

전기자동차의 난방용 면상 후막히터의 제조방법과 성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Manufacturing Method and Performance of Planar Thick Film Heaters for Electric Vehicle Heating

이채열^{1*}, 임종한¹, 이재욱², 박상희³

Chae-Yeol Lee^{1*}, Jong-Han Im¹, Jae-Wook Lee², Sang-Hee Park³

〈Abstract〉

Currently used heating elements are metal and non-metal heating elements, including various types of heaters, and resistance line heating elements have a problem of decreasing thermal efficiency over time, so to solve this problem, a planar heating element using high-purity carbon materials and oxidation-resistant inorganic compounds was applied. Through the manufacture of planar heating elements using CNT, ruthenium composite materials, and ruthenium oxide, physicochemical performance and capacity were increased, and instantaneous responsiveness was increased. Through thick film technology applicable to various base bodies, fine patterns were formed by the screening method in consideration of the fact that the performance of the heat source depends on the viscosity and pattern shape. The heating element was manufactured by thick film printing technology by mixing ruthenium oxide, CNT, Ag, etc. The characteristics of each paste were analyzed through viscosity measurement, and STS 430 was used as a base. Surface temperature and efficiency were measured by testing heaters manufactured for small wind tunnels and real-vehicle experiments. The surface temperature decreased as the air volume increased, and the optimal system boundary was found to be about 200 mm. Among the currently used heating elements, this paper manufactured a planar heating element using thick

1 금오공과대학교 기계공학과 대학원

2 ㈜할크

3* 정회원, 교신저자, 금오공과대학교 기계공학과, 교수
E-mail: parksh@kumoh.ac.kr

1 Dept. of mechanical engineering, Kumoh National Institute of Technology

2 Halk Co .Ltd

3* Dept. of mechanical engineering, Kumoh National Institute of Technology, Professor
E-mail: parksh@kumoh.ac.kr

film technology to find out the relationship between air volume and temperature, and to study the surface temperature.

Keywords : Planar Heating Elementes, Thick Film Printnig, Screening Method, Heater Surface Temperature, Air Temperature

1. 서 론

발열체는 열선을 통하여 전기에너지를 저항 열로 변환시키는 방식으로 Ni-Cr합금, Fe-Cr합금, 고용점금속 등을 이용한 금속 발열체와 SiC, 탄소 등을 이용한 비금속 발열체로 분류한다. 또한 발열체와 전열체를 일체화한 시즈히터, 원적외선히터, 세라믹히터, 석영관히터, 예칭히터, 할로겐히터 등도 발열체로 통칭하고 있다.

저항선 발열체에서 발생하는 열은 그 대부분이 주변 공기의 대류에 의하여 전달되며, 사용시간에 따라 효율이 떨어져 안정적인 온도를 유지하지 못할 뿐만 아니라 열선이 결선되거나 변형되어 발열체 기능을 발휘하지 못하거나 성능이 떨어지는 경우도 있다[1,2].

이를 대체하기 위해 PTC 뿐만 아니라 박막화 CNT를 발열체로 적용하고자 하는 시도는 지속적으로 행해지고 있다[3]. CNT를 이용한 히터는 장기간 고온의 조건하에 있으면 각종 스트레스, 열, 전기 등에 의해서 탄소 고유의 구조를 파괴시켜 전도성 및 물성이 저하되는 현상이 발생되어 열효율 및 발열온도가 감소하여 제품수명이 단축되는 문제점이 있다[4].

본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위하여 불순물 함량이 적은 고순도 탄소재료 및 내산화성 무기화합물을 혼합하여 내열특성 및 내산화성을 향상시킨 면상발열체를 제작하고 성능시험을 수행하여 면상발열체에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 면상 후막 필름 히터의 제작

본 연구에서 개발한 면상 후막 필름 히터는 내열특성 및 내산화성 등 물리화학적 성능을 향상시키기 위해 산화루테늄을 무기화합물로서 적용하여 면상발열체를 제조하였다.

산화루테늄은 2,000F/g으로 초고용량 발현이 가능한 물질로서 팔면체구조가 연속적으로 연결되어 있는 Rutile구조와 유사한 격자구조를 갖는다. 이 구조를 통해 물질이동 통로가 연속적으로 연결되어 전극물질로 적합함을 알 수 있다[5].

산화루테늄의 월등한 고용량 특성에도 불구하고 적용도가 떨어지는 이유는 가격이 비싸고, 탄소에 비해 장수명의 특성을 실현하기 어려운 단점을 가지고 있다.

이러한 단점은 산화루테늄에 CNT복합재료를 첨가함으로써 극복할 수 있다. Nano 크기의 루테늄 입자를 CNT와 고분자 바인더에 분산시켜 루테늄 입자의 전해질과의 접근 면적을 넓혀 입자 전체를 활성화시켜 에너지 효율을 높이면 적은 양으로도 고용량을 발휘할 수 있다[6].

후막기술은 정밀 전기전자제품 외에 패턴폭이 다소 넓은 형태, 유연성 및 강체 면상에 주로 적용이 가능하다. 이는 스퀴지에 의해서 전도성 페이스트가 밀려서 메쉬(mesh)의 오프닝을 통과할 때 점도가 가장 저점도화 되므로 페이스트(paste)가 오프닝을 통과할 수 있게 되는 것이다.

오프닝을 통과한 페이스트는 원래 페이스트가 가지고 있는 점성과 탄성의 특성에 의해서 형상이

결정되게 된다. 즉 페이스트는 중력에 의한 영향만 받음으로써 점도가 다시 회복된다.

패턴의 형상은 바인더 수지의 탄성 및 분산된 입자의 형상과 분포도에 의존하게 된다. 점도는 그 회복속도에 따라 표면의 균일화에 큰 영향을 주므로 스크리닝 방식으로 미세패턴을 형성시키기 위해서는 페이스트의 탄성뿐만 아니라 점성도 충분히 고려해서 페이스트를 제조해야 한다[7].

Fig. 1은 후막기술로 제작할 히터의 개념도를 나타낸다, 본 연구에서는 히터의 기저체(substrate)는 STS 430을 사용하였다. 히터의 최대온도는 PTC 보다 낮은 350°C이다. 또한 히터의 승온 시간을 짧게 하였다.

Table 1은 적용된 기저체 STS 430의 일반적 물성치를 나타낸다.

발열체로 사용되는 산화루테늄은 전구체($\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$)를 포함하여 6% 미만, 전도체로 사용되는 CNT는

2% 미만, 은(Ag)은 65~70%로 다량 함유하고 있으며, 나머지는 고분자 바인더로 구성된다. 팔라듐(Pd), 금(Au) 등은 전도체와 저항체를 구성한다.

바인더로는 세라믹 계열과 고분자 수지로 이루어져 있다. 이를 스크린 인쇄기에 절연층, 열원층, 전도층, 절연층으로 총 4회 인쇄하여 히터로 제작하였다.

스크린 메쉬는 #200이고 절연 페이스트는 고온의 물감과 바인더, 톨루엔을 함께 섞어 준비하였다. 히터 제작에 사용된 열원용 페이스트 주성분은 Table 2에 나타내었다.

히터에 적용할 전극과 열원에 대하여 점도계(Brookfield, DV1MHB)를 사용하여 각각의 점도를 측정하였다. 점도측정은 고점도 스펀들을 사용하여 실온(23°C)에서 30초간 각각의 페이스트에 대하여 3회씩 측정하였다.

Table 3과 4는 전극용 은 페이스트와 열원의

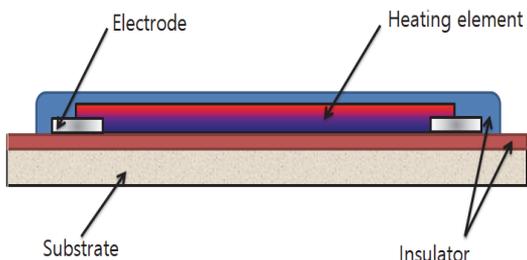


Fig. 1 Conceptual diagram of thick film printing heater

Table 1. General properties and properties of STS 430

화학성분 (max. %)	C(0.12), Si(0.75), Mn(1.0), P(0.04), S(0.03), Cr(16~18)
항복강도 (N/mm ²)	205
인장강도 (N/mm ²)	450
연신율(%)	22
브리넬 경도(HB)	183
밀도(g/cm ³)	7.7

Table 2. Main ingredient of heat source for thick film printing

	Functional phase
Conductor	Au, Pt/Au, Ag, Pd/Ag, CNT, Cu, Ni
Resister	Pd/Ag, $\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$, RuO_2
Dielectric	BaTiO_2 , Glass-Ceramic
Binder	Glass (borosilicates, aluminosilicates), Oxides (CuO, CdO), mixed Oxide-glass, polymer

Table 3. Viscosity measurement results of Ag paste for electrodes

Component(Ag ≅ 82wt.%, solvent+binder ≅ 18 wt.%)		
Run No.	rpm	viscosity (cP)
1	10	60,800
2	10	57,600
3	10	54,400
Average.		57,600

점도 측정결과를 각각 나타낸 것이다. Table 3과 4를 비교했을 때, 열원용 페이스트에 솔벤트의 함량이 많음에 따라 전극용 페이스트가 약 4,000cP 정도 더 높게 나타났다.

Fig. 2는 소형풍동 및 실차에 사용할 면상 후막

Table 4. Viscosity measurement result of paste for heat source

Component (RuO ₂ +Ag+CNT+Pd < 80wt.%, solvent+binder > 20 wt.%)		
Run No.	rpm	viscosity (cP)
1	10	51,200
2	10	57,600
3	10	51,200
Average.		53,300

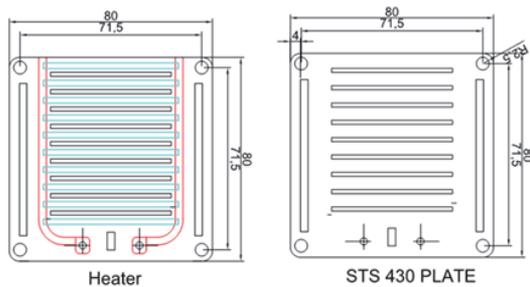


Fig. 2 Design of SUS plate for small wind tunnel and real vehicle experiment

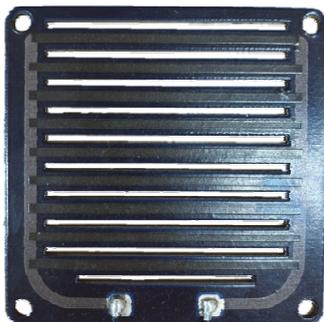


Fig. 3 SUS plate prototype for small wind tunnel and real vehicle experiments

필름 히터의 설계도이고 Fig. 4는 시제품을 나타낸다. 이 히터의 크기는 80 x 80mm, 두께는 2mm이다. 면상 발열체인 히팅 모듈의 구조는 2 x 65mm인 띠 모양의 발열체 8개와 2 x 45mm인 띠 모양의 발열체 1개로 구성된다.

이 띠 모양의 발열체 사이에는 60 x 2mm의 통기구가 뚫여져 있다. 이 통기구는 발열체를 통과하는 공기의 유동경로이며 통기구를 통과하는 공기가 가속되면서 히터로부터 열을 더 많이 빼앗아가서 발열체 후면의 공기를 가열시켜 온도를 높하게 된다.

흡과 흡 사이에 열원이 인쇄되고 전극 역할을 하는 은이 열원 끝에 인쇄될 수 있도록 설계하였다. 이를 바탕으로 기저체로 STS 430 선택하여 히터를 제작하였다. 히터의 저항은 34Ω이다.

Fig. 4는 국부 열쾌적성 시험 (목부위)을 위해 슬롯(slot) 형태로 제작된 히터의 설계도이고 Fig. 5는 국부 열쾌적성 시험 위해 제작된 히터의 시제품을 보여준다.

히터의 크기는 70 x 15mm이고 두께는 1mm이다. 히터의 기저체는 STS 430이며, 히터 하단 양 끝단에 전극을 위치시켰다. 14V의 전압을 가

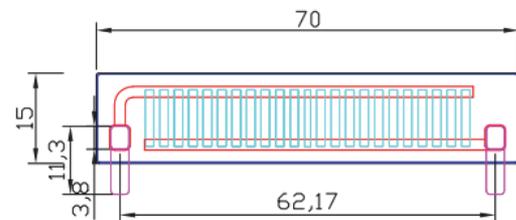


Fig. 4 Design of slot type heater for local thermal comfort test



Fig. 5 Prototype slot type heater for local thermal comfort test

지는 자동차의 보조배터리를 전원으로 할 목적으로 100W급으로 설계한 것으로 저항은 3Ω이다.

설계도를 바탕으로 제작된 히터는 절연층, 전극층, 열원층, 절연층의 순으로 적층 인쇄하였다. 절연층 건조와 전극층 및 열원층 소결을 위해 사용된 전기로(KODAIRA사)는 7개의 구역으로 나뉘며, 각 구역별 온도조건을 달리하여 건조 및 소결을 진행하였다.

Table 5와 6은 건조 운전조건 및 소결 운전조건을 각각 나타낸 것이다. 실온은 22°C이다.

Table 5. Operating conditions for the drying of insulating layers

	1 st zone	2 nd zone	3 rd zone	4 th zone	5 th zone	6 th zone	7 th zone
Operating Temp. (°C)	150	150	150	150	150	150	150
Conveyor speed	100mm/min. (total 110min. consumption)						
Operating condition	air mood						

Table 6. Operating conditions of the sintering furnace for the sintering of the heater

	1 st zone	2 nd zone	3 rd zone	4 th zone	5 th zone	6 th zone	7 th zone
Operating Temp. (°C)	98	370	460	670	825	825	670
Conveyor speed	100mm/min. (total 110min. consumption)						
Operating condition	air mood						

3. 면상 후막 필름 히터의 성능시험

3.1 표면 온도 측정

소형 풍동 및 실차시험용으로 제작된 히터 2개를 병렬로 연결해서 히터 별 최대 인가전력인 300W를 기준으로 표면온도를 측정하였다.

히터의 표면 온도는 바닥으로의 전도열전달을 최소화하기 위해 바닥과 30mm이상 이격시킨 상태에서 열원이 인쇄된 면에 대한 표면온도를 90초간 측정하였다.

Fig. 6은 병렬로 연결된 2개의 heater에 대한 표면온도 측정결과를 나타낸 것이다.

결과를 살펴보면, surface 1이 surface 2보다 온도가 5~7°C 더 높게 나타남을 보였다. 이것은 전압이 먼저 인가되는 히터가 surface 1에 따른 것으로 예측된다. 송풍에 따른 열기구 시스템에서는 bulk온도에 영향을 미치지 않았다.

Fig. 7은 Fig. 3에서 보여진 면상 발열체는 저항 34Ω을 갖는 히터 4개를 병렬로 연결하였을 때 열화상카메라를 이용하여 측정한 히터의 표면온도를 나타낸다..

히터의 열화상 데이터는 주변공기온도 19°C, 공

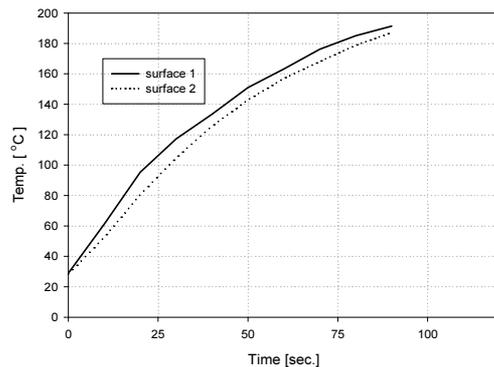


Fig. 6 Surface temperature by heater connected in parallel

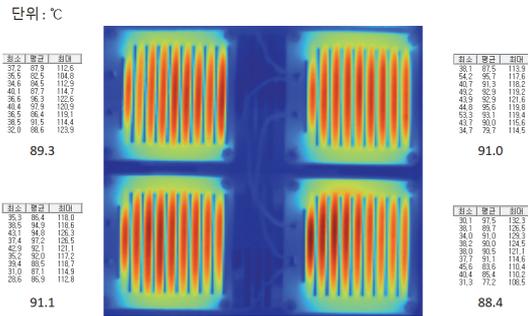


Fig. 7 Heater surface thermal imaging data×80

기 유량 300kg/h, 인가 전력 300W의 조건에서 촬영되었다.

열화상 카메라로 측정한 각 히터의 온도 분포는 전체적으로 균일하며, 각각의 히터의 평균온도는 89.3°C(surface 1), 91.1°C(surface 2), 91.0°C(surface 3), 88.4°C(surface 4)이다.

3.2 히터 성능 시험

히터의 성능 평가는 KTC(한국기계전기전자시험연구원)와 KTR(한국화학융합시험연구원)에 의뢰하여 평가하였다. 성능 평가의 내용은 내표면저항성, 내진동성, 소모전력, 염수분무, 송풍온도, 열충격시험이다.

내표면저항성은 사파이어법을 통한 내스크래치성을 평가하였으며 결과값은 4급으로 평가되었다. 내진동성 시험은 100Hz의 진동주파수를 X, Y, Z방향으로 각각 2, 2, 4시간 시험하여 이상 없음의 결과를 보였다. 소모 전력은 제품에 AC 220V, 60Hz의 정격전압을 인가하고 10분 후의 소비 전력을 측정하였다. 측정값은 90.72W, 87.46W, 89.60W로 평균 89.26W의 전력을 소비하였다.

염수분무 시험은 농도 5±0.5%, 온도 35±2°C의 중성 염수에 96시간 방치하여 시험을 진행한 결과 부식이 발생하지 않았다. 송풍 온도는 AC

220V, 60Hz의 정격전압을 인가하고 10분 후의 온도를 확인하였으며, 33.8°C, 36.2°C, 36.7°C의 온도로 측정되었다. 열충격 시험은 -40°C(2h), -40→85°C(2h), 85°C(2h), 85→-40°C(2h)를 1 사이클로 총 6개의 사이클을 진행하였으며 저항값은 시험 전 후 29.4Ω으로 변화가 없고, 외관변형도 없었다.

3.3 풍동 실험에 의한 히터의 성능 시험

Fig. 8은 두께 5mm의 아크릴로 600×80×40mm의 소형 풍동을 제작하여 히터의 인입 전력과 유량에 따른 히터 후단 영역의 공기 온도를 측정하였다.

Fig. 8에 나타낸 히터는 병렬로 2개 연결하여 팬(ebmpapst 8314H, 24Vdc, 6W)에서 100mm 떨어진 곳에 장착하였다. 히터 후단부의 공기온도는 열전대(k형)를 히터의 끝단에서 각각 80mm와 180mm에 설치하여 측정하였다. 또한 풍동의 끝단에 피토판 유량계 (Testo)를 장착하여 토출유량을 측정하였다. 히터로의 공급 전력은 AC 전압 공급기(Slidac, Variable AC)로 조절하여 88, 161, 222W이다. 팬의 유량은 31, 38, 43.5m³/h로 전원공급기(MK power 3010D)로 제어하였다.

유량에 따른 히터 표면 온도의 추이를 확인하

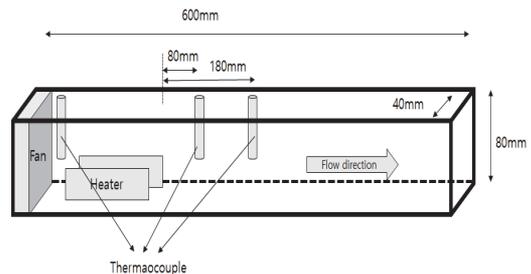
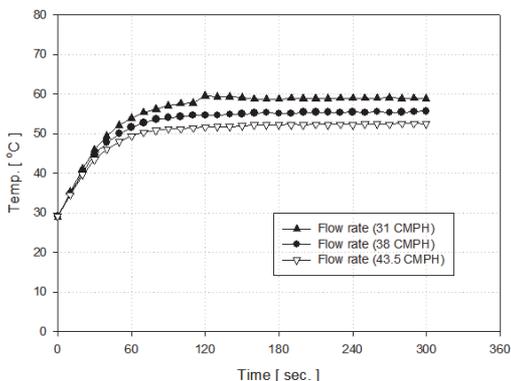


Fig. 8 Wind tunnel equipment manufactured for heater performance test

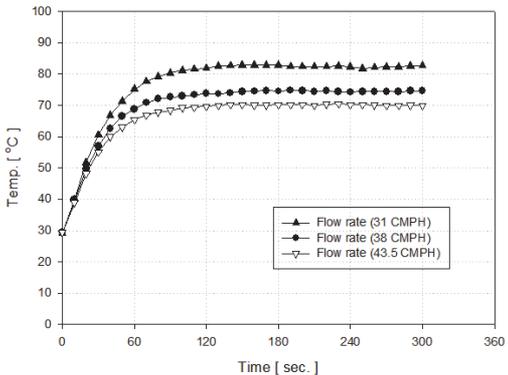
기 위하여 유입 공기 온도와 표면온도를 10초 간격으로 5분간 측정하였다.

Fig. 9(a), (b)는 전력량 및 유량에 따른 히터의 표면온도를 나타낸다. Fig. 9(a)는 히터의 전력이 88W이고 Fig. 9(b)는 161W이다. 히터의 표면온도는 히터에 전력을 공급한 후 60초가 될 때까지 급격하게 증가하다가 100초 이후부터 정상상태에 도달함을 보였다. 또한 유량이 증가함에 따라 표면온도는 감소함을 확인할 수 있었다.

Fig. 10(a)~(c)는 히터 후단부의 측정지점 80mm와 180mm에서의 유량 및 공급전력량에 대한 시간에 따른 공기 온도의 변화를 나타낸다. 온도차

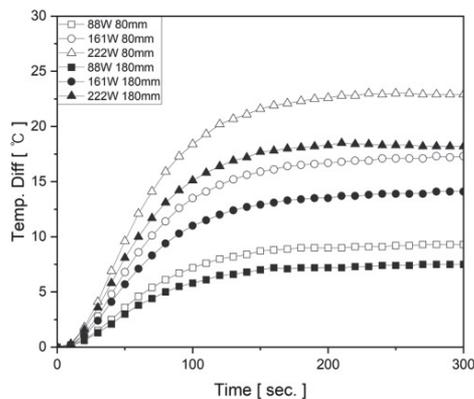


(a) 88W

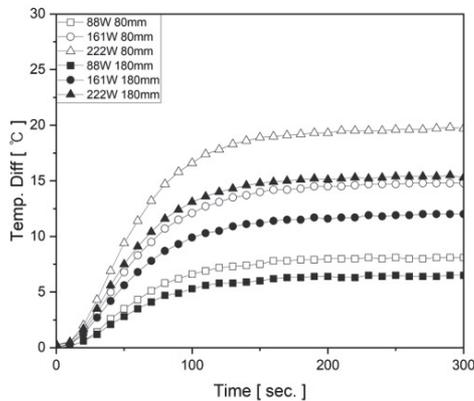


(b) 161W

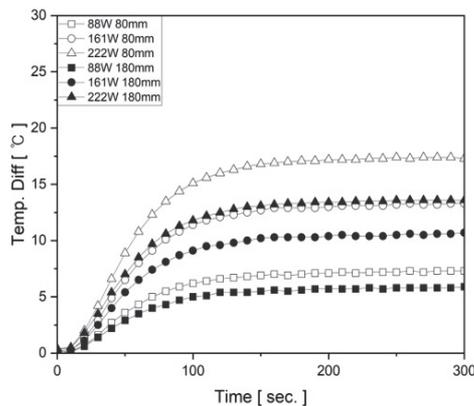
Fig. 9 Heat Surface Temperature according to air flowrate



(a) 31.0 m³/h



(b) 38.0 m³/h



(c) 43.5 m³/h

Fig. 10 Air temperature variation at 80mm and 180mm at rear end of the heater depending on flow rate and power supply

는 히터 후단의 공기온도와 팬 입구의 온도와의 차이를 나타낸다.

공기온도는 히터에 전력을 공급한 후 유량이 증가할수록 정상상태에 빨리 도달함을 보였다. 또한 정상상태에서 후단의 위치에 따른 공기온도는 80mm 위치에서의 공기 온도가 180mm에서의 공기 온도보다 약 5°C 정도 더 높음을 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 전통적인 저항선 발열체의 효율 저하와 열선 변형 문제를 해결하고자 고순도 탄소 재료와 내산화성 무기화합물을 혼합한 면상 발열체를 개발하였다.

이러한 발열체는 장시간 고온 조건에서도 열효율과 발열 온도가 안정적으로 유지되며, CNT 발열체의 단점인 구조 손상 문제를 극복할 수 있었다.

본 연구에서 개발한 면상 발열체는 실험 결과에 따르면 전력 사용량이 300W로 낮고 목표 온도를 250°C로 유지하며, 다양한 기저체에서 우수한 물리화학적 성능을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 개발한 면상 발열체는 기존 발열체의 한계를 극복하고, 향후 히터의 온도가 350°C까지의 고온 분야에서의 활용 가능성을 보여주었다.

참고문헌

- [1] 김현후, “면상발열체 및 그 제조방법”, 특허 10-0758136, (2007).
- [2] 강석환, “수출용 면상발열체의 신뢰성 확보기술 개발에 관한 신뢰성향상 지원”, 산업자원부, 기술개발과제 보고서, (2006).
- [3] 배석정, 허형석, 이현석, 이병호, 김영삼, “전기자동차용 탄소나노튜브 필름 히터의 성능평가”, 한국자동차공학회 추계학술대회, (2019).
- [4] Scibioh, M.A., and Viswanathan, B., “Materials for supercapacitor applications”, Elsevier, 1st Ed., (2020).
- [5] 카와구보 카츠히로, “산화 루테튬 분말, 그것을 이용한 후막 저항체용 조성물 및 후막 저항체”, PCT/JP2012/065313, (2014).
- [6] J. H. Jang, S. J. Han, T. H. Han and S. M. Oh, “Electrochemical capacitor performance of hydrous ruthenium oxide/mesoporous carbon composite electrodes”, J. of power source., 124(2), (2003).
- [7] 이현석, “스크린 인쇄법으로 제작된 전극을 가지는 전기화학발광 셀의 제작에 관한 연구”, 석사학위논문, 부경대학교, (2018).

(접수: 2024.05.20. 수정: 2024.06.13. 게재확장: 2024.06.18.)