

고효율 유도가열 전열장치 개발에 관한 연구

조현섭*

The Study of Induction Heating Apparatus with High Efficiency

Hyun-Seob Cho*

요약 에너지 절약형 전열제품 개발은 유가상승에 따라 국가의 최대 현안으로 꼽히고 있다. 따라서 최근에는 이러한 문제점들을 대처하기 위해 전기를 이용한 난방장치에 대한 에너지의 효율적 사용측면에서 경제성과 안정성을 높이기 위한 지속적인 연구 연구개발이 이루어지고 있고, 특히 고성능 및 신기능 소재에 대한 기술개발이 활발히 이루어지고 있다. 본 논문은 에너지 전달특성이 우수한 전열제품 개발에 관한 것으로 고효율 유도가열 장치에 관한 연구이다. 유도 가열은 전자유도현상을 이용한 것으로 기존의 전도나 대류와 같은 열전달 방식과는 전혀 다르게 중간매질이 없이 피가열물에 직접 흡수되어 열로 전환되므로 급속, 균일하게 가열시키는 특징을 가진다. 또한 고주파 유도가열은 다양한 구조 설계가 가능하므로 가열 발열체를 적절히 활용하면 피가열물만을 집중가열 하는 것이 가능하다.

Abstract Energy-saving heat depending on the country's rise in oil prices up to the product development is regarded as pending issues. Therefore, in recent years, been a continuing research studies developed for increasing the economic efficiency and reliability achieved in effectively using the side of the energy for heating using electrical to address these problems and, in particular made active the technology developed for high performance and renal material becoming. This paper is to study the development of highly efficient induction heating device according to the excellent heat transfer characteristics for energy transfer. Induction heating is used as the phenomenon of electromagnetic induction, such as heat transfer conduction or convection of the existing methods are no different. Medium heat without beating is absorbed directly into the water column switched rapidly, have features that heats evenly. In addition, high-frequency induction heating in a variety of frame designs. Heating element heats only when utilized properly, it is possible to heat the focus.

Key Words : High Efficiency, Induction Heating, Infrared, Energy-saving, Waves, Electromagnetic induction

1. 서론

석유자원의 고갈과 고유가시대를 맞이하여 고효율 전열기술 개발을 통한 에너지 절약이 절실해지고 있다. 특히 기후변화협약, 온실가스 배출규제 등에 따른 국제적 규약은 에너지 대량소비로 인한 환경침해를 막고 나아가 에너지의 효율적 이용을 유도하는 장치가 되고 있는 상황이다[1]. 에너지

절약은 국내에 국한된 문제가 아니라 지구촌 전체의 현안으로 대두되면서 선진국을 비롯한 각국은 에너지 절약형 산업용기기의 개발에 심혈을 기울이고 있으며, 이를 통한 기술선점과 더불어 시장 확보경쟁이 치열한 실정이다. 현행 대부분의 매트나 돌침대는 매트나 침대 밑으로 열선이 들어가는 열선방식으로 이 열선에서 자계(자기장)가 발생하고 있으며 전원이 연결되어있지 않아도 발생할 수

This Paper was supported by research Fund of Chungwoon University in 2015.

*Corresponding Author : Dept of Digital Broadcast Engineering Chungwoon University(chohs@chungwoon.ac.kr)

Received March 30, 2016

Revised April 8, 2016

Accepted April 15, 2016

있는 여건을 갖추고 있다. 이러한 전자파 차단방법은 근본적인 해결이 아닌 임시방편에 지나지 않으며 근본적인 차단을 위해서는 열선을 제거해야 하는 맹점을 지니고 있다. 따라서 이를 고주파 유도가열을 가열원으로 사용할 경우 에너지 효율이 높고 전도나 대류 가열보다는 피가열물을 균일하게 가열시킬수가 있어 고품질의 제품생산이 가능하다. 또한 유도가열 방사체의 다양한 구조 설계가 가능하므로 유도가열 방사체를 적절히 활용하면 피가열물만을 집중가열(Spot heating)하는 것이 가능하다[2]. 유도가열 전열기술은 식품, 제약 분야로 급속하게 확대되고 있고, 적외선, 마이크로 웨이브 복합 가열기 보급이 시작단계에 있다[3].

2. 고효율 유도가열 열전소자 개발

2.1 열전소자 코팅 히터 형상 설계

시즈 히터는 금속파이프 속에 코일장의 발열체를 고도의 전기 절연성과 열전도성을 가지는 내열 절연체를 충전 봉입하여 금속파이프와 절연체 발열선을 일체적으로 구성하고 금속파이프 양단에 단자부로 구성된다[3]. 충전에 의하여 금속파이프가 발열하는 시즈 히터는 진동, 충격등 기계적 강도가 뛰어나고 고도의 열효율과 고온다습한 곳에서도 절연 저하가 일어나지 않는 등 기계적, 전기적, 열적등 우수성을 갖춘 발열체로 여러 형태의 가공이 가능하므로 많은 용도에 대응하는 발열체 형태나 형상으로 가공 제작할 수 있는 폭넓은 용도성을 갖고 있다[4,5].

공기가열 (Air , Gases), 액체가열 (water, oil) , 고체가열 (CH , AL, Fe)및 기타 직접 가열방식으로 튜브의 재질 열선 재질, 절연체의 구성에 따라 고온에서 저온으로 가열하는 곳에 광범위하게 사용된다[5,6].

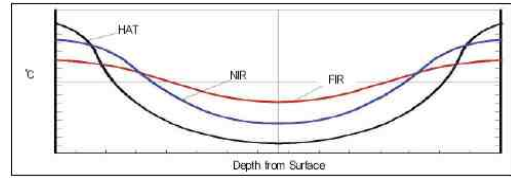


그림 1. 가열에너지원별 피가열물의 깊이별 온도가열 분포특성

Fig. 1. Avoid deep water heating energy sources by heating temperature heat distribution characteristics

그림 1을 바탕으로 에너지효율이 높은 유도가열방식에 의해 가열함으로써 과거 시즈 히터를 이용한 유도가열 전열장치를 개발하고, 연속가교를 위한 터널형 고주파 유도가열 가교장치의 상용화 연구를 통하여 기존 일반 전열선 가열방식에 의한 가교제품보다 에너지절감 효율이 30% 이상인 제품을 개발하고자 한다.

2.2 유도가열 시스템의 설계

유도가열은 전자유도현상을 이용한 것으로 가열코일에 고주파 교류전류가 흐를 때 발생하는 고주파 자기장에 도전성을 가지는 금속을 놓으면 금속에 식 (1)의 유기기전력이 발생되고 이로 인하여 금속의 표면에 와전류가 유기되어 표피저항에 의해 $P = I^2 R [W]$ 의 전력 크기만큼 주열 열을 발생시키는 원리이다. 이러한 열의 대부분은 식 (2)로 표현되는 표피두께 내에 분포하게 되며, δ 는 유도가열의 인버터 동작주파수를 결정하는 중요한 요소가 된다[3].

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 \times 10^{-7}} \cdot \frac{\rho}{\mu_r f}} \tag{2}$$

여기서 ρ : 저항률[$\Omega \cdot m$], μ_r : 비투자율, f : 주파수[Hz]

이 도체 내에는 전자유도 작용에 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 집중

적으로 흐르게 되며 내부로 갈수록 지수 함수적으로 감소하게 된다. 이 와전류가 임의의 저항을 가진 도체 내를 흐르면 그 도체 내에 주울열이 발생하며 이것이 와전류 손실로 식 (3)과 같다[4].

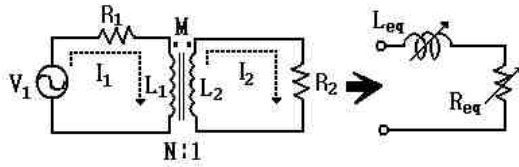
$$p = \frac{(\pi faBm)^2 V}{4\rho} [W] \quad (3)$$

여기서 π : 철심의반지름[m], f : 주파수[Hz], Bm : 최대자속밀도[T], ρ : 저항률[Ω/m], V : 철심의 체적[m^3]이다.

일반적으로 유도가열시스템은 가열코일과 부하를 각각 1, 2차측으로 하는 변압기등가 모델로 표현할 수 있다. 이 등가회로 모델은 그림 3과 같이 하나의 등가인덕턴스 L_{eq} 와 등가 저항 R_{eq} 의 직렬연결로 나타낼 수 있다.

그림2의 등가회로를 풀어 정리하면 식(4)와 같다.

$$\frac{V_1}{I_1} = R_{eq} + jwLeq$$



(4)

그림 2. 유도가열 시스템의 등가회로

Fig. 2. The equivalent circuit of induction heating system

한편 식(4)에서 등가화된 파라메타 L_{eq} , R_{eq} 는 가열 부하의 크기와 위치, 가열코일과 부하사이의 거리, 부하의 도전율과 투자율, 동작주파수 등에 의해 변하게 된다. 또한 변압기 2차측 저항 R_2 는 와전류의 침투깊이에 의해 결정되므로 식 (5)와 같다. 실제 유도 가열에 의해 발생하는 출력전력은 저항과 전류의 관계에 의해서 식 (6)으로 표현 된다[5].

$$R_2 = \frac{\rho}{\delta} \sqrt{\pi\rho\mu f}$$

$$P = I_2^2 R_2 \quad (5)$$

$$P = (NI_1)^2 \cdot \sqrt{\pi\rho\mu f} \quad (6)$$

여기서 N : 가열코일의 턴수, $I_2 = NI_1$ 이다.

2.3 고효율 난방 시스템 설계

난방 시스템을 구성하는 부품은 크게 열전소자와 방열기로 이루어진다. 이러한 부품에 대한 설계 인자와 관련이론들을 살펴보면 다음과 같다. 열전현상(Thermoelectric effect)은 열과 전기사이의 에너지 변환을 의미하며 변환소자의 양단에 온도차이가 있을 때 소자 내부의 캐리어가 이동함으로 기전력이 발생하는 현상으로 현재 약 10%이상의 변환효율을 가지고 있다. 이러한 열전은 양단간의 온도차를 이용하여 기전력을 얻어내는 제백(Seebeck)효과, 기전력으로 냉각과 가열을 하는 펠티에(Peltier)효과, 도체의 선상의 온도차에 의해 기전력이 발생하는 톰슨(Tomson)효과로 나눌 수 있으며 재료분야가 핵심기술이나 제품화과정의 시스템기술이 더욱 부각되고 있다[7,8]. 특히, 효율을 극대화하기 위해서, 본 연구에서는 고주파 유도가열기와 시즈 히터를 조합하여 원통형 도체판을 가열해 보았다. 그 결과 유도가열에 의한 도체판이 가열되어 순간 고효율 열에너지를 방출한다.

피가열체의 유동 특성 및 체적에 따른 히터의 용량과 효율을 고려하여 제작한 실험한 결과는 다음과 같다. 히터의 용량을 작게 유지하면서 물의 승온 온도를 좀더 효율적으로 올리기 위하여 씨즈 히터의 모양은 그림 3과 같이 둥근 형태로 트위스트 모양으로 설계 제작하였다. 이는 직선형이나 U자형으로 제작하는 것보다 같은 용량으로 물의 접촉하는 표면적을 집중적으로 열에너지를 전달하기 위한 것이다. 본 연구의 전기유도로의 경우에는 그림 1에서와 같이 유도코일이 1차측이고, 환봉에 해당하는 코일의 턴수가 1이 되는 2차측인 경우이며, 1차측에 유입된 전력만큼 2차측에 최대 전류로 유기된다.

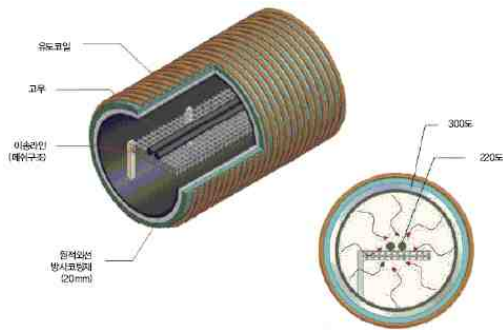


그림 3. 유도가열 열전 소자

Fig. 3. Induction heating thermoelectric devices

3. 고효율 유도가열 세라믹 발열체 제작

각 발열체의 실험 설비는 기본적으로 수조 골격, 제어함과 알루미늄 프로 파일을 이용한 외형틀로 이루어져 있으며, 표시부는 디지털 표시 방식을 통하여 제어함의 겉 뚜껑에 진압, 진류와 전력 및 온도를 표시하도록 하였고, 제어부는 TPR를 채용하여 돌입전류와 최고 허용 전류를 제한하도록 그림 4와 같이 제작하였다. 특히 고감응 유도가열 발열체의 열용량을 최소화하고 세라믹 발열선에서 발생한 열이 방사면 방향으로 빠르게 전달될 수 있도록 제작하였다.

(1) 출력부 제작

출력부는 변압기를 사용하여 0, 30, 35, 40, 45, 50V Tap 전압으로 설계하여, 유도가열 세라믹 발열체와 흑연 단자와 연결 시 발생하는 접촉저항에 따라 Tap 전압을 변환하여 출력 전력을 제어하기 위하여 제작하였다. 특히 인버터는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하는 장치로 본 실험설비에 가장 적합한 풀-브릿지 인버터를 이용하였다

(2) 외함 제작

외함은 알루미늄 프로 파일 골격을 이용하여 설계·제작하였고, 제어함의 크기는 700(w)×900(h)×230(d)로 내부에 제어부, 변압기, 출력부들을 제작 배치하였다. 알루미늄 프로파일은 900(w)×1350(h)×450(d)의 크기로 설계·제작하였다.

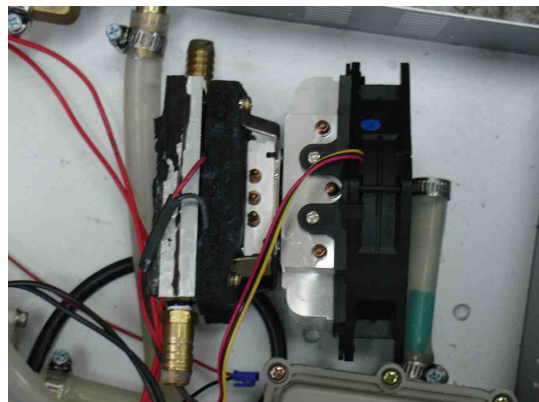


그림 4. 유도가열 열전소자 전체 조립도

Fig. 4. Induction heating is also full thermoelectric element assembly

(3) 수조통 제작

기본적으로 내부에 유도가열 발열체를 넣을 수 있는 발열통이 배치되어 있으며, 외장형과 내장형으로 설계·제작하였다. 이에 따라서 발열통의 크기와 형태는 약간씩 변화되어 졌지만, 기본적으로는 루미보드의 크기에 따라 제작하였다.

수조 통은 그 크기에 따라 약간씩 변화되어지지만, 물 용량 10ℓ가 채워지고, 온도가 올라감에 따른 물의 부피 상승에 따른 여유분이 발생하도록 설계·제작하였다. 물의 상승 온도를 감지하기 위하여 수조통 내부에 온도센서를 삽입한 형태를 취하였다. 따라서 소규모 유도가열에 효과 적이며 급속 균일 가열 및 정밀 열제어가 요구되는 가열분야에서 적용될 경우 우수한 효과를 거둘수 있다.

4. 결 론

고효율 유도가열 전열장치의 경제성 평가를 위해 물의 승온 및 보온력을 측정하였다. 일반 전열선 가열발열체는 전력을 투입하고 10분까지는 분당 약 0.2 ~ 0.3℃씩 상승하였다. 그러나 유도가열 세라믹 발열체가 발열이 이루어진 후 즉, 10분이 초과된 후부터는 분당 0.9 ~ 1.0℃씩 상승하였다. 물의 온도가 70℃에 이르는 시간은 약 70분이 소비되었다. 결과적으로 일반 전열선 가열발열체

가 유도가열 세라믹 발열체 보다 약 1.1배 느리게 상승하였다.

보온력에 대한 실험으로 물의 온도가 70℃에 도달하여 전력이 자동 차단되었다가 다시 투입되는 시간을 실험한 결과 유도가열 세라믹 발열체는 약 15분이 소비되었고, 일반 전열선 가열발열체는 약 40분이 소비되어 약 2.7배 높은 보온력을 나타냈다.

현행 열선이 들어가는 열선방식으로 이 열선에서 자계(자기장)가 발생하고 있으며 전원이 연결되어있지 않아도 발생할 수 있는 여건을 갖추고 있는 모든 매트와 돌침대에 대해 열방사 방식의 매체가 물로 교환함으로써 다음과 같은 효과를 얻을 수 있었다. 특히 난방 배관 시스템을 개선하기 위해서는 모세관 형태로 배관을 제작하여 열전달 매체의 양을 줄여서 열 이용효율을 높임과 동시에 단위 면적당 흡열 면적 및 방열 효율을 높였다. 또한 폴리프로필렌이라는 재질을 이용·제작하여 주관 하나에 많은 모세관을 매트에 설치해 단위면적당 많은 모세관이 지나도록 하여 방열 효율을 높임과 동시에 동일한 면적에 사용되는 다른 액셀보다 모세관에 들어가는 물의 양을 줄여 적은 연료로 빠른 온도 상승효과를 얻을 수 있었다.

REFERENCES

[1] Cathleen Mroz, "Titanium Diboride" J. Am. Ceram. Soc., Bull., 74[6], pp. 158-159, 2000.
 [2] Discharge, high voltage engineering, Dong Myeong Sa, 2000
 [3] Cathleen Mroz, "Zirconium Diboride" J. Am. Ceram. Soc., Bull., 74[6], pp. 164-165, 2011.
 [4] Base dmeasurement electrode, the Dong-il publisher,1995, 2
 [5] Y. K. Park, J. T. Kim and Y. H. Baik, "Mechanical Properties and Electrical Discharge Machinability of β -Sialon-TiB₂ Composites" J. Mater. Sci. Korea, 5[1], pp. 19-24, 2012.
 [6] Frederic Monteverde and Alida Bellosi,

"Beneficial Effects of AlN as Sintering Aid on Microstructure and Mechanical Properties of Hot-pressed ZrB₂", Advanced Engineering Materials, 5[7], pp. 508-512, 2013.

[7] S. H. Yim, Y. D. Shin and J. T. Song, "The Properties of β -SiC-TiB₂ Electroconductive Ceramic Composites Densified by Liquid-Phase Sintering", Trans. KIEE, Vol. 49C, No. 9, pp. 510-515, 2000.
 [8] Ken Takahashi and Ryutarao Jimbou., "Effect of Uniformity on the Electrical Resistivity of SiC-ZrB₂ Ceramic Composites", J. Am. Ceram. Soc., 70[12], pp. C369-C373, 2012.
 [9] F. Monteverde and A. Bellosi, "Oxidation of ZrB₂-Based Ceramics in Dry Air", Journal of The Electrochemical Society, 150(11). pp. B552-B559, 2003.

저자약력

조 현 섭(Hyun-Seob Cho) [중심회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1996년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1998년 1월 ~ 현재 : 한국전력 기술인협회 고급감리원(전력감리)
- 1998년 10월 ~ 현재 : 중소기업청 기술경쟁력 평가위원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 교수

<관심분야>

전기공학, 공장자동화, 응용전자