

봉상 카본 발열체의 제조와 열 및 전기적 특성에 관한 연구

배 강 열, 이 광 성*, 정 효 민†, 정 한 식, 정 희 택

경상대학교 기계항공공학부, *경상대학교 정밀기계공학과 대학원

A Study on the Thermal and Electrical Characteristics with Manufacture of the Heating Element by Using Carbon with Bar Type

Kang-Youl Bae, Kwang-Sung Lee*, Hyo-Min Jeong†, Han-Shik Chung, Hee-Taeg Chung

School of Mechanical & Aerospace Engineering, Gyeongsang National Univ., Kyeongnam 660-701, Korea

*Graduate School of Precession Mechanical Engineering, Gyeongsang National Univ., Kyeongnam 650-160, Korea

(Received July 10, 2003; revision received March 8, 2004)

ABSTRACT: This paper is intended as an investigation of study on the thermal and electrical characteristics of the carbon heating element. In this experimentation, the electric material used is the crystalline graphite a kind of natural graphite. The bentonite is used to solidify the heating element and the vacuum furnace is used for sintering it. It is noted that the natural drying time should be at least 58 hours. The plating of the electric pole with the electroless nickel showed the lowest contact resistance among others. The resistance shows linear variation with regard to length. For the insulation and resolution, the glaze coating is best with 80% of water content. The temperature rising characteristic of the heating element is better than sheath heater saving 43% of rising time. The correlation equation for temperature was obtained with the electric power.

Key words: Heating element(발열체), Crystalline graphite(인상흑연), Bentonite(벤토나이트), Plating(도금), Glaze coating(유약코팅)

기 호 설 명

a : 상관계수

b : 상관계수

$B \cdot T$: 벤토나이트

$\cos \theta$: 역률

C_p : 비열 [Kcal/kg/°C]

$G \cdot P$: 흑연

$H \cdot C$: 열용량 [Kcal/m³/°C]

I : 전류 [A]

L : 발열체의 길이 [m]

$M \cdot C$: 메틸셀룰로오스

P : 전력 [W]

R : 저항 [Ω]

T_m : 평균 온도 [°C]

ΔT : 온도차 [°C]

V : 전압 [V]

$W \cdot T$: 물

† Corresponding author

Tel.: +82-55-640-3184; fax: +82-55-640-3188

E-mail address: hmjeong@ggsnu.ac.kr

그리스 문자

ρ : 밀도 [kg/m³]

1. 서 론

최근 에너지절약과 환경문제에 대한 새로운 인식과 정밀한 전자, 전기기기의 소형, 경량화 및 고성능화에 따라 전원으로 사용되는 전기도 환경오염을 유발시키지 않으면서 고에너지 밀도를 얻기 위해서 카본을 이용한 고성능 2차 전지에 대한 요구가 증가하고 있다.⁽¹⁾ 에너지절약 차원에서 최근 탄소재료를 이용한 제품이 기존의 금속제품보다 전기적 특성이 우수하게 나오고 있으며, 계속적으로 요구되고 있는 실정이다. 탄소재료는 높은 전기전도성, 열전도성, 내열성, 내식성, 내마모성 및 윤활성 등과 같은 전기적, 물리적으로 다른 재료가 보유하지 못한 우수한 특성을 가지고 있다.⁽²⁻⁵⁾

많은 국가에서 발열소자로 탄소규소 계열과 이규화몰리브덴 계열 등을 이용한 발열체의 제조가 이루어지고 있으며, 일본의 경우는 탄소입자에 여러 가지의 분말을 소결 후 촉진제를 사용한 발열체의 제조 및 응용 분야에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다.⁽⁶⁻⁹⁾ 그러나 우리나라의 경우 발열체에 관한 연구가 진행되고는 있는 실정이지만 아직까지 탄소를 이용한 발열체의 제조, 열적, 전기적 특성 등에 관한 자료가 매우 부족한 상태이다.

본 연구에서는 일반 Sheath Heater를 대체하기 위한 탄소발열체봉(carbon heating rod)을 제작하여 인가전류 및 시간변화에 따른 열 특성 등을 파악하여 온풍기 건조기 등을 비롯한 발열용도에 관한 기본자료를 도출하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 성분 및 역할

2.1.1 도전성 재료

본 연구에서 도전성 재료로 선정한 인상흑연은

Table 1 Property of various natural graphites

Property	Flake graphite	Crystalline graphite	Amorphous graphite
Carbon (%)	90	96	81
Sulfur (%)	0.1	0.7	0.1
Density (g/cm ³)	2.29	2.26	2.31
Graphitization	99.9	100	28

입도가 100 mesh(140 μm)의 크기를 갖는 흑연을 사용하였다. 흑연의 기본성질은 산화환경에서는 약 600℃에서 산화가 일어나기 시작하며, 700℃에서 착화현상이 발생하게 된다. 그렇지만 환원환경에서는 약 3,800℃까지 열에 견디는 천연광물이다. Table 1은 천연흑연의 종류와 특성에 대하여 나타낸 것이다.

2.1.2 고풍화 재료

도전성 재료의 고풍화를 위해서는 벤토나이트(Bentonite)를 사용하였다. 벤토나이트는 극히 미세한 입자로 된 점토로 주광물은 Montmorillonite인데, 화산회의 유리성분이 분해해서 생성된 매우 점력이 강한 점토이다. 또한, 점결성 및 양이온 교환성이 뛰어나므로 무기재료 부문의 도자기, 내화물의 백토의 가소성, 강도부여제로 쓰이고 주입슬립에 첨가해서 건조강도를 증진시키는 데 널리 사용되고 있다.

2.1.3 압출조제

비금속 발열체의 제조시에 압출을 이용한 방식으로 제조하기 때문에 일반적으로 재료를 혼합하여 반죽을 하여 압출을 시도하게 되면 고풍화 재료의 특성상 가소성이 너무 커지기 때문에 압출시에 스크류에 달라붙어서 용이한 압출을 얻을 수가 없다. 따라서, 압출조제를 첨가함으로써 압출시에 스크류에 재료가 달라붙는 문제를 해결하고 압출이 용이하게 된다. 본 연구에는 메틸셀룰로스(Methyl Cellulose)를 압출조제로 사용하였다.

2.2 제작 및 공정

2.2.1 제작장치

본 실험에서 발열체의 고풍화를 위해서 사용된 실험장치는 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에 표시된 장치는 발열체를 제조하고 1차 건조하기 위한 장비이다. 교반기로 재료를 혼합하고 압출기를 통하여 발열체를 압출한 후 건조기에 상온건조(1차 건조)를 하게 된다. 건조기를 roll type으로 한 이유는 압출된 재료가 상온에서 건조하게 되면 대기와 접촉된 상부에서부터 수분의 증발현상이 발생하기 때문에 roll type의 건조기를 사용하는 것이다. 또한, 흑연의 경우에는 산화환경에서 약 600℃에서 산화가 발생하기 때문에 소결을 위해서는 진공 소결로를 사용하였다.

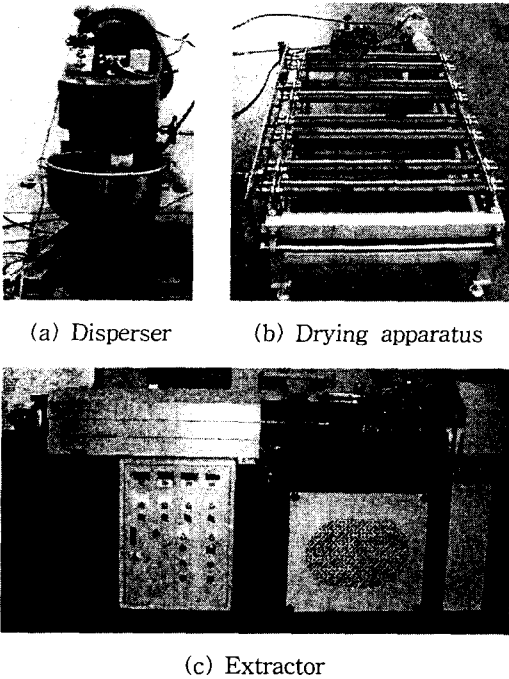


Fig. 1 Experimental apparatus for manufacture.

2.2.2 제작공정

Fig. 2는 비금속 발열체의 제조를 위한 공정도를 표시한 것이다. 여기에서 1차 건조는 압출된 봉을 상온에서 건조하는 과정을 말한다. 수분이 함유된 봉에 대하여 로를 이용하여 바로 건조하게 되면 수분의 급격한 증발로 인하여 균열현상이 발생하기 때문이다. 2차 건조는 상온에서 건

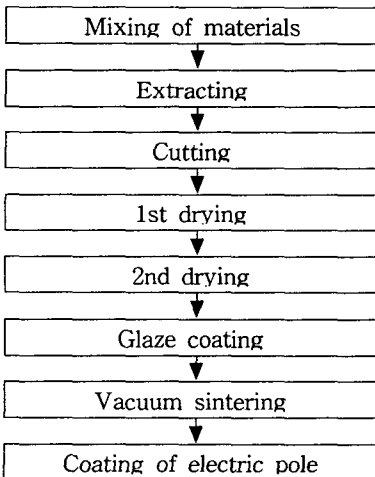


Fig. 2 Process for manufacture.

Table 2 Kinds of heating rod by ingredients

Kind	Ingredient (wt%)			
	Bentonite	Graphite	Methyl cellulose	Water
#1 carbon	100	27	2	50
#2 carbon	100	30	2	50

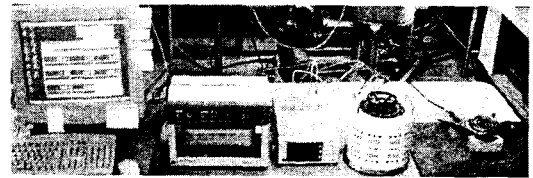


Fig. 3 Photograph for experimental apparatus.

조된 봉에 잔여수분을 완전히 제거하기 위한 과정을 말한다.

2.3 실험장치

Table 2는 성능평가하기 위한 비금속 발열체의 함량비율을 표시한 것이며 벤토나이트의 중량에 대비하여 다른 성분들의 혼합량이 결정된다. 본 실험에서는 흑연의 함량이 다른 두 가지의 비금속 발열체를 선정하였다.

$$\begin{aligned}
 G \cdot P &= \{B \cdot T(g)\} \times 0.27 \\
 M \cdot C &= \{B \cdot T(g) + G \cdot P(g)\} \times 0.02 \quad (1) \\
 W \cdot T &= \{B \cdot T(g) + G \cdot P(g) + M \cdot C(g)\} \\
 &\quad \times 0.5
 \end{aligned}$$

Fig. 3은 실험장치의 사진을 도시한 것이다. 발열체의 표면에 온도를 측정하기 위해서 K-type의 열전대를 네 부분에 설치하였으며, 전력을 일정하게 공급하기 위해서 정전력제어기를 사용하였다. 또한, 온도측정을 위해서는 데이터로그(YOKOGAWA DR130)을 사용하였으며, 전압, 전류, 역률을 측정하기 위해서는 파워메타(Power meter: YOKOGAWA DT200)을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 건조조건에의 영향

Table 3에서는 압출된 발열체를 이용하여 가장

Table 3 The effect on the natural and furnace drying

Natural drying (hr.)	Temp. (°C)	Conditions	Results
11	150	1. Uprising (4 hours) 2. Support (2 hours) 3. Cooling (1 hour)	Crack (for length)
	200	Experimentation stop	
35	150	1. Uprising (4 hours) 2. Support (2 hours) 3. Cooling (1 hour)	Anticrack
	200	1. Uprising (4 hours) 2. Support (2 hours) 3. Cooling (1 hour)	Crack (for length)
58	150	1. Uprising (2 hours) 2. Support (6 hours) 3. Cooling (1 hour)	Anticrack
	200	Experimentation stop	

최적의 건조조건의 영향을 표시한 것이다. 최종적으로 자연상태에서 58시간(약 2.5일) 동안은 자연양생을 거친 후 잔여수분의 건조를 시작해야 한다. 자연양생에서 58시간이 경과한 발열체는 고온으로 단시간에 상승하여도 수분의 증발에 의한 갈라짐 현상이 발생하지 않았다.

3.2 길이의 변화에 따른 저항변화

Fig. 4는 진공소결이 완료된 발열체의 길이의

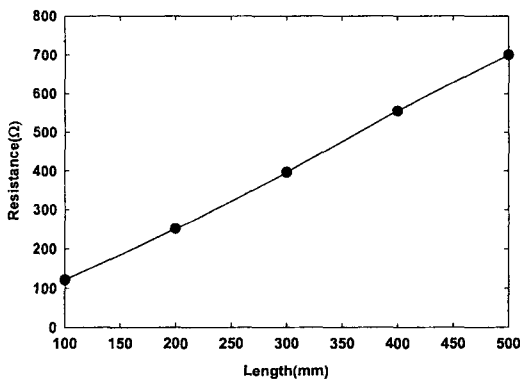


Fig. 4 Distribution for the resistance variation by lengths.

변화에 따른 저항의 변화를 도시한 그림이다. 그림에서 길이가 100mm일 경우의 저항값은 약 120 Ω으로 나타났고, 길이가 500mm일 경우에는 약 700 Ω으로서 선형적인 변화를 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 재료의 배합 및 건조조건이 타당함을 알 수 있었다.

3.3 전극부분의 처리

카본 발열체는 재질이 비금속으로 이루어져 있기 때문에 외부에서 전력을 인가하기 위해서는 전극이 필요하다. 본 실험에서 전극은 이종의 재질의 접촉면을 통하여 통전을 시켜 주어야 하기 때문에 접촉저항의 증가 여부가 가장 중요하며, 다음의 두 가지 방법으로 실험을 진행하였다.

3.3.1 도전성 잉크

Fig. 5는 소결된 발열체의 전극부분을 도전성 잉크를 이용하였을 경우에 대한 입력전류의 변화를 도시한 그림이다. 그림에서 135분 동안 인가된 전압은 정전압 입력장치를 이용하여 약 95 V로 일정하게 인가되고 있다. 그러나, 인가전류의 경우에는 초기의 약 40분 동안은 동일한 전류가 인가가 되지만, 그 이후에는 인가전류가 계속해서 떨어지고 있는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 동일한 전압의 인가에 대해서 인가전류가 떨어지고 있다는 사실은 아래의 옴(ohm)의 식에 의해서 급격하게 저항이 증가하고 있다는 사실을 의미한다.

$$V = IR \tag{2}$$

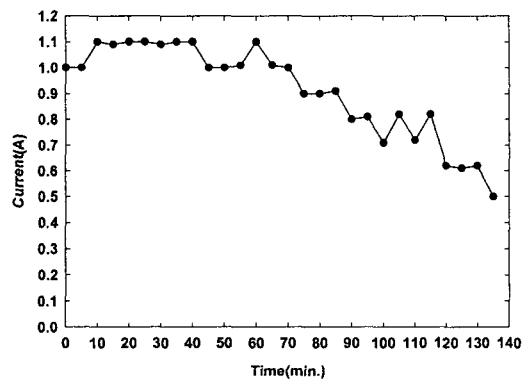


Fig. 5 Distribution for current by using the electric ink at 95 V.

이렇게 급격하게 저항이 증가하는 이유는 도전성 잉크의 경우 제조시에 도전성 잉크를 도포하고자 하는 재료에 밀착성을 증가시켜 주기 위해서 도전성 접착제를 매개체로 사용하고 있다. 그런데, 현재 국내 및 외국에서 생산되고 있는 도전성 접착제의 경우에는 온도한계치가 약 200℃ 정도이기 때문에 그 이상의 온도로 상승하게 되면 접착성분이 열화되는 현상이 발생하여 접촉저항이 증가하였기 때문이다.

3.3.2 무전해 니켈 도금

무전해 니켈 도금은 전기를 인가할 수 없는 부도체 및 무기화합물(세라믹, 플라스틱, 수지 등)

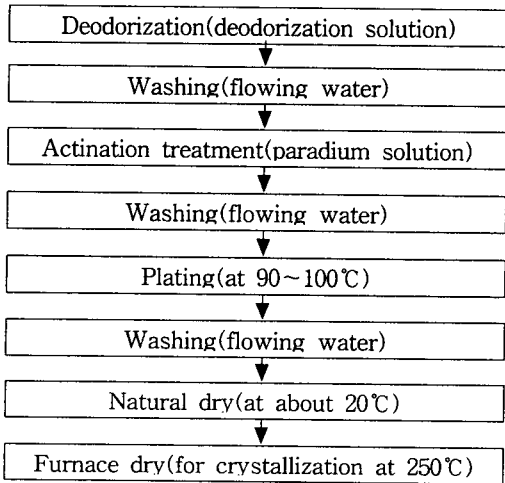


Fig. 6 Process for the electroless plating with nickel.

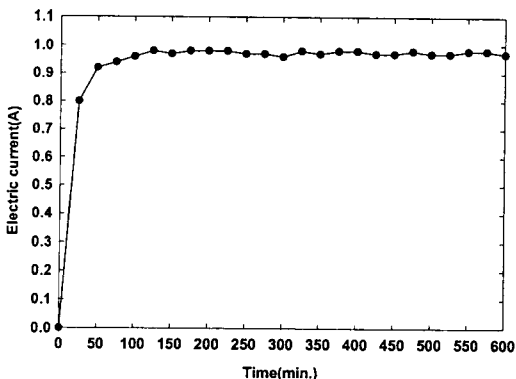


Fig. 7 Distribution for current by using the nickel plating at 110 V.

에 도금막을 형성시키는 방법이다. Fig. 6은 무전해 니켈을 이용한 도금방법을 나타내었다.

Fig. 7은 무전해 니켈 도금을 이용하여 전극이 형성된 비금속 발열체의 인가전류의 변화를 나타낸 그림이다. 본 그림에서 전압은 정전압 공급장치를 이용하여 약 110 V로 일정하게 유지하였다.

인가전류는 약 600분 동안 0.9~0.95 A 사이에는 일정하게 인가되고 있는 것을 확인할 수 있는데, 정전압을 인가하였을 경우 정전류가 인가되게 되면 식(2)에 의해서 저항이 일정하게 됨을 확인할 수 있다.

이러한 결과로부터 무전해 니켈 도금의 경우에는 비금속 발열체가 고온으로 상승함에 따른 접촉저항의 증가가 발생하지 않음을 알 수 있다.

3.4 절연 코팅

비금속 발열체는 자체에 전류가 흐르기 때문에 절연성과 환원성을 부여하기 위해서 코팅을 해야 한다. 현재 많은 분야에서 산화 알루미늄 등의 무기화합물을 이용한 코팅방법을 연구중이다.⁽¹⁰⁻¹¹⁾

본 발열체의 절연 및 산화를 방지하기 위해서 무기화합물의 성분을 가지고 있는 알루미늄아 졸과 유약을 이용한 절연 코팅을 시도하였다.

첫번째로, 알루미늄아 졸을 이용한 코팅방법은 침지식의 방법을 선정하였으며, 30분 동안 코팅을 실시하였다. 코팅 후 상온에서 약 10분 동안 건조를 시켜 알루미늄아 졸을 겔화시킨 후 로에서 다시 150℃로 건조를 시켰다.

Fig. 8은 알루미늄아 졸을 이용하여 코팅을 시도한 결과이다. 코팅 후 상온에서 약 10분 동안 건조 후에는 겔화 상태를 잘 유지했으나, 로에서 건조 후에는 표면이 깎일처럼 갈라지는 현상이 발생하여 전혀 코팅막이 형성되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 이유는 기존의 알루미늄아 졸을 이용한 코팅법을 사용한 소재의 경우 완전히 유리화 같은 결정화를 이루고 있지만은, 비금속 발열체의 경우에는 카본이 함유되어 있기 때문에 흡수력이 강하여 알루미늄아 졸을 이용한 얇



Fig. 8 Photograph for coating by using the alumina sol.

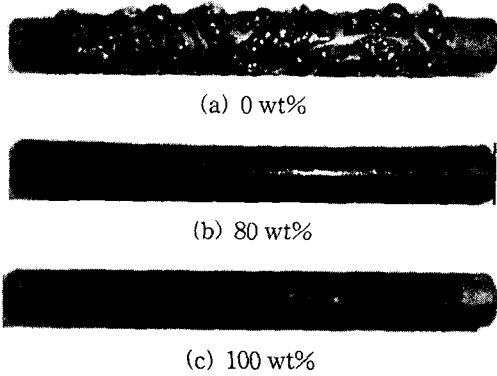


Fig. 9 Photographs for coating by using the glaze according to the water content.

은 코팅막의 형성이 불가능한 것이다.

두번째로, 유약을 이용한 코팅방법을 시도하였는데, 유약을 기존의 원액부터 수분을 유약 대비 0~100 wt%까지 10 wt%씩 첨가하여 실험을 진행하였다.

Fig.9는 유약에 수분을 함유시킨 후 소결과정을 통하여 코팅한 결과이다. 수분을 전혀 함유하지 않은 경우에는 유약이 소결과정에서 갈라지는 현상이 발생함을 알 수 있었다. 이것은 수분이 전혀 함유되지 않은 상태에서 고온으로 소결과정을 거치기 때문에 유약이 소재와 완전한 결합이 이루어지지 않는 것이다.

그러나, 수분의 함유량을 증가할수록 표면에 갈라지는 현상이 적어지다가 수분의 함유량이 80 wt%에서는 표면에 깨끗하게 코팅막이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 수분의 함유량이 90 wt% 이상일 때에는 표면의 코팅막이 광택이

나지 않으며 탁한 막이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 유약원액의 성분이 너무 적기 때문에 소결시에 수분이 증발된 후 소재와 원활한 결합을 이루지 못하는 것이다. 카본 발열체의 표면에서 코팅이 제대로 이루어지지 못하면 발열체가 600°C 이상으로 상승하였을 경우, 주성분인 카본이 공기와 접촉하여 산화반응을 일으키기 때문이다. 따라서, 비금속 발열체에 유약을 이용하여 코팅을 할 시에는 수분의 함유량이 80 wt% 정도가 가장 뛰어난 코팅막을 형성하는 것을 확인할 수 있었다.

3.5 성능평가

Fig. 10은 두 개의 탄소발열체봉과 Sheath heater를 50 W, 100 W, 150 W의 전력으로 각 1시간씩 실험한 전류와 전압의 상승분포도를 나타내고 있다. 여기서 탄소발열체봉은 일반 Sheath heater보다 전류는 낮고 전압이 높게 나왔다. 그러므로 동일 전력에 대하여 Sheath heater의 경우 전류를 많이 투입하고, 탄소봉 히터에서는 전압을 높여야 됨을 알 수 있다. 따라서 이들 전류, 전압 특성을 고려한 온풍기 등의 설계에 참고할 수 있다.

Fig. 11은 두 개의 탄소발열체봉과 Sheath heater의 온도분포도를 나타내고 있다. 여기서 #1 탄소발열체봉이, #2 탄소발열체봉과 Sheath heater의 온도분포보다 높게 나왔다. 일반 Sheath heater보다 탄소발열체봉이 온도가 높게 나왔음을 알 수 있고 정상상태에 도달시간이 탄소발열봉의 경우에는 약 12분이고, Sheath heater은 약 21분의 시간이 소요되었다. 이렇게 동일한 전력을 인가하

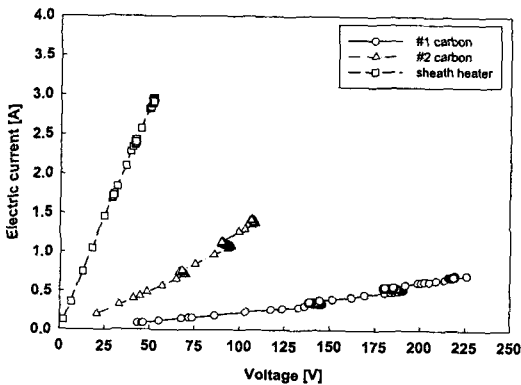


Fig. 10 Distributions of current and voltage.

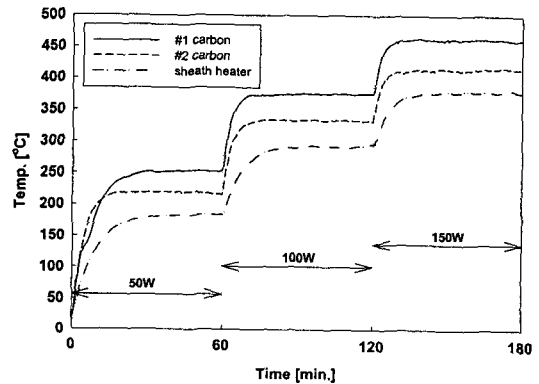


Fig. 11 Temperature distributions by timewise.

있을 경우에 표면의 온도가 다르게 나타나는 이유는 Sheath heater의 경우에는 내부의 니크롬선과 외부에 있는 도체 사이에 충전재가 들어가 있기 때문에 전도에 의하여 열이 전도되나 탄소발열체봉의 경우 발열부와 외부와의 사이에는 유약의 얇은 코팅막만 형성되어 있기 때문에 열전도가 빠르게 일어나는 것이다. 따라서, 탄소발열체가 일반 Sheath heater에 비하여 정상상태 도달시간이 43% 정도 빠름을 알 수 있어 빠른 온도상승을 요하는 시스템에는 대단히 유효함을 알 수 있다.

Fig. 12는 1시간 간격으로 전력을 50 W, 100 W, 150 W를 인가하였을 경우에 대하여 카본 발열체와 Sheath heater의 저항변화에 대하여 도시한 그림이다. sheath heater의 경우에는 인가전력이 증가함에 따라서 저항이 항상 일정하게 나타나고 있으나, 카본 발열체의 경우 인가전력이 증가함

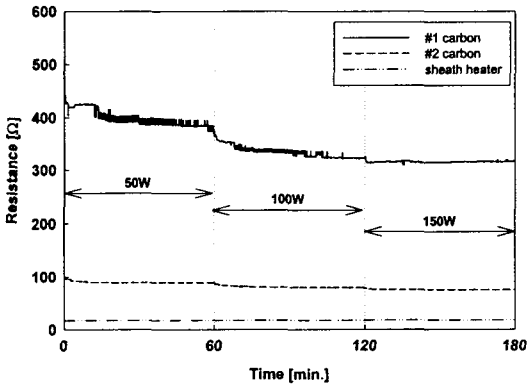


Fig. 12 Resistance distributions by timewise.

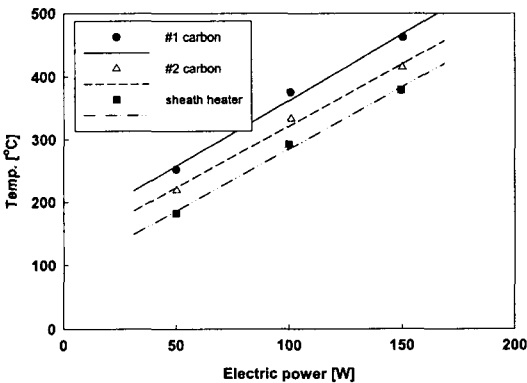


Fig. 13 Mean temperature distributions by electric power.

에 따라 저항이 감소한다는 사실을 확인할 수 있었다. 이렇게 카본 발열체의 경우 저항이 감소하는 이유는 카본은 자체적으로 부정저항⁽¹²⁾의 특징을 가지고 있기 때문이다. 그러나, 인가전력에 대하여 무한히 저항이 감소되지는 않는다. 본 그림에서도 전력이 증가함에 따라 저항의 감소폭이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 13은 발열체에서 전력에 따른 평균 온도분포를 나타내고 있다. 여기서 #1 탄소발열체의 평균 온도의 값이 가장 높게 나왔고 일반 Sheath heater값이 가장 낮게 나왔으므로 전력 50 W, 100 W, 150 W로 ΔT 값을 비교하면 50 W일 때 $\Delta T=70^\circ\text{C}$, 100 W일 때 $\Delta T=83^\circ\text{C}$, 150 W일 때 $\Delta T=81^\circ\text{C}$ 의 차이값을 나타내고 있다. 이렇게 평균 온도의 차이가 나는 것으로 보아 열용량(Heat Capacity)의 크기가 Sheath heater>#2>#1의 순으로 생각된다. 열용량은 단위체적당 온도를 상승시키기 위해 필요한 열량이며 이것은 재료에 의하여 결정되며 아래의 식(3)과 같다.

$$H.C = \rho C_p \tag{3}$$

즉, 일반 Sheath heater보다 온도특성이 약 30% 고온임을 알 수 있어 기존의 Sheath heater 대체용으로 그 가능성이 있다고 할 수 있다. 여기서 전력값은 교류이므로 역률값($\cos \theta$)을 곱하였다.

$$P = VI \cos \theta \tag{4}$$

또한, 발열체 표면온도가 전체적으로 선형으로 증가함을 알 수 있다. 평균 온도분포의 관계식은 다음 식(5)와 같이 나타났으며, 상호관계 상수들은 Table 4에 주어졌다.

$$T_m = a \cdot P + b \tag{5}$$

Table 4 Constants for a correlation equation

Heater	Constants	
	a	b
#1 carbon	2.09	152.83
#2 carbon	1.97	124.76
Sheath heater	1.98	86.91

위의 식은 인가전력이 50 W 이상일 경우에만 성립하게 된다. 전력이 인가되지 않게 되면 평균 온도는 실험시의 실내의 온도와 동일하게 되어 전력이 인가됨과 동시에 비선형적인 분포를 보이게 되고 있으므로 본 실험에서는 이 부분에 대해서는 고려하지 않았다.

4. 결 론

본 연구에서는 카본 발열체의 제조 및 성능특성에 대하여 고찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 자연건조는 급격한 수분증발을 방지하기 위해서 58시간 이상 충분히 건조해 주어야 한다.
- (2) 카본 발열체의 전극은 고온에서 용이한 무전해 도금을 이용한 방법이 가장 적합하다.
- (3) 절연 및 산화방지를 위한 유약코팅은 수분 함량이 80 wt%일 때가 가장 양호하다.
- (4) 일반 Sheath heater보다 탄소 발열체가 정상온도에 약 43% 정도 빠르게 도달한다.
- (5) 전력에 대한 평균 온도분포의 상관식을 도출하였다.

후 기

본 연구는 BK21 지역대학사업단 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim, J. S. and Gu, H. B., 1996, The electrochemical properties of heat treated poly(p-phenylene) based carbon for Li rechargeable batteries, Korean Proceeding of KIEEME, pp. 373-377.
2. Shim, G. J., Jang, D. K., Shi, C. Y., Kim, W. B. and Cho, T. R., 1994, Fabrication of molybdenum disilicide by self-propagating high-temperature synthesis, Journal of the Korean Inst. of Met. & Mater., Vol. 32, No. 7, pp. 815-823.
3. Park, H. D., Kim, J. W., Paik, U. G. and Choi, S. C., 1999, Effect of green microstructure

- on sintered microstructure and mechanical properties of reaction-bonded silicon carbide, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 36, No. 1, pp. 97-105.
4. Song, J. H., Choi, C. H. and Lim, J. K., 2002, A study on evaluation of thermal conductivity for carbon-fiber-reinforced-plastica, Korean Journal of KSME, Vol. 26, No. 3, pp. 553-559.
5. Yoon, S. H., Lee, S. H. and Lee, J. K., 2002, Effects of combined environmental factors on mechanical and thermal analysis properties of graphite/epoxy composites, Korean Journal of KSME, Vol. 26, No. 7, pp. 1416-1425.
6. Suzuki Tadami, 2000, Manufacture of carbon heating element, Japan Patent Office, JP2000048938.
7. Kurumisawa Toshimitsu, 1999, Carbon heating element and manufacture thereof, Japan Patent Office, JP11354257.
8. Nishihara Hiromichi, 1995, Electric resistance heating furnace and manufacture of electric resistance heating element, Japan Patent Office, JP7049185.
9. Noh, S. S. and Chung, G. S., 1997, The fabrication of Pt micro heater using aluminum oxide as medium layer and its thermal characteristics, Proc. of KIEEME, pp. 331-334.
10. Yoon, T. I., Choi, S. Y., Lee, Y. K. and Lee, J. H., 1993, Preparation and characterization of antireflective film in TiO2-SiO2 system by sol-gel method, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 30, No. 9, pp. 775-783.
11. Lee, J. H. and Choi, S. Y., 1994, Preparation and characterization of alumina thin film by sol-gel method (II); synthesis of alumina sol for coating and preparation of coating films, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 31, No. 8, pp. 911-919.
12. Kim, B. H., 1993, Electrical and Electronic Material, Munundang, pp. 193-194.