

친환경 에너지 절감형 전기온풍기 기구설계

설용태*

¹호서대학교 디스플레이공학부

Electric Fan Heater Design for Eco-Energy Saving

Yong-Tae Sul^{1*}

¹Division of Display Engineering, Hoseo University

요약 친환경에너지에 대한 요구가 높아지면서 전기에너지의 사용은 계속 증가하고 있다. 최근 친환경, 에너지 절약을 위해서 유도가열을 이용한 여러 가지 가열방식에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 전자유도현상을 이용한 유도가열방식을 이용하여 보다 친환경적이고 에너지 절감이 가능한 전기온풍기를 설계 제작하였다. 온풍기는 송풍부, 유도가열부 및 전력변환부 등 3부분으로 구성하였다. 유도가열부는 송풍부에 결합되어 송풍부로부터 발생한 바람이 가열되어 분출되며, 전력변환부는 고주파를 인가하여 자속을 발생시킴으로써 유도가열부의 내부를 가열시킨다. 발열방식은 유도가열의 원리를 적용하고, 전력변환효율성을 높이기 위해 공진형 인버터를 사용하였다. 공진형 인버터는 풀브리지 전압형 직렬부하 공진형 인버터를 사용하였다. 유도가열부는 세라믹 계열의 절연체와 SUS40계열의 금속체를 사용했으며, 전력변환부는 정류부, 필터부 및 공진형 인버터부 등으로 구성 하였다. 본 연구에서 제안한 전기온풍기는 기존의 전기히터와 가스히터 등과 비교한 결과, 온도 상승속도가 빠르고, 사용에너지 비용이 절감되는 등 경제성도 있음을 보였다. 개발된 전기온풍기는 가정용, 상업용 및 농업용 등 여러 분야에 친환경 에너지절감형 온풍기로의 적용 가능성이 있다.

Abstract As the Eco-energy is recently required, electrical energy is fast increased. Several induction heating methods are attractive for Eco-energy and energy saving. In this paper, electrical fan heater was designed and developed with new concept for energy saving by electromagnetic induction heating. Proposed system was composed of three module, blast part, induction heating part and power transformation part. Induction heating method was adapted for heating and the resonant inverter was used for increasing of the power transformation efficiency. Full-bridge resonant inverter was adopted to resonant inverter. This system was composed of induction heating part made with metal(SUS 40 series), and power transformation part made with rectifier module, filter module and resonant inverter. From these results, the proposed new electric heater could be saved the energy from faster increasing the temperature compared to commercial gas and other electric heater. This electrical fan heater is possible to be used in field of home, commercial and agricultural area for eco-energy saving heater.

Keywords : Eco-Energy, Electrical Fan Heater, High Frequency. Induction-Heating, Resonant Inverter.

1. 서론

일반적으로, 소득수준이 향상되면서 겨울철에 보다 쾌적하고 깨끗한 실내 환경을 원하는 소비자의 요구가 커지고 있다. 따라서 석유나 가스를 연료로 사용하여 산소를 소비하고 연소가스가 발생하는 기존의 온풍기보다

훨씬 쾌적한 전기 온풍기에 대한 관심이 크게 증가하고 있다.

기존의 전기 온풍기는 주로 니크롬선을 사용한 발열 온풍기 방식이 친환경의 전기식으로 바뀌고 있다.

그러나 기존의 일반 전기 온풍기는 구조적으로 발열체와 공기의 접촉 면적과 열전도율이 작아 온풍기의 열

*Corresponding Author : Yong-Tae Sul(Hoseo Univ.)

Tel: +82-41-540-5653 email: ytsul@hoseo.edu

Received February 11, 2016

Revised (1st March 14, 2016, 2nd March 22, 2016, 3rd March 28, 2016)

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

공급 능력과 에너지 효율이 낮아 많은 전력을 소비하는 단점이 있다.

본 연구에서는 친환경적이면서 에너지 비용을 절감하기 위한 전기온풍기를 제작하였다.

제안된 시스템은 크게 송풍부, 유도가열부, 전력변화부로 구성하였으며 유도가열부는 세라믹 계열의 절연체와 SUS 40계열의 금속체를 사용하였는데, 세라믹 재질로 형성된 파이프 형상을 갖는 몸체의 내주면 상하부에 상부안착턱과 하부안착턱이 형성되며, 이에 다수 개의 홈이 형성된 발열매체가 상부안착턱과 하부안착턱에 안착되어 지지되도록 구성하였다. 이때, 발열매체의 내부에는 다수 개의 발열편을 포함시킬 수 있으며, 발열매체는 다양한 형상으로 제작할 수 있으나 송풍부로부터 이송된 바람이 용이하게 통과되도록 제작하고, 발열매체 및 발열편은 자성을 갖는 SUS 40 계열의 금속체로 구성하였다.

전력변환부는 입력되는 AC전원을 DC전원으로 변환시켜주는 정류부, 입력전원의 노이즈를 필터링해주는 필터부, 고주파를 인가하여 자속을 발생시킴으로써 유도가열부의 내부를 가열시키는 공진형인버터 등으로 구성된다. 또한 공진형인버터의 주파수를 제어하는 제어부와 상기 공진형인버터의 출력값을 제어부로 전달하는 PID 제어기를 포함하여 이루어진다.

개발된 전기온풍기와 기존의 가스히터와 전기히터 등의 에너지소비 비용들과 비교하여 그 효율성을 입증하였다.

2. 본론

2.1 유도가열의 원리

유도가열(Induction-Heating)은 Michael Faraday의 전자 유도현상을 이용한 것으로 가열 코일에 고주파 교류전류가 흐를 때 발생하는 고주파 교류자계 중에 도전성의 금속물질을 위치시키면 금속물질의 표면에 유도와 전류(Eddy Current)가 발생하여 금속의 표피저항에 의한 주울(Joule)열이 발생하게 되는 원리이다.

Fig. 1과 같이 가열하고자 하는 도체에 코일을 감고 이 코일에 고주파 교류전류를 흘리면 도체 내에는 고주파 자속이 발생한다.

이 자속은 전류의 교변에 의해 히스테리루프를 그리

게 되며, 이 현상이 발생하면 자성체는 발열하여 온도를 상승시키는데 이것을 히스테리시스손실(Hysteresis Loss)이라 한다.

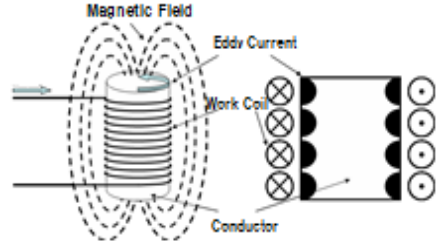


Fig. 1. Concept diagram of induction heating

이 손실의 크기는 자성체에 따라 다르지만 면적이 클수록 손실이 크며 이 손실은 다음 식(1)과 같다.

$$P_h = \eta f B_m^{1.5} V [W] \tag{1}$$

여기서, η : Hysteresis 계수, f : 주파수, B_m : 최대자속밀도 [T], V : 철심의 체적[m³]이다.

이 도체 내에는 전자유도작용에 의하여 코일 내에 있는 금속은 변압기의 2차 권선에 기전력이 발생하는 것과 같이 유도전류가 발생하여 와전류가 흐르게 되며, 이 와전류는 금속의 단면 각부에 균일하게 흐르는 것이 아니고 금속의 표면에 집중적으로 흐르게 되며 내부로 갈수록 지수 함수적으로 감소하게 된다. 이 와전류가 임의의 저항을 가진 도체 내를 흐르면 그 도체 내에 주울 열이 발생하며 이것을 와전류손실(Eddy Current Loss)라고 하며 식(2)와 같다.

$$P_e = \frac{(\pi f a B_m)^2 V}{4\rho} [W] \tag{2}$$

여기서, a : 철심의 반지름[m], f : 주파수[Hz], B_m : 최대자속밀도[T], ρ : 저항률[Ω/m], V : 철심의 체적[m³]이다.

와전류는 금속의 표면에 집중하므로 전류의 침투깊이는 식 (3)과 같이 주파수에 반비례함으로써 금속의 표면 가열을 할 수 있다.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} [m] \tag{3}$$

여기서, δ : 침투깊이[m], σ : 전도도[U/m], μ : 투자율 [H/m]이다.

원주 금속 내를 흐르는 유도전류는 표면에 가장 강하게 발생하고 내부로 갈수록 지수 함수적으로 감소하는 것이 특징으로, 이러한 경향은 전원의 주파수가 높을수록 현저하다. 이러한 열의 대부분은 위의 식으로 표현되는 δ (Skin Depth)내에 분포하게 되며 δ 는 유도가열의 여러 응용분야에서 인버터 동작 주파수를 결정하는 주요한 요소가 된다[1].

2.2 전기온풍기 기구설계

2.2.1 전체구성도

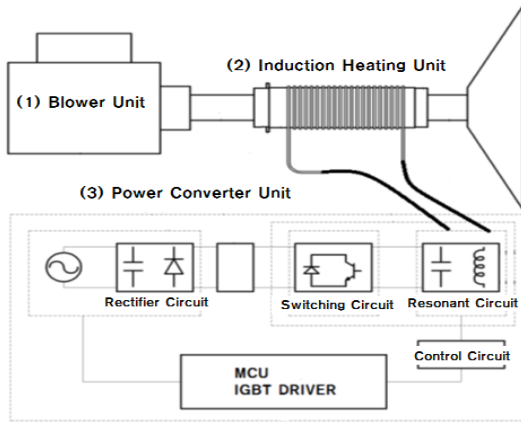


Fig. 2. Block diagram of proposed electric fan heater

온풍기는 Fig. 2와 같이 크게 송풍부(1), 유도가열부(2) 및 전력변환부(3) 등 3부분으로 구성하였다. 유도가열부는 송풍부에 결합되어 송풍부로부터 발생된 바람이 가열되어 분출되며, 전력변환부는 고주파를 인가하여 자속을 발생시킴으로써 유도가열부의 내부를 가열시킨다.

먼저 유도가열부는 한쪽에 유입부가 결합되고 다른 쪽에 배기부가 결합되며, 유입부 및 배기부와 내부가 연통되고 외주면의 상하부로 각각 단턱이 형성되는 몸체가 있다. 여기에 상기 몸체의 외주면 단턱에 결합되는 절연매체 및 절연매체의 외주면에 권선되는 코일 등을 포함하여 구성된다.

또한 유도가열부에서는 송풍부에 결합되어 송풍부로부터 발생된 바람이 가열되어 밖으로 분출된다. 그리고 전력변환부에서는 고주파를 인가하여 자속을 발생시킴으로써 유도가열부의 내부를 가열시키는 역할을 한다.

이때, 유도가열부는 내부에 바람의 이송방향으로 홀이 형성되며, 내주면에 상부안착턱과 하부안착턱이 구비된 몸체에 바람의 이송에 간섭되지 않도록 형성되어 상부안착턱과 하부안착턱에 결합된다. 또한 자성을 갖는 SUS 40 계열의 금속체로 이루어진 발열매체와 몸체의 외주면에 권선되어 전력변환부와 연결된 코일로 구성되어 있다.

전력변환부는 입력되는 AC전원을 DC전원으로 변환시켜주는 정류부와 입력전원의 노이즈를 필터링해주는 필터부 및 고주파를 인가하여 자속을 발생시킴으로써 유도가열부의 내부를 가열시키는 공진형인버터 등으로 구성된다. 공진형인버터는 주파수를 제어하는 제어부와 공진형인버터의 출력값을 제어부로 전달하는 PID제어기로 이루어져 있다.

2.2.2 유도가열부

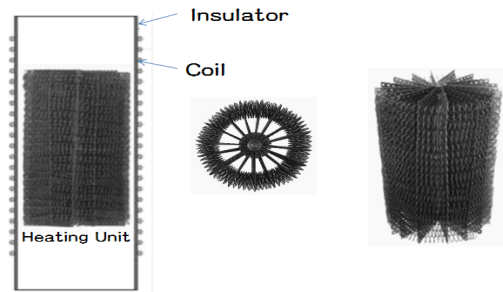


Fig. 3. Induction heating module

유도가열부의 개요도는 Fig. 3과 같다. 먼저 유도가열부는 그림과 같이 세라믹 제질로 형성된 파이프 형상을 갖는 몸체의 내주면 상하부에 상부안착턱과 하부안착턱이 형성되며, 이에 다수 개의 홀이 형성된 발열매체가 상부안착턱과 하부안착턱에 안착되어 지지되도록 구성하였다.

이때, 발열매체의 내부에는 다수 개의 발열편을 포함시킬 수 있으며, 발열매체는 다양한 형상으로 제작할 수 있으나 송풍부로부터 이송된 바람이 용이하게 통과되도록 제작하고, 발열매체 및 발열편은 자성을 갖는 SUS 40 계열의 금속체로 구성하였다.

또한, 몸체의 외주면에는 몸체의 내주면에 안착 결합된 상기 발열매체의 상하 길이에 대응되는 길이로 코일 또는 릿즈와이어를 감아 형성된다.

유도가열부는 한쪽에 내부에 길이 방향으로 홀이 형성된 유입부가 결합되고, 다른 쪽에 내부에 길이 방향으로 홀이 형성된 배기부가 결합된다. 유입부와 배기부의 홀과 연결되어 통하도록 내부에 홀이 형성된 몸체의 외주면에는 상하부에 각각 단턱이 형성되며 하부에는 안착턱이 더 형성되어 있다.

단턱에는 절연성질을 갖는 절연매체가 결합되며, 절연매체의 외주면에는 절연재가 코팅된 릿츠와이어(코일)이 감겨져 있다.

이때, 몸체의 내부에는 별도의 발열매체가 결합되지 않으며, 몸체가 자성을 갖는 SUS 40 계열의 금속체로 이루어져, 몸체 자체가 발열매체의 역할을 하게 되어 릿츠와이어가 감겨진 상하 길이만큼 상기 몸체가 유도가열된다.

2.2.3 전력변환부

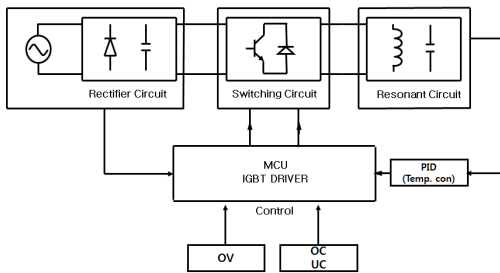


Fig. 4. Power transformation module block diagram

전력변환부는 Fig. 4와 같다. 먼저, 전력변환부는 입력되는 AC전원을 DC전원으로 변환시켜주는 정류부, 입력전원의 노이즈를 필터링해주는 필터부, 고주파를 인가하여 자속을 발생시킴으로써 유도가열부의 내부를 가열시키는 공진형인버터 등으로 구성된다. 또한 공진형인버터의 주파수를 제어하는 제어부와 상기 공진형인버터의 출력값을 제어부로 전달하는 PID제어기를 포함하여 구성된다.

정류부에는 AC220/110[V]인 상용전원으로부터 유입되는 정상잡음을 차단하는 입력라인 필터부가 연결된다. 필터부에는 교류전류를 정류하는 브릿지 모듈형태의 정류기가 연결되어 구비되는 동시에 상기 공진형인버터는 전력변환용 반도체 스위칭소자인 IGBT 또는 MOS FET와 스버너회로로 구성된다. 또한, 스위칭된 고주파를 코일로 전달하는 공진형인버터는 코일을 공진부하(인덕터)로 사용하고, 세라믹 콘덴서가 구비된다.

이때, 공진형인버터의 출력 값을 제어부로 전달하는 PID제어기가 더 구비되고, 제어부는 DSP(Digital Signal Processor)를 사용하며, 공진형인버터의 출력값에 따라 공진주파수를 20~50[kHz]로 제어하여 온도를 조절한다. 주파수가 낮을수록 최대값이 출력되어 온도가 높아지며, 주파수가 높을수록 최소값이 출력되어 온도가 낮아진다. 또한, 제어부는 이상전압, 이상전류 및 온도값에 따라 회로를 개폐시키도록 동작한다.

즉, 공진점이 초과되면 L값과 C값이 변하기 때문에 발산현상이 일어나 주파수가 낮아지게 되고 과전류가 흐르게 되는데, 이는 주파수가 낮아짐에 따라 이를 보상해 주기 위해 전류치가 올라가기 때문이며, L값의 특성이 바뀌면서 전류치가 상승하게 되므로, 이에 따라 전류값을 감지하여 처리하게 된다.

본 시스템은 제어버튼을 통해 원하는 온도로 설정하여 온풍기를 가동시키게 되면, 코일에 전원이 인가되어 자속을 발생시키면서 몸체 내부에 안착된 발열매체가 가열되며, 팬모터를 통해 이송된 바람이 발열매체를 통해 가열되어 송풍부를 통해 송풍구로 배출된다.

또한, 사용자가 원하는 온도로 설정하면, 제어부와 연결된 제어버튼을 통해 주파수를 조절하고, 이를 통해서 공진형인버터의 주파수가 조절되어, 온도를 조절하여 송풍시키게 된다.

2.2.4 고주파 공진형 인버터회로

Fig. 5는 고주파인버터로서 풀-브리지 전압형 직렬부하 공진형 인버터를 나타내는데 이것은 절연과이프의 두께, 내부의 공진발열체의 소재 그리고 가열 유체계에 의해 변화하는 인덕턴스와 저항분으로 구성되는 전기회로 모델로 볼 수 있다.

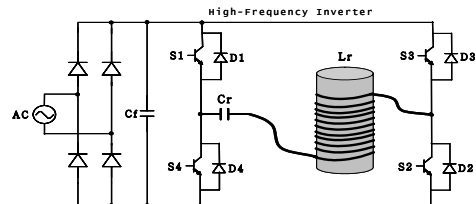


Fig. 5. Circuit of full-bridge resonant inverter

실제로 동작코일과 피가열 물체계 사이에 정합 트랜스가 사용되는데 R-L부하와 L을 보상하는 C로부터 직렬공진 회로계를 위한 고효율 운전을 위하여 인버터의 동작 주파수 선정이 매우 중요하다. 이는 R-L회로에 직

렬보상 C를 사용하여 R-L-C직렬부하 공진회로 부하계를 구성하는데 발열체를 극한정도까지 가열하지 않으면 전기회로 정수는 거의 변화하지 않기 때문에 R-L회로계로 볼 수 있으므로 직렬부하보상 커패시터 C는 R-L부하계의 L을 보상하는 최적 동조 조건에서 사용 가능하였다[2].

대전력 스위칭 회로에서는 상부(위쪽 IGBT)와 하부(아래쪽 IGBT)의 압쇼트에 의해서 관통전류가 발생하게 된다. 관통전류가 발생하는 원인은 푸쉬-풀 드라이빙(push-full driving)시 소자의 턴 오프 지연(turn off delay)이 발생하여 위, 아래상이 순간적으로 동시에 온되기 때문이다. 따라서 보통 위상과 아래상의 스위칭 사이에 수[μs]의 불감시간대를 고의로 발생시키게 되며 이 불감시간을 데드타임이라고 한다. 대개 IGBT의 경우에는 2~3[μs]정도를 사용하며, 스위칭 속도가 좀 더 빠른 MOSFET의 경우에는 1~1.5[μs]정도를 사용한다[3-4].

단상 풀-브리지 인버터의 실제 회로구성은 그림 5와 같이 서로 독립적으로 스위칭 할 수 있는 2개의 레그(leg)로 이루어진다. 각 레그의 구성과 동작은 단상 하프-브리지 인버터에서와 같게 되며 각 레그의 전압이 구형파이고 두 레그 전압이 180° 위상차가 되도록 제어할 때, 인덕터 L을 부하로 갖는 단상 풀-브리지 인버터의 출력전압 v_o 는 크기가 Vdc인 구형파가 된다. 인덕터 L에 구형파의 전압이 인가되면 부하전류 i_o 는 v_o 가 Vdc인 동안은 증가, v_o 가 -Vdc인 동안은 감소된다[5].

전압형 인버터로 구성된 유도가열 장치는 출력을 조절하기 위해 스위칭 주파수보다 높은 주파수로 스위칭하여 인가전압에 따른 회로내의 전류위상이 지연되어 상대적으로 무효전력의 양이 가감되며, 부하를 공진형으로 구성하여 공진주파수보다 높은 주파수로 스위칭하면 자동적으로 턴-온 시에 영전압 스위칭(Zero Voltage Switching)을 구현할 수 있는 장점이 있다. 그러나 스위칭 주파수가 높아질수록 손실이 증가하므로 보조회로를 사용하거나 스위칭 제어방식을 조정하여 손실을 저감시킬 수 있다[6-7].

2.3 성능시험 결과분석

Fig 6은 제작한 온풍기 전체적인 모습으로 가열코일 내부에 발열체가 삽입되어 있고, 5.5[m³/min]의 최대풍량을 가지는 송풍기에 의해 출구 쪽에서 열풍이 발생하게 된다.



Fig. 6. Prototype of the proposed electric fan heater

본 연구의 실험은 3가지의 난방제품들로 설정하였는데, Fig. 6과 같이 본 연구로 제작한 유도가열 전기온풍기와 기존의 사무실용 전기히터 및 가스히터 등이다.

실험공간에서 난방 실험결과와 온도평균은 Table. 1과 같고 외부온도는 유도가열 실험이 7.1[°C], 전기히터 8.0[°C], 가스히터 7.5[°C]로 외부온도 오차는 ±0.2[°C]이다.

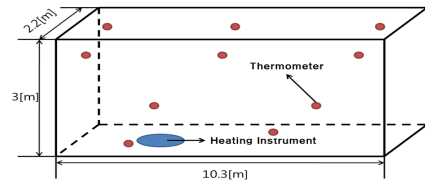


Fig. 7. Tempt. measurement points

Fig. 7은 실험공간의 온도 측정시험 포인트를 나타낸 것이다. 10개의 온도계를 설치하여 측정하였으며 평균을 내어 Table 1의 실험결과를 도출하였다.

Table 1. Tempt. measurement data [°C]

Heater Type	A (proposed Heater)	B (Electric Heater)	C (Gas Heater)
Time[0min]	13.34	14.63	13.72
40	22.51	21.46	22.08
80	23.39	22.55	23.12
120	23.86	23.07	23.97
180	24.41	23.55	25.38
240	25.17	24.01	26.26
300	25.12	24.55	26.58

Table 1은 제안한 전기온풍기의 온도 상승속도를 기존 전기히터와 가스히터 등과 비교한 것이다. 여기에서 보면 히터가동 후 40분까지의 온도 상승폭이 기존 전기히터와 가스히터가 각각 6.83[°C], 8.36[°C]인데 비해서

제안한 전기히터는 9.17[°C]로 기존 제품에 비해서 더 빠른 시간 내에 실내온도를 올릴 수 있음을 알 수 있다.

또한 겨울철 실내 적정온도인 23[°C]까지 도달하는 시간도 제안한 전기히터는 약 60분이 소요된 반면, 기존 전기히터와 가스히터는 각각 110분, 70분 정도가 걸렸다. Table 2에서는 3가지 난방장치의 연료비 경제성을 비교하였다.

이는 겨울철 실내 적정온도인 23[°C], 하루 평균 4회 사용하는 것으로 하였고, 전기요금은 기본요금 410원과 [kWh]당 60원(100[kWh]), 그이상은 누진세 적용), 가스히터의 경우 0.38[kg/h]의 연료소모에 [kg]당 2,000원을 기준으로 하였다.

Table 2. Energy cost data

Heater Type	energy consumption	1 day cost [₩]	1 month cost [₩]
A	3[kWh]	410+(60x3x4) = 1130	66,100
B	5.5[kWh]	410+(60x5.5x4) = 1730	265,750
C	0.44[kg]	2000x0.44x4 = 3520	105,600

먼저 목표온도 도달까지 사용된 에너지량은 A, B, C 히터가 각각 3[kWh], 5.5[kWh], 0.44[kg]이었으며, 하루 사용량은 4회 기준 각각 12[kWh], 22[kWh], 1.76[kg], 1개월 사용량은 각각 360[kWh], 660[kWh], 52.8[kg]으로 이를 1개월 사용기준으로 비용을 비교하면, A, B, C 히터는 각각 66,100원, 265,750원, 105,600원으로, 제안한 전기히터가 기존 전기히터에 비해서는 75.2[%], 가스히터에 비해서는 37.5[%]의 비용 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 전기의 경우 누진세가 적용되어 그 차이는 심함을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 보다 친환경적이고 에너지 절약이 가능한 전기온풍기를 설계 제작하였다. 발열방식은 유도가열의 원리를 적용하고, 전력변환효율을 높이기 위해 공진형 인버터를 사용하였다.

유도가열부는 세라믹 계열의 절연체와 SUS40계열의 금속체를 사용했으며, 전력변환부는 정류부, 필터부 및 공진형 인버터 부등으로 구성하였다.

본 연구에서 제안한 전기온풍기는 기존의 전기히터와 가스히터 등과 비교한 결과, 온도 상승속도가 빠르고, 사용에너지 비용이 절감되는 등 경제성도 있음을 보였다.

향후 지속적인 새로운 구조의 제안과 스위칭 손실 및 노이즈대책, 내열성 절연재료의 고성능화에 대한 실증적 연구도 필요하다.

References

- [1] S. M. Jang, S. H. Lee, H. C. Park, "Electromagnetic Induction Heating and Its Application", Proceedings of KIEE, vol.50, No.2, pp. 9, Feb, 2011.
- [2] Y. T. Sul, E. Y. Lee, H. M. Kwon, "Induction heating superheater by new heat exchange method", KAIS, vol.10, No.4, pp. 740-746, 2009.
- [3] H. S. Kim, "New Soft switching high frequency inverter for induction heating", Kyungnam University, Theses, pp. 1-10, 2008.
- [4] H. Kifune, Y. Hatanaka, M. Nakaoka, "Quasi-series-resonant-type-soft-switching phase shift modulated inverter", IEEE Proc. Electric Power Appl., vol.150, No.6, pp. 725-732, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/ip-epa:20030558>
- [5] Y. J. Kim, D. C. Shin, K. H. Kim, Y. Uchihori, Y. Kawamura, "Fluid Heating System using High-Frequency Inverter Based on Electromagnetic Indirect Induction Heating", ICPE'01, pp. 69-74, Oct, 2001.
- [6] Jose M. Burdío, et al, "Asymmetrical voltage-cancellation control for full-bridge series resonant inverters", IEEE Trans. on Power Electronics, vol.19, No.2, pp. 461-469, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2003.823250>
- [7] W. S. Shin, H. C. Park, "Inverter for Induction Heating using Simultaneous Dual-Frequency Method", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, vol.16, No.2, pp. 554-560, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6113/TKPE.2011.16.6.554>

설 용 태(Yong-Tae Sul)

[정회원]



- 1984년 8월 : 한양대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1984년 5월 ~ 1985년 2월 : 한국전자기술연구소 선임연구원
- 1985년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 전기공학과/디스플레이공학부 교수

<관심분야>

전기공학, 반도체 디스플레이장비