

고온 카본발열체의 발열특성에 관한 연구

배강열* · 이광성* · 신재호* · 정효민** · 정한식** · 전지수***

Study on the Heat Generation Characteristics of the Carbon Heating Source with High Temperature

K. Y. Bae, K. S. Lee, J. H. Shin, H. M. Jeong, H. S. Chung and J. S. Chun

Key Words: Carbon heating source(카본발열체), Electric current(전류), Resistance(저항), Resistivity(고유저항), Joule heat(쥬울열)

Abstract

This paper is a study on the heat generation characteristics of the carbon heating source with high temperature. The main variables of this study are the input current and the amount of carbon heating source. As the results of the experiment in the waste rate of carbon heating source. The case of carbon heating source 300g was large than 500g. As the input current and the temperature are increased, the resistance values of carbon heating source were large. The Joule heat was represented the large value as the amount of heating source decrease with the input current. Finally, the heating source was represented the electrical steady state as the input current is increase.

기호설명

A : Area [m^2]
 I : Electric current [A]
 L : Length [m]
 Q : Joule heat [cal/h]
 R : Resistance [Ω]
 V : Voltage [V]
 ρ : Resistivity [$\Omega \cdot m$]

1. 서론

에너지는 인간생활을 보다 효율적이고 안락하게 삶의 질을 향상시켜주는데 필수 불가결한 것이나, 에너지 자원의 한계성으로 에너지 자원의 고갈이 예상되며 에너지 과다 사용으로 대기오염, 지구 온난화, 오존층의 파괴등 환경오염이 심각하다. 발열 시스템의 경우 대부분이 유류를 사용하고 있어 많

은 에너지의 소비와 함께 환경오염으로 인한 제재를 받고 있는 상태이다.

이에 많은 국가에서는 탄소, 이규화물리브덴등을 이용하여 유류를 대체할 수 있는 고온의 발열체의 제조가 이루어지고 있다. 특히 우리나라와 근접한 일본에서는 탄소입자에 여러 가지의 분말을 소결 후 촉진제를 사용한 발열체의 제조와 함께 발열체의 응용분야에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나, 우리나라의 경우 발열체에 관한 연구가 진행되고는 있는 실정이지만 아직까지 탄소를 이용한 발열체의 열적, 전기적특성등에 관한 자료가 매우 부족한 상태이다.

본 연구에서는 탄소발열체(carbon heating source)의 인가전류 및 시간변화에 따른 온도특성, 저항특성 및 고유저항과 발열량등의 특성을 파악하여 발열체를 이용한 온풍기, 온수기, 보일러등에 이용을 위한 기본자료를 도출하고자 한다.

2. 실험장치

Fig.1은 발열체의 성능 평가를 위한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 발열체로의 재질은 캐스

* 경상대학교 대학원

** 경상대학교 수송기계공학부, 해양산업연구소

*** (주)부풍

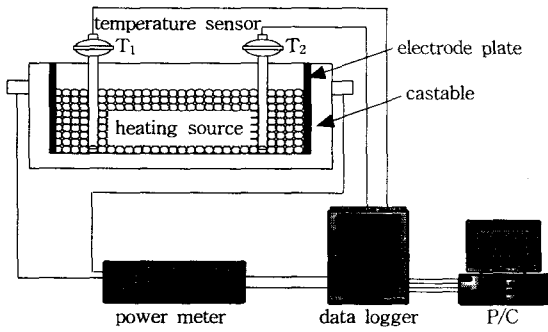


Fig. 1 Schematic diagram for experimental apparatus.

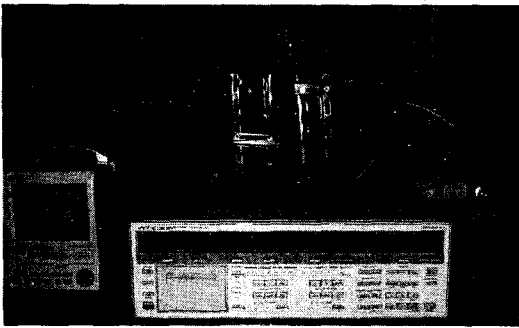


Fig. 2 Photography for experimental apparatus.

타블(castable)을 사용하여 발열체의 상승온도에 대하여 견딜 수 있도록 제작되었다. 발열체내부의 온도상승을 체크하기 위하여 B-type의 열전대 2개를 설치하였다. 발열체에 인가되는 전압, 전류, 역률 및 전력을 측정하기 위하여 파워메타를 설치하였다.

Fig.2는 본 실험에 사용된 실험장치의 사진을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 발열체의 내부에 2개의 열전대를 설치하기 위하여 앵글을 이용하여 지지대를 제작하였으며, 전류의 조정은 정전류공급용 콘트롤박스를 통하여 인가전류를 조정하였다. 그리고 발열로의 내면 크기는 가로×세로×높이가 125mm×280mm×125mm이며, 캐스타블의 두께는 18mm로 하였다.

3. 실험방법

본 실험에서는 발열체에 일정한 전류를 가하였

을 경우에 상승온도, 전기적 특성, 발열체의 소모량과 저항으로 인하여 발생하는 슈울열을 알아보기 위한 실험으로서 실험의 변수는 발열체량(300g, 400g, 500g)과 전류(5A, 10A, 15A)의 변화에 중점을 두고 실험을 행하였다.

각각의 발열체량과 전류에 대하여 2시간씩 실험을 행하여 그때의 발열체의 전압, 저항, 고유저항, 전력과 온도변화에 대하여 고찰하였다.

발열체의 양은 전자천평(LIBROR EB-403HU)를 이용하여 소수점 둘째자리까지 맞추었으며, 발열체 내부의 온도측정은 B-type의 열전대를 통하여 데이터로그(YOKOGAWA MV-100)를 이용하여 온도측정을 하였다.

발열체에 가해지는 전기는 단상 220V의 전압을 이용하여 정전류제어기를 통하여 전류를 제어하는 방식을 채택하였으며, 본 실험에서 사용된 전류는 교류이기 때문에 전압, 전류, 역률을 파워메타(Power meter : YOKOGAWA WT1030M)를 이용하여 측정을 하였다.

모든 실험의 데이터는 변수들이 미소하게 변하게 되므로 2초마다 하나의 데이터를 컴퓨터를 이용하여 저장하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig.3은 발열체의 실험전과 실험후의 사진을 비교한 것이다. 그림에서 보듯이 실험전의 사진에서 발열체는 모든 부분에서 산화의 현상을 확인할 수 없지만 실험 후의 사진에서는 중앙부분에서 발열체의 산화가 발생한 것을 확인할 수가 있다. 이것은 현재의 실험에서는 발열체를 실험하기 위한 가열로의 상부로 개방하여 실험을 하였기 때문에 발열체가 가열되는 동안 공기와의 접촉으로 인하여 산화반응을 일으켰기 때문이다.

Table.1은 발열체에 전류를 인가했을 때 실험전과 실험후의 발열체량의 변화에 대하여 나타낸 것이다. Table.1에서 알 수 있듯이 동일한 전류를 했을 경우 발열체의 양이 적을수록 발열체의 소모비율이 더욱더 커지는 것을 알 수 있다. 이것은 인가되는 전류의 양이 동일한 것에 비하여 상대적으로 발열체의 양이 작고 고온이 발생되므로 인하여 소모비율이 커지는 것이다.

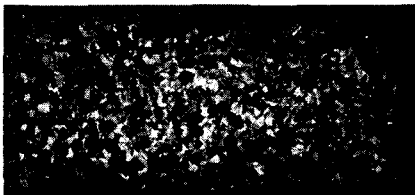
Fig.4는 인가전류가 5A와 15A일 경우에 대하여

Table 1. Variations of the carbon heating source amount after and before experimentation at I=5, 10 and 15A.

before Exp. (g)	current (A)	after Exp. (g)	waste amount (g)	waste rate (%)
300	5	286.52	13.48	4.49
	10	250.13	49.87	16.62
	15	218.23	81.77	27.26
400	5	388.95	11.05	2.76
	10	353.29	46.71	11.68
	15	327.12	72.88	18.22
500	5	493.69	6.13	1.26
	10	470.32	29.68	5.94
	15	438.67	61.33	12.27



(a) before experimentation



(b) after experimentation

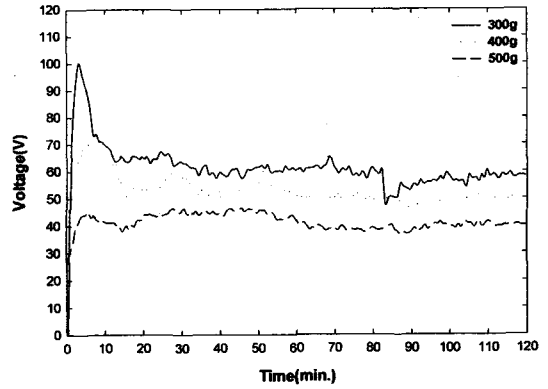
Fig. 3 Photography of carbon heating source with the before and the after experimentation.

시간에 대한 인가전압의 변화를 발열체량별로 나타낸 그림이다.

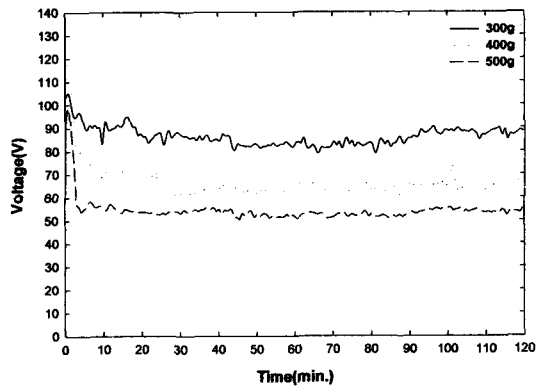
전류가 5A일 때보다는 15A일때가 전압의 진동 폭이 작아짐을 알 수 있었다. 이것은 아래의 옴의 법칙(Ohm's law)에 의하여 발열체의 저항이 비교적 안정됨을 의미한다.

$$V = IR \quad (1)$$

Fig.5는 인가전류가 5A와 15A일 경우의 발열체



(a) I=5A



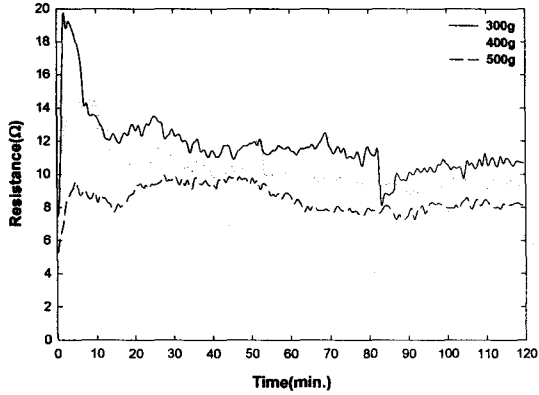
(b) I=15A

Fig. 4 Voltage distributions by timewise at I=5 and 15A.

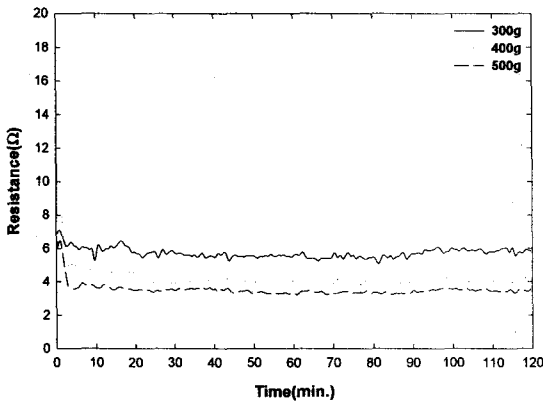
의 저항특성을 나타낸 그림이다. 저항값은 위의 옴의 법칙을 이용하여 구하였으며, 인가전류가 작을 경우에는 전압과 마찬가지로 저항적인 특성도 상당히 불안정하게 나타나고 있다. 그러나 인가전압이 큰 경우에는 저항의 특성이 매우 안정적으로 나타나고 있는 것을 알 수가 있다. 또한 인가전류가 커짐에 따라 반대로 저항값은 작아지는 것을 알 수가 있다. 그리고, 발열체의 양이 적을수록 저항값이 커지는 것을 알 수가 있었다.

Fig.6은 인가전압에 따른 고유저항의 값을 도식한 그림이다. 고유저항은 아래의 식에 의해서 도출하였다.

$$\rho = R \times \frac{A}{L} \quad (2)$$



(a) I=5A



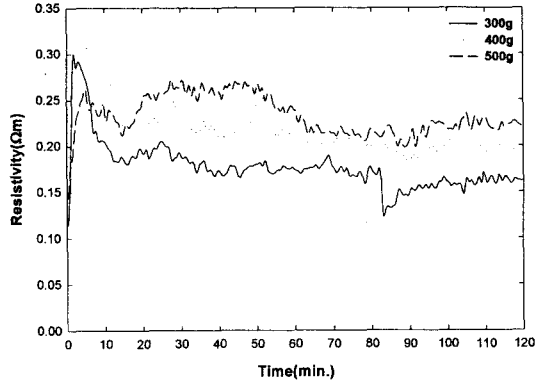
(b) I=15A

Fig. 5 Resistance distributions by timewise at I=5 and 15A.

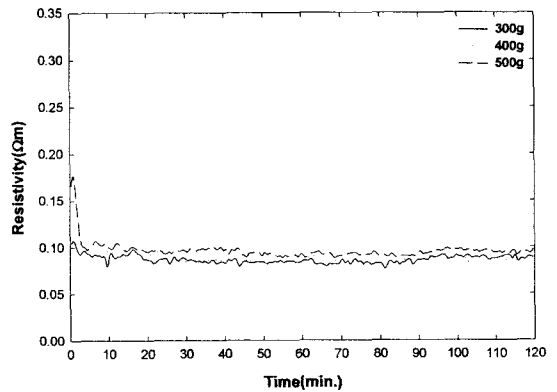
여기서 ρ 는 고유저항($\Omega \cdot m$), R은 저항(Ω), A는 전류방향에 수직인 단면적(m^2) 그리고 L은 길이(m)를 나타낸다.

고유저항의 값은 인가전류가 커짐에 따라서 저항과 같이 감소하는 현상을 보이나, 발열체의 양에 따라서는 저항과는 반대로 발열체의 양이 많을 때에 커지는 것을 알 수가 있다. 이것은 발열체의 양을 증가시키기에 따라 실험시의 로의 길이는 정해져 있고 그때의 단면적만이 증가하였기 때문에 위의 식에 의해서 고유저항은 발열체의 양이 많으면 커지는 것이다. 또한 발열체의 양에 따라서는 인가전압이 커질수록 발열체의 양에 따른 고유저항의 차이가 매우 작은 것을 확인 할 수 있었다.

Fig.7은 인가전류에 대한 온도분포를 시간에 대



(a) I=5A



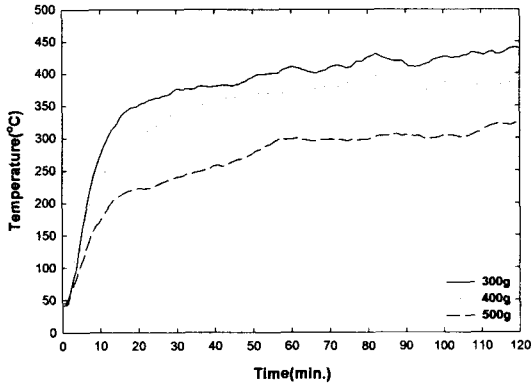
(b) I=15A

Fig. 6 Resistivity distributions by timewise at I=5 and 15A

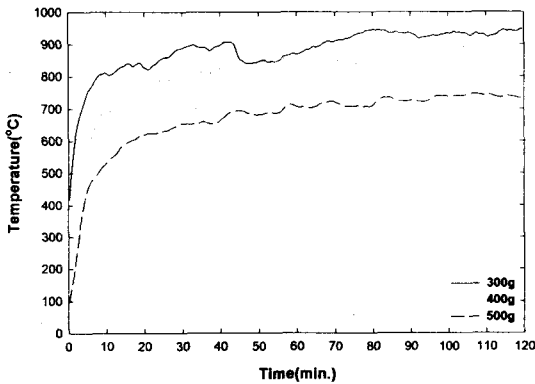
하여 도시한 그림이다. 그림에서 인가전류가 증가함에 따라서 온도도 같이 증가하는 현상이 나타남을 알 수 있지만 발열체의 양이 많을 때보다는 적은 경우의 온도가 더욱더 높게 나타나는 것을 알 수가 있다. 그 이유는 다음의 Fig.8에서와 같이 같은 전류에 대하여 발열체의 양이 적을수록 저항이 커지기 때문이다.

Fig.8은 인가전류에 따른 평균저항의 분포를 도시한 그림이다. 이전의 그림에서 보았듯이 저항값은 전류가 상승함에 따라서 작아지는 현상을 보임을 알 수 있었다.

Fig.9는 인가전류에 따른 평균고유저항의 값을 도시한 그림이다. 이 그림에서 인가전류가 증가함에 따라 고유저항의 값은 감소를 하지만 인가되는 전류가 작을 때에는 발열체의 양에 따라서 고유저항



(a) I=5A



(b) I=15A

Fig. 7 Temperature distributions by timewise at I=5 and 15A.

의 값이 차이를 보이고 있지만, 인가전압이 커질수록 발열체의 양에 따른 고유저항의 차이가 거의 없음을 확인 할 수 있었다. 이것으로 알 수 있는 것은 실험에서 사용된 발열체의 특성이 인가전류가 높아지면 높아질수록 고유저항은 발열체의 양과는 무관하게 일정하게 된다는 것을 보여주는 것이다. 따라서 인입전류가 크게되는 대용량의 가열 시스템에 있어서는 비교적 안정된 고유저항치를 구할 수 있어 발열체의 봉입형태에 따른 발열량의 예측이 가능하리라 생각된다.

Fig.10은 인가된 전류의 변화에 따른 평균온도의 분포를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 발열체의 량에 따라서 인가된 전류에 의해 거의 선형적으로 온도가 상승함을 확인할 수 있었다.

Fig.11은 인가전류의 변화에 따른 평균 유효열

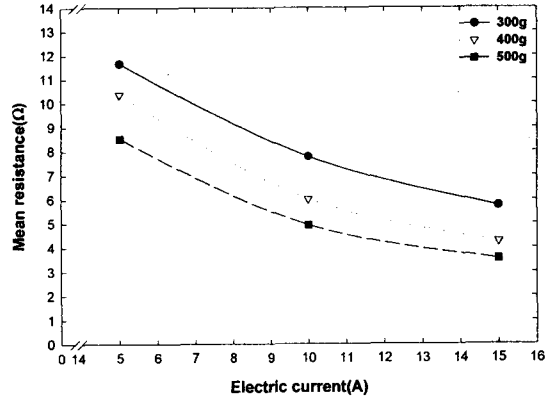


Fig. 8 Mean resistance distributions by current variations.

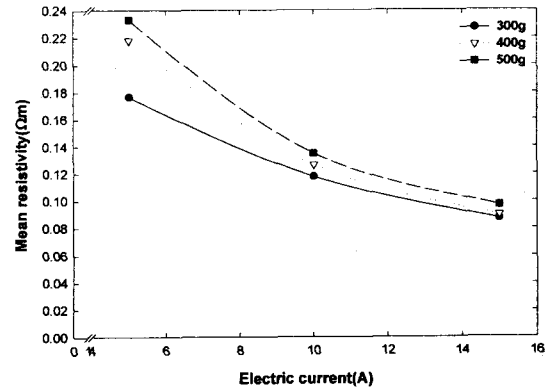


Fig. 9 Mean resistivity distributions by current variations.

(Joule Heat)을 다음의 식을 이용하여 도시한 그림이다.

$$Q = 0.86 \cdot I^2 \cdot R \text{ [Kcal/h]} \quad (3)$$

그림에서 보듯이 평균 유효열은 인가되는 전류가 커질수록 상승하는 것을 확인할 수가 있는데 이것은 앞에서 논의하였듯이 인가전압이 상승하게 되면 반대로 저항은 감소하는 현상이 나타나게 된다. 그러나 위의 식에서 알 수 있듯이 유효열은 전류의 제곱과 저항에 비례하여 증가하므로 저항보다는 전류에 더욱더 많은 영향을 받고 있음을 알 수가 있다. 또한 인가전류가 일정하다면 저항이 큰 재료를 쓰게 되면 많은 유효열을 얻을 수 있을 것이다.

발열체량에 따른 평균 유효열의 변화는 발열량

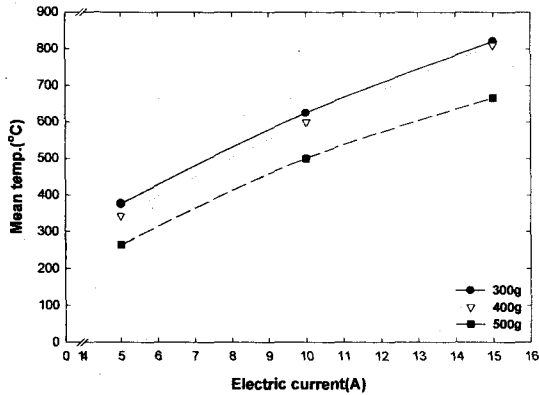


Fig. 10 Mean temperature distributions by current variations.

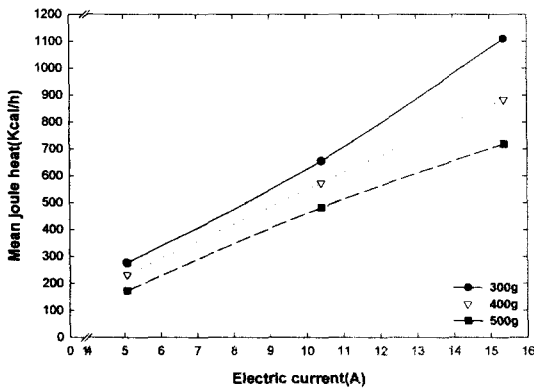


Fig. 11 Mean Joule heat distributions by current variations.

이 적을수록 커지는 것을 알수가 있는 데 이것은 이전의 결과에서 나타나듯이 동일한 전류를 흘렸을 때 감소되는 저항의 비율이 발열체의 양이 많을수록 크기 때문에 이러한 현상이 나타나는 것이다.

일반적인 전기 히터의 경우 전류에 의한 발열보다는 저항체(니켈, 크롬합금, 알루미늄합금등)를 이용하고 있으며 이들의 발열표면 온도는 약 700~800℃이다.

본 카본 발열체는 저항보다는 전류의 가감으로 고온을 획득할 수 있는 것으로서 적당한 인입전류와 탄소발열체의 량을 조절함으로써 1000℃ 이상의 고온을 획득할 수 있는 것으로 산업용으로의 이용이 대단히 유리하다.

5. 결론

본 실험은 소비전력량이 약 0.3~1.3KWh의 범위로서 비교적 소형 전열시스템의 발열특성을 조사하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 인가전류에 의한 발열체의 소모비율은 300g 일때가 가장 크다.
2. 인가전류 및 온도의 상승에 따른 발열체의 저항값은 작아진다.
3. 고유저항값은 발열체량에 관계없이 높은 인가전류에 대해서는 동일한 값을 나타내고 있다.
4. 주열열은 인가전류에 대하여 발열체의 양이 적을수록 커진다.

후기

본 연구는 2001년도 두뇌한국21사업에 의한 지원과 (주)부풍과의 중소기업 기술혁신개발사업(카본 발열체를 이용한 전기 온풍기의 개발)의 일부 결과이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 김원백, 심건주, 장대규, 서창열, 1997, "이규화 물리브덴 고온발열체의 제조에 관한 연구", 한국재료학회지, Vol. 7, No. 9, pp.763~771.
- (2) 박현철, 김재원, 백운규, 최성철, 1999, "성형미세구조가 반응소결 탄화규소체의 소결미세구조 및 기계적 특성에 미치는 영향", 한국세라믹학회, Vol. 36, No. 1, pp.97~105.
- (3) 일본특허청, "발열체를 이용한 소각장치 및 발열로", 평성 11-082980.
- (4) 일본특허청, "전기저항 발열체의 제조방법", 소화 62-37511
- (5) 일본특허청, "전기저항 발열로 및 전기 저항 발열체의 제조방법", 평성 7-49185.
- (6) 노상수, 정귀상, 1997, "알루미늄산화막을 매개층으로 이용한 백금 미세발열체의 제작과 발열특성", 한국전기전자재료학회, 추계학술대회 논문집, pp.331~334.