

입상 탄소 발열체의 열원을 이용한 온풍기의 적용에 관한 연구 A Study on Application of Warm Air Circulator by Using the Carbon Heating Element with Particle Type

배강열 · 이광성 · 공태우 · 정한식 · 정효민 · 정희택

K. Y. Bae, K. S. Lee, T. W. Kong, H. S. Chung, H. Y. Jeong and H. T. Chung

Key Words : Carbon Heating Source(탄소발열체), Sheath Heater(시즈히터), Warm Air Circulator(온풍기), Joule Heat(주울열)

Abstract : This paper is a study on application of warm air circulator by using the carbon heating element with particle type. The main variables are the input current and amount of carbon heating source for experimental characteristics. The experimental results are obtained as follows. As the input current and temperature are increased, the resistance of heat source is decreased about 20~25% by the effect of negative resistance. As the amount of heating source is small, Joule heat is large with the input current. When the amount of heating source is 300 and the input current is 15A, the value of Joule heat is about 4604.6kJ/h. The heat production efficiency of carbon heating source is larger about 10% than the sheath heater.

기호 설명

γ : 비중량(specific weight : N/m³)

a : 출구단면적(outlet area : m²)

C : 유량계수(flow coefficient)

C_p : 정압비열(constant pressure specific heat : kJ/kg/K)

g : 중력가속도(gravity acceleration : m/s²)

Δh : 차압(pressure difference : mmH₂O)

I : 전류(electric current : A)

L : 길이(length : m)

P : 전력(electric power : kW)

q : 열량(calorie : kW)

Q : 주울열(Joule heat : kJ/h)

Q_0 : 공기유량(flow rate of air : m³/s)

R : 저항(resistance : Ω)

V : 전압(voltage : V)

ρ : 밀도(density : kg/m³)

ϵ : 팽창계수(expansion coefficient)

Subscripts

in : 입력(input)

l : 왼쪽출구(left outlet)

o : 출구(outlet)

p : 정압상태(state of constant pressure)

r : 오른쪽 출구(right outlet)

t : 총합(total)

1. 서 론

에너지는 인간생활을 보다 효율적이고 안락하게 하여 삶의 질을 향상시켜주는 데 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 많은 에너지의 소비와 함께 환경오염으로 인한 제재를 받고 있는 상태이다.

이에 많은 국가에서는 탄소, 이규화물리브덴등을

접수일 : 2003년 6월 30일

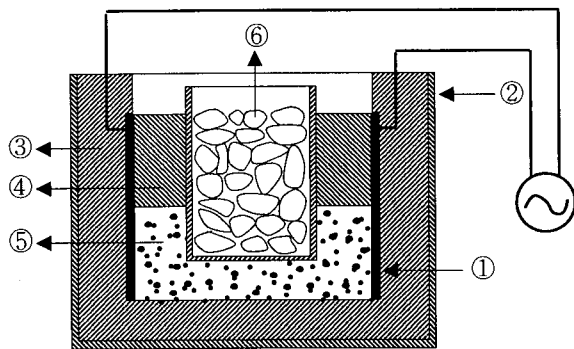
배강열(책임저자) : 경상대학교 기계항공공학부

E-mail : kybae7@yahoo.co.kr, Tel : 055-646-4766

정한식, 정효민, 정희택 : 경상대학교 기계항공공학부

이광성, 공태우 : 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

이용하여 유류를 대체할 수 있는 고온의 발열체의 제조가 이루어지고 있다¹⁾. 특히 우리나라와 근접한 일본에서는 탄소입자에 여러 가지의 분말을 소결 후 촉진제를 사용한 발열체의 제조와 함께 발열체의 응용 분야에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다^{2,3)}. 그러나, 우리나라의 경우 발열체에 관한 연구가 진행되고는 있는 실정이지만 아직까지 탄소를 이용한 발열체의 열적, 전기적특성등에 관한 자료가 매우 부족한 상태이다^{4~6)}.



- ① : electrode ② : outside wall
- ③ : adiabatic material
- ④ : resistant heating source(upper layer)
- ⑤ : resistant heating source(lower layer)
- ⑥ : non-carbonizing material

Fig. 1 Schematic diagram for the manufacture of carbon heating source

본 연구에서는 탄소발열체(carbon heating source)의 인가전류와 시간변화에 따른 온도특성, 저항특성 및 고유저항과 발열량등의 특성을 파악하였다. 또한, 발열체를 온풍기에 적용시켜 기존의 니크롬선 히터(sheath heater)와 성능을 비교하여 탄소 발열체의 산업체의 적용에 대한 가능성을 찾고자 한다.

2. 탄소발열체의 제조방법 및 물리적 특성

Fig. 1은 탄소발열체를 제조하기 위한 로의 개략도를 도시한 그림이다. 로는 그림과 같이 배전 전극이 구성된 로체와 로 내부에 상하로 적층상태로 충전한 상층용 저항발열체 및 하층용 저항 발열체로 구성된다. 상층용 발열체는 탄화 미립자와 소정의 온도 이상으로 도전화(導電化)하는 무기질 내열재의 혼합물 소성재를 분쇄하여 얻은 분말이고, 하층용 저항 발열

체는 목탄등을 분쇄한 평균 1mm 내지 5mm의 탄소 입상물체로 구성된다. 로체의 내부에 배치한 배전 전극에 전기를 통하고 그 사이에 있는 상층용 저항 발열체 및 하층용 저항 발열체를 저항 발열시켜 냉각 후 이들 혼합물을 분쇄하여 분말물질을 선별하여 목탄의 전기 저항 발열체를 제조한다.

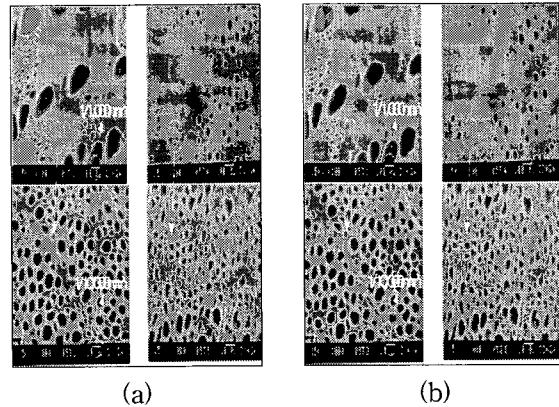


Fig. 2 An enlarged photo of the general charcoal(a) and the carbon heating element(b) by SEM

다음의 Fig. 2는 보통의 목탄과 열처리된 목탄의 확대사진(SEM: Scanning Electron Microscope, 주사전자 현미경)이다. 즉 일반 목탄의 경우에는 10µm~20µm의 구멍이 생성되고 이를 열처리하면 10µm 미만의 구멍만 생성된다. 그리고, 일반 목탄의 경우 단위 체적당 구멍의 표면적은 열처리전과 열처리 후는 각각 7.3mm²/mm³, 4.5mm²/mm³으로서 열처리 후가 약 1.6배 고밀도화 되고 있음을 알 수 있다. 이는 경도가 2~3배로 증가함과 동시에 약 3000℃까지 내열성을 갖는 다공체(Porous Body)의 탄소 저항체로서 역할을 한다.

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 2가지의 경우에 대하여 실험을 진행하였다. 첫 번째로 기본적인 탄소발열체의 전기적, 열적특성을 파악하였으며, 두 번째로 탄소발열체의 산업용 온풍기에 적용하여 기존의 시즈히터와 성능을 비교하였다.

3.1 기본성능실험

Fig. 3은 발열체의 성능 평가를 위한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 발열체로(Furnace)의 재질

은 캐스타블(Castable)을 사용하여 발열체의 상승온도에 대하여 견딜 수 있도록 제작되었다. 발열체내부의 온도상승을 조사하기 위하여 B-type의 열전대 2개를 설치하였다. 발열체에 인가되는 전류를 일정하게 제어하기 위하여 정 전류 제어장치를 이용하여 일정한 전류를 인가하였다. 발열체 통전시의 인가전류 및 발열체의 저항변화를 측정하기 위하여 파워메타(Power meter : YOKOGAWA DT200)를 설치하였다.

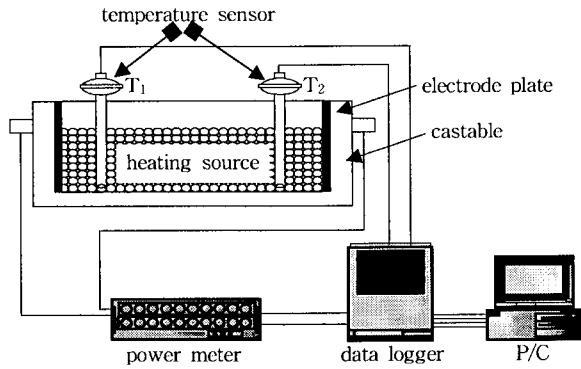


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

본 실험에서는 발열체에 일정한 전류를 가하였을 경우에 발열체의 상승온도, 전기적특성, 발생하는 주울열을 알아보기 위한 실험으로서 실험의 변수는 발열체량(300g, 400g, 500g)과 전류(5A, 10A, 15A)의 변화에 중점을 두고 실험을 진행하였다. 각각의 발열체량과 전류에 대하여 2시간씩 실험을 행하여 그 때의 발열체에 인가되는 전압, 저항과 온도상승의 변화에 대하여 고찰하였다.

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

3.2 산업용온풍기 적용 실험

Fig. 4는 온풍기적용인 경우의 실험장치 개략도를 나타낸 것이다. 온풍기 상부에 설치된 흡입형 송풍기의 구동에 따라 수직상부에 위치한 흡입구를 통하여 외부공기가 유입되고 가열부를 통하여 공기는 가열된다. 가열된 공기는 2개의 배출구를 통하여 외부로 방출된다. 상부의 흡입공기유로는 내경 600mm, 길이 1,200mm의 원형덕트로 되어있고 하부의 배출공기 유로는 직경이 각각 300mm인 원형 덕트가 온풍기 본체 좌우에 부착되어 구성된다. 또한, 온풍기의 입구와 출구에는 T-type의 열전대를 설치하여 시간에 대한 연속적인 온도를 측정하였다.

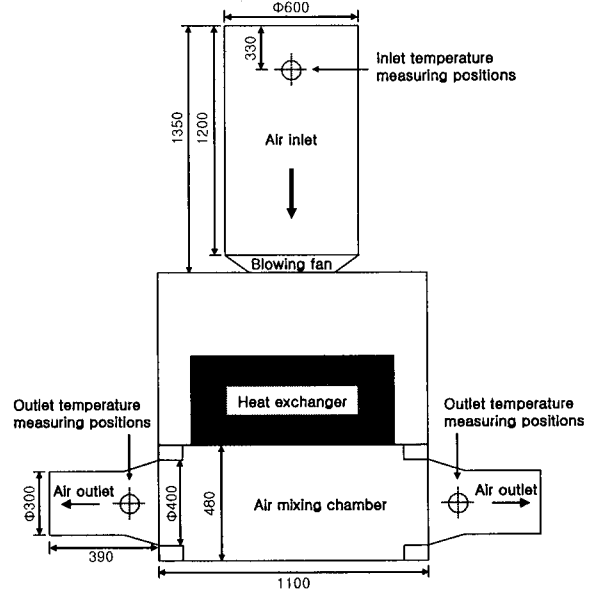


Fig. 4 Warm air circulator with a carbon element heater

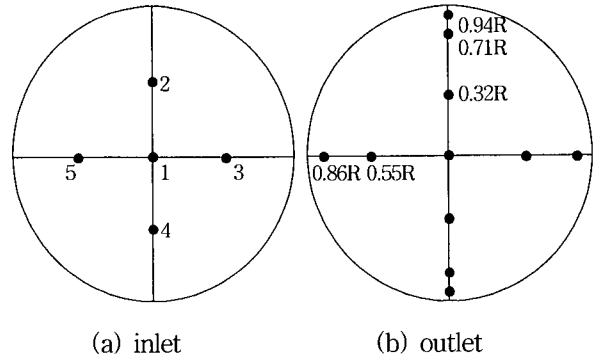


Fig. 5 Thermocouple positions of inlet and outlet

Fig. 5는 온풍기의 흡입구 및 토출구의 온도 측정점을 나타내고 있다. 흡입공기의 평균온도는 상부의 흡입공기 유로에서 330mm 떨어진 지점에 5개의 열전대를 설치하였다. 배출공기의 온도측정은 하부의 원형덕트에서 좌우로 약 100mm 떨어진 곳에 면적평균법에 따라 각각 10개의 위치를 선정하여 열전대를 부착하였다⁷⁾.

Fig. 6과 7은 실험장치의 가열부에 설치된 입상의 탄소 발열체로와 비교실험을 위한 전기히터(sheath heater)를 나타낸 그림이다. 실험은 1시간 이상 가동하여 정상상태가 유지된 것을 확인한 후 진행하였다. 입구 및 출구의 온도는 측정점의 값을 평균하여 구하였으며, 공기유량의 측정은 오리피스(orifice)형 유량계를 사용하였으며 최적의 균일한 유동상태로 만들어 주기 위해서 오리피스 전단에 허니콤(honeycomb)을

설치하였고 오리피스 후단은 충분한 길이의 덕트를 유지시켰다. 또한 오리피스 전후단의 차압(presure difference)은 아날로그형 마이크로 마노미터를 통해 측정되었다.

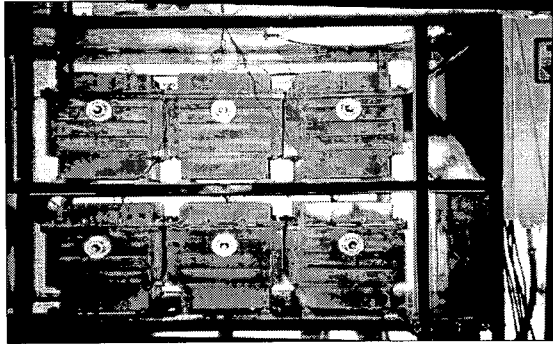


Fig. 6 Photograph for furnaces of the carbon heating elements

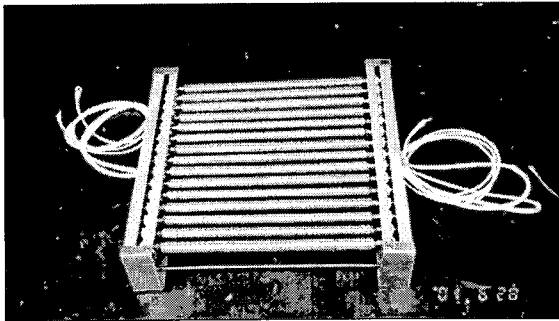


Fig. 7 Photograph for sheath heater

4. 실험결과 및 고찰

4.1 탄소 발열체의 전기적·열적 특성

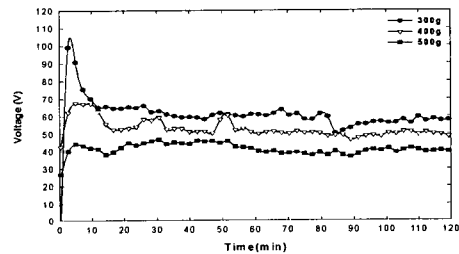
Fig. 8은 인가전류가 5A와 15A일 경우에 대하여 시간에 대한 인가전압의 변화를 발열체의 양에 따른 그림이다. 전류가 5A일 때보다는 15A일 때가 전압의 진동폭이 작아짐을 알 수 있었다. 이것은 아래의 옴의 법칙(Ohm's law)에 의하여 발열체의 저항이 비교적 안정됨을 의미한다.

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

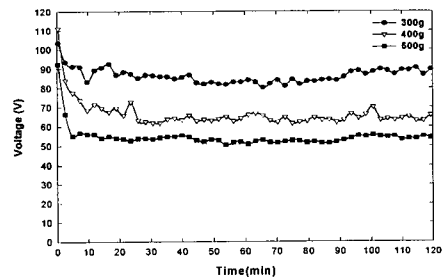
Fig. 9는 인가전류가 5A와 15A일 경우의 발열체의 저항특성을 나타낸 그림이다. 저항값은 위의 옴의 법칙을 이용하여 구하였으며, 인가전류가 작을 경우에는 전압과 마찬가지로 저항적인 특성도 상당히 불안정하게 나타나고 있다. 그러나 인가전류가 큰 경우에는 저항의 특성이 매우 안정적으로 나타나고 있는 것

을 알 수가 있다. 그것은 탄소발열체는 입상의 작은 알갱이로 이루어져 있기 때문에 인가되는 전류가 작을 경우에는 인가전류가 큰 경우보다 입상의 발열체 사이에 전류가 흐르는 양이 적기 때문에 심한 아아크가 발생하게 된다. 따라서, 동일한 탄소발열체량에 대하여 인가전류가 큰 경우가 저항이 더욱더 안정되게 나타나는 것이다.

또한 인가전류가 커짐에 따라 반대로 저항값은 작아지는 것을 알 수가 있는데 이것은 탄소가 탄화규소와 함께 대표적인 반도체의 성분이기 때문이다. 반도체는 일반적으로 전력을 인가하게 되면 정해진 지점까지 저항이 감소하다가 일정하게 되는 부성저항의 특성을 가지고 있다. 그리고, 발열체의 양이 적을수록 저항값이 커지는데, 고유저항과 저항과의 상관식에서 저항은 발열체의 횡단면적에 반비례하기 때문에 발열체의 양이 적을 경우에는 저항이 커지는 것이다.



(a) $I=5A$

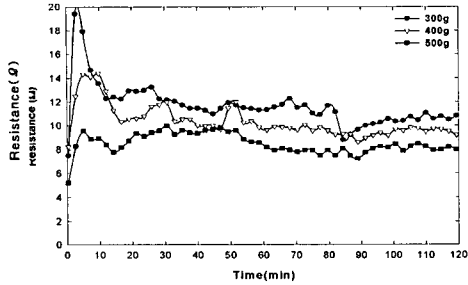


(b) $I=15A$

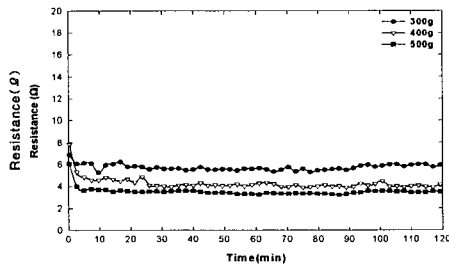
Fig. 8 Voltage distributions by timewise at $I=5$ and 15A

Fig. 10은 인가전류에 대한 탄소 발열체의 온도분포를 시간에 대하여 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. 11에서와 같이

같은 전류에 대하여 발열체의 량이 적을수록 저항이 커지기 때문이다.

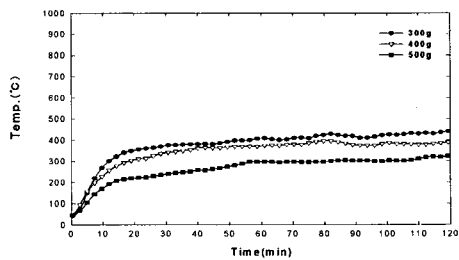


(a) $I=5A$

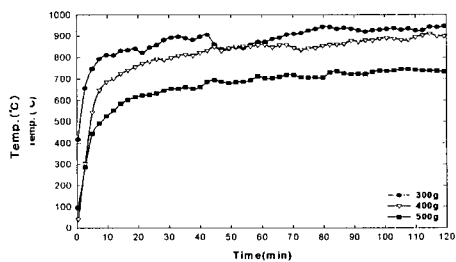


(b) $I=15A$

Fig. 9 Resistance distributions by timewise at $I=5$ and $15A$



(a) $I=5A$



(b) $I=15A$

Fig. 10 Temperature distributions by timewise at $I=5$ and $15A$

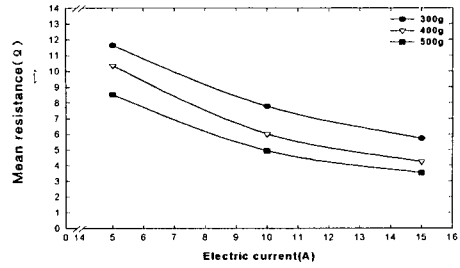


Fig. 11 Mean resistance distributions by current variations

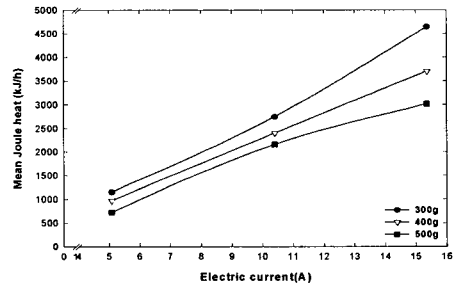


Fig. 12 Mean Joule heat distributions by current variations

Fig. 11은 인가전류에 따른 평균저항의 분포를 도시한 그림이다. 이전의 그림에서 보았듯이 저항값은 전류가 상승함에 따라서 작아지는 현상을 보이고 있음을 알 수 있었다. 이것은 탄소의 경우 부성저항을 가지고 있기 때문이 이러한 현상이 발생하는 것이다.

Fig. 12는 인가전류의 변화에 따른 평균 주열열 (Joule Heat)을 다음의 식을 이용하여 도시한 그림이다. 그림에서 보듯이 평균 주열열은 인가되는 전류가 커질수록 상승하는 것을 확인할 수가 있다.

$$Q = 0.86 \cdot I^2 \cdot R \quad (2)$$

이것은 앞에서 논의하였듯이 인가전압이 상승을 하게 되면 반대로 저항은 감소하는 현상이 나타나게 된다. 그러나 위의 식에서 알 수 있듯이 주열열은 전류의 제곱과 저항에 비례하여 증가하므로 저항보다는 전류에 더욱더 많은 영향을 받고 있음을 알 수가 있다. 또한 인가전류가 일정하다면 저항이 큰 재료를 쓰게되면 많은 주열열을 얻을 수 있을 것이다. 발열체량에 따른 평균 주열열의 변화는 발열량이 적을수록 커지는 것을 알 수가 있는데 이것은 이전의 결과에서 나타나듯이 동일한 전류를 흘렸을 때 감소되는 저항의 비율이 발열체의 양이 많을수록 크기 때문에

이러한 현상이 나타나는 것이다. 본 탄소 발열체는 저항보다는 전류의 가감으로 고온을 획득할 수 있는 것으로서 적당한 인입전류와 탄소발열체량을 조절함으로써 1000℃이상의 고온을 획득 할 수 있는 것으로 산업용으로의 이용이 대단히 유리하다.

4.2 산업용 온풍기 적용 결과

산업용 온풍기의 경우에는 운전을 시작하여 정상상태에 도달한 시점으로부터 1시간 동안의 값들을 측정하여 최종적인 평균값을 이용하여 결과를 내었다. 최종적으로 탄소 발열체와 금속 발열체와의 입력대비 출력의 열효율을 구하는 것에 초점을 맞추었다. 실험에 사용된 입력전기는 탄소 발열체의 경우에는 28.88kW이고, 시즈히터의 경우에는 21.59kW의 전기를 입력하였다.

Fig. 13은 탄소 발열체와 시즈히터를 사용하였을 때의 입구, 출구 및 입출구의 온도차를 도시한 그림이다. 두 발열체의 경우 입구부분에서는 동일한 온도의 공기가 유입하여 출구측의 온도는 탄소 발열체의 경우가 약 62℃로서 시즈히터에 비하여 약 14℃정도 높은 출구 온도를 보였다.

Fig. 14는 온풍기의 좌우측 출구와 전체적인 열량을 탄소 발열체와 시즈히터에 대하여 나타낸 그림이다. 전체 및 좌우측의 입구에서의 열량은 아래의 식에 의해서 구해진 것이다. 그리고 식 (5)는 오리피스 유량계에 의한 유량식을 나타내었다.

본 그림에서 좌우측 출구에서의 총 열량은 탄소 발열체의 경우 28.23kW이고, 시즈히터의 경우 18.8kW의 토출열량을 각각 보이고 있다.

$$q_t = q_l + q_r \quad (3)$$

$$q_l + q_r = (\rho \times Q_o \times C_p \times \Delta T)_l + ((\rho \times Q_o \times C_p \times \Delta T)_r) \quad (4)$$

$$Q_o = C \times \epsilon \times a \times \sqrt{2g \times \frac{\Delta h_o}{\gamma_o}} \quad (5)$$

Fig. 15는 탄소발열체와 시즈히터의 입력대비 출력에 대한 효율은 식(6)에 의하여 구한 것이다.

$$\eta = \frac{q_t}{P_{in}} \quad (6)$$

탄소발열체의 경우에는 출력 28.23kW, 입력이 28.88kW로서 열효율이 97.7%로 평가되었고, 시즈히터의 경우 출력 18.80kW, 입력 21.59kW로서 열효율은 87.1%로 평가되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 탄소 발열체에 대한 기본적인 열방출 특성을 조사하였으며, 기존의 시즈히터와 비교 검토하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

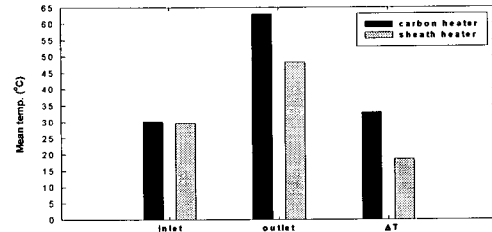


Fig. 13 Mean temperature of inlet outlet and Δ T for the carbon and sheath heaters

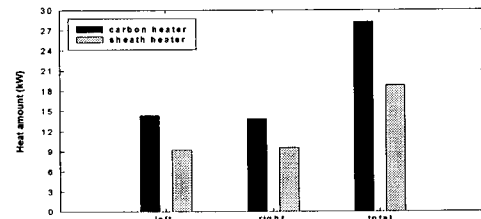


Fig. 14 Heat amount of outlet(left and right) and total

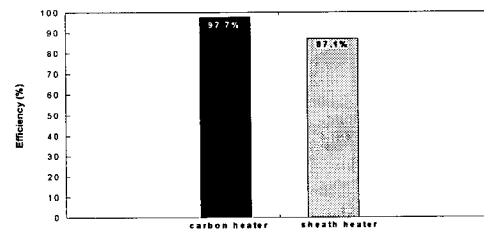


Fig. 15 Efficiency for carbon and sheath heaters

- 부성저항의 영향으로 인가전류 및 온도의 사용에 따른 발열체의 저항값은 20~25% 감소하였다.
- 주울열은 인가전류에 대하여 발열체의 양이 적을 수록 커지며, 발열체량이 300g이고 전류가 15A일 때 주울열은 약 4604.6kJ/h으로 나타났다.
- 탄소발열체의 열효율은 97.7%이고, 시즈히터의 열효율은 87.1%로 나타났다. 따라서, 탄소발열체가

시즈히터에 비하여 10%정도의 높은 효율을 타나내고 있어 탄소발열체 온풍기의 성능이 기존 시즈히터 발열의 온풍기 성능에 비하여 우수한 것으로 나타났으며, 각종 산업현장에서의 가능성을 확인할 수 있었다.

후 기

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

참고 문헌

1. 김영진, 김덕운, 1994, “비금속 발열체”, 재료공학 핸드북, 한국사전연구사, pp. 1767~1804.
2. 일본특허청, 1995, “전기저항 발열로 및 전기 저항 발열체의 제조방법”, 특원평5-193770.
3. 일본특허청, 1999, “전기로용 전기저항발열체 및 그와 같은 저항요소의 제조법”, 특원평 11-190140.
4. 노상수, 정귀상, 1997, “알루미늄산화막을 매개층으로 이용한 백금 미세발열체의 제작과 발열특성”, 한국전기전자재료학회, 추계학술대회 논문집, pp. 331~334.
5. 김원백, 심건주, 장대규, 서창열, 1997, “이규화 몰리덴 고온발열체의 제조에 관한 연구”, 한국재료학회지, 제9권, 제7호, pp. 763~771.
6. 박현철, 김재원, 백운규, 최성철, 1999, “성형미세구조가 반응소결 탄화규소체의 소결미세구조 및 기계적 특성에 미치는 영향”, 한국세라믹학회지, 제1권, 제36호, pp. 97~105.
7. 한국표준협회, 2002, “공기 분배 및 공기 확산-공조 덕트에서 공기 유량측정법에 대한 규정”, 한국산업규격, KS M ISO 5221.