

SiC계 세라믹을 이용한 면상발열 판넬 개발에 관한 연구

조현섭

A Study on the Fabrication of Surface Heating Panel Using SiC Ceramics

Hyun-Seob Cho

요약 최근 난방장치에 대한 에너지의 효율적 사용측면에서 경제성과 안정성을 높이기위한 지속적인 연구 개발이 이루어지고 있다. 특히 고성능 및 신기능 소재에 대한 기술개발이 활발히 이루어지고 있다. 본 논문은 에너지 전달특성이 우수한 발열제품 개발에 관한 것으로 침구류나 매트리스 등에 사용되는 발열체는 전열선을 사용하는 것으로서 전열선이 가늘기 때문에 열의 분포가 전열선 주변에서만 집중되어 전열선에서 떨어진 부분과 온도 편차가 심하게 발생하는 단점이 있다. 또한 전자가 유도되어 인체에 유해하고 에너지 소비도 많다. 따라서 원적외선, 음이온 등이 방사되어 인체에 이로우면서도 무해할 뿐 아니라 열전도가 우수하여 에너지 효율을 높일 수 있는 SiC계 세라믹을 이용한 면상발열판넬을 개발하고자 한다.

Abstract In recent years, research and development has been carried out in order to increase the economical efficiency and stability in terms of efficient use of energy for the heating apparatus. Especially, technology development for high performance and new functional materials is actively being carried out. This paper focuses on the development of exothermic products with excellent energy transfer characteristics. The heating element used for bedding or mattress uses a heating wire. Since the heating wire is thin, the distribution of heat is concentrated only around the heating wire. In addition, electromagnetic induction is harmful to the human body and energy consumption is high. Therefore, it is aimed to develop a planar heating panel using SiC ceramics which can radiate far-infrared rays and anions to be harmless to the human body, but also has excellent heat conduction to enhance energy efficiency.

Key Words : High Efficiency, Induction Heating, Infrared, Energy-saving, waves

1. 서론

석유자원의 고갈과 고유가시대를 맞이하여 고효율 전열기술 개발을 통한 에너지 절약이 절실해지고 있다. 에너지 절약은 국내에 국한된 문제가 아니라 지구촌 전체의 현안으로 대두되면서 선진국을 비롯한 각국은 에너지 절약형 산업용기기의 개발에 심혈을 기울이고 있으며, 이를 통한 기술선점과 더불어 시장 확보경쟁이 치열한 실정이다[1].

차세대 전자소자는 경박단소 및 다기능화 하면서 고집적화하고 있어 열 밀도의 증가에 따른 열의 방출 문제에 대한 대책이 요구되고 있으며, 이러한 열의 방출은 디바이스의 신뢰성 및 수명과 밀접한 관련이 있다. 가정용 난방의 경우 현재의 보일러식은 온도 제어 시간이 상당히 길고 물을 가열하여 이의 복사 및 전도열을 이용함으로써 에너지 효율이 낮고 시공이 복잡하며 철거 시에도 많은 폐기물이 나오는 단점을 갖고 있다. 현행 각종의 침구

This Paper was supported by research Fund of Chungwoon University in 2016.

*Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, ChungWoon University
 (chohs@chungwoon.ac.kr)

Received December 06, 2016

Revised December 13, 2016

Accepted December 13, 2016

류나 매트리스 등에 사용되는 발열체는 전열선을 사용하는 것으로서, 가느다란 전열선을 소정의 간격으로 배열하고 전원을 인가하여 전열선이 발열되게 하는 것으로 전열선이 가늘기 때문에 열의 분포가 전열선 주변에서만 집중되고 부분적으로 온도 편차가 심하게 발생하는 단점이 있다. 특히 전자파는 전원이 연결되어있지 않아도 발생할 수 있는 여건을 갖추고 있다. 이러한 전자파 차단방법은 근본적인 해결이 아닌 임시방편에 지나지 않으며 근본적인 차단을 위해서는 열선을 제거해야하는 맹점을 지니고 있다[2]. 따라서 이를 SiC계 세라믹을 이용한 면상발열체를 가열원으로 사용할 경우 전자파 차단은 물론 에너지 효율이 높고 전도나 대류 가열보다는 피가열물을 균일하게 가열시킬 수 있어 고품질의 제품생산이 가능하다.

2. 고열전도 전열시트 개발

2.1 고열전도 수지 적용 히터 형상 설계

기존의 절연시트 제조 기술은 앞서 소개한 바와 같이 필러의 고충진화가 핵심 기술이다. 그러나 필러의 고충진화에 따른 성형성 저하, 금속 회로와의 접합력의 저하 및 제조 단가 상승 등으로 열전도성 절연 시트의 특성을 향상시키는데 한계에 다다르고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 최근 수지 자체의 열전도도를 올리는 기술 및 필러의 배향성을 제어하는 기술 등이 보고되고 있다. SiC는 일반적으로 내마모성, 열전도성, 열충격 저항성, 강도와 내산화성이 우수하지만[3], SiC를 기저로 한 세라믹스의 취성이 낮아 응용에 제한을 받으며, 1000°C이하에서는 전기 저항률이 負(-)저항 온도계수이기 때문에 온도 상승과 함께 전류를 억제할 수가 없어 과열이 발생한다. Si-C 공유결합과 낮은 자기확산 계수 때문에 첨가제 없이 고밀도 SiC 복합체를 얻기란 어렵다. 소결은 소결조제로써 aluminum, boron과 carbon을 사용하여 고상소결법으로 1950 ~ 2100°C에서 제조되지만, 소결온도가 너무 높다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 Al₂O₃, Al₂O₃+Y₂O₃나 희토류 산화물을 첨

가하여 상대적으로 낮은 온도 즉 1850 ~ 1950°C에서 액상소결방식이 현재 많이 연구되고 있다[4].

2.2 SiC계 세라믹을 이용한 면상발열 판넬의 제조 및 분산 기술

천이금속의 붕화물인 TiB₂, ZrB₂는 일반적으로 2980°C[8], 3040°C의 고용점, 높은 경도, 우수한 내산화성, 열 충격저항, 열전도도 및 금속적인 도전성을 지녔지만, 공유결합으로 인한 저 확산계수 때문에 고온의 소결온도와 오랜 열처리 시간이 요구되고 치밀화의 속도가 느리며 낮은 가공성 등의 부족점이 문제가 된다[5]. 액상 소결조제는 입자의 경계에서 물질의 확산을 가속화시키면서, 크랙의 진행과정을 방해하여 파괴인성과 상대밀도 증진을 가져오기도 하지만, 강한 휘발성분으로 인한 기공의 형성으로 저밀도의 결과를 초래하여 경도, 꺾임강도 등의 기계적 특성과 전기적 특성에 악영향을 미치는 경우가 발생한다[6]. 그러나 SiC를 기저로 한 ZrB₂, TiB₂, 또는 붕화물 금속의 복합체는 SiC에 비하여 적절한 저항 값, 正(+)저항 온도계수, 꺾임강도와 파괴인성이 크고 약 1200°C까지의 내산화성이 좋기 때문에 발열체 또는 점화기 제품에 이용될 가능성이 높다. 순수 TiB₂, ZrB₂ 단일체는 각각 800 ~ 1000°C, 1200°C이상에서 B₂O₃의 강한 휘발성에 기인하여 산화가 실제 일어나지만, SiC를 첨가하면 붕 규산염 유리가 외부 표면에 형성되고 계면의 산화 반응을 향한 시편 내부로의 침투를 지지하게 되어 훨씬 더 효과적인 산화 저항이 나타나기 때문에 1500°C까지도 안정한 내산화 특성을 갖게 된다[7]. SiC와 TiB₂, ZrB₂의 장점을 그대로 이용하여 복합화 함으로써 도전성, 내산화성, 기계적 강도 등 저온(1000°C이하) 및 고온용 도전재료의 필요한 특성을 지닐 수 있다.

본 연구에서는 보다 더 경제적인 면을 고려하여 소결온도가 더 낮은 고온 가압소결법(hot pressing)으로 전도성 세라믹 재료를 개발할 목적으로 β-SiC에 ZrB₂ 또는 TiB₂를 혼합하고 소결조제 Al₂O₃+Y₂O₃를 첨가하여 1650°C에서

액상소결(LPS)하였다. SiC-TiB₂와 SiC-ZrB₂ 도전성 복합체의 최적 설계 요소와 제조기법을 찾을 목적으로 상대밀도, 꺾임강도, Young's 계수, EDS와 XRD분석, 파단면의 미세구조 관찰과 전기 저항률, 저항온도계수를 측정·평가하여 향후 상압 소결에 의한 SiC계 세라믹 발열체의 최적 조건을 찾고자 하였다. 또한 이러한 가능성 진단을 통하여 최적의 조건을 찾은 후 경제성 평가를 위해 생산이 가장 간단하고 대량 생산이 가능한 상압 소결법으로 SiC계 세라믹 발열체의 모델을 제작하였고, 경제성 평가를 위한 비교 대상은 일반적으로 가장 많이 사용되는 카본면상 발열체를 채택하였으며 승온 속도와 온도 유지에 대한 경제성을 평가하였다.

3. SiC계 세라믹을 이용한 면상발열 판넬의 제작 시험

열은 다양한 분야에서 이용되고 있으며, 저항열, 전도열, 열 유체의 흐름, 적외선 복사, 레이저, 전자 빔, 그리고 이온빔 등으로 발생한다. 저항열은 저항체를 이용하여 전기에너지에서 열에너지로 정량적으로 전환할 수 있으며, 저렴하고, 크고 작은 물체를 쉽게 가열할 수 있다. 저항은 전류가 흐를 수 있어야 하고, $P=I^2R[W]$ 에 따라 저항이 커야 한다. 저항체는 내고온성 물질로 만들어야 한다. SiC계 세라믹 발열체는 전기발열체로 널리 사용되고 있고, 탄소섬유나 카본블랙이 포함되어 있는 SiC계 폴리머 기질 복합체가 사용되고 있다[8].



그림 1. SiC계 세라믹을 이용한 면상발열체(1000×800mm, 750W)의 제작
 Fig. 1. Fabrication of surface heating element (1000 × 800mm, 750W) using SiC ceramics

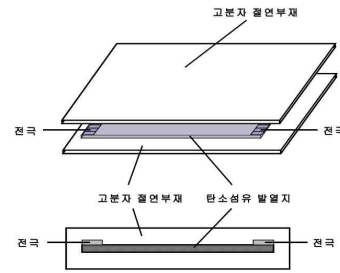
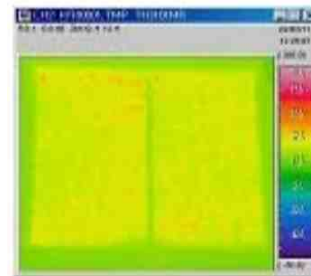
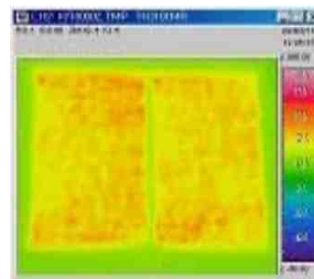


그림 2. SiC계 세라믹을 이용한 면상발열체의 난방시스템 적용 구성
 Fig. 2. Application of the heating system to the surface heating element using SiC ceramics

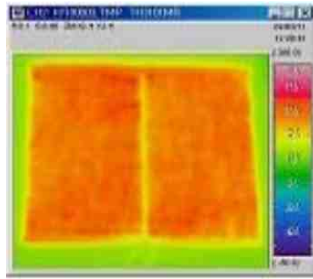
또한 침대에 사용하고 있는 발열은 코일형 발열체로 부분적으로 발열 될 뿐만 아니라 전자가 유도되어 인체에 유해한 판단이다. 반면 [그림 1]과 같은 SiC계 면상발열체를 사용하는 경우는 전자파를 차단할 수 있고 원적외선 등이 발산되어 인체에 무해하며 제어시간이 짧을 뿐만 아니라 제조가 간단하여 경제적으로 침대 판넬을 제작할 수 있는 장점이 있다. 효율적인 에너지 이용을 위해서 사용 시에는 즉시 난방이 되고 사용하지 않는 경우에는 즉시 난방을 중단함으로써 에너지 효율을 높일 수 있는 난방장치가 필요하다.



(a) 초기 열화상



(b) 1분 경과 열화상



(c) 3분 경과 열화상

그림 3. SiC계 세라믹을 이용한 면상발열체 열화상
Fig. 3. Surface heating element thermal image using SiC ceramics

SiC계 세라믹 발열체를 이용한 중고온용 원적외선 면상발열체 제작은 [그림 2]와 같다. 정격 전압은 저항, 소비전력이 10% 이내 이고, 열분포 특성은 16℃ 이하에서 열분포 값의 최소치와 최대치간의 차이가 최소치의 10% 이내 이었다. 또한 면상발열체의 내구성은 60℃, 95%RH의 조건에서 8시간 통전, 16시간 휴지를 10회 반복하여도 절연저항과 내전압을 만족하고, 내습성은 챔버온도 40±5℃, 상대습도 90~95%에 96시간 방치시 저항 변화가 초기성능의 15% 이하로 나타났다. 내전압은 정격 전압 2kV에서 60초간 인가시 절연파괴가 없었고, 저온보존은 노출온도 -25±3℃, 96시간 동안 노출하여도 저항의 변화가 초기성능의 15% 이하였다. 또한 NaCl 5% 용액에 48시간 노출 후 저항의 변화가 초기성능의 15% 이하로 나타났다. 추가로 면상발열체의 전압가속 실험은 상온 상습 하에서 2,000시간 가속 전압(220V 에서 440V) 인가 상태로 실험하였을 때 저항은 초기성능의 15% 이하를 만족하였다. 원적외선 방사율 또한 방사에너지는 80℃에서 원적외선 평균 방사율은 92.1%, 방사에너지는 $6.27 \times 10^2 (W/m^2 \cdot \mu m)$ 로 양호한 것으로 나타났으며 결과는 [그림 3]과 같다. 면상발열체의 전기 입력 후 3분 내에 발열체 전면이 고르게 발열하는 것으로 나타났고 완전방수 상태로 전기적 특성의 변화가 없는 것으로 나타났다. 저주파 자기장 밀도는 제한 값 83.33uT보다 작으므로 자속밀도 제한값에 크게 못 미치는 매우 낮은 수치로 규제치를 만족하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

SiC계 세라믹을 이용한 면상발열 패널의 인장강도는 적게는 1.6~21.2 MPa로서 좋은 강도를 나타냈고 에폭시수지를 사용한 경우에는 수지양이 많은 경우가 높은 인장강도를 나타내었으며 PE를 사용한 경우에도 PE의 함량이 많을수록 높은 인장력을 나타내었다. 또한 전자파를 차단할 수 있고 원적외선, 음이온 등이 방사되어 인체에 이로우면서도 무해할 뿐 아니라 열전도가 우수하여 에너지 효율을 높일 수 있는 면상발열체를 개발함으로써 고품질의 제품생산이 가능하게 되었다.

REFERENCES

- [1] Cho, Hyun-Seob, "Development of High Efficiency Induction Heating Device", Journal of JKIIECT, Vol. 9, No 2, pp 185~189, April 2016.
- [2] IEEE Std. 519-1992(1993), "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems"
- [3] M. F. McGRanaghan and D. R. Mueller, "Designing harmonics filters for adjustable-speed drives to comply with IEEE-519 harmonic limit," *IEEE Transaction on Industry Application*, vol. 35, no. 2, pp. 312-318, March 1999.
- [4] Tein-Ting Chang and Hong-Chan Cang, "An Efficient for Reducing Harmonic Voltage Distortion in Distribution Systems with Active Power Line Conditioners", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 15, No. 3, pp. 990-995, July 2000
- [5] Fang Z. Peng, "Harmonic sources and Filtering Approaches", *IEEE Industry Application Magazine*, pp. 18-24, August 2001
- [6] Cathleen Mroz, "Titanium Diboride" *J.*

Am. Ceram. Soc., Bull., 74[6], pp. 158-159, 2000.

[7] Discharge, high voltage engineering, Dong Myeong Sa, 2000

[8] Cathleen Mroz, "Zirconium Diboride" *J. Am. Ceram. Soc., Bull.*, 74[6], pp. 164-165, 2011.

[9] Y. K. Park, J. T. Kim and Y. H. Baik, "Mechanical Properties and Electrical Discharge Machinability of β -Sialon-TiB₂ Composites" *J. Mater. Sci. Korea*, 5[1], pp. 19-24, 2012.

저자약력

조 현 섭(Hyun-Seob Cho)

[중신회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1996년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1998년 1월 ~ 현재 : 한국전력기술인협회 고급감리원(전력감리)
- 1998년 10월 ~ 현재 : 중소기업청 기술경쟁력 평가위원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 교수

<관심분야>

전기공학, 공장자동화, 응용전자