

고효율 세라믹 발열체 제작 및 특성 시험에 관한 연구

조현섭^{1*}, 오명관²

¹청운대학교 이공대학 전자공학과, ²혜전대학 디지털서비스과

A Study on the Fabrication and Characteristics of Ceramic Heater Apparatus with High Efficiency

Hyun-Seob Cho^{1*} and Myoung-Kwan Oh²

¹Division of Electronic Engineering, Chungwoon University

²Dept. of Digital Service, Hyejeon College

요 약 도전성 복합체의 최적 설계 요소와 세라믹 제조기법을 찾고 발열체 제작을 위한 기초기반 기술을 확보하였다. 제품 응용시 세라믹 발열체를 하나의 몸체로 제작하여 접촉 저항을 최대한 줄이면 시스 발열체보다 1.1배 느린 초기 상승 온도 속도를 높일 수 있고, 보온력에서는 SiC계 세라믹 발열체가 시스 발열체보다 약 2.7배 높기 때문에 제품의 사용 기간이 길어질수록 에너지 절감 효과를 얻을 수 있어, 경제성 면에서 대단히 유리하게 평가 된다.

Abstract Compositional design and optimization of processing parameters are key factors for controlling and improving the properties of electroconductive ceramic composites. Temperature rising time of sheath heater is 1.1 times faster than SiC ceramic heater. Heating insulation of SiC ceramic heater is 2.7 times larger than sheath heater. If SiC ceramic heater is one body type of a product application, contact resistance will decrease. I think that temperature initial rising time is faster than now. The more SiC ceramic heater is used for a long time, the more economic benefit is larger in the view point of heat insulation.

Key Words : Sheath Heater, Ceramic Heater, Temperature, Optimal Design

1. 서론

고분자의 내열성과 화학안정성의 한계를 극복하기 위한 방안으로 최근 고성능 및 신기능 세라믹 발열체 소재에 대한 기술개발이 활발히 이루어지고 있다[1]. SiC는 일반적으로 내마모성, 열전도성, 열충격 저항성, 강도와 내산화성이 우수하지만, SiC를 기저로 한 세라믹스의 취성이 낮아 응용에 제한을 받으며, 1000℃이하에서는 전기 저항률이 β (-)저항 온도계수이기 때문에 온도 상승과 함께 전류를 억제할 수가 없어 과열이 발생한다[2-3]. Si-C 공유결합과 낮은 자기확산계수 때문에 첨가제 없이 고밀도 SiC 복합체를 얻기란 어렵다. 소결은 소결제로써 알루미늄, 붕소와 카본을 사용하여 고상소결법으로 1950 ~ 2100℃에서 제조되지만, 소결온도가 너무 높다는 단점을 가지고 있다[3-5]. 이러한 단점을 개선하기 위하여 Al_2O_3 , $Al_2O_3+Y_2O_3$ 나 희토류 산화물을 첨가하여 상대 본 연구는 2011년도 청운대학교 학술연구조성비 지원사업에 의해 수행 되었으며 이에 감사드립니다.

적으로 낮은 온도 즉 1850 ~ 1950℃에서 액상소결방식이 현재 많이 연구되고 있다[3, 5-7]. 전이금속의 붕화물인 TiB_2 , ZrB_2 는 일반적으로 2980℃[8], 3040℃[9]의 고용점, 높은 경도, 우수한 내산화성, 열 충격저항, 열전도도 및 금속적인 도전성을 지녔지만, 공유결합으로 인한 저 확산 계수때문에 고온의 소결온도와 오랜 열처리 시간이 요구되고 치밀화의 속도가 느리며 낮은 가공성 등의 부족점이 문제가 된다[6-7]. 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[8]. 그러나 SiC를 기저로 한 ZrB_2 , TiB_2 , 또는 붕화물 금속의 복합체는 SiC에 비하여 적절한 저항 값, β (+)저항 온도계수, 꺾임강도와 파괴인성이 크고 약 1200℃까지의 내산화성이 좋기

*교신저자 : Hyun-Seob Cho

Tel: +82-10-2656-6272 e-mail: chohs@chungwoon.ac.kr

접수일 12년 02월 14일

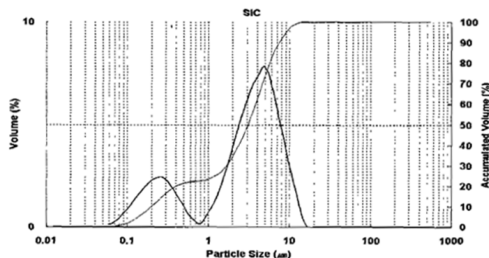
수정일 12년 03월 02일

게재확정일 12년 03월 08일

때문에 발열체 또는 접착기 제품에 이용될 가능성이 높다[9]. 순수 TiB_2 , ZrB_2 단일체는 각각 $800 \sim 1000^\circ C$, $1200^\circ C$ 이상에서 B_2O_3 의 강한 휘발성에 기인하여 산화가 실제 일어나지만, SiC를 첨가하면 붕 규산염 유리가 외부 표면에 형성되고 계면의 산화 반응을 향한 시편 내부로의 침투를 저지하게 되어 훨씬 더 효과적인 산화 저항이 나타나기 때문에 $1500^\circ C$ 까지도 안정한 내산화 특성을 갖게 된다[10]. SiC와 TiB_2 , ZrB_2 의 장점을 그대로 이용하여 복합화 함으로써 도전성, 내산화성, 기계적 강도 등 저온($1000^\circ C$ 이하) 및 고온용 도전재료의 필요한 특성을 지닐 수 있다.

1.1 입도분석에 따른 방사특성

본 연구에서는 보다 더 경제적인 면을 고려하여 소결 온도가 더 낮은 고온 가압소결법(hot pressing)으로 전도성 세라믹 재료를 개발 할 목적으로 β -SiC에 ZrB_2 또는 TiB_2 를 혼합하고 소결조제 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 를 첨가하여 $1,650^\circ C$ 에서 액상소결(LPS)하였다. SiC- TiB_2 와 SiC- ZrB_2 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. 특히 적외선 방사체로 사용하기 위해서는 적절한 입도가 필요하기 때문에 $20\mu m$ 이상의 입도를 가진 원료들은 메쉬를 이용한 후 입도분석을 하였으며, SiC의 입도분석에 따른 방사특성은 그림 1과 같다. 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 스위스 발열체를 채택하였으며, 간이 저장식 온수 시스템을 제작하여 물의 승온 속도와 온도 유지에 대한 경제성을 평가하였다.



[그림 1] SiC의 입도분석에 따른 방사특성
 [Fig. 1] The radiation characteristics which follows in SiC particle size analyses

2. 개발 내용 및 방법

SiC계 세라믹 발열체를 개발하기 위해 초기에는 소결 첨가제를 첨가하지 않고, 고온가압으로 $2050^\circ C$ 에서 소결하였다. 이러한 방식은 높은 소결온도로 인한 세라믹 발열체 제작 시간이 오래 소요되고, 한 공정으로 제작할 수 있는 양이 한정되어 있다.

소결첨가제인 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 를 첨가하여 액상소결방식으로 소결온도를 $1650^\circ C$ 까지 낮추는 연구를 진행하였다. 상압소결방식을 도입하여 한 번의 공정으로 대량 생산이 가능한 SiC계 세라믹 발열체를 개발하였다[14].

개발과정을 통하여 SiC계 세라믹 발열체 제작을 위한 기초기반 기술을 확보하였다. 대량 생산을 위한 세라믹 발열체의 일반적인 특징에 관한 개발·검토를 통하여 SiC계 세라믹 발열체를 상압소결방식으로 제조하여 시제품을 제작하였다.

SiC계 세라믹 발열체를 응용해 간이 시제품을 설계·제작하였다. 스위스 발열체와 비교하여 성능 검증을 통하여 경제성 평가를 행하였고, SiC계 세라믹 발열체의 응용 분야와 경제적인 파급효과에 대해 분석하였다.

2.1 각 발열체를 적용한 실험설비 설계

각 발열체의 실험 설비는 기본적으로 수조 골격, 제어함과 알루미늄 프로 파일을 이용한 외형 틀로 이루어져 있으며, 표시부는 디지털 표시 방식을 통하여 제어함의 걸 뚜껑에 전압, 전류와 전력 및 온도를 표시하도록 하였고, 제어부는 TPR를 채용하여 돌입전류와 최고 허용 전류를 제한하도록 설계하였다. 각 실험설비의 그 밖의 특징들은 다음과 같다.

2.1.1 SiC계 세라믹 발열체를 적용한 실험설비 설계

(1) 출력부 설계

출력부는 변압기를 사용하여 0, 30, 35, 40, 45, 50V Tap 전압으로 설계하여, SiC계 세라믹 발열체와 흑연 단자와 연결 시 발생하는 접촉저항에 따라 Tap 전압을 변환하여 출력 전력을 제어하기 위하여 설계하였다.

(2) 외함 설계

외함은 알루미늄 프로 파일 골격을 이용하여 설계·제작하였고, 제어함의 크기는 $700(w) \times 900(h) \times 230(d)$ 로 내부에 제어부, 변압기, 출력부들을 제작 배치하였다. 알루미늄 프로파일은 $900(w) \times 1350(h) \times 450(d)$ 의 크기로 설계·제작하였다.

(3) 수조통 설계

기본적으로 내부에 발열체를 넣을 수 있는 발열통이 배치되어 있으며, 외장형과 내장형으로 설계·제작하였다. 이에 따라서 발열통의 크기와 형태는 약간씩 변화되어 왔지만, 기본적으로는 루미보드의 크기에 따라 설계 하였다.

수조통은 그 크기에 따라 약간씩 변화되어지지만, 물 용량 10ℓ가 채워지고, 온도가 올라감에 따른 물의 부피 상승에 따른 여유분이 발생하도록 설계·제작하였다. 물의 상승 온도를 감지하기 위하여 수조통 내부에 온도센서를 삽입한 형태를 취하였다.

2.1.2. 스위스 발열체를 적용한 실험설비 설계

(1) 출력부 및 외함 설계

스위스 발열체는 출력부를 따로 설계하지 않고, TPR을 통한 출력 제어를 제어하였고, 제어함의 크기는 505(w)×750(h)×230(d)로 내부에 출력부들을 제작 배치하였다. 알루미늄 프로파일은 714(w)×1007(h)×430(d)의 크기로 설계하였다.

(2) 수조통 설계

스위스 발열체가 내부에 삽입되어지도록 제작되었으며, 수조통의 크기는 408(w)×257(h)×350(d)로 SiC계 발열체의 수조통과 마찬가지로 물 용량 10ℓ가 채워지고, 온도에 따른 부피 상승률을 고려하였으며 내부에 온도센서를 장착하였다.

3. 개발 결과

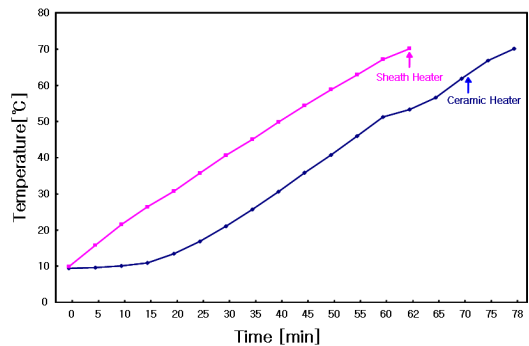
첫 번째 실험조건은 전체 저항 1.8Ω, 시험 전압 50V를 투입하였고, 물의 온도가 8.9 → 70.4℃까지 상승하는데 소요된 시간은 약 91분이 소비되었고, 두 번째 실험조건은 전체 저항 1.7Ω, 시험 전압 45V를 투입하였고, 물의 온도가 7.9 → 70.1℃까지 상승하는데 소요된 시간은 약 126분이 소비되었다. 스위스 발열체보다는 초기 상승온도가 떨어지고 있는 현상을 나타내고 있다.

첫 번째 실험은 세라믹 bus bar의 가공이 잘못되어 가공을 새롭게 하였지만, 충격에 약하여 조립 압을 줄 수 없으며, 가공시 많은 열에 의해 bus bar가 뒤틀리는 현상으로 인하여 시편과 조립 시 단자가 깨지는 현상이 발생하여서 세라믹 bus bar 사용을 하지 못하였다.

기존에 2개의 흑연 너트를 사용하여 조립하던 것을 흑연 너트를 사용하지 않고, 동 너트와 시편을 직접 연결하는 방식으로 설계하여 접촉저항을 줄이도록 설계하였다.

두 번째 실험은 내장형 수조를 기존 내장형과 달리 내

부 이상시 발열체 재조립이 가능하도록 설계 제작하였고, 기존 전체 저항 1.8Ω에서 0.8 ~ 0.9Ω으로 현저히 접촉저항을 줄였다. 실험조건은 시험 전압 35V를 투입하였고, 물 온도가 9.3 → 70℃까지 상승하는데 소요된 시간은 약 78분이 소비되었다. 승온 속도를 관찰한 결과 전력 투입 후 15분까지는 약 2℃ 상승하였지만, 15분 후부터는 승온 속도가 빨라져 30분후에는 약 분당 1℃씩 상승하는 결과를 나타내었다. 스위스 발열체와의 비교 그래프는 그림 2에 나타냈다. 세라믹 발열체에서 가장 중요한 요인은 접촉 저항이 승온 속도에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 경제성 평가를 위해 물의 승온 및 보온력을 측정하였다. SiC계 세라믹 발열체는 돌과 같은 특성을 나타내기 때문에 전력을 투입하고 10분까지는 분당 약 0.2 ~ 0.3℃씩 상승하였다. 그러나 SiC계 세라믹 발열체가 발열이 이루어진 후 즉, 10분이 초과된 후부터는 분당 0.9 ~ 1.0℃씩 상승하였다. 물의 온도가 70℃에 이르는 시간은 약 70분이 소비되었다. 스위스 발열체는 전력 투입 후 분당 0.8 ~ 1.0℃씩 상승하여 물의 온도가 70℃에 이르는 시간은 약 62분이 소비되었다. 결과적으로 보면 SiC계 세라믹 발열체가 스위스 발열체 보다 약 1.1배 느리게 상승하고 있다. 보온력에 대한 실험으로 물의 온도가 70℃에 도달하여 전력이 자동 차단되었다가 다시 투입되는 시간을 실험한 결과 스위스 발열체는 약 15분이 소비되었고, SiC계 세라믹 발열체는 약 40분이 소비되어 약 2.7배 높은 보온력을 나타냈다.



[그림 2] 스위스와 SiC계 발열체 승온 속도 비교
[Fig. 2] Rising curve of sheath and SiC heater

4. 결론

SiC는 일반적으로 내마모성, 열전도성, 열충격저항성, 강도와 내산화성이 우수하지만 SiC를 기저로한 세라믹스의 취성이 낮아 응용에 제한을 받으며, 1000℃이하에서

는 전기저항률이 負(-)저항 온도계수이기 때문에 온도상승과 함께 전류를 억제할 수가 없어 과열이 발생한다. 본 논문에서 평가된 세라믹 발열체를 하나의 몸체로 제작하여 접촉 저항을 최대한 줄이면 쉬스 발열체보다 1.1배 느린 초기 상승 온도 속도를 높일 수 있을 것으로 사료된다. 보온력에서는 SiC계 세라믹 발열체가 쉬스 발열체보다 약 2.7배 높기 때문에 제품의 사용 기간이 길어질수록 에너지 절감 효과를 얻을 수 있어, 경제성 면에서는 대단히 유리하게 평가 된다. 또한 SiC계 세라믹 발열체의 장점을 그대로 이용하여 복합화 함으로써 도전성, 내산화성, 기계적 강도등 저온(1000℃이하) 및 고온용 도전재료의 최적 조건을 분석하여 고효율 세라믹 발열체를 시험 제작하였다.

References

[1] Patricia A. Hoffman, "Thermo Elastic Properties of Silicon Carbide-Titanium Diboride Particulate Composites", M. S Thesis, Pennsylvania State Uni., 1992.

[2] Hideto Hashiguchi and Hiasshi Kimugasa, "Electrical Resistivity of α -SiC Ceramics Added with NiO" J. Ceram. Soc. Japan, 102[2], pp.160-164, 1994.

[3] Y. D. Shin, J. Y. Ju, K. S. Choi, S. S. Oh and J. H. Seo, "Effect of Annealing Temperature on the Properties of β -SiC-TiB₂ Electroconductive Ceramic Composites by Spray Dry", Trans. KIEE, Vol. 52C, No. 8, pp. 335-341, 2007.

[4] N.P. Padture, "In Situ-Toughened Silicon Carbide" J. Am. Ceram. Soc., 77[2], pp. 519-523, 1994.

[5] J. Y. Kim, Y. W. Kim, Mamoru Mitomo, G. D. Zhan and J. G. Lee, "Microstructure and Mechanical Properties of α -Silicon Carbide Sintered with Yttrium-Aluminium Garnet and Silica", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 82[2], pp. 441-444, 2008.

[6] Diletta Sciti, Cesare Melandri and Alida Bellosi, "Properties of ZrB₂-Reinforced Ternary Composites", Advanced Engineering Materials, 6[9], pp. 775-781, 2004.

[7] Mylene Brach, Diletta Sciti, Andrea Balbo and Alida Bellosi, "Short-Term Oxidation of a Ternary Composite in the System AlN-SiC-ZrB₂", Journal of the European Ceramic Society, 25. pp. 1771-1780, 2005.

[8] Cathleen Mroz, "Titanium Diboride" J. Am. Ceram. Soc., Bull., 74[6], pp. 158-159, 1995.

[9] Cathleen Mroz, "Zirconium Diboride" J. Am. Ceram. Soc., Bull., 74[6], pp. 164-165, 1995.

[10] 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, 2009.

조 현 섭(Hyun-Seob Cho)

[종신회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1996년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1996년 1월 ~ 1997년 1월 : Department of Electrical and Computer Engineering, University of California Irvine(UCI) 연구원
- 1998년 1월 ~ 현재 : 한국전력기술인협회 고급감리원 (전력감리)
- 1998년 10월 ~ 현재 : 중소기업청 기술경쟁력 평가위원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 교수

<관심분야>

전기공학, 공장자동화, 응용전자

오 명 관(Myoung-Kwan Oh)

[종신회원]



- 1993년 2월 : 충북대학교 컴퓨터 공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 충북대학교 컴퓨터 공학과 (공학박사)
- 1993년 ~ 1999년 2월 : 고려정 보테크(주) 정보통신연구소 연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 혜전대학 디지털서비스과 부교수

<관심분야>

영상처리, IT 서비스