

CNT가 함유된 전자파 차폐흡수시트의 제조 및 전자파 차폐특성

채성정 · 조범래 · 홍병표* · 이병수** · 변홍식*.[†]

계명대학교 재료공학과, *계명대학교 화학시스템공학과, **계명대학교 기계자동차공학과
(2010년 4월 1일 접수, 2010년 5월 27일 채택)

Preparation of Sheet with CNT for EMI Shielding and Its EMI Shielding Property

Seongjeong Chae, Bumrae Cho, Byungpyo Hong*, Byoungsoo Lee**, and Hongsik Byun*.[†]

Department of Materials Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

*Department of Chemical System Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

**Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Received April 1, 2010; Accepted May 27, 2010)

금속분말에 바인더, methyl ethyl ketone (MEK), cyclohexanone을 혼합한 슬러리를 이용하여 전자파 차폐용 시트를 제조하였으며, 이때 전기전도성이 높은 carbon nanotube (CNT)를 첨가하여 차폐효율을 증가시키고자 하였다. 제조된 시트는 주사전자현미경(SEM)과 energy dispersive spectroscopy (EDS)를 이용하여 표면분석과 성분분석을 실시하였다. 시트의 전기적 특성과 차폐효율은 4-Point Probe와 전자파차폐효율측정기를 이용하여 측정하였다. 전기저항은 CNT를 2% 첨가한 시트가 13.13 Ω · cm로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 전자파 차폐 효율 역시 CNT를 2%첨가한 시트가 63 dB로 가장 높은 값을 가지는 것으로 평가되었다.

The sheet for electromagnetic interference (EMI) shielding was prepared with slurry made by the mixture of binder, methyl ethyl ketone, cyclohexanone and metal powder. We tried to enhance the shielding efficiency by adding carbon nanotube (CNT), which has known as highly conducting material. Surface and component analyses were carried out with SEM and EDS, respectively. The electric characteristics and EMI shielding efficiencies were measured with 4-point probe measurement and EMI efficiency measurement equipment. The sheet with 2% CNT addition showed the lowest electrical resistance, 13.13 Ω · cm. It also showed the highest EMI shielding efficiency of 63 dB.

Keywords: EMI shielding, metal powder sheet, CNT

1. 서 론

전자파란 우리 주변의 여러 곳에서 사용하는 전자제품이나 이들에 의해 발생하는 전기/자기적 파장을 의미하며, 현대를 살아가는 우리는 전자파에 둘러싸여 있다고 해도 과언이 아닐 만큼 우리의 신체는 전자파 속에 노출되어 있다. 과학기술의 발전에 따라 전자파를 발생시키는 전자, 전기 및 통신관련 기기의 사용이 급증하는 추세에 있으며 이러한 문명의 이기들은 인류에게 편의를 제공하는 동시에 여러 폐해를 발생시키기도 한다[1-3].

첫째로 전자파는 각종 전자제품의 오작동을 초래한다. 전자기기에서 방출 또는 전도 되는 전자파가 다른 기기의 기능에 장애를 주는 것을 전자파 장애라 한다. 최근 전자제품은 복합화, 다양화 및 경량, 소형화로 개발되는 경향이 있으며, 전기회로의 고기능, 고밀도, 고집적, 복합화가 진행되고 있다. 이러한 경향은 전자기기에 의해 기기의 잡음 및 장애가 보다 더 쉽게 일어날 수 있는 환경을 제공한다. 전자파는 발신 및 수신 장비들 사이의 전파 상호 교란으로 인한 잡음 및

내부 전자제품의 효율저하 및 수명단축, 전자장비들 사이의 교란을 발생시킬 수 있으며, 실제로 통신장비의 장애 현상 발생 및 컴퓨터의 오작동 증가, 안전에 관련된 장애 발생률이 증가하고 있다[4].

둘째로 인체는 전자파에 의해 영향을 받으며 여러 증상 및 질병을 일으킬 수 있음이 보고되고 있다. 즉 전자파는 인체에 도달하면 전신 또는 부분적으로 체온을 상승시키는 열적 작용 및 체내에 유도된 전류가 신경계를 자극하는 자극 작용을 한다. 특히 아주 강한 전자파는 스트레스를 유발하거나 심장질환, 혈액의 화학적 변화를 유발하여 인체에 영향을 미칠 수 있다. 최근 전자파의 폐해가 알려지면서 각국의 전자파 허용 규제치가 엄격해지고 있으나, 휴대폰이나 노트북 컴퓨터 등의 개인용 전자통신기기가 급속도로 보급됨에 따라 전자통신관련 시장이 급팽창하고 있는 추세이다[5]. 따라서 전자파 차폐 코팅제의 고성능화가 요구되고 있다.

셋째로 전파 잡음이 원인이 되는 전자기기의 내부반사, 회로 기관의 상호 간섭 및 주변 전자 기기로의 간섭 등의 심각성도 크게 증대되어 문제를 일으키는 발생원을 원천적으로 차폐 또는 흡수할 수 있는 전자파 흡수제의 사용이 증가되고 있다. 또한 우리나라의 주력 산업인 IT분야가 전자파와 밀접한 관계를 가지고 있어 위에서 언급한 문제점의

[†] 교신저자(e-mail: hsbyun@kmu.ac.kr)

논란이 지속될 경우 궁극적으로 경제활동에 영향을 미칠 수도 있다[6].

이러한 이유들로 인하여 전자제품이나 통신기기 등에서 방출되는 전자파가 사회와 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 급증하고 있으며, 전자파를 반사, 흡수할 수 있는 재료개발의 필요성이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 일반적으로 금속은 전자파 차폐 재료로 가장 많이 사용되는 재료이나, 재료에 따라 가격이 비싸고 무겁다는 단점이 있다. 고분자 재료의 경우 대부분의 전자파를 투과하는 특성을 가지고 있어 충전제를 함께 사용하는 것이 효과적이다.

본 연구에서는 전자파 차폐제의 고성능화에 목표를 두고 구리보다 1000배 이상의 전기전도 특성을 가지는 CNT를 이용하여 더욱 효과적인 차폐효율을 가지는 시트를 제조하고자 하였다. CNT는 흑연면(graphite sheet)이 나노 크기의 직경으로 등갈래 말려 관 모양을 이루고 있으며 관의 지름이 수~수십 나노미터에 불과하다[7,8]. 이 흑연면이 말리는 각도와 구조에 따라서 금속 또는 반도체의 특성을 나타내므로 많은 연구가 센서나 전기적 특성의 향상을 위한 재료의 제조에 집중되고 있다[9,10]. CNT는 벽을 이루고 있는 탄소원자의 결합수에 따라 구분하며, 단중벽 CNT, 이중벽 CNT, 다중벽 CNT, 그리고 다발형 CNT로 구분할 수 있다. 단중벽 CNT는 탄소원자로 구성된 벽이 하나인 튜브 형태로 전기전도성, 열전도성이 가장 우수하다. 이중벽 CNT는 탄소원자로 구성된 벽이 두 개인 것으로 전기전도성과 기계적 특성이 뛰어나다. 그러나 단중벽과 이중벽 CNT의 경우 가격이 비싸므로 상용화에 많은 제약이 따른다. 다중벽 CNT의 경우 하나의 튜브에 탄소원자로 구성된 벽이 여러 겹인 튜브 형태로 되어 있으며 전기 및 열적 특성은 다소 떨어지나 기계적 특성이 우수하고 제조가 용이해 응용범위가 넓다는 특징이 있다. 마지막으로 다발형 CNT는 단중벽 CNT가 여러 개 붙어서 다발을 이룬 튜브 형태를 가지고 있다[11]. 본 연구에서는 다중벽 CNT를 이용하였으며, 두께와 CNT 함량 변화에 따른 변수들을 조절하여 차폐효율의 최적화를 시도하였다.

2. 실험

2.1. 실험재료

Sheet 제조에 사용된 metal powder는 Fe가 주성분으로 Cu, Cr, Si가 미량 첨가되어 있으며, 50~120 μm 크기의 구형입자로 대주전자재료에서 구입하여 후가공 없이 사용하였다. Binder는 Kuraha (Japan)사의 SEN-3100으로 acrylicpolymer 종류로 고형분의 함량이 19.43%이다. 그리고, 용매로는 덕산약품공업사의 methyl ethyl ketone (MEK)을, cyclohexanone은 Sigma Aldrich사에서 공급받아 정제 없이 사용하였다. 전자파 차폐 특성 향상을 위하여 사용된 CNT는 CNT사의 MWNT (Multi-Walled Carbon Nanotube) 제품인 CTube 100을 사용하였다.

2.2. 전자파 흡수 시트 제작

전자파 흡수시트는 먼저 메탈 슬러리를 제조한 후 이것을 시트형태로 가공하여 제작하게 된다. 슬러리는 Fe가 92 wt% 첨가되고 C, Cr, Si가 미량 첨가된 금속분말을 주원료로 하여 바인더, methyl ethyl ketone (MEK), cyclohexanone을 혼합하여 제조되며, 그 조성은 Table 1과 같다. 제조된 슬러리를 이용하여 시트형태로 제작하는 과정은 Figure 1에 간단하게 나타내었다.

출발원료는 극성용매를 사용하기 때문에 적절한 교반속도, 적절한 온도, 오염방지 등의 조건을 만족해야 한다. 금속분말, 바인더를 용질로, MEK와 cyclohexanone을 용매로 정하고, 상용화 시트 제조비율인 용질 : 용매가 75.37 : 24.63에서 그 비율을 다르게 하여 S1~S6로 지

Table 1. The Composition of EMI Shielding Sheet

Sample code	Solute (75.37)	Solvent (24.63)	Ratio (solute : solvent)
S1			85.37 : 14.63
S2	metal powder +	MEK +	88.37 : 11.63
S3			90.37 : 9.63
S4	binder	cyclohexanone	91.37 : 8.63
S5			92.37 : 7.63
S6			95.37 : 4.63

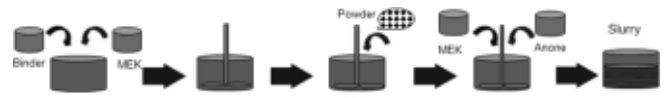


Figure 1. Schematic diagram of sheet manufacturing process.

정한 시트를 각각 제작하였다. 각 시편들의 조성은 Table 1에 나타나 있었다. 완성된 슬러리는 점도실험을 통해 비율을 결정하였으며, 용매의 비율이 줄어들수록 점도가 높아져 시트 제작이 불가능하기 때문에, 최종 시편은 용매와 용질의 비율이 시트 제작에 적합한 점도를 가지는 S4시편으로 결정하였다.

시트 제작을 위하여 CNT를 금속분말에 각각 1, 1.5, 2%를 첨가하였다. 2% 이상의 첨가는 시트 제작이 불가능하였다. 시트 제작에 사용된 금속분말은 원형의 입자를 attrition mill을 이용하여 판형 형태로 가공하였다.

일반적으로 금속분말은 평판형이 원형일 때보다 와전류의 손실이 저감되고 차폐효율이 증가한다고 알려져 있다. 이는 평판형일 때 분말의 두께가 얇아지고 원형보다 상대적으로 많은 양이 적층되어 높은 투자율을 가지게 되므로 최종적으로 정전용량이 증가하여 차폐효율을 증가시키기 때문이다[12].

2.3. 차폐효율 특성분석

차폐효율을 측정하기 전 시편의 4-Point Probe를 이용한 체적저항을 측정함으로써 전기적 특성을 우선 분석하였다. 사용된 장비는 CMT-SR1000N이었으며, 시편의 크기는 차폐효율 측정에 사용된 것과 동일한 11 cm의 원형인 것을 사용하였다. 증착된 시트의 차폐효율은 전자파 차폐효율 측정기(EMI System/Rhode & Schwartz, Germany)를 이용하여 평가하였으며[13], 시트의 주파수별 차폐효율을 알아보기 위해 30~1500 MHz의 영역에서 측정을 행하였다. 측정을 위한 시편의 크기는 ASTM D-4935의 규격인 지름 11 cm의 원형으로 제작하였다.

2.4. SEM

미세구조 및 조성분석은 SEM과 EDS를 통해 분석하였다. 시편의 크기는 가로, 세로 0.3 mm인 정사각형으로 제작하였으며, 금으로 코팅한 후 관찰하였다.

2.5. 기계적 특성 측정

제조된 전자파 흡수 시트의 기계적 특성을 분석하기 위하여 KYUNG-SUNG Testing Machine을 이용하여 인장강도와 연신율을 측정하였다. 측정 조건으로는 dumbbell형 시편을 만들고 100 N의 load cell로 5 mm/min의 속도로 3회 측정하여 평균값을 구하여 비교분석하였다.

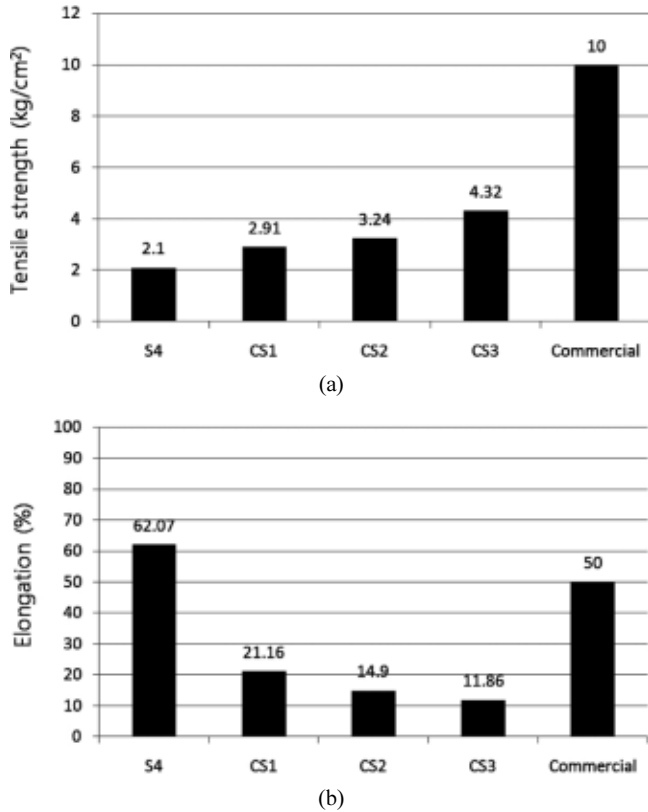


Figure 2. Mechanical properties of various EMI shielding sheets : (a) Tensile strength, and (b) Elongation.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기계적 특성 및 SEM

전자파 흡수 시트의 기계적 특성은 인장강도와 연신율을 측정하여 상업적인 전자파 흡수시트와 비교하여 Figure 2에 나타내었다. 인장강도의 경우 상업용 시트에 비하여 상당히 감소된 것을 보여주며, 이것은 시트의 두께와도 관련이 있는 것으로 상업용 시트에 비하여 본 연구에서 제조된 시트의 두께가 절반으로 줄어든 결과에 기인한다고 사료된다. 시트의 두께는 최종 제품(전자기기)의 두께에도 영향이 있으므로 최대한 얇은 것이 더 유리하여 본 연구에서는 상업용 시트보다 두께를 절반으로 줄인 결과 인장강도의 저감이 나타났다. 그러나 인장강도의 경우 제품의 제조공정에서 흡수시트에 과도한 강도가 요구되지 않으므로 인장강도의 저감은 최종 제품의 제조에 전혀 문제가 되지 않고 있다. 그럼에도 불구하고, CNT의 첨가는 인장강도를 약 2배 이상 증가시키는 결과를 보여주고 있다. 흡수시트 제조에서 CNT의 밀도향상이 시트의 구조를 더욱 조밀하게 만들므로 인장강도가 향상된 것으로 생각한다. 따라서 CNT의 첨가는 전자파 흡수성능의 향상을 기대할 뿐 아니라, 기계적 물성의 증가도 기대할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 연신율의 경우 인장강도의 반대효과를 보여주었다. 즉 제조된 흡수시트의 경우 상업용 시트에 비하여 연신율의 변화가 크지 않으나, CNT의 첨가로 인한 연신율의 저감을 볼 수 있었다. 이것은 CNT의 첨가가 물리적인 혼합에 의한 것으로 CNT와 흡수시트용액과의 화학적 결합이 없기 때문이다. 실제 위의 샘플을 이용하여 전자기기에 적용한 결과 최종 기기의 제조에 큰 문제가 없음을 확인하였으며, 따라서 본 연구에서는 더 이상의 기계적 특성의 향상을 시도하

Table 2. The Viscosity of Slurry for EMI Shielding Sheet

Sample code	Viscosity (cP)
S1	6100
S2	7200
S3	9300
S4	11900
S5	21000
S6	32000

Table 3. The Viscosity of Slurry with Various CNT Amount for EMI Shielding Sheet

Sample code	Viscosity (cP)
CS1	5250
CS2	8350
CS3	34300
CS4	could not measure

지 않았다.

전자파 흡수시트의 표면 및 성분분석을 통하여 제작 시 오염 여부와 CNT의 첨가가 적절하게 이루어졌는지를 확인하였다. 비교분석을 위하여, 아무것도 첨가하지 않은 일반 전자파 흡수 시트인 S4와 CNT를 각각 1, 1.5, 2% 첨가한 CS1, CS2, CS3 시트들의 표면을 관찰하였으며, 그 결과를 Figure 3에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, CNT의 첨가에 따라 입자들이 더 조밀해지는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 결과는 CNT의 첨가에 따른 점도 증가와 관련된 것으로 CS3의 경우 슬러리의 점도가 S4에 비해 2배 이상의 값을 보여주었다. 점도 값의 결과는 Table 2와 Table 3에 나타내었다. 두 종류의 시트를 표면 관찰한 후 성분분석을 한 결과를 Figure 4에 나타내었으며, 두 경우 모두 시트 제작에 불순물 등의 오염문제는 없다는 것을 확인할 수 있었다. 시트의 주성분인 Fe가 다량 검출되었으며, 그 외에 금속분말 자체 내에 소량 첨가되어 있는 Si와 Cr을 확인할 수 있었다. 또한 CNT를 첨가한 (a)의 경우(Figure 4) 주성분인 C가 검출됨을 확인하였다.

3.2. 전기전도도 및 전자파 차폐율

전자파 차폐 및 흡수에 많은 영향을 미치는 전기 전도도(체적저항)를 측정된 결과를 Figure 5에 나타내었다. 각기 다른 조건으로 제작된 두 가지 시트의 저항이 얼마만큼의 효과를 얻었는지 알기 위해 시중에 상용화되고 있는 제품과 비교분석하였다. S4 시트는 상용제품에 비해 저항 값이 두 배 이상 높게 나타나는 것을 확인하였다. 이는 시트 제조 시 비율상의 차이로 인해 저항 값에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 하지만 CNT를 첨가하였을 때 저항 값은 상용제품에 비해 400배에서 4000배 이상 낮게 나오는 것을 알 수 있었다. 이는 일반 시트의 주재료가 되는 Fe에 비해 훨씬 낮은 저항 값을 가지는 CNT가 고루 분산되어 저항의 값에 크게 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다. 또한 CNT의 첨가가 흡수시트의 밀도를 증가시키므로 전자파 차폐의 효율을 증가시켰다고 생각한다[14].

S4 시트와 CNT를 첨가한 CS 시트의 차폐효율을 측정하여, 그 결과 값을 Figure 6에 나타내었다. 정확한 결과 진단을 위해 역시 상용 제품과 차폐 효율을 비교분석하였다. S4 시트의 경우는 상용제품보다 2배 정도 낮은 차폐효율 값을 나타내었다. 반면 CNT를 첨가한 시트의 경

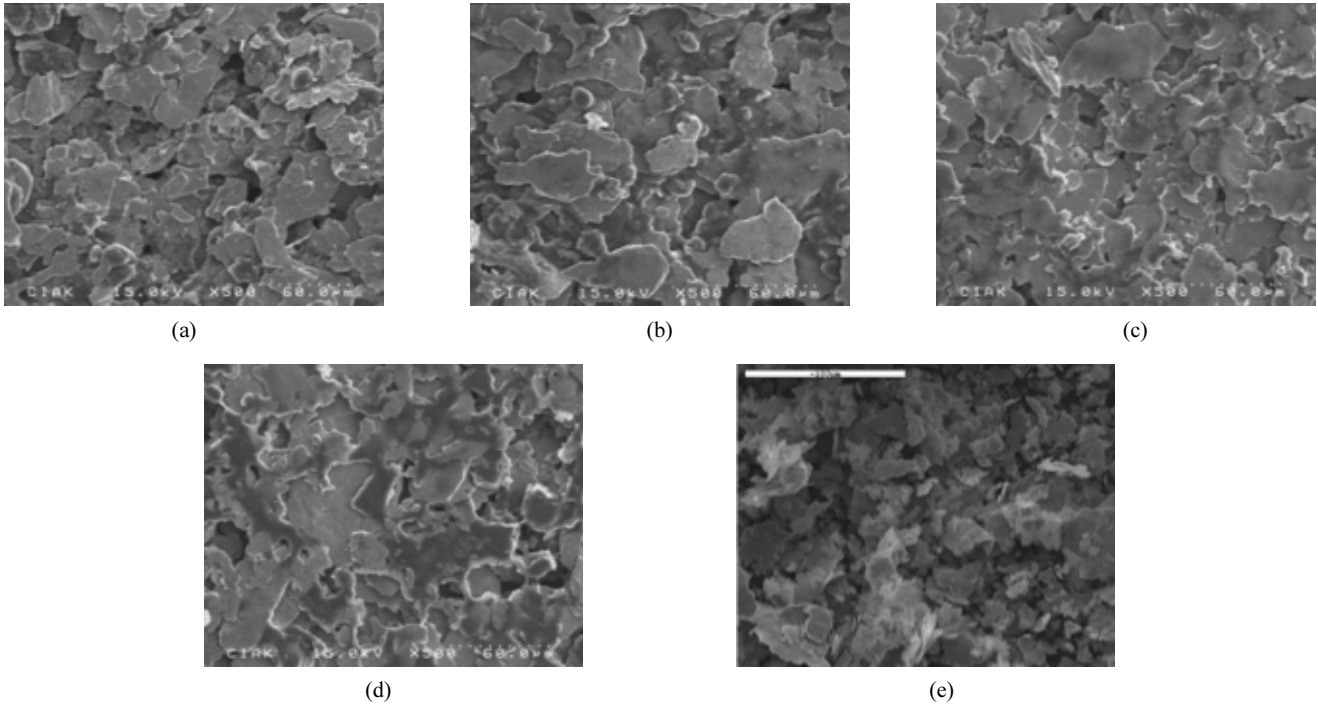
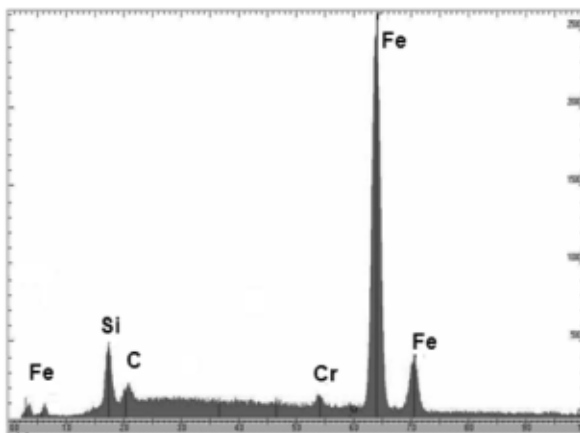
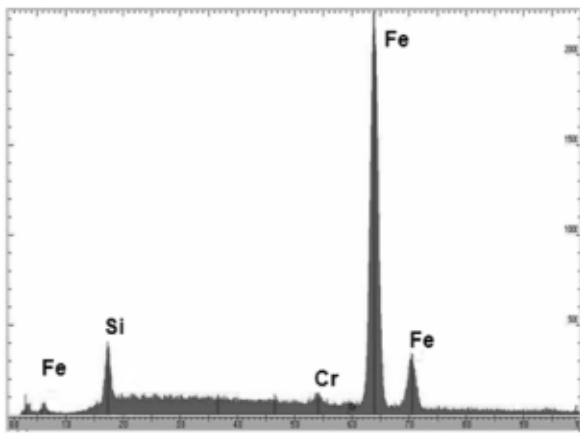


Figure 3. SEM micrographs of (a) S4, (b) CS1, (c) CS2, (d) CS3, and (e) commercial sheet.



(a)



(b)

Figure 4. The EDS measurements of (a) CS1 and (b) S4 sheet.

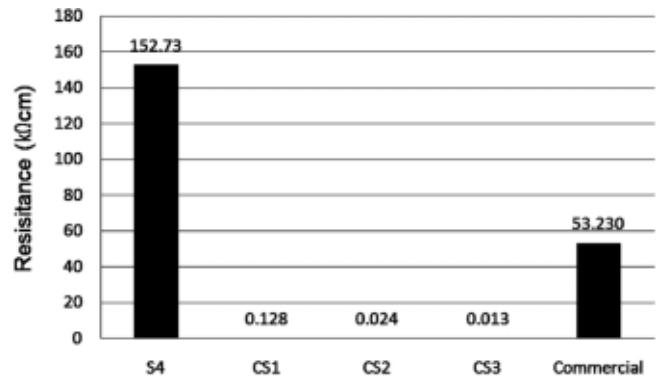


Figure 5. The 4-Point Probe measurements of CS sheet series and S4 sheet.

우 상용제품에 비해 3배 높은 차폐효율을 나타내는 것을 확인 할 수 있으며, 이와 같은 결과는 전기적 저항 값의 결과와 잘 일치하고 있다. 특히 적은 양의 CNT 첨가로 금속 자체의 차폐효율과 유사한 값을 나타내므로, CNT 첨가량의 최적화를 시도한다면, 두께 및 비용 절감의 효과를 가져 올 뿐 아니라, 상용제품의 대체효과도 있으리라 기대된다.

4. 결 론

Fe계 금속분말을 이용하여 전자파 차폐 및 흡수 시트를 제작하였다. 제작된 시트에 첨가되는 CNT 양의 변화에 따른 전자파 차폐효율을 측정해 보았으며, 전자파 감쇠 특성을 향상시키고자 하였다. CNT를 첨가하지 않은 시트의 제조는 용질/용매 비율이 91.37 : 8.63이었던 S4의 비율에서 제작이 가능하였다. CNT를 첨가하였을 경우에는 함량이 증가할수록 전기저항이 감소하고 차폐효율이 증가하지만, 점도가 너무 높아져 시트 제작이 불가능하기 때문에 2% 이내의 함량으로 시

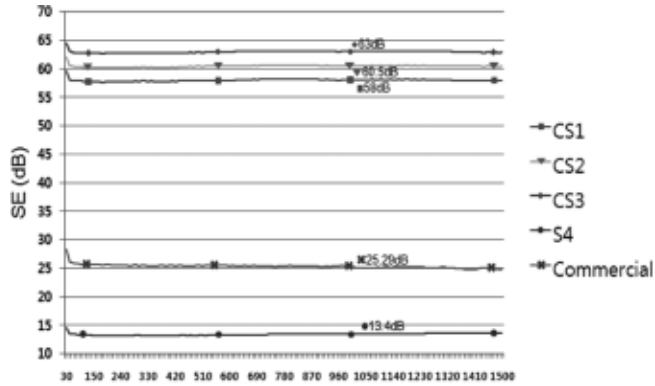


Figure 6. The EMI shielding efficiencies of CS sheet series and S4 sheet.

트를 제작하는 것이 적당하다는 것을 알 수 있었다. 차폐효율은 전자파 흡수 시트에 CNT를 첨가하였을 때 현재 상용화 되고 있는 제품보다 2배 높은 63 dB의 차폐효율을 나타내었다.

감 사

이 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력 양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

1. K. T. Chung, A. Sabo, and A. P. Pica, *J. Appl. Phys.*, **53**, 6867 (1982).
2. S. W. Byun and S. S. Im, *J. Appl. Polym. Sci.*, **56**, 425 (1995).
3. I. Tosiyaiki, *JETI*, **50**, 119 (2002).
4. Y. Washino, *Electromagnetic*, 11, Toray Research Center, Tokyo (1993).
5. Y. K. Lee and J. C. Cho, *Mechanical Technology*, **78**, 34 (1993).
6. S. T. Shinn and Y. C. Fa, *Mat. Sci. and Eng.*, **32**, 258 (2001).
7. P. Chandrasekhar and K. Naishadham, *Synth. Met.*, **105**, 115 (1999).
8. J. Joo and A. J. Epstein, *J. Am. EMI. Soc.*, **6**, 140 (1995).
9. K. H. Lee, Y. D. Kim, M. H. Lee, B. H. Min, and J. H. Kim, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **20**, 493 (2009).
10. J. W. Choi, K. G. Lee, S. H. Hwang, J. Y. Kim, S. W. Lee, and W. S. Huh, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **19**, 413 (2008).
11. J. P. Parneix and M. El. Kadiri, *Springer Series in Solid State Science*, **71**, 183 (1987).
12. S. H. Park, D. I. Kim, D. H. Choi, and S. Y. Kim, *J. EM. Soc.*, **19**, 1051 (2008).
13. K. B. Choi, E. M. Goh, and K. I. Ahn, *J. Kor. Ins. Chem. Eng.*, **33**, 521 (1995).
14. Y. H. Lee, *The World of High-tech and physics*, 24, Seoul (2003).