

탄소섬유 면상발열체의 발열 상태 분석을 위한 영상처리 기술

조준호, 황형수*
원광대학교 전자융합공학과

Image Processing Technology for Analyzing the Heating State of Carbon Fiber Surface Heating Element

Joon-Ho Cho, Hyung-Soo Hwang*

Department of Electronics Convergence Engineering, Wonkwang University

요약 본 논문에서는 탄소섬유를 이용한 면상발열체의 발열 상태를 영상처리 기술을 이용한 분석을 제안하였다. 면상발열체의 제작 방법은 탄소섬유를 작게 잘라 흠 상태로 만든 다음 분산제를 통하여 다시 결합시켜 준다. 그 다음 부직포 위에 분산제를 통해 결합된 탄소섬유 용액을 필터링 한다. 마지막 단계는 필터링된 탄소섬유를 건조 하면 부직포 형태의 면상 탄소 섬유를 얻을 수 있다. 면상발열체는 이렇게 제작된 면상 탄소 섬유에 전기를 인가하면 된다. 본 논문에서는 면상발열체를 4가지 방법으로 분석하였다. 분석 방법 중 면상 발열체의 발열특성 분석과 면상발열체의 발열속도 분석은 제작된 면상발열체가 정상군에 해당하는지를 확인한다. 절연 코팅 및 면상 발열체 모듈 분석은 실제 제품의 제작에 사용될 수 있는 면상 발열체에 대해 영상처리 기술을 이용하여 2차원 이미지 분석이다. 면상발열체의 열화상 이미지 분석은 2차원 및 3차원으로 발열 상태를 분석할 뿐만 아니라, 발열의 상위온도 15~20%와 하위온도 15~20%를 이미지에 표시하는 프로그램 기법이다. 마지막 분석은 제작된 면상발열체의 상태를 화면에 직접 보여줌으로써 제작 과정 중 잘못된 부분을 쉽게 찾을 수 있다. 이와 같은 면상발열체의 이미지 분석 방법은 기존의 방법과 결합하여 발열상태를 더욱 정밀하게 분석할 수 있었다.

Abstract In this study, we analyzed the heat generation state of a flat heating element by using image processing technology in conjunction with carbon fiber. The flat heating element is manufactured by chopping the carbon fiber to a small size and bonding it again using a dispersing agent. The solution of carbon fiber, bound together using the dispersant, is then filtered onto the nonwoven fabric. The last step is to obtain flat carbon fibers in the form of nonwoven fabrics for the purpose of drying the filtered carbon fibers. In the flat heating element, electricity may be applied to the carbon fiber on the surface produced in this manner. In this study, the flat heating element was analyzed by four methods. The analysis of the heat generation characteristics and heating rate of the flat heating element confirmed that the fabricated sheet heating element corresponds to a normal army. The analysis of the insulation coating and flat heating element module, which can be used for actual product manufacturing, involves two dimensional image analysis using image processing technology. The thermal image analysis of the flat heating element is a programming technique that not only analyzes the heat generation state in both two and three dimensions, but also displays the upper and lower 15 to 20% ranges of temperature corresponding to the heat generation in the image. In the final analysis, it is possible to easily find the erroneous part in the manufacturing process by directly showing the state of the fabricated flat heating element on the screen. By combining this image analysis method of the flat heating element with the existing method, we were able to more accurately analyze the heat generation state.

Keywords : Carbon fibers, Coating, Flat heating, Image processing, Isolation.

본 논문은 2016학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행되었음.

*Corresponding Author : Hyung-Soo Hwnag(Wonkwang Univ.)

Tel: +82-63-850-6345 email: hshwnag@wku.ac.kr

Received December 4, 2017

Revised January 5, 2018

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

1. 서론

면상발열체는 기존의 전기발열체에 비해 소비전력을 20-40% 감소시킬 수 있는 제품으로 전기통전에 의한 복사열을 이용함으로써 온도조절이 용이하고 공기오염이 없으므로 위생적이며 소음이 없기 때문에 히팅 매트나 침구류, 가정용 난방 시스템 등의 가열장치에 사용되고 있으며 최근에는 프린팅 건조 및 도장 건조 등 각종 산업용 가열장치, 비닐하우스나 축사 등의 농업용 설비, 레저 및 가전제품 등에 폭넓게 이용되고 있다. 면상발열체 제조 시 우수한 발열특성을 가지는 면상발열체의 소재기술과 요구되는 발열 및 전기전도도 특성을 갖도록 발열체 소재를 균일하게 도포하는 공정기술과 장치기술이 핵심 기술이다. 탄소소재의 면상발열체는 전류가 흐르면 발열체인 탄소의 후막저항으로 인해 저항 열이 발생하며, 일반적으로 탄소분말과 바인더를 혼합한 탄소복합발열소재가 사용되며, 높은 전기 전도성, 열전도성, 내열성 등의 특성으로 인해 신뢰성 향상 및 품질안정을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1-5]

통상적으로 발열체 제조 시 사용하는 인쇄공정은 스크린 인쇄방식이 많이 사용되고 있으나, 스크린 인쇄방식은 적층인쇄가 불가능하여 전도도와 열량을 점도도로 조절해야하므로, 제품이 균일성 및 신뢰성이 떨어지게 될 뿐만 아니라 다양한 종류의 제품을 제조할 수 없는 단점이 있다. 이러한 스크린 인쇄방식의 단점을 보완하기 위해 최근에는 메쉬 처리된 인쇄 롤을 이용하는 그라비아 인쇄방식이 개발되어 탄소복합소재를 비교적 균일하게 도포할 수 있게 되었으나, 균일한 발열특성을 구현하기에는 아직 미진한 점이 있다. 탄소섬유 부직포의 발열부는 탄소 섬유 접촉부에서 시작된다. 하지만 사용되는 탄소섬유가 6~9mm 정도로 단섬유를 사용하며, 탄소섬유 하나의 직경이 7 μ m 정도로 작아서 50 μ m 두께 탄소섬유 부직포에서 생성되는 접점은 무수히 많아 열확산이 일어난다[6-9]. 탄소섬유의 열전도율은 180w/m·k으로 높아서 접점에서 방출된 열은 탄소섬유 전체로 퍼져나간다. 이와 같은 메커니즘에 의해 탄소섬유 부직포의 열확산은 면상발열체와 동일하다. 금속선이나 탄소섬유에서 발생한 열은 전도, 대류, 복사로 퍼져나간다. 기존의 금속선은 국부적으로 발생한 열을 퍼뜨리기 위해 열확산층을 항상 수반시켜야 했다. 이 과정에서 열이 원하지 않는 곳으로 빠져나가는 손실이 25% 발생하였다. 반

면에 면상발열체는 원하는 열전달 부분과 직접 접촉하므로 거의 대부분의 열을 전도에 의해 전달하는 방식이다. 이러한 이유로 발생한 열의 사용효율이 25% 상승하게 된다. 본 논문에서는 탄소섬유 면상발열체의 우수한 열전달 형태를 영상처리 기술을 통해서 분석하였다. 그 결과 면상발열체의 열전달은 매우 우수함을 이미지 분석을 통해서 확인할 수 있었다.

2. 면상발열체의 제작 과정

2.1 탄소 섬유

탄소섬유는 카본을 2700도 이상으로 가열하여 100% 탄소로 만들어지는 소재이다. 높은 인장강도가 주요 특징이며, 낮은 전기저항도 가지고 있어서 발열체로도 사용한다. 발열체로서 또 하나의 장점은 방사율이 높다는 것이다. 일반적 금속선 방사율이 0.3이하로 낮은 반면에 탄소섬유는 0.8이상을 보이며 표면처리에 따라 0.95까지 나타나는 적외선 방사에 좋은 특징을 가지고 있다. 이런 이유로 탄소섬유는 고효율 발열체로 계속하여 개발되고 있다.

본 연구에서는 탄소섬유를 절단하여 사용하는 방식을 택하였다. 그 이유는 시트상으로 만들기 용이하며, 개발 섬유를 풀어내기가 쉬워서 박막으로 만들 수 있기 때문이다. 절단된 탄소섬유를 사용하면, 수많은 접촉점을 구성함으로써 보다 낮은 전압에서도 발열 가능한 탄소섬유 부직포가 형성될 수 있다

2.2 분산제

분산제는 12000가닥씩 합성되어 생산된 탄소섬유의 용액 내 분산을 도와주고, 탄소섬유가 재결합하여 뭉치는 것을 효과적으로 막아주는 역할이다. 필터링을 위해서는 최소량을 사용을 하는 기술이 필요하고 생산성과 가격 경쟁력을 높이기 위해서는 최대량을 사용하고 탄소섬유를 최대 분산시키는 기술이 필요하다. 분산성 평가를 위해서는 분산용액을 만들어주고 탄소섬유를 투입하고 풀어서 탄소섬유 분산액을 만든다. 실 탄소섬유 부직포 제작에 있어서는 결합제로 필요하기 때문에 분산제와 결합제를 투입하여 면상발열체의 시트를 제작하여 연구할 수 있었다.

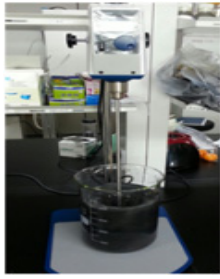


Fig. 1. Production of carbon fiber dispersion

2.3 탄소섬유 부직포 제작

비율을 바꿀 수 있고 건조 시간이 빨라 빠른 진행이 가능했다. 기본적으로 탄소섬유 부직포는 1.분산액 제조, 2.필터포, 3.탄소섬유 필터링, 4.건조 단계를 거쳐 제작된다.탄소섬유 부직포 제작에 있어서 초기 실험 단계는 상기와 같이 배치형태로 진행되었다. 빠르게 조성과



Fig. 2. Carbon fiber nonwoven fabric manufacturing stage

2.4 탄소섬유 면상발열체 제작

앞의 3단계를 거쳐 탄소섬유 시트형 면상발열체를 제작할 수 있었다. 탄소섬유는 6mm의 탄소섬유를 사용하여 부직포 형태로 제작하였으며, 두께는 200um로 제작되었다.

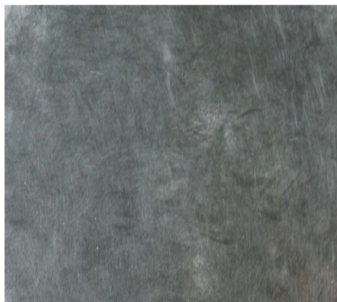


Fig. 3. Carbon fiber flat heating element

제작된 탄소섬유 시트는 사이즈가 200x200mm이며, 2.9Ω/sq의 저항을 가지고 있다. 발열 상태의 관찰 사진은 300x300mm 제품이다.

3. 영상처리 기술을 이용한 면상발열체의 분석 결과 및 고찰

3.1 면상발열체의 발열 특성 분석

면상 발열체는 소비전력의 상승에 따라 발열량도 균일하게 올라가야 한다. 주변온도와의 차이가 크게 벌어지면 비선형적인 구간이 발생하는 것이 일반적이다. 이러한 특성을 확인해 보기 위해서 전압을 5V에서 시작해서 7V, 9V, 12V로 증가해 가며 소비 전력과 평균온도 상승량을 측정하였다.

표 1은 실험에 사용된 전압과 전류를 나타낸 것이며, 온도의 상승량은 평균온도에 대해서만 측정한 결과이다. 면상발열체의 온도 균일도는 우수하며 하단부가 약간의 온도 저하가 발생한다. 이와 같은 경향은 대부분의 시제품에서 유사하게 발생하였고 분석결과 하단부가 열의 공급 대비 발산이 많아서 조금 낮게 나오는 것으로 분석되었다.

Table 1. Heat characteristic analysis of flat heating element

Voltage	5V	7V	9V	12V
Current	1.72A	2.46A	3.20A	4.35A
Power	8.6W	17.2W	28.9W	52.2W
Average temperature increase	+4.1℃	+7.6℃	+12.9℃	+20.7℃

그림 4는 인가전압과 발열온도 및 전력과의 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 기존의 열선에 의해 제작된 발열체보다 탄소섬유에 의해 제작된 면상발열체가 인가된 전압에비해서 높은 온도가 발생함을 확인 할 수 있다.

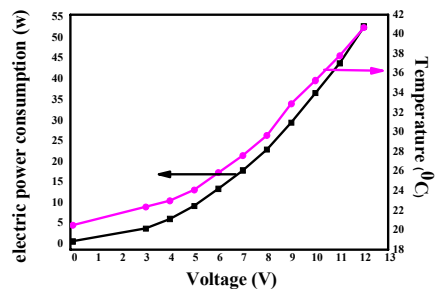


Fig. 4. Heat characteristic graph of flat heating element

3.2 면상발열체의 발열 속도 분석

탄소섬유를 이용하여 박막형 면상발열체를 개발하기

로 결정하는데는 면상발열체가 가지는 우수한 특징이 있기 때문이다. 면상발열체는 대상물체와 직접 접촉을 하며 가열하기 때문에 가열 효율이 우수하고 가열 속도가 무척 빠르다. 표 2는 실험에서 사용된 실험 조건을 나타낸 것이다.

Table 2. Condition of heating rate of flat heating element

Classification	measured value
thickness	100um
Sheet resistance	2.7Ω/sq
area	250x250mm
Voltage	5V

이와 같은 면상발열체의 특징이 본 개발품에서는 어떻게 나타나는지 시험평가를 실시하였다. 아래와 같은 탄소섬유 시트를 제작하고 5V를 가하였을 때 발열량과 발열속도 그래프를 구하였다.

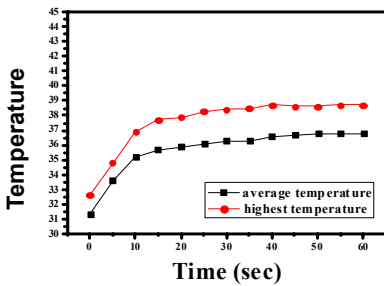


Fig. 5. Evaluation graph of heat generation rate of carbon fiber flat heating element

상기 결과와 같이 발열온도가 안정화 되는 시간은 60초이지만, 그 90%가 안정화 되는 시간은 약 40초이다. 또한 50%에 도달되는 시간은 10초 정도로 무척 짧은 것을 알 수 있다. 이와 같은 단기간 상승이 가능한 것은 탄소섬유 시트가 자체 열용량이 낮고 지지체가 따라 없는 박막 형태로 만들어지기 때문이며, 특히 부직포 형태의 면상발열에 있어서 열전달에 필요한 시간 없이 자신만 가열되면 되기 때문이다.

이와 같은 결과는 박막형 발열체가 기존 선형 발열체 대비 사용자에게 얼마나 빠르고 우수한 효율로 열을 전달가능한지를 보여주는 것이다.

3.3 절연 코팅 및 면상 발열체 모듈 분석

이와 같이 개발된 발열체는 인체에 직접 접촉하여 사용할 수는 없다. 전기가 흐르기 때문에 상해를 줄 수 있기

때문이다. 이 부분을 해결하기 위해서는 절연체 코팅이 필요하다. 탄소섬유 부직형 면상발열체에 적용 가능한 절연코팅 조건은 평시 사용 전압의 10배인 50V 이상의 내전압 성능을 가지며, 얇아서 제품 적용에 지장이 없어야 하고, 열용량이 낮아서 승온되는 시간이 빨라야 한다.

이에 대한 많은 후보 물질 및 필름의 검토와 테스트를 거쳐 PET 부직포와 PET 필름을 선정하였다. PET 부직포는 휴대용 발열 담요나 방석의 제작에 유용하여 선정하였으며, PET 필름은 땀에 노출되는 밴드형을 제작하기에 적합하여 선정하였다. PET 부직포는 탄소섬유 부직포와 결합하여 유연성이 높은 상태를 만들어주고 절연을 유지시켜준다. 하지만 땀이 들어올 경우 사용자가 진류를 느낄 수도 있어서 사용자가 옷을 입고 사용하는 부분에 적합하다. PET 필름을 이용한 절연제품의 경우에도 탄소섬유 시트의 수분 침투는 막아주지만 전극과 전선간 연결부는 노출되는 형태이며, 기존 휴대용 발열체 제품은 모두 같은 형태를 취하고 있고 문제로 지적된 적은 없는 것으로 조사되었다.

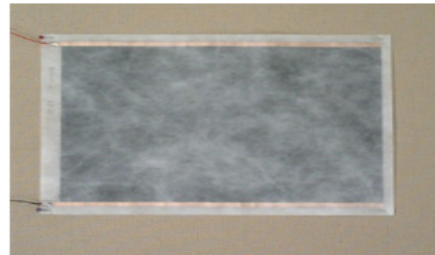


Fig. 6. Coated flat heating element module

상기와 같은 초기 탄소섬유 발열체 개발 및 절연 부직포 부착과 발열 제품을 제작하여 실험하였다. 절연부직포 부착 방법 및 접착제 선정 실패에 의한 전극의 데미지 현상이며, 전극과 탄소섬유 접촉저항의 증가로 일부 전극에서 높은 발열 현상을 보이기도 했다.

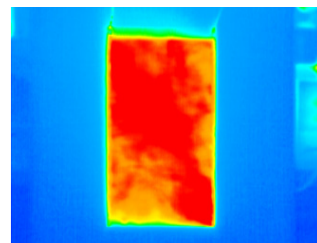


Fig. 7. The thermal image of the coated planar heating element module

그림 7은 코팅된 면상발열체의 열화상 이미지로 면상 발열체의 전극주위에서 최대 온도가 발생하고 가운데로 갈수록 최소 온도가 발생함을 영상의 이미지로 확인 할 수 있다. 그림 8은 전압을 3V에서 12V로 증가시켜가며 평균 발생온도와 시간과의 관계를 그래프로 나타낸 것으로 전압이 증가하면 온도가 상승함을 확인할 수 있었고, 특히 12V의 전압에서 발열온도가 급격히 상승함을 보였다.

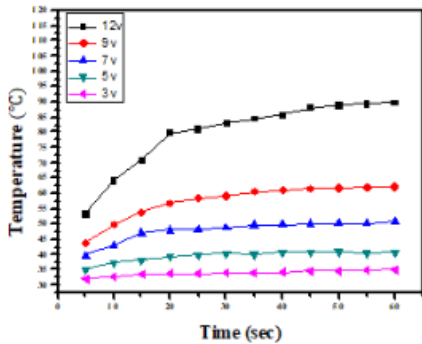


Fig. 8. Heat characteristic graph of the coated flat heating element module

3.4 면상발열체의 열화상 이미지 분석

본 개발 대상 제품은 탄소섬유를 이용한 부직형 발열체, 즉 면상발열체의 형태를 띠고 있다. 면상발열체는 전구간에서 열이 발생하므로 발열균일도가 곧 전력사용 효율과 연결되며, 품질 및 성능과 직결되는 요소이다. 이에 대하여 개발 초기부터 열화상 카메라를 이용한 정밀한 분석에 노력하였으며, 참여기관의 도움으로 아래와 같은 2차원 분석뿐만 아니라 3차원 분석까지도 진행하였다 [10,11].

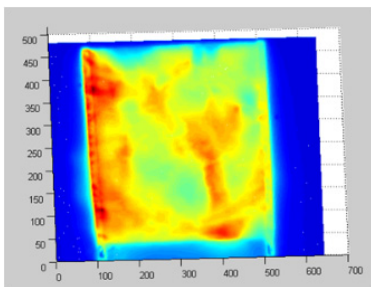


Fig. 9. Two-dimensional image analysis of coated flat heating element module

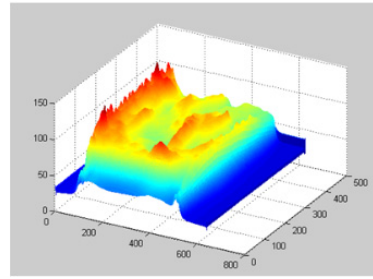


Fig. 10. Three-dimensional image analysis of coated flat heating element module

3차원 분석을 통해 한쪽 전극을 따른 발열과 전극-탄소섬유 시트간 접촉부에서 발열이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 전극부 발열에 의한 전체 온도 상승량도 낮다는 것도 알 수 있다.

2차원 이미지를 더욱 구체적으로 분석하기 위해서 Matlab 프로그램을 이용해서 발열부 중 높은 온도 상위 15~20%와 낮은 온도 부위 15~20%를 선정하여 표시하고, 그 형상을 통해 문제의 원인을 분석하였다.

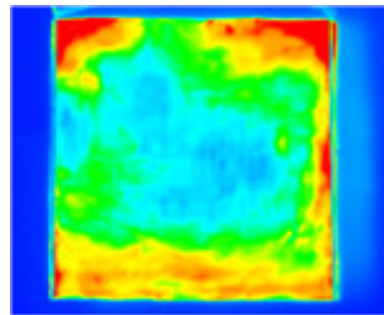


Fig. 11. Two-dimensional image analysis of coated flat heating element module

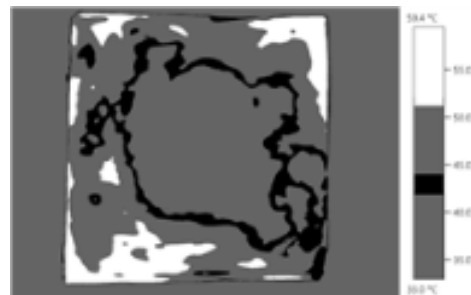


Fig. 12. Program analysis of Two-dimensional image

그림 12는 프로그램에 의한 분석 결과로 하얀색으로 표현한 부분이 상위 온도 15~20%를 나타낸 것이고, 검정색은 하위 온도 15~20%를 나타낸 것이다. 위의 이미지는 분산제와 바인더의 잔류 시 증상으로 모이면서 균등 발열부가 증량이 되고 불균등 가열부가 가장자리로 쏠린 경우이다. 이와 같은 프로그램 분석 방법은 구체적인 부위를 알 수 있어 면상발열체 제작에서 개선 방법을 제시할 수 있다. 이와 같은 영상처리 기술을 이용한 균일도가 높은 코팅된 면상발열체의 제품 개발 시간을 단축시킬 수 있을 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 탄소섬유를 이용한 면상발열체의 분석을 영상처리 기술을 활용하여 분석하였다. 영상처리 기술을 이용한 분석 방법은 기존의 그래프 분석 방법과 결합하여 사용하면 더욱 개선된 분석 결과를 얻을 수 있었다. 뿐만 아니라, 제품 개발을 위해서 균일성을 확인할 수 있다. 특히 상위 온도와 하위 온도의 15~20%를 화면에 직접 보여줌으로써 제작 과정 중 잘못된 부분을 쉽게 찾을 수 있게 도움을 줄 수 있다. 향후 연구과제로는 탄소섬유를 제작단계부터 영상처리 기술을 활용하여 균일도를 계산이 필요하다.

References

[1] B. R. Kim, H. K. Lee, S. H. Park, H. K. Kim, *Thin Solid Films*, 519, 3496, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2011.04.059>

[2] A. A. Al-Ghamdi, 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, M. L. Roan, *Surf. Coat. Tech.*, 184, 123, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2003.11.010>

[4] Y. Y. Kim, J. Yun, Y. S. Lee, H. I. Kim, *Carbon Lett.*, 12,48, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5714/CL.2011.12.3.167>

[5] B. O. Lee, W. J. Woo, H. S. Song, H. S. Park, H. S. Hahm, J. P. Wu, M. S. Kim, *J. Ind. Eng. Chem.*, 7, 305, 2011.

[6] Han, G. Y., Kim, J. S., 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.

[7] Jung, W. K., Ahn, S. H., 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.

[8] Chen, H. C., Lee, K. C., 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)

[9] Yuping, D., Shunhua, L., Hongtao. G., "Investigation of electrical conductivity and electromagnetic Shielding Effectiveness of polyaniline composites", *Science and Technoly of Advanced Material*, pp. 1-6, 2005.

[10] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods "Digital Image Processing Using MATLAB 2nd ed.", 2009

[11] Jung, S. T, "Practical Image Processing using Visual C++", 2014

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, 로봇비전, 의료영상처리

황 형 수(Hyung-Soo Hwang)

[정회원]



- 1983년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1987년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1991년 8월 ~ 1992년 7월 : University of Ottawa(Canada)방문 교수(Post. Doc)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야>

전기전자, 공장자동화, 의료영상처리