

니켈나노파우더 함침기법을 이용한 탄소복합소재의 전자파차폐 효과에 관한 연구

서광수*, 박이구*,**,#

*전주대학교 탄소융합공학과, **전주대학교 기계자동차공학과

Carbon Composite Material Using Nickel Nano-Powder Impregnation Research on Electromagnetic Shielding Effect

Kwang-Su Seo*, Lee-Ku Kwac**,#

*Department of Carbon Convergence Engineering, JEONJU UNIV.,

**Department of Mechanical and Automotive Engineering, JEONJU UNIV.

(Received 08 July 2020; received in revised form 28 September 2020; accepted 29 September 2020)

ABSTRACT

In order to improve the electromagnetic shielding rate of Carbon Fiber (CF), it was produced using the nickel nano-powder impregnating method. Using two types of nickel powder having thicknesses of 50 μ m and 100 μ m, and a thermoplastic elastomer resin, a compound containing 10–20% nickel content was mixed and then manufactured through an extruder. The CF coated with the compound was woven and manufactured using a 1-ply specimen. The final nickel content of the specimen was verified using TGA and the distribution of nickel powder on the CF surface was verified using SEM. The metal shows a high shielding rate in the low-frequency band, but the shielding rate decreases at higher-frequency bands. The CF improves at the higher frequency band, and metals reflect electromagnetic waves while carbon absorbs electromagnetic waves. The study of shielding materials, which are stronger and lighter than metal, by using CF lighter than metal and enabling the shielding rate from low-frequency band to high-frequency band, confirmed that the larger the area coated with nickel nano-powder, the better the electromagnetic shielding performance. In particular, CF coated with a thickness of 100 μ m has a shielding rate similar to that of copper and can also be used for EV/HEV automotive cables and other applications in the future.

Key Words : Carbon Fiber(탄소섬유), Metal Nickel Nano Powder(금속니켈나노파우더), Electromagnetic Shielding(전자파차폐)

1. 서 론

최근 5G 시대에서 스마트폰뿐만 아니라, IoT,

자율주행, AI 등의 5G 제품들에 내장될 수밖에 없는 칩이 점점 더 소형화되기 때문에 아주 작은 전자파라도 그 칩들에 크게 영향을 미쳐서 성능저하 또는 오작동 등을 유발시킬 수 있어 “전자파차폐 EMI”가 점점 더 중요해질 것이다. 전자파차폐 EMI 기능을 가진 복합성 원료를 개발하고자 나

Corresponding Author : kwac29@jj.ac.kr

Tel: +82-63-859-4527, Fax: +82-63-859-4547

노소재인 탄소를 이용하는 방법이 검토되고 있으며, 대표적인 소재인 탄소섬유에 기하학적 변화를 주는 방법으로 탄소섬유에 전자파 차폐기능을 요구하는 복합재료에 연구가 활발히 진행되고 있다. 전자파를 차폐하는 방법으로 가장 효과적인 방법은 금속재료를 외부 전체에 판금의 형태로 감싸는 것이다. 그러나 효율적인 면에서 가장 떨어지는 방법이다. 효율을 향상시키기 위해 금속재료를 박막화시키거나 금속메쉬 등을 활용하고 있다. 박막의 경우 기계적인 고정 방법이나 접착제로 붙이는 방법이 이용되고 있으며, 작업성을 고려하여 이면에 접착 가공을 한 테이프의 형태로 널리 사용되고 있다. 하지만 높은 주파수 범위에서는 박막보다는 점착제로부터의 전자파 누설이 문제가 된다^[1-5].

전자기기 및 운송수단의 경량화, 낮은 제조 단가, 디자인 면에서 고분자 재료가 많이 사용되어 있다. 그러나 고분자 재료는 대부분의 전자파를 투과시키는 특성을 가지고 있다. 고분자 재료에 전도성을 부여하는 방법으로는 전도성 물질을 충전, 도금, 진공 증착이 대표적으로 이용되고 있다. 충전 시키는 방법은 효율이 가장 떨어지며, 분산의 문제를 가지고 있다. 도금의 경우 재료 위에 얇은 막을 입히는 방법으로 무전해 도금과 전기도금이 이용되고 있으며, 진공 증착은 코팅시키고자 하는 물질을 기화 또는 승화시켜 원자 또는 분자 단위로 기판 표면에 응고되도록 함으로써 피막을 형성시키는 방법으로 진공에서 이루어진다. 금속 컴파운드는 도금 및 증착법의 두 개의 장점을 가질 수 있으며, 환경적인 문제, 단가의 문제를 해결할 수 있다. 본 연구에서 니켈을 사용한 이유는 탄소섬유는 전자파 차폐율이 33dB 정도 낮은 주파수 대역에서는 금속에 비해 차폐율이 낮은 단점을 보완하기 위해 금속을 이용하여 낮은 주파수 대역부터 높은 주파수 대역까지 차폐율을 개선 보완하기 위하여 연구를 수행하였다. 금속은 낮은 주파수 대역에서 높은 차폐율을 보이지만 높은 주파수 대역으로 갈수록 차폐율이 낮아진다. 하지만 탄소섬유는 높은 주파수 대역으로 갈수록 차폐율이 좋아진다. 금속은 낮은 주파수 대역에서는 전자파를 반사하며, 탄소는 전자파를 흡수한다^[6-10].

운송수단 및 산업계에서는 경량화가 대두되고 있고 첨단 제품들이 내장되어있는 자동차, 비행기, 선박 등 전자파로 인한 오작동 등의 문제를 개선하고 금속보다는 가벼운 탄소섬유를 이용하여 금속보다 강하고 가벼우며 낮은 주파수 대역부터 고주파수 대역까지 차폐율이 가능한 차폐제를 연구하고 측정하여 결과를 고찰하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

니켈나노로 코팅된 탄소섬유를 제작하기 위해 사용된 금속은 100 μ m, 50 μ m 니켈을 사용하였으며, 탄소섬유는 효성 12K 탄소섬유를 사용하여 제조하였으며, 탄소섬유에 니켈에 코팅하기 위하여 Thermoplastic elastomer(TPE) 수지를 매트릭스로 사용하였다.

2.2 나노니켈컴파운드 제조

50 μ m, 100 μ m 두 종류의 니켈 파우더와 Thermoplastic elastomer(TPE) 수지를 사용하여 니켈 함유량이 10%, 20%가 포함된 컴파운드를 믹싱 후 2축 압출기를 통해 제조하였다.

Table 1 Ni compound production Ni 100nm

	Rate (%)	Weight (kg)
Ni 100nm	10/20	1/2
TPE	90/80	9/8
Total	100	10

Table 2 Ni compound production Ni 50nm

	Rate (%)	Weight (kg)
Ni 50nm	10/20	1/2
TPE	90/80	9/8
Total	100	10

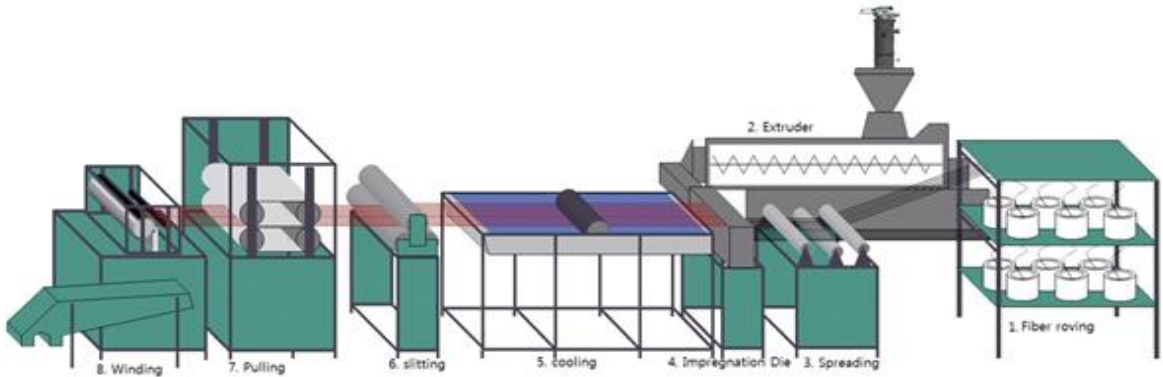


Fig. 1 Photograph of Elastomer Compound Flow



Fig. 2 Photograph of specimens

2.3 전자파 차폐를 위한 금속 니켈 파우더를 코팅한 탄소 섬유 제작

전자파 차폐를 위한 니켈나노파우더를 코팅하는 탄소 섬유 제작은 Fig. 1 LFT라인을 이용하여, 12K 탄소섬유에 니켈 컴파운드를 함침시켰으며, 폭 8mm 두께 0.12mm 니켈 탄소섬유 차폐선을 제조하였다. Fig. 2와 같이 컴파운드로 코팅 함침한 탄소섬유는 편조하여 1ply 시편으로 제조하였다. 네트워크 아날라이저 챔버에 맞게 $\Phi 39$ 로 시편을 제조하였다.

2.4 분석방법

니켈 파우더가 포함된 컴파운드는 퍼니스 장비를 통해 니켈 함유량을 확인하였으며, 코팅된 탄소섬유는 Fig. 3 TGA(TGA Q5000)를 통해 니켈 및 컴파운드 수지의 함침량 측정을 통해 분석하였다.

시료의 전기 저항값은 Fig. 4와 같이 저저항 측정기(RM3544)를 사용하여 20cm의 선저항을 측정하였으며, 표면저항은 ASTM D638-10 Test speed 50mm/min으로 측정관찰 하였다.

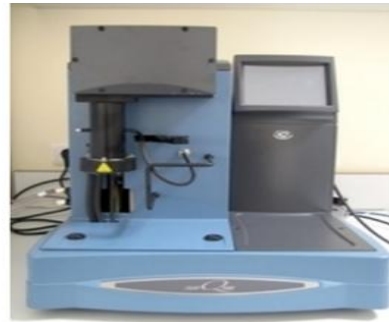


Fig. 3 TGA Q500 (TA instruments USA)



Fig. 4 Low resistance meter (HIOKI RM3544)

시료의 표면분산 및 분포도를 관찰하기 위하여 Fig. 5와 같이 EDS-SEM(S-4700)를 사용하여 시료의 표면분산 및 분포도를 관찰하였다.

전자파차폐 효율은 Fig. 6과 같이 ASTM ES7 규격에 의거한 전자파차폐 지그와 분석장치인 E5071C(Vector network analyzer, Keysight)를 사용하여 300kHz ~ 3GHz 주파수 대역의 전자파차폐를 측정하였다.



Fig. 5 EDS-SEM (S-4700)

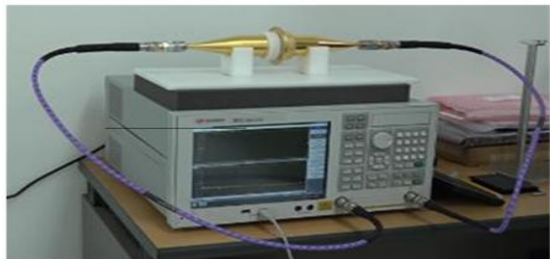


Fig. 6 Photograph of EMI measurement

3. 실험결과 및 고찰

3.1 탄소섬유 니켈함침 분석

탄소섬유에 함침 및 분산성을 확인하기 위하여 아래의 Fig. 7과 같이 EDS와 SEM로 분석하였으며, 분산이 잘된 것을 확인 할 수 있었다.



Fig. 7 Carbon fiber nickel impregnation analysis

3.2 탄소섬유 니켈함침 열중량 분석

금속니켈을 함침한 탄소섬유의 TGA 분석 결과 Table 3과 같이 최종 탄소섬유와 수지의 비율은 20~30% 내외였으며, 니켈 파우더 Sample 10%와 20%의 금속 니켈 함유량은 컴파운드의 최종 함량에 1.5%~3% 이내이다. 50 μ m와 100 μ m 두 종류의 니켈 파우더를 각각 10%와 20%를 함유한 엘라스토 컴파운드는 분산성에는 문제가 없었으나 니켈 파우더의 함량에서 차이가 발생되었고, Fig. 8 그래프와 같이 50 μ m 20% Sizing 제거한 50Ni-20함침이 가장 우수하였다. 샘플 읽는 방법은 50Ni-10-NS인 경우 50은 니켈 파우더 사이즈, Ni는 니켈, 10은 니켈 함량, NS는 사이징 제거 안함을 뜻하고 S인 경우 사이징 제거함을 의미한다.

Table 3 Thermogravimetric analysis measurement result

No.	Samples	Resin content (wt.%)	Ni-Powder content (wt.%)
1	50Ni-10	25.933	1.8
2	50Ni-20	24.849	3
3	100Ni-10	25.282	1.8
4	100Ni-20	29.039	2.9

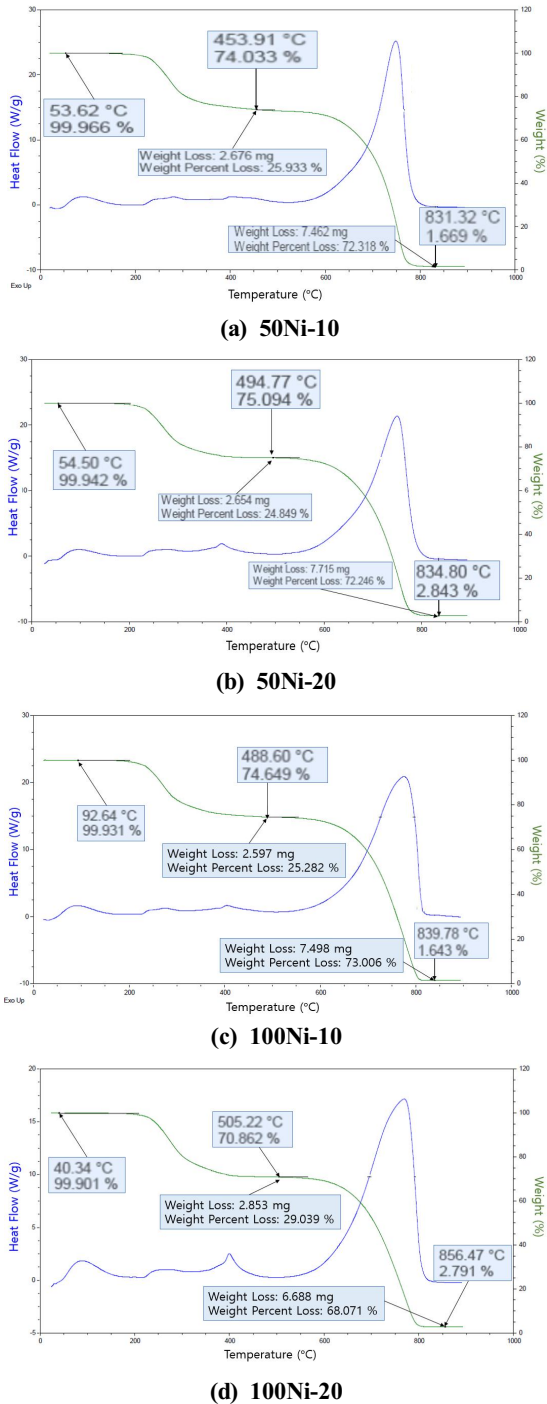


Fig. 8 Thermogravimetric analysis measurement graph

Table 4 Ni compound production Ni 50nm

	Resistance (20cm)
12K CF	8
50Ni-10	2.3
50Ni-20	1.5
100Ni-10	2.8
100Ni-20-S	2.4

Table 5 Surface resistance test result

Test Items	Specimen	Unit	Result
Surface Resistance	CF	ohm/sq	$10^9 \sim 10^{12}$
	50Ni20S	ohm/sq	$10^5 \sim 10^{10}$
Test Methods ASTM D792-13			

3.3 탄소섬유 니켈함침 전기저항 분석

전기저항의 경우 금속컴파운드를 코팅한 탄소섬유 20cm로 잘라 측정하였으며, Table 4-5와 같이 저항값이 측정되었다.

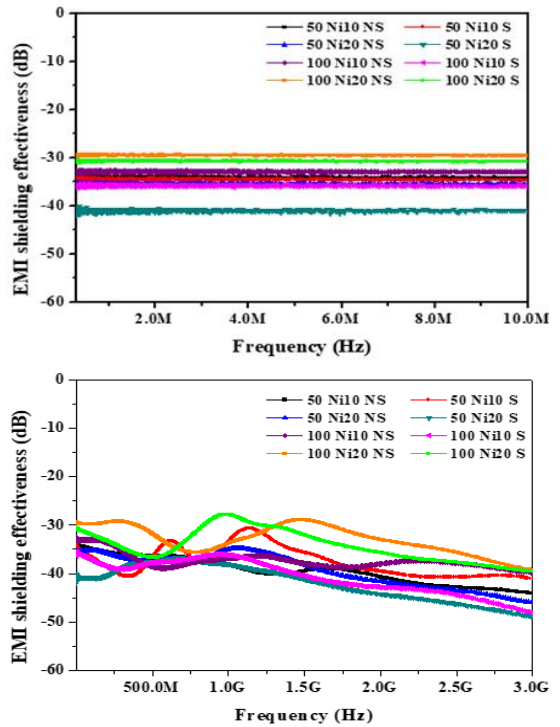


Fig. 9 Photograph of CF(+Ni particle) fabrics EMI measurement

3.4 탄소섬유 니켈함침 EMI 분석

금속니켈을 함침한 탄소섬유의 전자파간섭 및 전자파장해 측정결과 탄소섬유와 비교하여 전자파 간섭 및 전자파장해의 전자파 차폐가 향상된 것으로 나타났다. 탄소섬유 전자파 차폐층 형성은 $\Phi 50$ 니켈파우더 사이즈의 니켈함량 10%와 20%를 사이징 제거를 안한 것 과 사이징을 제거한 방법과 $\Phi 100$ 니켈파우더 사이즈의 니켈함량 10%와 20%를 사이징 제거를 안한 것 과 사이징 제거를 한 것으로 비교 평가하였다.

시험 결과 50Ni20에서 -42dB라는 높은 차폐율 이나타났다.. 니켈 파우더 50mm 사이즈에 니켈 20%함량의 Sizing 제거한 50Ni20S로 코팅된 탄소 섬유가 -42dB 100Ni20NS로 코팅된 탄소섬유 -32dB보다 -10dB가 향상된 전자파 차폐율을 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

저주파대역 및 고주파대역의 전자파차폐를 위하여 금속 컴파운드와 탄소섬유의 함침을 통한 방법을 고안하였으며, 이를 이용한 전자파 차폐효과가 증가하는 것을 확인하였다.

1. 나노 니켈파우더를 Thermoplastic elastomer(TPE) 수지에 분산하여 컴파운드를 제조하였으며, 탄소 섬유에 함침 시 니켈의 높은 분산성을 확인 하였으며, 니켈 함량이 5% 이내의 오차로 함침 이 되는 것을 확인 할 수 있었다.
2. 니켈 컴파운드를 이용한 탄소복합체는 기존의 탄소섬유보다 저항이 최대 50Ni-20가 약 10%가 향상되는 것을 확인 할 수 있었다.
표면저항은 50Ni-20-S 니켈 파우더가 함량되어 $10^5 \sim 10^{10} \text{ohm/sq}$ 로 정전기 Earth 또는 Heating 기능을 할 수 있는 Smart 탄소 소재로 활용이 가능한 것으로 확인 할 수 있었다.
3. 전자파차폐 효율은 니켈 컴파운드 적용 EMI 측정 총8개의 시편 (50Ni10NS, 50Ni20NS, 100Ni10NS, 100Ni20NS, 50Ni10S, 50Ni20S, 100Ni10S, 100Ni20S) 중 니켈 파우더 50mm 사

이즈에 니켈 20% 함량의 Sizing 제거한 50Ni20S로 코팅된 탄소섬유가 -42dB 100Ni20NS로 코팅된 탄소섬유 -32dB보다 -10dB가 향상된 전자파 차폐율을 보여주고 있다. 이는 탄소섬유나 섬유가 공극을 통한 전자 파 투과 부분이 같은 형태로 계속하여 이루어 지기 때문에 발생하는 현상으로 볼 수 있다. 시험 결과 50Ni20에서 -42dB 라는 높은 차폐율을 보여주었다. 그러나 샘플의 전자파차폐 성능에서 큰 차이가 발생되지 않은 것으로 보다 고유 주파수마다 적정량의 Ni 컴파운드를 도입 하는 것이 효율적인 것으로 판단된다^[11].

4. 탄소섬유에 나노 니켈 파우더를 이용한 금속컴 파운드 함침을 통해 전자파차폐 상승효과를 확인하였으며, 이는 저주파 대역 및 고주파 대역의 전자파차폐에 효과적일 것으로 판단된다.

이 결과로 니켈로 코팅된 면적이 클수록 전자 파차폐 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 특히 100 μm 두께로 코팅된 탄소섬유는 구리의 차폐와 유사하여 향후 EV/HEV 자동차 케이블 및 다양한 용도로도 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

“이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업 임.(No. 2016R1A6A1A03012069).”

REFERENCES

1. Jung, M. J., Lee, Y. S., Hong, S. G., “Study on Improvement in Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) / Carbon Nanotube (CNT) Composites”, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 31, No. 1, pp. 69-77, 2019.
2. Cho, J. H., Jeon, K. G., “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, 2017, pp. 95-101, 2017.
3. Lee, S. E., Kim, D. Y., Lee, M. Y., Lee, M. K., Jeong, E. K., Lee, Y. S., “Effect of Fluorination of Carbon Nanotubes on Physico-Chemical and EMI Shielding Properties of Polymer Composites”, Polymer (Korea), Vol. 39, No. 1, pp. 114-121, 2015.
 4. Ngouanom, J. R. G., Kim, M. S., Park, H. W., Park, Y. B., Jung, Y. B., & Jeong, H. S., “Design and Manufacturing of Multiscale Hybrid Composites for Electromagnetic Interference Shielding,” Journal of the Korean Society for Composite Materials, Vol. 24, No. 6, pp. 25-30, 2011.
 5. Han, K. Y., Song, D. H., Bae, J. S., Ahn, D. K., “A Study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of the Aluminum film, Conductive Fabric and Nano Carbon black/Carbon Fiber Reinforced Composites”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 7, No. 4, pp. 10-16, 2008.
 6. Ram, R., Khastgir, D., & Rahaman, M., “Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness and Skin Depth of Poly(vinylidene fluoride)/Particulate Nano-Carbon Filler Composites: Prediction of Electrical Conductivity and Percolation Threshold”, Polymer International, Vol. 68, Issue 6, pp. 367-374, 2001.
 7. Munalli, D., Dimitrakis, G., Chronopoulos, D., Greedy, S., Long, A., “Electromagnetic Interference Shielding of Carbon Fibers-Reinforced Composites”, Composites Part B: Engineering, Vol. 173, 2019.
 8. Thomassin, J. M., Jerome, C., Pardoën, T., Bailly, C., Huynen, I., & Detrembleur, C., “Polymer/Carbon Based Composites as Electromagnetic Interference (EMI) Shielding Materials”, Materials Science and Engineering: R: Reports, Vol. 74, Issue 7, pp. 211-232, 2013.
DOI: 10.1016/j.mserr.2013.06.001
 9. Nam, I. W., Lee, H. K., & Jang, J. H., “Electromagnetic Interference Shielding/Absorbing Characteristics of CNT-embedded Epoxy Composites”, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 42, Issue 9, pp. 1110-1118, 2011.
 10. Gupta, A., & Choudhary, V., “Electromagnetic Interference Shielding Behavior of Poly(trimethylene terephthalate)/Multi-Walled Carbon Nanotube Composites”, Composites Science and Technology, Vol. 71, Issue 13, pp. 1563-1568, 2011.
 11. Arjmand, M., Apperley, T., Okoniewski, M., & Sundararaj, U., “Comparative Study of Electromagnetic Interference Shielding Properties of Injection Molded Versus Compression Molded Multi-Walled Carbon Nanotube/Polystyrene Composites”, Carbon, Vol 50, Issue 14, pp. 5126-5134, 2012.
 12. Huang, C. Y., Wu, J. Y., Tsao, K. Y., Lin, C. L., Chang, C. P., Tsai, C. S., ... & Chen, K. N., “The Manufacture and Investigation of Multi-Walled Carbon Nanotube/Polypyrrole/EVA Nano-Polymeric Composites for Electromagnetic Interference Shielding”, Thin Solid Films, Vol. 519, Issue 15, pp. 4765-4773, 2016.
 13. Tan, Y. J., Li, J., Cai, J. H., Tang, X. H., Liu, J. H., Hu, Z. Q., & Wang, M., “Comparative Study on Solid and Hollow Glass Microspheres for Enhanced Electromagnetic Interference Shielding in Polydimethylsiloxane/Multi-Walled Carbon Nanotube Composites”, Composites Part B: Engineering, Vol. 177, 2019.