

영상처리를 이용한 사이징 제거 상태 측정 알고리즘과 전자파 차폐 성능을 갖는 탄소 섬유 개발

조준호^{1*}, 전관구²

¹원광대학교 전자융합공학과, ²(주)다인스

Measurement Algorithms of Sizing removed state using Image Process And Development of Carbon fibers with Electromagnetic shielding Performance.

Joon-Ho Cho^{1*}, Kwan-Goo Jeon²

¹Department of Electronics Convergence Engineering, Wonkwang University

²company limited by shares, Dains

요약 본 논문에서는 복합재료로 만들기 위한 전처리 단계에서 수행한 사이징 제거 상태를 영상처리 알고리즘을 적용하여 수치적으로 나타내었고, 전자파 차폐 성능을 높이기 위해서 건식 공정 방식으로 니켈도금 탄소섬유를 제작하였다. 탄소섬유 제조에서 폴리머 종류로 감싸져 나온 사이징은 건식 코팅을 위해서는 제거해야 한다. 사이징이 제거된 상태를 주사 전자현미경(scanning electron microscope, SEM)으로 촬영한 이미지에서 탄소 섬유의 규칙적인 패턴, 즉 상관성을 구함으로써 수치적인 값으로 나타낼 수 있다. 사이징의 제거 방식은 용액, 압축 공기와 용액과 압축공기(하이브리드)로 제거한 SEM 영상에 대하여 제안된 방법을 적용한 결과 하이브리드 방식이 우수함을 확인 할 수 있었다. 그리고 사이징이 제거된 스프레딩 탄소 섬유 롤을 롤투롤 스퍼터 방식으로 니켈도금 탄소 섬유를 제작할 수 있었다. 제작된 30 μ m, 40 μ m 과 100 μ m 니켈코팅 탄소 섬유에 대해서 전자파 차폐 성능을 측정하였다. 한국산업기술시험원에서 100 μ m 니켈코팅 탄소섬유의 전자파 차폐 성능을 평가한 결과 최저 66.7(dB)에서 최고 73.2(dB)의 전자파 차폐 성능을 보였다. 이것은 구리의 전자파 차폐율과 유사하여 EV/HEV자동차의 케이블로 사용될 수 있다.

Abstract In this paper, the sizing removal condition for the pretreatment of composite materials is obtained numerically by applying an image processing algorithm and nickel-plated carbon fiber is fabricated by a dry process method to enhance its electromagnetic shielding performance. Sizings that are wrapped in a polymer type material during the manufacturing of carbon fiber should be removed for dry coating. A numerical value, that is the correlation, can be obtained by determining the regular pattern of the carbon fiber in the image taken by a scanning electron microscope (SEM) after the sizing is removed. The application of the proposed numerical method to the SEM image of the fiber after the sizing is removed with solution, compressed air, solution and compressed air (hybrid), showed that this method of eliminating the sizing is superior to the hybrid method. Then, by spreading the carbon fiber roll with the sizing removed, we were able to produce nickel plated carbon fiber by the roll-to-roll sputtering method. The electromagnetic shielding performance of the fabricated 30 , 40 and 100 nickel coated carbon fibers was measured. The Korea Advanced Institute of Science and Technology evaluated the electromagnetic shielding performance of the 100 nickel-coated carbon fiber to have a maximum value of 73.2 (dB) and a minimum value of 66.7 (dB). This is similar to the electromagnetic shielding rate of copper and shows that this material can be used as a cable for EV / HEV automobiles.

Keywords : Carbon fibers, Electromagnetic, Image processing, Relationship coefficient, Shielding

본 논문은 2016학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행되었음.

*Corresponding Author : Joon-Ho Cho(Wonkwang Univ.)

Tel: +82-63-850-6312 email: cho1024@wku.ac.kr

Received December 29, 2016

Revised (1st January 26, 2017, 2nd February 1, 2017)

Accepted February 3, 2017

Published February 28, 2017

1. 서론

지구상에 매장되어 있는 에너지 고갈 및 지구환경 대기 오염의 문제가 대두되면서, 자동차 시장에도 일대 변화 시기가 도래하고 있다. 기존의 화석연료를 사용하는 자동차에서 비화석연료를 사용하는 자동차 (EV/HEV)가 차세대 지상운송수단으로써 Global Market 에서 주목을 받고 있다. [1,2]

복합재료에서 가장 핵심적인 소재중의 하나가 탄소섬유이다. 고성능 탄소섬유는 인장강도, 탄성률이 매우 크고, 내마모성, 윤활성, 전도성이 우수하여 우주 · 항공용 1차 구조 재료로 사용하는 등 개발되고 있는 소재이다.[3-5]

EV/HEV자동차에 사용되는 전선은 자동차 전체 중량의 약 5~10wt%를 차지하고 있으며, 경량화 및 자동차 제어회로의 오동작을 방지하기 위해서 전자파 차폐 성능을 보유해야 한다. 탄소섬유를 이용한 차폐셀드 개발 및 대체에 의한 차폐케이블의 개발은 차폐케이블 자체의 중량을 감소할 수 있을 뿐만 아니라, 차폐 셀드의 경우 높은 부식저항력을 보유할 수 있다. [8-11]

탄소섬유의 자동차 차폐케이블 적용을 위해서는 현재 약 1×10^{-3} [$\Omega \cdot \text{cm}$]의 탄소섬유 비저항을 약 2×10^{-4} [$\Omega \cdot \text{cm}$]수준으로 그 값을 낮춰야 하며, 이를 위해서 금속 코팅된 탄소섬유와 이를 이용한 스프레드 공법을 적용한 전자파 차폐테이프 및 브레이딩 공정을 적용한 차폐편조의 기술개발이 필요하다. 전자파 차폐를 위한 건식 방식의 금속도금 탄소섬유의 개발을 위해서는 “탄소섬유 표면처리기술”, “탄소섬유 금속코팅기술”, “표면 사이징기술”, “탄소섬유 스프레딩 및 슬리팅기술”, 탄소섬유 브레이딩 기술에 의한 전자파셀드 제조기술” 및 “탄소섬유 전자파차폐 케이블 평가기술”등의 요소들이 종합적으로 연구되어 져야 한다.

본 논문에서는 이러한 과정 중에서 탄소 섬유의 영상 분석을 통한 사이징의 제거 상태를 수치적으로 나타내는 알고리즘과 톨투를 스터퍼 방식으로 니켈도금 탄소섬유를 제작하였으며, 제작된 니켈도금 탄소섬유의 전자파 차폐 성능이 우수함을 제시하였다.

2. 전자파 차폐케이블용 탄소섬유의 건식공정을 이용한 금속코팅 기술

탄소섬유는 그 자체가 가지는 높은 강도와 전도성 등의 특성으로 흡착제, 또는 고분자 물질의 특성 향상을 위한 충전물질 등으로 많이 사용되어 왔다. 이러한 특성을 지닌 탄소섬유는 표면을 개선할 경우, 고분자 매트릭스와 탄소섬유와의 결합력이 높아져 복합재료의 물리적 특성이 향상되거나, 흡착특성 향상되는 등 더욱 향상된 효과가 나타날 수 있다. 탄소섬유의 전기전도성의 향상을 위해서 전해도금 및 비전해도금법을 이용하여 탄소섬유 표면에 니켈 도금법을 개발하고 있다. 본 논문에서는 전자파 차폐를 위한 건식 방식의 금속 코팅된 탄소섬유의 개발 및 새로운 방식의 전처리 개발 기술과 전자파 차폐 성능에 대해서 다룬다.

2.1 영상처리를 이용한 탄소섬유의 전처리 상태 분석

탄소섬유에 건식 금속 코팅을 하기 위해서는 탄소섬유 표면의 카본이 노출되어 있어야 한다. 하지만 탄소섬유 제조에서는 사이징제라는 폴리머 종류로 감싸져서 나온다. 이는 탄소섬유간 떨어짐을 방지하고, 묶음으로 사용할 수 있게 해주지만, 개별 탄소섬유 사용을 위해서는 사이징의 제거가 필요하다. 균일한 고품질 금속코팅 면을 얻기 위해 사이징 부착면을 조사하고, 전처리로 제거해야 한다. 본 논문에서는 톨루엔과 벤젠 및 사이클로헥산을 통한 탄소섬유 사이징 용해 제거 시험, 압축공기를 이용한 탄소섬유 사이징 용해 제거 시험, 용해를 통한 제거 후 압축공기의 분사 노즐 방식, 즉 하이브리드 방식으로 사이징을 탄소 섬유의 표면에서 제거하였다. 이렇게 제거된 사이징의 제거 상태를 대략적인 수치적으로 표현하지만, 논리적 근거는 부족하였다. 본 논문에서는 이 부족한 논리를 영상처리를 통하여 제안 하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘 순서는 다음과 같다. 첫째, 사이징을 제거한 뒤 탄소 섬유의 SEM 영상을 획득한다. 둘째, 획득된 영상의 특정 부위를 취한 뒤 표면 성분을 영상처리를 통해서 분석한다. 여기서 탄소 섬유의 표면이 주기적인 패턴을 보이면 사이징이 대부분 제거된 것으로 간주하였다. 주기적인 패턴의 상관성 값을 구하여 사이징의 제거 상태의 수치적으로 나타내었다.

Fig. 1은 용해를 이용하여 사이징을 제거한 상태의 이미지이며, 사이징이 모두 제거되지 않고 Fig. 1에서 표시한 것처럼 여러 부분에 남아있다. 지금까지는 Fig. 1의 사이징 제거율을 대략 70% 이렇게 표현 했다.

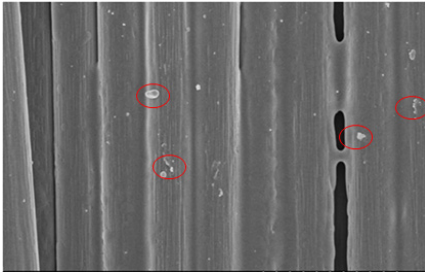


Fig. 1. Sizing state of Carbon fibers

Fig 2.는 납작한 노즐로 모양 변화를 주고, 분사 각도를 조절한 압축공기로 사이징이 제거된 이미지를 나타낸 것이다. Fig 2.에서도 표시된 것처럼 사이징이 제거되지 않은 부분이 존재한다. 이 영상도 사이징의 제거 상태를 수치적으로 80%정도 제거되었다고 표현 하지만, 논리적으로는 설명할 수 없다.

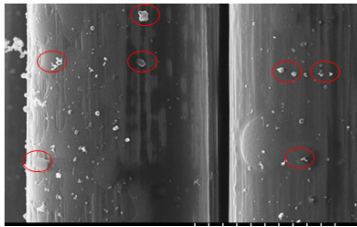


Fig. 2. Image of Sizing removed state by high pressure

Fig 3.은 하이브리드 방식을 이용하여 사이징을 제거한 영상이다. Fig 1과 Fig 2 보다 사이징이 많이 제거된 것을 확인할 수 있다. 탄소 기술원에 문의한 결과 사이징이 제거된 상태를 대략 93%라고 하였다. 본 논문에서는 사이징 제거 상태를 영상처리의 질감 분석 방법을 적용하여 수치적으로 나타내도록 하였다. 제안된 방법은 먼저 Fig 3.과 같이 사이징이 많이 제거된 영상의 표면의 질감 분석을 100으로 가정하여 사이징이 제거가 되지 않은 영상을 상대적인 수치 값으로 나타낸 것이다.

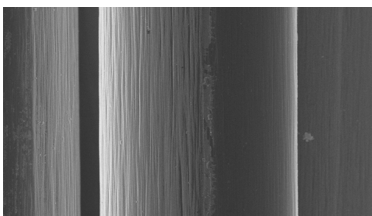


Fig. 3. Image of a lot of Sizing removed state

영상처리의 질감 분석 방법 중 주기적인 패턴은 수식 (1)의 상관성이 1에 가깝게 된다. 따라서 탄소 섬유의 영상에서 수식 (1)의 값을 구하게 되면 누구나 사이징의 제거 상태를 수치적으로 나타낼 수 있다. [6,7]

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{(i-m_r)(j-m_c)p_{ij}}{\sigma_r \sigma_c} \quad (1)$$

여기서 m_r, m_c 는 각각 행과 열을 따라 계산된 평균을 의미하며, σ_r, σ_c 는 각각 행과 열을 따라 계산한 표준편차를 의미한다.

2.2 스프레딩 탄소섬유 롤 제조

상기 시험들에 의해 얻은 조건 중 가장 우수한 조건으로 사이징 제거 과정을 거치고 스프레딩 장치를 통해 사이징이 제거된 스프레딩 탄소섬유 롤을 얻었다. 12K 탄소섬유를 사용하였고, 폭은 25mm로 설정하여 실시하였다.

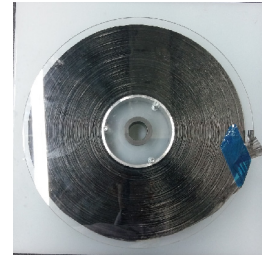


Fig. 4. spreading roll of carbon fibers of sizing removed

Fig 4.는 사이징이 제거된 탄소 섬유를 금속판으로 압축하여 40μm의 두께와 25mm 폭으로 제작하였다.

2.3 전자파 차폐를 위한 건식 코팅방식으로 니켈 금속을 코팅한 탄소 섬유 제작

롤투롤 스퍼터를 이용하여 니켈코팅 탄소섬유를 제작을 위해서 탄소섬유 롤투롤 이송장치 필요하다.

Fig 5.는 탄소섬유의 최대 이송속도 10M/분, 최저 속도 0.1M/분이 가능하도록 설계 및 제작된 롤투롤 스퍼터 이다. 이송은 토크모터의 RPM조절과 브레이크의 장력조절을 통해 팽팽한 당김 상태로 이송을 가능하게 직접 제작 하였다.

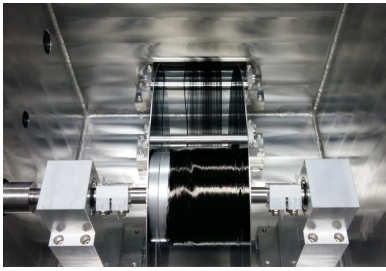


Fig. 5. roll-to-roll transfer device

탄소섬유에 건식코팅을 순서는 탄소섬유의 진행방향 조절 단계, 스퍼터 작업 순서로 이뤄진다. 섬유의 진행방향 조절은 보빈 중심축 회전방향의 정렬과 장력 조절 회전체의 축방향 조절, 가이드 회전체의 높낮이 조절의 순서로 중요도에 따라 이와 같이 조절하였다. Fig 6.은 탄소 섬유 회전롤 축방향 조절 과정 작업이다.

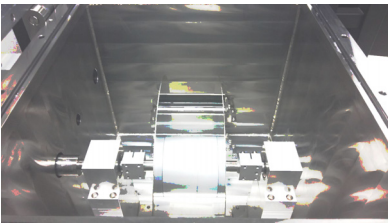


Fig. 6. Rotating roll sort operation of carbon fiber

탄소섬유의 진행방향 조절이 끝나면, 가스 주입, 전력을 공급하여 건식으로 탄소를 코팅하게 된다. 여기에 사용된 진공압력은 7×10^{-5} torr에서 아르곤 주입을 시작하였으며 10분간 퍼지하였고, 9×10^{-3} torr대역에서 플라즈마를 발생시켰다. 그리고 전압은 800VDC이며, 파워는 2.8kw가 사용되었다. Fig 7.은 분당 10cm로 속도를 설정하여 코팅된 탄소섬유의 SEM 사진이다.

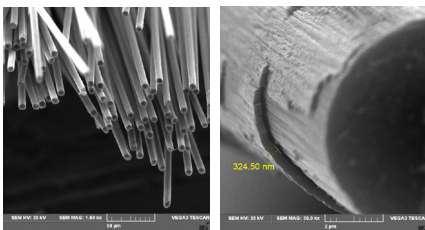


Fig. 7. Metal-coated carbon fiber SEM measurement

이렇게 제작된 탄소섬유의 전자파 차폐(SE) 시험 방

법은 ASTM D4935 테스트 방법으로 측정하였다.[12] 재료의 전자파 차폐효과는 입사하는 전자파에 대해 재료 입사면에서의 임피던스 부정합에 의한 반사손실과 투과하는 동안 일어나는 투과손실의 합과 재료 양쪽 면에서의 임피던스 부정합에 의한 다중 반사손실 보정에 의해서 결정되며, 차폐물질이 있을 때의 수신 전력(p_1)에 대해 차폐 물질이 없을 때의 수신 전력(p_2)의 비로 식(2)와 같이 정의된다.

$$SE(dB) = 10 \log \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \quad (2)$$

3. 전자파 차폐 성능 평가 결과 및 고찰

3.1 영상처리를 이용한 탄소섬유의 전처리 상태 분석 결과

본 논문에서는 Matlab 2014a 버전을 이용과 Image tool box를 사용하여 영상표면의 질감을 수치적으로 나타내었다. 탄소섬유의 사이징이 제거된 영상에서는 상관성이 1 값에 가깝게 나오며 사이징의 제거되지 않은 영상은 0 값에 근접하다. 시뮬레이션에서는 앞에서 설명된 Fig 1~3을 이용하였다.

먼저 Fig 1~3을 같은 조건에서 같은 크기의 값으로 분리한다. 그리고 디지털 영상처리의 ROI를 이용하여 Fig 8.과 같이 저장한다. 이렇게 저장된 영상을 영상 처리를 통해서 수식 (1)의 상관성을 구하였다.

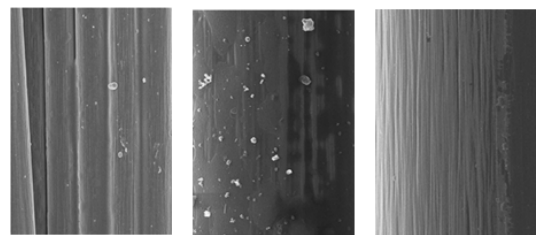


Fig. 8. Select the ROI range only saved image

Table 1. Sizing Delete state of carbon fiber

	Sizing remove by solution (Fig.1)	Sizing remove by Compressed air (Fig. 2)	Sizing remove by hybrid method (Fig. 3)
Relationship coefficient	0.8005	0.9343	0.9639

탄소섬유의 규칙적 패턴은 사이징이 많이 제거 될수록 이론적으로 1 값에 근접하는데, Table 1.에서 보면 용액으로 사이징 제거는 상태는 80%, 압축 공기로 사이징 제거는 93% 그리고 용액과 압축공기로 사이징 제거는 96%라고 수치적으로 나타낼 수 있음을 확인할 수 있었다.

3.2 건식공정을 이용한 니켈 금속으로 코팅 탄소섬유의 전자파 차폐 평가 및 분석

탄소섬유 전자파 차폐층의 형성은 30 μ m 두께와 40 μ m 두께를 형성하는 방법을 비교 평가하였다.

Fig 9.는 시험에 사용된 40 μ m 두께의 금속코팅 탄소 섬유 전자파 차폐 필름 사진이다.



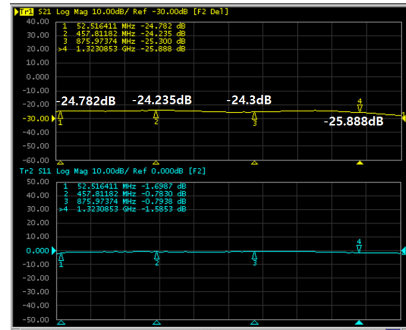
Fig. 9. Metal-coated carbon fiber electromagnetic wave shielding film

기존의 니켈도금 탄소섬유와 제작된 니켈도금 탄소섬유에 대해서 5가지 항목을 비교하면 Table 2.와 같다.

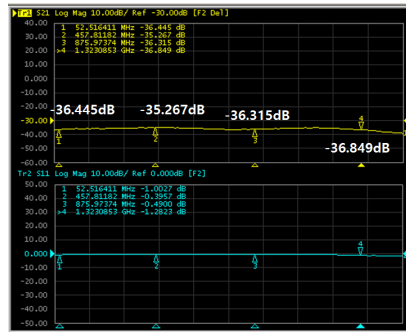
Table 2. Performance of manufactured products

	Unit	Existing product	Manufactured product
Volumetric resistance	$\Omega \cdot \text{cm}$	5×10^{-4}	2.72×10^{-5}
Electromagnetic Shielding Rate	dB	30	66.7
Carbon fiber density	g/cm ³	3.3	2.42
Coating thickness	mm	0.50	2×10^{-4}
Tensile Strength	MPa	5500	6400

Fig 10은 식(2)의 방식으로 전자파 차폐의 시험 결과로, 40 μ m 두께로 코팅된 탄소섬유가 30 μ m 두께로 코팅된 탄소 섬유 보다 높은 전자파 차폐율을 보여주고 있다. 이는 탄소섬유나 섬유가 공극을 통한 전자파 투과 부분이 같은 형태로 계속하여 이루어지기 때문에 발생하는 현상으로 볼 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 10. (a) 30 μ m Metal-coated carbon fiber, (b) 40 μ m Metal-coated carbon fiber

Fig. 11은 100 μ m 두께로 니켈코팅된 탄소섬유의 전자파 차폐율의 시험 결과 이다. 시험 결과 66dB라는 높은 차폐율을 보여주었다.

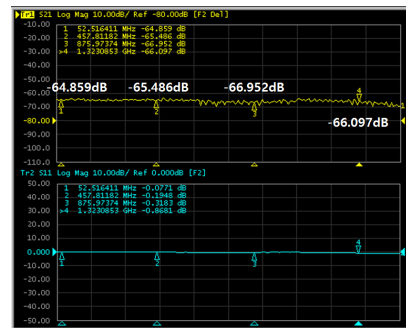


Fig. 11. Electromagnetic shielding performance of the metal coating carbon fiber 100 μ m

이는 박막 호일과 유사한 값으로 자동차용 와이어링 하네스나 군사용 전자파 차단 필름 재료로 사용할 수 있는 정도의 성능이기도 하다.

Table 3. Comparison of electromagnetic shielding performance

	Measurement condition (30MHz ~ 1.5GHz)			
	Lowest electromagnetic shielding effect		Best electromagnetic shielding effect	
	Frequency (MHz)	Measures (dB)	Frequency (MHz)	Measures (dB)
30 μ m	457.8	24.235	1323	25.888
40 μ m	457.8	35.267	1323	36.849
100 μ m	52.5	64.859	875.97	66.952

Table 3은 니켈코팅 탄소섬유의 측정조건에 대한 측정 결과를 나타낸 것이다. 측정 조건은 30MHz에서 1.5GHz까지의 주파수 범위의 평면파에 대해서 100 μ m 두께로 니켈코팅 탄소 섬유에서 66.96(dB)의 전자파 차폐 효과를 보였다. 그리고 앞에서 직접 실험했던 100 μ m 두께로 니켈코팅 탄소섬유의 전자파 차폐를 시험을 KOLAS 인증기관인 한국산업기술시험원에서 같은 조건으로 평가한 결과 최저 66.7(dB), 최고 73.2(dB)의 전자파 차폐율을 보였다. 전자파 차폐 효과에서 60~90 dB를 우수, 90~120 dB를 최고 수준으로 판단하고 있다.[13]따라서 제작된 100 μ m 두께로 니켈코팅 탄소 섬유는 EV/HEV 자동차에 사용될 수 있는 성능이다.

4. 결 론

본 논문에서는 영상처리 알고리즘을 이용하여 사이징 제거상태를 수치적으로 나타낼 수 있음을 확인 하였다. 제안된 알고리즘을 적용한 결과 용해를 이용한 사이징의 제거상태는 80%, 압축공기를 이용한 사이징의 제거상태는 93%, 2개가 결합된 하이브리드 방식이 사이징 제거상태는 96%로 가장 우수함 수치적으로 확인할 수 있었다. 건식 방식으로 니켈코팅 탄소섬유를 제조하여 전자파 차폐 성능을 고찰해 보았다. 전자파 차폐 성능의 분석 결과 30 μ m 두께로 코팅된 탄소섬유에서는 24(dB), 40 μ m 두께로 코팅된 탄소섬유 36(dB) 그리고 100 μ m 두께로 코팅된 탄소섬유에서는 65(dB)의 전자파 차폐 성능을 보였다. 이 결과로 니켈로 코팅된 면적이 클수록 전자파 차폐 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 특히 100 μ m 두께로 코팅된 탄소 섬유는 구리의 차폐율과 유사하여 향후 EV/HEV 자동차 케이블로도 사용될 수 있다.

References

- [1] B. R. Kim, H. K. Lee, S. H. Park, and H. K. Kim, Thin Solid Films, 519, 3496, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2011.03.124>
- [2] A. A. Al-Ghamdi and F. E. Tantawy, Comp. Part A : Appl. Sci.Manuf., 41, 1693, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.08.006>
- [3] C. Y. Huang, W. W. Mo, and M. L. Roan, Surf. Coat. Tech., 184, 123, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2003.11.009>
- [4] Y. Y. Kim, J. Yun, Y. S. Lee, and H. I. Kim, Carbon Lett., 12, 48, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5714/CL.2011.12.2.070>
- [5] B. O. Lee, W. J. Woo, H. S. Song, H. S. Park, H. S. Hahm, J.P. Wu, and M. S. Kim, J. Ind. Eng. Chem., 7, 305, 2011.
- [6] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods "Digital Image Processing Using MATLAB 2nd ed", 2009.
- [7] Jung, S. T, "Practical Image Processing using Visual C++", 2014.
- [8] Han, G. Y., Kim, J. S. and Ahn, D.G., "A study on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of the Metal Powders and Nano Carbon black/FiberReinforced Epoxy Composites", Journal of the Korea Society for Precision Engineering, Vol. 23, No. 8, pp. 100-107, 2006.
- [9] Jung, W. K., Ahn, S. H. and Won, M. S., "Comparison of Electromagnetic-wave Shielding Effect in Glass Fiber Reinforced Nano Composites", Journal of the Korea Society for Precision Engineering, Vol. 22, No. 10, pp. 121-128, 2005.
- [10] Chen, H. C., Lee, K. C. and Lin, J. H., "Electromagnetic and electrostatic shielding properties of co-weaving-knitting fabrics reinforced composites", Composites Part1, Vol. 35, pp. 1249-1256, 2004.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(04\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(04)00119-8)
- [11] Yuping, D., Shunhua, L. and Hongtao. G., "Investigation of electrical conductivity and electromagnetic Shielding Effectiveness of polyaniline composites", Science and Technoly of Advanced Material, pp. 1-6, 2005.
- [12] Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials, ASTM D-4935-99.
- [13] T.S. Oh , "Polymer Composite for Electromagnetic Wave Shielding", Polymer Science and Technology, 2 (3): pp. 179-190, 1991.

조 준 호(Joon-Ho Cho)

[정회원]



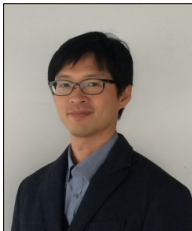
- 2002년 2월 : 원광대학교 대학원
제어계측공학과(공학석사)
- 2007년 2월 : 원광대학교 대학원
제어계측공학과(공학박사)
- 2007년 4월 ~ 현재 : 원광대학교
전자융합공학과 조교수

<관심분야>

전기전자, 로봇 비전, 의료영상처리, 지능형 제어

전 관 구(Kwan-Goo Jeon)

[정회원]



- 2001년 2월 : 전북대학교 대학원
금속공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 성균관대학교 대학원
물리학과 (이학석사)
- 2006년 4월 ~ 2014년 12월 :
(주)OCI 중앙연구소 책임연구원
- 2015년 6월 ~ 현재 : (주)다인스
연구소장

<관심분야>

나노소재, 탄소소재