

## 전자파차폐 및 방열 기능을 가지는 하이브리드시트 성능측정

안성수

한국폴리텍대학 로봇캠퍼스 로봇자동화과

### Performance Measurement of The Hybrid Sheet with Dual Function of Electromagnetic-Shielding and Heat-Dissipating

Sung-Su Ahn

Department of Robot Automation, Robot Campus of Korea Polytechnics

**요약** 본 논문에서는 전자기기 등에서 전자파 차폐 및 방열소재로 많이 채택되는 동 메쉬 시트와 천연그래파이트 시트를 감압 접착제없이 합지시켜 개발된 차폐 및 방열의 기능을 동시에 가지는 하이브리드시트의 성능 측정결과를 제시하였다. 객관적인 방열 성능을 확인하기 위해 2개의 다른 제품들과 수직 및 수평 열전도도를 각각 측정하여 결과를 비교하였으며, 전자파 차폐 성능은 CISPR 11규격에 따른 복사방출시험을 3m 전자파 무향실에서 진행하여 확인하였다. 수직 열전도도의 경우 제안된 하이브리드 시트가 방열코팅이 된 알루미늄 시트 대비 약 8.63배, 감압 접착제로 인조 그래파이트를 합지시킨 구리 시트에 비해 18.7배 높은 수준이었으며, 수평 열전도도는 인조 그래파이트를 합지시킨 구리 시트에 비해 약 0.64배, 방열 코팅된 알루미늄 시트에 대해서는 약 1.76배로 나타났다. 동일한 열원에서 각 시트들을 적용 후 측정된 결과에서는 제안된 하이브리드 시트가 열방출 기능이 가장 우수하였고 복사방출시험에서는 방사노이즈들이 상당 부분 제거되는 결과를 얻었다.

**Abstract** This paper presents the performance measurement results of a hybrid sheet with both shielding and heat dissipation functions developed by laminating copper mesh sheets and natural graphite sheets, which are used widely as electromagnetic shielding and heat-dissipating materials in electronic devices, without a pressure-sensitive adhesive (PSA). The results were compared by measuring the vertical and horizontal thermal conductivity with two other products to confirm the heat dissipation performance. A radiation emission test confirmed the electromagnetic shielding performance using a 3m electromagnetic anechoic chamber according to the CISPR 11 standard. In the case of vertical thermal conductivity, the proposed hybrid sheet was approximately 8.63 times higher than that of an aluminum sheet with heat dissipation coating and 18.7 times higher than that of a copper sheet laminated with artificial graphite with PSA. The proposed hybrid sheet was approximately 0.64 times that of the sheet, and approximately 1.76 times that of the heat-dissipated aluminum sheet in case of horizontal thermal conductivity. Measurements after applying each sheet in the same heat source revealed the proposed hybrid sheet to have the best heat dissipation performance. The radiation emission test showed that significantly radiation noise had been removed.

**Keywords** : Copper mesh, Graphite, Electromagnetic-Shielding, Heat-Dissipating, Heat-Spread, Hybrid sheet

\*Corresponding Author : Sung-Su Ahn(Korea Polytechnics)

email: zecks@kopo.ac.kr

Received January 28, 2021

Accepted May 7, 2021

Revised February 18, 2021

Published May 31, 2021

## 1. 서론

전자기기와 반도체 소자가 기반이 되는 IT분야 하드웨어 기술의 발전 속도는 해가 지날수록 급격하게 빨라지고 있으며 이로 인해 관련 제품군인 스마트폰, 스마트패드, PC, TV, 내비게이션 등의 전자제품들과 관련 부품들은 고성능화, 슬림화, 경량화 및 전력 대용량화로 개발이 진행되고 있다. 이에 따라 고집적화가 이루어진 전자제품들에서는 필연적으로 방열량의 상승과 전자파 발생이 동반되며 이는 내부 소자의 기능을 저하시킴과 동시에 주변 소자의 오작동을 유발함으로써 결국에는 해당 기기의 동작신뢰성을 떨어뜨리게 된다.

전자파의 경우 인접 기기 및 인체에 영향을 주기도 하며 기기 내부에서 부품들 간의 전자기적 간섭을 일으켜 기기 방열과 함께 기기 오동작의 주요원인으로 인식되고 있으며 세계 각국의 전자파 허용 규제가 엄격해지고 있기 때문에 관련된 IEC 등을 포함하는 국제위원회에서 권고하는 국제규격을 충족시켜야 관련 제품의 경쟁력 확보 및 해외로의 수출이 가능하게 된다[1].

방열의 경우 기기 자체의 수명을 단축함은 물론이거니와 기기 폭발 혹은 화재의 직접적인 원인이 되기도 하며 디스플레이가 장착된 기기들의 경우에는 화면 선명도와 색상도 등을 떨어뜨리는 결과를 초래할 수 있다. 결국 이러한 현실에 비추어볼 때 IT관련된 전자제품들과 전자부품들이 적용된 시스템들을 위한 전자파 차폐 또는 흡수와 방열 관련된 소재 및 기술들은 IT기술과 같이 발전할 것으로 예상된다.

전자파 차폐와 방열 기술은 주로 소재개발에 주안점을 두고 연구가 진행되어 왔으며 현재까지도 각각의 소재들이 개발되어져 왔다.

전자파 차폐소재로는 금속[2]이 가장 많이 사용되고 고분자 재료의 경우 대부분의 전자파가 투과하는 특성이 있기 때문에 여기에도 방열소재와 비슷하게 탄소나노튜브를 충전제로 활용하는 연구가 최근 많이 연구되고 있다[3]. 이외에도 나노금속 및 자성나노 분말을 예폭시 섬유수지에 분산시킨 소재[4], 금속성분을 탄소섬유에 코팅한 소재의 연구에 관련된 사례[5], 다층구조의 그래핀과 폴리머 혼합 필름에 대한 연구[6]등도 존재한다.

방열소재는 주로 고분자 물질에 열전도성을 부여하기 위해 열 전도성 고분자 복합재료에 탄소재료 또는 세라믹 등을 첨가하는 방법이 있으며 이외에 고분자 복합재료의 열전도도 향상을 위해 탄소나노튜브에 대한 연구, 그리고 기존의 금속 파우더, 세라믹 재료를 충전제로 사

용한 연구도 꾸준히 진행되고 있으며[7,8], 이종의 소재에 접합에 따라 수직열전도도를 개선시키기 위한 연구도 진행되었다[9].

최근에는 점차 고집적화 및 동작주파수가 높아지고 있는 전자기기를 위해 방열과 전자파 차폐의 두 가지 동시 기능을 가지는 소재에 대한 연구가 진행되고 있다. 일례로 산화철, 세라믹 그리고 탄소 물질의 혼합물로 제작된 전자파 흡수체에 기구적인 홀을 형성시켜 방열효과를 가지게 하는 방법[10], 이종의 소재를 접착시키기 위한 접착제에 방열특성을 부여하는 방법[11], 그리고 본 논문의 선행 개발에서 제안된 것으로 방열과 차폐 기능을 가지도록 이종의 소재들을 접착제 없이 기계적인 압력만으로 접합시켜 개발한 하이브리드소재[12]등이 있다.

본 논문에서는 [12]에서 개발된 3가지 형태의 방열 및 전자파 차폐 시트 중 구리 메쉬와 천연 그라파이트 시트 각각 1장씩으로 합지시킨 시트에 대해 타 방열시트들과의 열전도도 및 방열성능을 비교하였으며 아울러 복사방출 측정을 통해 전자파 차폐정도를 측정 분석하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 개발된 방열 차폐동시 기능의 복합시트에 대해 간략히 고찰하고 3장에서 다른 방열 시트들과의 방열 성능 비교 실험과 전자파 차폐 성능을 측정할 실험결과를 제시하고 마지막 장에서 결론을 맺는다.

## 2. 본론

### 2.1 하이브리드 시트 개념 및 구조

구리는 자연계 물질 중에서 열전도도 값이 매우 높은 물질 중 하나이며 열전도도 값은 약 397 W/mK으로 다른 물질대비 매우 높은 수준이다[13]. 또한 전기전도성 또한 좋기 때문에 전자파 차폐 소재로 많이 채택된다. 그라파이트 역시 약 128 W/mK[3]으로 열전도도가 높은 물질 중의 하나이며 방열소재 제작 시 혼합재 또는 충전재로 많이 활용되며 전기전도성도 나쁘지 않아 전자파 차폐 소재로 활용이 가능하다.

만약 이 두 가지 소재를 합지시키면 전자파 차폐성과 방열의 기능을 동시에 만족시킬 수 있는 소재를 제작할 수 있지만 현재는 두 가지 소재를 감압 접착제로 접착을 시키기 때문에 감압 접착제에 의해 원 소재들이 가지는 특성 중 방열 기능이 저하되는 문제점이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서 제시된 차폐와 방열 성능을 동시에 가지는 하이브리드 시트는 감압 접착제를 배제시키기 위해 Fig. 1.과 같이 구리 메쉬망을 먼저 가압하여 표면

거칠기를 증가시켜 그래파이트가 잘 붙도록 만들고 그 뒤 1차 가압공정을 거친 구리 메쉬망과 천연 그래파이트 시트를 물리적인 압력만으로 가압시켜 망 사이 공간에 그래파이트를 채워넣는 방식으로 제작되었다[12]. Fig. 2.는 제작된 하이브리드 시트의 단면을 광학현미경으로 살펴본 것으로 구리망 사이사이에 그래파이트가 잘 채워져 있음을 알 수 있다.

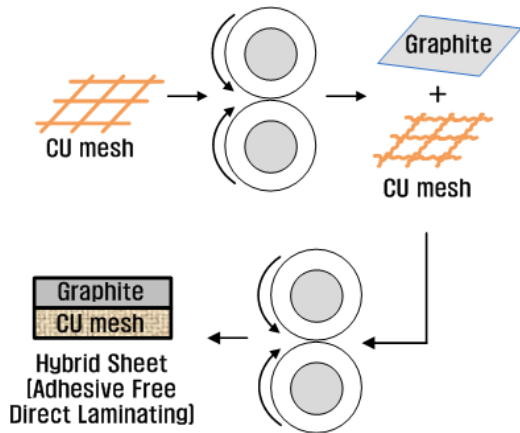


Fig. 1. The proposed hybrid sheet fabrication process

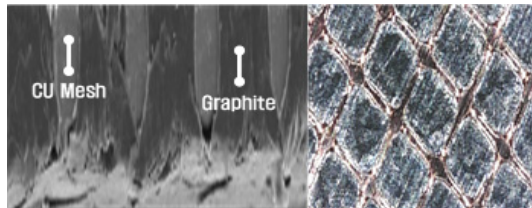
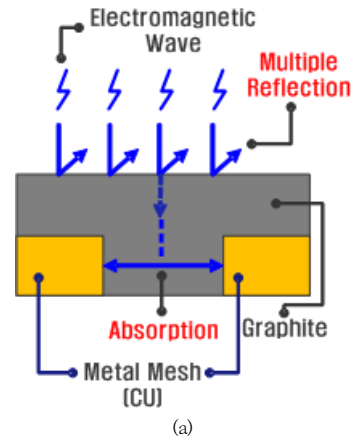


Fig. 2. Cross section and enlarged photos of the hybrid sheet

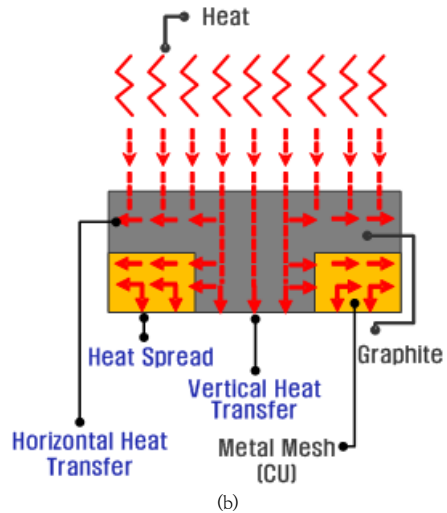
## 2.2 하이브리드 시트 기능

Fig. 3.은 앞서 제작된 하이브리드 시트의 기능을 전자파 차폐와 방열로 나누어 도식화한 것이다. 먼저 Fig. 3(a).는 전자파 차폐 기능을 설명한 것으로 이 경우 외부에서 발생하는 전자기파는 그래파이트 표면에서 다중반사가 일어나 1차적으로 걸러지게 되며 표면에서 반사되지 않고 그래파이트를 통과한 잔여 전자기파는 금속인 구리로 흡수되게 된다. Fig. 3(b).는 방열 기능을 나타낸 것으로 하이브리드 시트는 외부 열원에서 발생하는 열이 그래파이트 내부와 구리 메쉬 와이어를 통해 시트의 수직 및 수평방향으로 열이 골고루 퍼지게 함으로써 열원에서부터 열이 주변으로 퍼지게 만들어 열 집중화를 완화시켜 전체적인 온도를 낮추는 방식으로 방열 기능을

수행하게 된다.



(a)



(b)

Fig. 3. Mechanism of electromagnetic shielding and heat dissipation function

(a) Electromagnetic reflection and absorption  
(b) Heat transfer

## 3. 성능측정

### 3.1 방열 성능 비교

제안된 하이브리드 시트의 방열 성능을 알아보기 위해 구리 메쉬와 인조 그래파이트를 접착제로 합치시킨 제품과 알루미늄 시트에 방열코팅을 입힌 제품 두 가지와 비교하는 실험을 수행하였다. Table 1.과 같이 두께 사양을 가지는 각 각의 시트들에 대해 온도측정범위 -10 0℃~500℃를 가지는 NETZSCH사의 열전도도 측정기

(LFA467)를 이용하여 수직 열전도도, 수평 열전도도를 10회 반복 측정하였고 이후 55°C 열원에 시트들을 부착하여 동일부위에 대해 발생하는 열을 측정하였다.

Table 1. Specifications of sheet thickness

CU Sheet with Artificial Graphite(mm)	Heat dissipation coated AL Sheet(mm)	Proposed Hybrid Sheet(mm)
0.061	0.053	0.099

Table 2.는 수직 열전도도를 측정한 결과이며 Table 3.은 수평 열전도도를 측정한 결과이다. Table 4.와 Table 5.는 각 시트들 간에 측정된 수평 열전도도와 수직 열전도도의 평균을 비교하기 쉽도록 그래프화한 것이다.

Table 2. Vertical thermal conductivity measurement results

Shot number	CU Sheet with Artificial Graphite (W/mk)	Heat dissipation coated AL Sheet (W/mk)	Proposed Hybrid Sheet (W/mk)
1	0.429	0.939	8.085
2	0.431	0.940	8.061
3	0.436	0.940	8.115
4	0.436	0.942	8.152
5	0.432	0.941	8.097
6	0.433	0.942	8.169
7	0.437	0.942	8.144
8	0.434	0.947	8.153
9	0.435	0.945	8.181
10	0.439	0.946	8.175

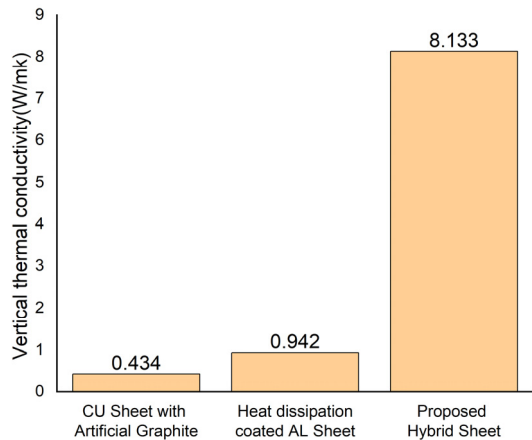


Fig. 4. Vertical thermal conductivity measurement average value comparison graph

Table 3. Horizontal thermal conductivity measurement results

Shot number	CU Sheet with Artificial Graphite (W/mk)	Heat dissipation coated AL Sheet (W/mk)	Proposed Hybrid Sheet (W/mk)
1	398.153	145.489	255.980
2	400.729	144.357	254.532
3	399.194	145.150	255.789
4	398.973	145.759	256.072
5	400.037	145.708	256.879
6	396.896	144.952	256.242
7	400.117	146.489	255.391
8	399.598	144.594	256.180
9	397.228	145.293	256.498
10	400.024	145.220	256.653

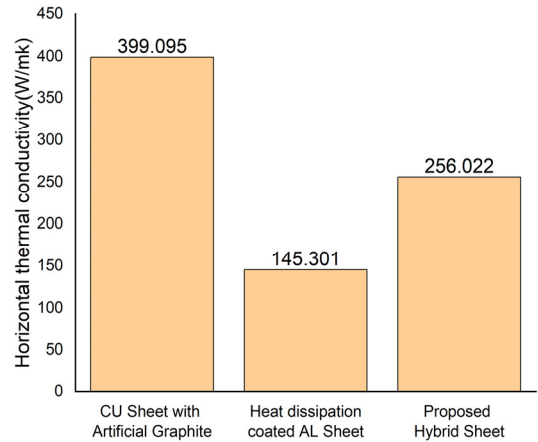


Fig. 5. Horizontal thermal conductivity measurement average value comparison graph

수직 열전도도의 경우 평균값 기준으로 제안한 하이브리드시트가 방열코팅이 된 알루미늄 시트 대비 약 8.63배 가량 높고, 감압 접착제로 인조 그래파이트를 합지시킨 구리 시트에 비해서는 18.7배 높은 것으로 나타났다. 수평 열전도도는 제안된 하이브리드시트가 인조 그래파이트를 합지시킨 구리 시트에 비해 약 0.64배 수준이며, 방열 코팅된 알루미늄 시트에 대해서는 약 1.76배로 나타났다.

Table 4.의 온도 측정결과를 보면 수평열전도도가 가장 높게 나타난 인조 그래파이트가 합지된 구리 시트가 열원으로부터 방사되는 열을 시트 표면으로 빠르게 분산시켜 전체적인 온도를 낮출 것으로 생각되었으나 제안된 하이브리드시트를 적용했을 때 보다 측정 온도가 높게 나타나는 결과를 보였다.

Table 4. Temperature measurement results

CU Sheet with Artificial Graphite(°C)	Heat dissipation coated AL Sheet(°C)	Proposed Hybrid Sheet(°C)
40.7	44.8	39.7

이는 인조 그래파이트가 합지된 구리 시트의 경우 감압 접착제가 그래파이트와 구리간의 열전달을 방해하는 요소로 작용하여 감압 접착제를 사용하지 않은 제안된 하이브리드 시트에 비해 상대적으로 열원에 대해 수직방향으로 열이 잘 전달되지 못하여 대기 중으로의 열 방출이 원활하지 못한 것이 원인으로 생각될 수 있다.

### 3.2 전자파 복사방출 성능 측정

제안된 시트가 전자제품에 적용되었을 경우를 가정하여 전자파 방사 차폐성능을 알아보기 위해 Fig. 6.과 같이 임의의 임베디드 보드를 이용하여 시트 적용 전 과 적용 후에 대한 복사방출(RE-Radiated Emission) 정도를 측정하였다. 측정은 CISPR 11규격에 따라 Table 5.와 같은 기준으로 30MHz~1GHz 범위의 방사시험을 Table 6.과 같은 사양을 가지는 3m 전자파 무향실에서 진행하였다.

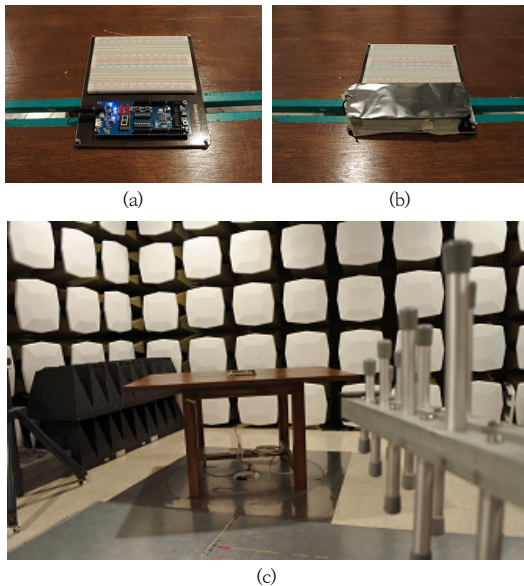


Fig. 6. Electromagnetic emission test  
(a) DUT without hybrid sheet (b) DUT with hybrid sheet (c) Testing environment

Table 5. Radiated Emission value of CISPR 11 standard

Frequency(MHz)	Level(μV/m)
30.00 ~ 230.00	50
230.00 ~ 1 000.00	57

Table 6. Specifications of 3m Semi Anechoic Chamber

Size(W×D×H)	Frequency	Load of Turn Table
9m×7m×6m	30MHz~18GHz	1ton

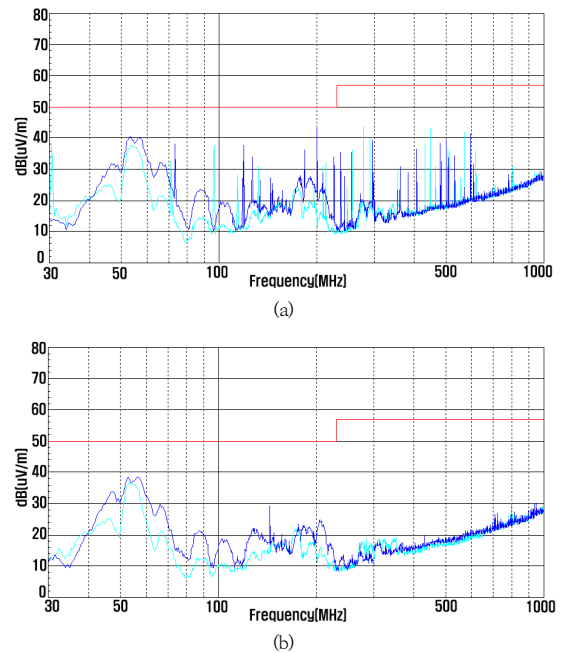


Fig. 7. Electromagnetic emission test results  
(a) Without hybrid sheet (b) With hybrid sheet

방사 시험 측정 결과 그래프를 보면 Fig. 7(a).와 같이 하이브리드 시트를 적용하기 전에는 70MHz에서 800MHz 주파수 범위에서 방사노이즈들이 많이 나타났으며 Fig. 7(b).에서와 같이 하이브리드 시트를 적용한 후에는 방사노이즈들이 상당히 줄어든 것을 볼 수 있고 전반적으로 방사되는 전자파 레벨값도 낮아진 것을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 구리 메쉬 시트와 천연 그래파이트 시트 소재를 감압 접착제 없이 합지시켜 전자파 차폐 및 방

열의 동시 기능을 가지는 하이브리드 시트에 대해 방열 성능에 관해서는 제안된 하이브리드 시트, 감압 접착제로 합지된 구리 및 인조 그래파이트 시트 그리고 방열 코팅된 알루미늄 시트에 대해 방열 성능에 대한 비교 측정, 그리고 제안된 시트 자체의 전자파 차폐 성능을 보기 위해 기존 ASTM D4935 규격에 따른 소재 자체 차폐시험 외에 CISPR 11규격에 따른 전자파 방사 시험을 수행하여 다음과 같은 결과 및 결론을 얻었다.

1. 비교 샘플들 중 제안한 하이브리드 시트가 수직 열전도도가 가장 높게 나타났으며 특히 감압 접착제를 사용한 비슷한 소재로 제작된 시트에 비해 18.7 배 높은 수치를 보였다.
2. 수평 열전도도의 경우 제안한 하이브리드 시트가 두 번째 높은 수치를 보였으나 같은 열원 부위에 대해 각 샘플 시트 적용 후 측정된 온도가 가장 낮았으며 감압 접착제를 적용한 비슷한 구조의 시트에 비해 1℃ 정도 낮게 온도가 측정되어 수직열전도도와 수평열전도도가 복합적으로 시트의 방열 성능에 관여한다는 것과 감압 접착제의 존재유무도 방열 성능에 영향이 있음을 확인할 수 있었다.
3. 전자파 방사 시험에서는 제안된 하이브리드 시트를 전자파가 방사되는 전자회로기판에 적용했을 경우 방사 노이즈 성분이 현저히 제거되는 결과를 측정 결과 그래프를 통해 알 수 있었고 방사 수치도 적용 전에 비해 다소 낮아지는 경향을 보였다.
4. 결론적으로 제안된 하이브리드시트가 갈수록 고주파 소자들이 지속적으로 적용되고, 소형화 및 슬림화가 진행되고 있는 IT전자기기들과 발열 및 전자파 문제를 동시에 해결해야하는 전자시스템에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- [1] D. I. Kim, S. H. Park, Y. I. Joo, "Development and prospect of Smart EMW Absorber for Protection of Electronic Circuits and Devices with Heat Radiating Function", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 5, pp. 1040-1046, May 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.6109/kiice.2015.19.5.1040>
- [2] B. S. Kim, "Development on Manufacturing the Equipment and Shielding Sheet of the EMI Shielding Sheet of Grid Pattern for the Wireless Charger", *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, vol. 18, no. 1, pp. 109-114, Feb. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.17958/ksmt.18.1.201602.109>
- [3] S. J. Chae, B. R. Cho, B. P. Hong, B. S. Lee, H. S. Byun, "Preparation of Sheet with CNT for EMI Shielding and Its EMI Shielding Property", *Applied Chemistry for Engineering*, vol. 21, no. 4, pp. 430-434, Aug. 2010.
- [4] J. Y. Han, C. H. Lee, M. G. Choi, S. J. Hong, J. H. Park, D. J. Lee, "Electromagnetic Wave Shielding Effect of Nano-powder Dispersed Epoxy Resin Composite", *Journal of Korean Powder Metallurgy Institute*, vol. 22, no. 4, pp. 234-239, Aug. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.4150/kpmi.2015.22.4.234>
- [5] J. H. Cho, K. G. Jeon, "Measurement Algorithms of Sizing removed state using Image Process And Development of Carbon fibers with Electromagnetic shielding Performance", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 18, no. 2, pp. 95-101, Feb. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.2.95>
- [6] W. L. Song, M. S. Cao, M. M. Lu, S. Bi, C. Y. Wang, J. Liu, J. Yuan, L. Z. Fan, "Flexible graphene/polymer composite films in sandwich structures for effective electromagnetic interference shielding", *Carbon*, vol. 66, pp. 67-76, Aug. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.08.043>
- [7] J. H. Hong, S. E. Shim, "Invited Review Article: Trends in Development of Thermally Conductive Polymer Composites", *Applied Chemistry for Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 115-128, Apr. 2010.
- [8] S. M. Kim, S. M. Lee, "Preparation and Characteristics of the Excellent Heat-releasing Composite Sheet Containing AlN and Graphite Powder", *Journal of Korean Institute of Electronic Material Engineers*, vol. 25, no. 6, pp. 462-466, Jun. 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.6.462>
- [9] M. H. Yoo, J. H. Song, W. S. Jeong, Y. S. Jang, S. H. Choi, S. M. Yang, S. J. Kang, "A Study on improving the vertical thermal conductivity of graphite-polymer sheet", *Proceedings of KSAE 2016 Annual Spring Conference*, pp. 888-890, Jeju, Korea, May 2016.
- [10] D. I. Kim, Y. B. Jeon, "A Study on Manufacturing Method of High Performance Smart EMW Absorber with Heat Radiating Function and Its Prospects", *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 26, no. 10, pp. 841-850, Oct. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2015.26.10.841>
- [11] Y. S. Kim, S. H. Park, J. W. Choi, L. S. Kong, G. H. Yun, B. G. Min, S. H. Lee, "Comparative Analysis of Heat Sink and Adhesion Properties of Thermal Conductive Particles for Sheet Adhesive", *Textile Coloration and Finishing*, vol. 28, no. 1, pp. 48-56, Mar. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.5764/TCF.2016.28.1.48>
- [12] S. S. Ahn, K. J. Kwon, "Development of the multi-function sheet for electromagnetic shielding

and heat-dissipating using PSA free heterogeneous material laminating method”, *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 56, no. 10, pp. 93-101, Oct. 2019.

DOI: <https://doi.org/10.5573/ieie.2019.56.10.93>

- [13] Y. S. Jang, *Thermal Properties of Porous Copper/Carbon Materials Heterostructures*, Master's thesis, Chonnam National University, Kwangju, Korea, pp.8, 2017.
- 

안 성 수(Sung-Su Ahn)

[정회원]



- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학(공학사)
- 1998년 2월 : 경북대학교 일반대학원 전자공학과(공학석사)
- 2015년 2월 : 경북대학교 일반대학원 전자공학과(공학박사)
- 1998년 1월 ~ 2002년 11월 : LG산전 주임연구원
- 2002년 11월 ~ 2005년 10월 : LG전자 선임연구원
- 2005년 11월 ~ 2020년 2월 : 대구기계부품연구원 책임연구원
- 2020년 2월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 로봇자동화과 조교수

〈관심분야〉

로봇시스템, 비선형제어, 센서융합, 동역학, 복합재료