을 교반기를 사용하여 2,000 rpm으로 30분 동안 교반하였다. 에폭시와 경화제는 각각 LR-67 과 LH-33으로 복합재료의 본딩, 코팅, 기지재 등으로 사용되는 재료를 사용하였다. 이와 같이 제작한 혼합물을 이형제를 바른 금형에 부어 섬유매트에 함침시킨 후 80℃의 고온 압축 프레스를 사용하여 시험편을 제작하였다.

시험편은 배향이 랜덤한 탄소섬유 시트인 C 시험편, 탄소섬유 시트와 탄소섬유 시트를 본딩시킨 CC 시험편, Aluminum Foil Tape를 코어재로 하고 스킨재를 탄소섬유 시트로 제작한 C/A/C 시험편, Magnetic Shielding Foil를 코어재로 하고 스킨재를 탄소섬유 시트로 제작한 C/Ni/C 시험편을 제작하였다. 그리고 Shield Wear를 코어재로 하고 스킨재를 탄소섬유 시트로 제작한 C/Co/C 시험편, Silverell Fabric를 코어재로 하고 스킨재를 탄소섬유 시트로 제작한 C/R/C 시험편, High Performance Mesh Fabric를 코어재로 하고 스킨재를 탄소섬유 시트로 제작한 C/N/C 시험편을 제작하였다.

Fig. 2는 시험편의 제작과정을 도시하였다.

Table 2에 시험편 제작 시 사용된 적층 재료를 도시하였다.

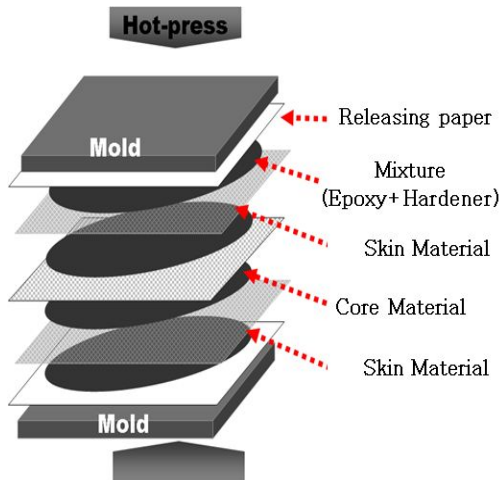
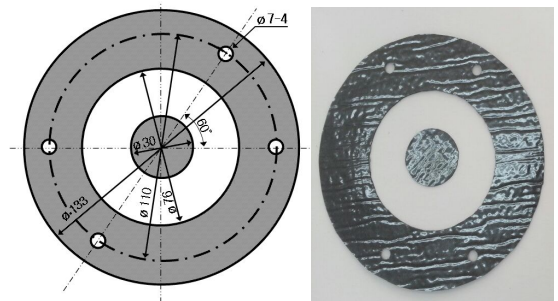


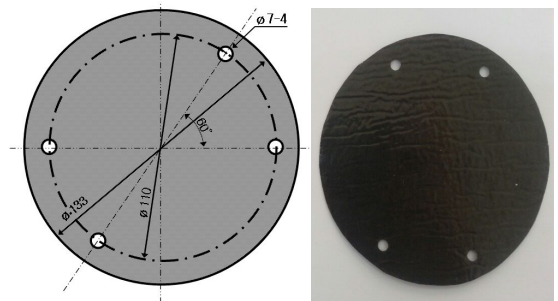
Fig. 2 Manufacturing process of electromagnetic interference shielding specimens

Table 2 Materials of specimen

Specimen	Materials
C	Carbon fiber sheet
CC	Carbon fiber sheet+Carbon fiber sheet
C/A/C	Carbon fiber sheet/Aluminum Foil Tape/Carbon fiber sheet
C/Ni/C	Carbon fiber sheet/Magnetic Shielding Foil/Carbon fiber sheet
C/Co/C	Carbon fiber sheet/Shield Wear/Carbon fiber sheet
C/R/C	Carbon fiber sheet/Silverell Fabric/Carbon fiber sheet
C/N/C	Carbon fiber sheet/High Performance Mesh Fabric /Carbon fiber sheet



(a) Reference



(b) Load

Fig. 3 Dimensions of reference and load specimens

Fig. 3은 Fig. 2와 같은 방법으로 제작된 시험편을 ASTM D4935-89 규격을 참고하여 제작하였다. 기준 (Reference) 시험편과 부하 (Load) 시험편은 내부 도체의 외경 32 mm, 외부 플랜지 외경 직경이 133 mm, 내경 76 mm로 제작하였으며, 사진을 도시하였다.

### 3. 전자파 차폐효과 측정방법

ASTM D4935-89 규격은 ASTM ES 7-83 규격의 연속 동축선 측정치구 (circular coaxial transmission-line holder with continuous conductor) 의 단점을 보완한 것으로 Fig. 4와 같이 내부 도체의 외경이 32 mm, 외부 플랜지의 외경이 133 mm, 내경이 76 mm 인 측정치구이다.

전자파 차폐효과를 측정하기 위하여 제작한 시편을 플랜지형 동축 전송선 측정 치구에 장착하여 Fig. 5와 같이 신호 발생기에서 100MHz~2GHz까지의 주파수를 EMI Test Holder에 발생시켰다. 이러한 전자파는 시편을 통과하여 신호 수신기에 도달해 나타나는 전자파 수신량을 측정하였다.

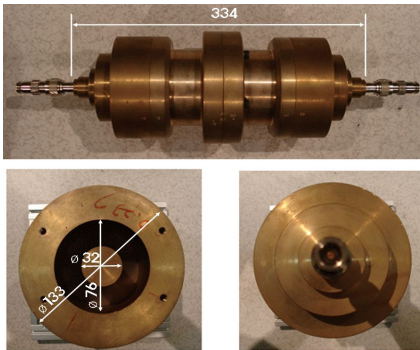


Fig. 4 Flanged coaxial transmission line sample holder

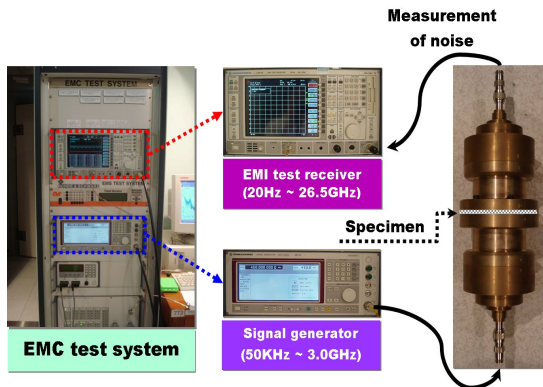


Fig. 5 Experimental set-up electromagnetic compatibility test system

물질의 전자파 차폐의 정도를 나타내는 전자파 차폐효과(Shielding Effectiveness : SE)는 식 (1)과 같이 입사 전자파의 세기( $P_I$ )와 투과 전자파( $P_R$ )의 세기의 비로 정의되며, Decibel(dB)를 단위로 한다.

$$EMSE=10\log\left(\frac{P_I}{P_R}\right) \text{ (dB)} \quad (1)$$

(1) 식은 손실로써 정의되므로 SE는 항상 양(+)의 값을 갖고, 전자파 차폐 메커니즘(흡수, 반사, 내부 다중반사 등)에 관계없이 단지 입사하는 전자파에 대해 투과되어 전달되는 전자파의 비로 표현됨을 알 수 있다.  $[W/m^2]$ 의 단위를 갖는 전력 밀도는 전기장  $E(V/m)$ 와 자기장  $H(A/m)$ 의 곱으로 표현될 수 있기 때문에 SE는 식 (2)와 같이 쓰여진다.

$$EMSE=10\log\left[\frac{E_b \cdot H_b}{E_a \cdot H_a}\right] \quad (2)$$

여기서  $E_b, H_b$  = 차폐를 하기 이전의 전기장  $E$ 와 자기장  $H$ 의 값,  $E_a, H_a$  = 차폐를 한 이후의 전기장  $E$ 와 자기장  $H$ 의 값이다.

파동 임피던스가 차폐 전후와 같다면[즉, 차폐 평면 장벽의 감쇠가 전기장과 자기장에 대해서 동일하거나 또는 발생하는 계가 안정계(Stable Field) 조건하에서 차폐로부터 Far Field(Far Field :  $r \gg \lambda/2\pi$ ) 이 성립하는 거리에서 측정된다면 식 (3)과 같이 성립된다.

$$H_b = \frac{E_b}{Z_w} \text{ 이고 } H_a = \frac{E_a}{Z_w} \quad (3)$$

식 (2)에 식 (3)을 대입하면 식 (4)의 결과가 나온다.

$$EMSE=20\log\frac{E_I}{E_T} \quad (4)$$

전기장이 같은 파동임피던스를 갖는 매질에서 측정된다면 계의 크기에 관해서 차폐 성능은 다음과 같이 정의될 수 있다.  $E_I$ 와  $E_T$ 는 입사와 투과되는 전기장 세기이다.

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 EMM Absorber Sheet의 적층에 따른 전자파 차폐효과

탄소섬유 배향이 랜덤한 EMW Absorber sheet(Carbon fiber)에 대한 시험편의 전자파 차폐효과를 측정하였다. Fig. 6은 EMW Absorber sheet를 1장, 2장 그리고 C/A/C 시험편에 대한 차폐효과를 비교한 것이다.

실험 결과 C 시험편은 600MHz에서 48dB, CC 시험편은 57dB로 전자파 차폐효과가 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 EMW Absorber sheet를 2장으로 결합한 CC 시험편이 C 시험편 보다 차폐효과가 높게 나타남을 확인하였다.

또한 C/A/C 시험편은 CC 시험편 보다 차폐효과가 100MHz-2GHz 주파수 범위에서 높게 측정되었다. 주파수 400MHz에서는 C/A/C 시험편이 CC 시험편 보다 약 20dB 높은 차폐효과를 보였다. 특히 C, CC, C/A/C 시험편 모두 1.5GHz 주파수 영역에서 각각 45dB, 51dB, 58dB로 차폐효과가 높게 나타났다.

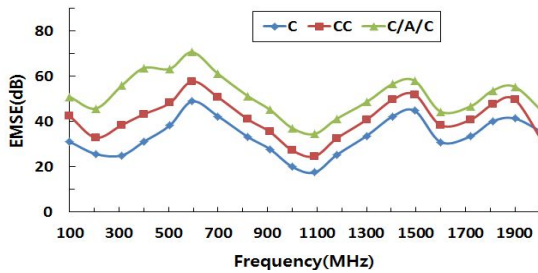


Fig. 6 EMSE as a function of frequency measured in the 100 MHz ~ 2 GHz range of C, CC and C/A/C

#### 4.2 EMW Absorber Sheet를 스킨재로 한 전자파 차폐효과

EMW Absorber sheet(Carbon fiber)를 스킨재로 하고 코어재를 변화시켜 제작한 시험편의 전자파 차폐효과를 측정하였다. 전자파 차폐를 측정한 결과 Fig. 7과 같이 C/A/C, C/Co/C, C/R/C, C/N/C 시험편 모두 600MHz 주파수 영역까지 차폐효과 값이 증가하는 특성을 나타내었으며, 100MHz-2GHz 주파수 영역에서는 유사한 패턴의 전자파 차폐효과 특성을 나타냈다.

이는 A(Al alloy), Co(Cotton 90%, Cu 9.5%, Ag 0.5%), R(Rayon 84%, Ag/Nylon 16%), N(Nylon 100%) 재료의 전자파 차폐 효과가 주파수 변화에 따른 유사한 전자파 차폐 특성을 가지고 있음을 알 수 있었다. 특히 C/R/C 시험편의 경우 600MHz 주파수 영역에서 전자파 차폐효

과가 81dB로 가장 높은 차폐효과를 보였다.

C/A/C, C/Co/C, C/R/C, C/N/C 시험편 모두 전자파 차폐 효과가 1.1GHz에서 가장 낮게 나타났다. 이는 특정 주파수 영역에서 발생하는 공진현상으로 판단된다.

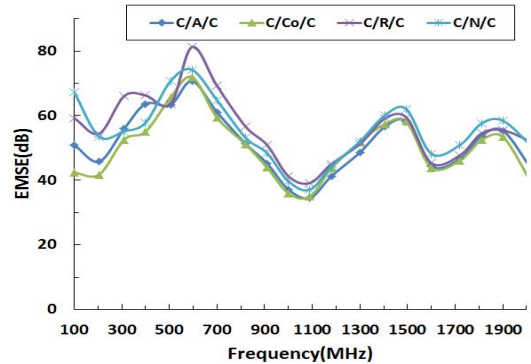


Fig. 7 EMSE as a function of frequency measured in the 100 MHz ~ 2 GHz range of C/A/C, C/Co/C, C/R/C and C/N/C

Fig 8은 C/A/C, C/Ni/C 샌드위치 타입의 전자파 차폐효과를 비교한 결과이다.

1.9GHz 주파수에서 C/A/C는 차폐효과가 약 55dB인 반면 Ni 80% alloy를 코어재로 사용한 C/Ni/C의 경우 113dB로 가장 높은 전자파 차폐효과를 보였다. 이러한 결과 Ni 80% alloy를 코어재로 사용한 샌드위치 시험편이 전자파 차폐효과가 가장 우수함을 알 수 있었다.

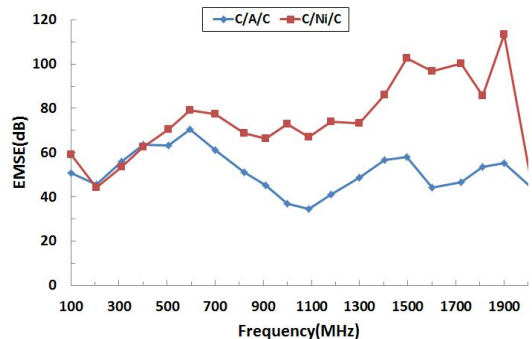


Fig. 8 EMSE as a function of frequency measured in the 100 MHz ~ 2 GHz range of C/A/C and C/Ni/C

## 5. 결 론

본 연구에서는 전자파 차폐용으로 시판되고 있는 재료를 사용하여 최적 구조의 우수한 차폐효과를 얻을 수 있는 구조를 고찰하였다. EMW Absorber Sheet의 적층에 따른 전자파 차폐효과를 측정하였으며 EMW Absorber sheet를 스킨재로 하고 다양한 코어재를 변경시켜 사용한 시험편에 대한 전자파 차폐효과를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전자파 차폐효과는 배향이 랜덤한 탄소섬유 시트를 단일 재료로 사용한 C 시험편 보다 탄소섬유 시트를 2겹으로 결합한 재료로 사용한 CC 시험편의 경우가 100MHz~2GHz 주파수 범위에서 전체적으로 약 25% 높게 나타남을 알 수 있었다.
2. C/A/C 시험편은 CC 시험편 보다 차폐효과가 우수하였으며, 약 400MHz 저주파수 대역에서 CC 시험편 보다 약 20dB이 더 높은 우수한 전자파 차폐효과를 나타내었다.
3. EMW Absorber sheet(Carbon fiber)를 스킨재로 하고 코어재를 변화시켜 사용한 결과 C/A/C, C/C/C, C/R/C, C/N/C 시험편이 C, CC 시험편 보다 100MHz~2GHz 주파수 범위에서 차폐효과가 높게 나타났으며, 1.9GHz 주파수에서 C/A/C는 55dB, C/Ni/C는 113dB로 가장 높은 차폐효과를 보였다.

## 후 기

본 논문은 2013년도 조선대학교 교내 연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

## REFERENCES

- (1) Frank S. Barnes, Ben Greenebaum, "Biological and medical aspects of electromagnetic fields", Boca Raton: CRC Press, 2007.
- (2) Lee, S. J. and Lee, T. I., "A Study on the Effects of Electroencephalogram of Blocking Electromagnetic Wave materials by using the Nano Silver", J. of the KSCI, Vol. 6, No. 2, pp. 810-813, 2004.
- (3) Charles Polk, Elliot Postow, "Handbook of biological effects of electromagnetic fields", Boca Raton, FL : CRC Press, 1995.
- (4) Chen, H. C., Lee, K. C. and Lin, J. H., "Electromagnetic and electrostatic shielding properties of co-weaving-knitting.
- (5) Yuping, D., Shunhua, L. and Hongtao. G., "Investigation of electrical conductivity and electromagnetic Shielding Effectiveness of polyaniline composites". Science and Technology of Advanced Material, 1-6, 2005.
- (6) Tzeng, S. S. and Chang, F. Y., "EMI shilding effectiveness of metal-coated carbon fiber-reinforced ABS composites", Material science and engineering, A 302, pp. 258-267, 2001.
- (7) Chou, K. S., Huang, K. C. and Shih, Z. H., "Effect of mixing process on electromagnetic interference shilding effectiveness of Nickel/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene composites", J. of applied polymer science, Vol. 97, pp.128-135, 2005.
- (8) Han, G. Y., Song, D. H. and Bae, J. S., "A Study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of the Aluminum film, Conductive Fabric and Nano Carbon black/Carbon Fiber Reinforce Composites", Journal of the Korea Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 7, No. 4, pp. 10-16, 2008.
- (9) Kim, J. W., "Electrical conductivity and electromagnetic interference shielding characteristics of polyaniline films with adding materials", J. kor Ins Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 11, pp. 1-6, 1998.
- (10) Xiangcheng Luo, Chung D. D. L. "Electromagnetic interference shielding using continuous carbon-fiber, carbon-matrix and polymer-matrix composites," Composites part B : Engineering, Vol. 30, pp. 227-231, 1999.