

## 1.5[kW]급 고주파 공진형 인버터를 이용한 유도가열 가정용 시스템에 관한연구

유재훈\* 신대철\* 권혁민\* 박희창\*\*

호서대학교\* 한국기계연구원\*\*

### A Study on The Development of small System using the High-Frequency Resonant Inverter Of 1.5[kW] class

Jae-Hoon Yoo\* Dae-Cheul Shin\* Hyuk-Min Kwon\* Hee-Chang Park\*\*

Hoseo University\* KIMM\*\*

**Abstract** - 고주파 유도가열은 무공해 에너지 절약을 기본으로 하는 전기가열의 한 방법으로 환경친화 및 에너지 절감의 요구에 부응하기 위한 것으로 고주파 공진형 인버터 기술과 충진 발열체의 열 교환 기술을 적용한 새로운 시스템이다.

본 논문에서는 1.5[kW]급 Half-Bridge 고주파 공진형 인버터를 이용한 유도가열 시스템의 동작해석, 특성분석 및 본 시스템을 이용한 가정용 시스템의 응용과 이동유체의 순시가열 시스템의 성능평가에 대하여 논한다.

#### 1. 서 론

유도가열 기술은 산업 전반에 걸쳐서 아주 폭넓게 사용되는 기술로써 그 근본이 되는 원리는 1831년 패러데이에 의해 발견된 유도현상이다. 이 현상을 약간 변형시켜서 코일에 교류전류를 흘려주면 이 코일 안에 있거나 또는 근처에 있는 금속체에 와전류가 유도되어 금속체가 가열되는 현상이 유도가열 원리이다.[1, 2]

DPH(Dual Pack Heater) 열 시스템은 증류탑 장치에 사용되는 특수 적층규칙 충전체에 의한 열 교환기술과 특수한 고주파 전력회로 기술을 융합한 차세대 가열방식으로 DPH는 휴대가 간편하면서도 증발기, 온수기, 과열수증기 발생기, 가스히터 등 여러 기기 속에 응용되어 사용될 수 있는 차세대형의 열원이자 가열체로서 액체, 기체의 가열과 액체의 증발, 고체의 가열 등 가열장치에 필요한 기본적인 기능이 총망라되어 있어 가정뿐만 아니라 화학 산업, 환경 산업, 반도체 산업, 의료산업 등에도 폭넓게 응용할 수 있는 충분한 발전성을 가지고 있으며 기존의 가열장치에서는 얻을 수 없었던 다양한 장점을 가지고 있다.

본 시스템은 전자유도가열 발열체와 유체이동에 의한 새로운 열 교환방식으로 파이프라인 시스템에 있어서 여러 가지의 기체, 액체 및 증발체 등을 저온(상온)에서 초고온에 이르기까지 고정도의 가열이 가능한 방법으로 일체의 연소과정이 없다는 점에서 작업환경의 개선이 가능하며 온도제어 신뢰성이 뛰어난 특성을 보이는 전자유도 유체 가열기술은 고주파 인버터를 사용하여 고성능, 고효율의 시스템화가 가능한 고주파의 새로운 분야로 주목받고 있다.

이러한 고주파 인버터는 상용교류 다이오드 전류 비평활 직류로부터 수[kHz] ~ 수[MHz]의 고주파교류를 발생시킬 수 있다. 고주파 인버터는 모듈타입의 고주파 인버터를 도입하여 부하로서 고주파 자속을 발생시키는 유도자 워크코일, 즉 이동유체를 가열시키기 위해 와전류를 이용하는 특수하게 설계된 넓은 전열면적을 갖는 적층형 타입의 충진발열체를 사용한다. 이러한 전기에너지의 열 교환 시스템은 절연체의 파이프내부에 새롭게 설계된 유도발열체 구조물을 통과하는 이동유체의 난류를

이용하여 유체를 내부로부터 가열하는 방식이다.[3]

본 논문에서는 1.5[kW]급 Half-Bridge 고주파 공진형 인버터를 이용한 가정용 시스템의 응용에 대하여 논한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 유도가열의 원리

고주파를 이용한 응용분야는 주로 열을 얻는데 쓰이며 그 방법은 발열원리 및 용도에 의해 구분되어진다. 일반적으로 고주파 가열에서 유도가열과 유전가열로 나눌 수 있다. 유도 가열이란 금속과 같은 도전물질에 고주파 자장을 가할 때 도체에 생기는 와전류에 의하여 물체를 가열하는 방법이며, 유전가열이란 유전체에 고주파 전장을 가할 때 생기는 유전손에 의하여 유전체를 가열하는 방법을 말한다.[4]

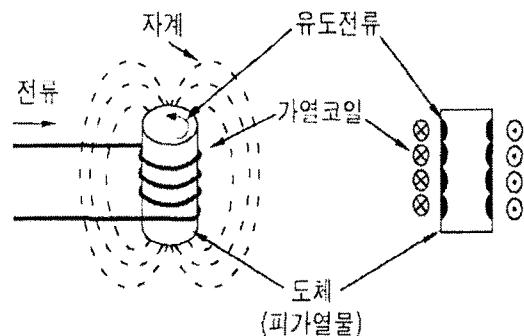


그림 1. 유도가열 원리

유도가열은 그림 1과 같이 전자유도 작용에 의한 것이며 교류(고주파)전류가 흐르는 코일 속에 위치한 금속 등의 도전체는 와전류, 히스테리시스손실의 저항에 의하여 전력의 크기만큼 열이 발생한다. 코일에 교류전류를 통하여 코일 주변의 교류전류에 의한 교번자속이 발생하고 이 자계 속에 놓인 도전체에는 전자기 유도현상에 의하여  $e = -N \frac{d\phi}{dt}$  의 유기기전력이 발생한다. 발생하는 유

기기전력에 의해 생기는 전류를 와전류라 하고 피가열체의 고유저항과 와전류에 의한 전력의 크기만큼 열을 발생하게 된다.[5]

### 2.1.1 유도가열의 등가회로

일반적으로 유도가열 시스템은 가열 코일과 부하를 각각 1,2차측으로 하는 변압기 등가모델로 표현 가능하다. 이 모델은 그림 2와 같이 하나의 등가 인덕턴스  $L_{eq}$ 와 등가 저항  $R_{eq}$ 의 직렬연결로 나타낼 수 있으며, 등가화된 파라미터  $L_{eq}, R_{eq}$ 는 식 (1),(2)처럼 표현된다.

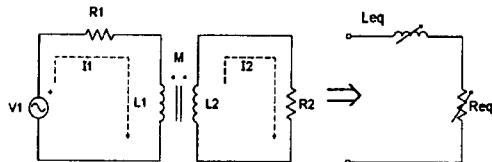


그림 2. 유도 가열 시스템의 등가 회로

$$R_{eq} = r + \frac{(wM)^2 \cdot R_L}{R_L^2 + (wL_2)^2} = r + A^2 R_L \quad (1)$$

$$L_{eq} = L_1 - \frac{(wM)^2 \cdot L_2}{R_L^2 + (wL_2)^2} = L_1 - A^2 L_2 \quad (2)$$

여기서,  $A = \frac{wM}{\sqrt{R_L^2 + (wL_2)^2}} \approx \frac{M}{L_2} w L_2 > R_L$  일 경우

한편, 이 등가화된 파라미터  $L_{eq}, R_{eq}$ 는 가열 부하의 크기와 위치, 가열 코일과 부하사이의 거리, 부하의 도전율과 투자율, 동작 주파수 등에 의해 변하게 된다. 또한, 변압기 2차측 저항  $R_L$ 은 완전류의 표피두께  $\delta$ 에 의해 결정되므로 실제 유도가열에 의해 발생되는 출력 전력은 저항과 전류의 관계에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$R_L = \frac{\rho}{\delta} = k \sqrt{\rho \mu_r f}, \quad I_2 = NI_1 \quad (3)$$

$$P = k \cdot (NI_1)^2 \cdot \sqrt{\rho \mu_r f} \quad (4)$$

여기서,  $k$ :상수( $\sqrt{4\pi^2 \times 10^{-7}}$ ),  $N$ :가열코일의 단수

### 2.1.2 인버터 장치 및 시스템 구조

그림 3은 고주파 인버터로 Half-Bridge 직렬부하 공진형 인버터를 나타내고 있다.

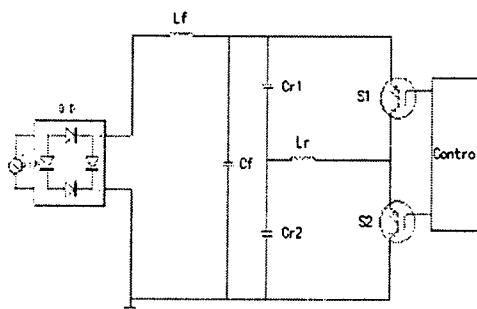


그림 3. 1.5[kW] Half-Bridge

DPH시스템의 구조는 절연 파이프내의 가열용기 내부에 특수발열체인 적층형 규칙충진물을 코일로부터 전자

유도에 의해 와전류로 발열시켜 절연 파이프 용기에 물이나 공기 등의 이동유체를 전자 유도발열체인 적층형 규칙충진물에 접촉시킴에 따라 작은 비열로 금속 가열을 가능하게 하는 새로운 유체가열 시스템으로 직렬부하 공진형 인버터를 나타내는데 이것은 절연파이프의 두께, 내부의 적층형 규칙 충진발열체의 소재 그리고 가열 유체계에 의해 변화하는 인덕턴스와 저항 분으로 구성되는 전기회로 모델로 볼 수 있다. 실제로 워킹코일과 피가열 물체의 사이에 정합트랜스가 사용되는데 R-L부하와 L을 보상하는 C로부터 직렬공진 회로계를 위한 고효율 운전을 위하여 인버터의 동작 주파수 설정이 매우 중요하다. 이는 R-L회로에 직렬보상 콘덴서 C를 사용하여 R-L-C 직렬부하 공진회로 부하계를 구성하는데 발열체를 극한정도까지 가열하지 않으면 전기회로 정수는 거의 변화하지 않기 때문에 R-L회로계로 볼 수 있으므로 직렬부하보상 콘덴서 C는 R-L부하계의 L을 보상하는 최적동조 조건 하에서 사용 가능하다. 그림 2는 고주파 인버터로 Half-Bridge 직렬부하 공진형 인버터를 나타내고 있다.[6, 7]

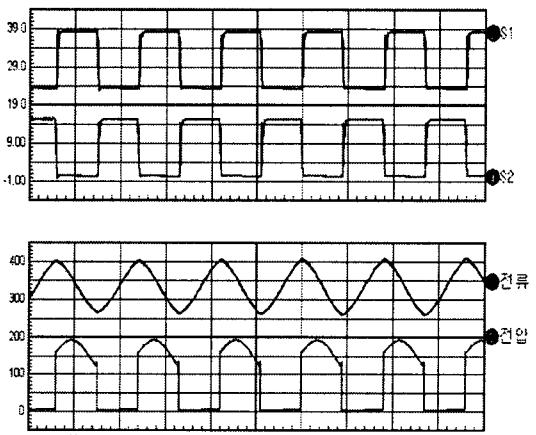


그림 4. 시뮬레이션 과정

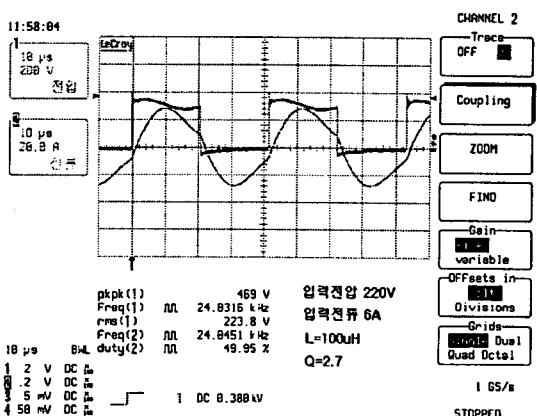


그림 5. 실측 과정

그림 4와 5는 제한한 공진형 인버터의 IsSpice 시뮬레이션에 의한 출력전압 및 전류 과정과 실측 과정을 비교한 것으로 본 시스템의 인버터가 원활히 동작되고 있음을 보여주고 있다.

## 2.2 실험 및 결과

그림 6은 본 시스템을 이용한 가정용 보일러 시스템 실험장치로 입력전압 220[V], 전류 6[A], 물 용량 10[L]이며 실험 결과는 표 1과 같다.

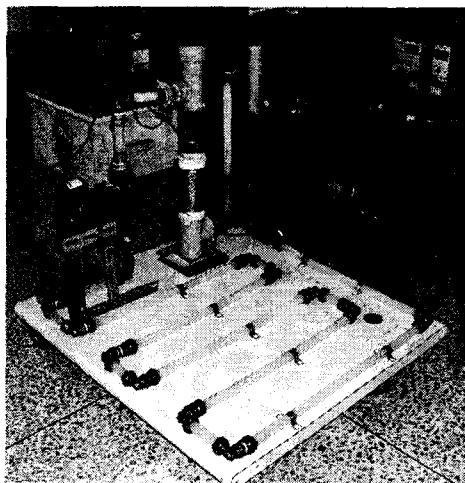


그림 6. DPH보일러 시스템

표 1. DPH보일러 시스템의 실험결과

시 간	온 도[°C]
0분	15
5분	28
10분	36
15분	45
20분	52
25분	59
30분	67

여기서 식 5와 6에 의해 시스템의 전력변환 효율을 계산하면 80[%]이상이며 물탱크의 보온설비를 보완했을 경우 더 높아 질거라 예상되며 기존의 연소에 의한 보일러 시스템 효율 보다 알 수 있었다.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100 [\%] \quad (5)$$

$$P_{OUT} = c\Delta T \frac{\Delta Q}{860} \times 1000 [W] \quad (6)$$

표 1에서 보는 것과 같이 DPH보일러는 저 전력, 고 효율의 최첨단 공진형 인버터 전기보일러로 삶의 질 향상, 심야 전력 사용 시 기름보일러에 비해 상당히 절감이 가능하며 주간 및 저녁 시간대 사용하여도 전력 부담이 없을 것이라 예상된다. DPH시스템 자체가 단순한 구조를 가지고 있으므로 생활분야뿐만 아니라 산업계 거의 모든 분야에서 폭넓게 응용할 수 있을 거라고 기대할 수 있다.

## 3. 결 론

DPH 유도가열시스템은 음식물 소각, 압력밥솥, 전기포트, 보일러 등에 다양하게 적용 될 수 있으며 에너지 저감 요구가 더욱 중대되고 있는 시대를 맞아 앞으로도 본 기술을 적용한 새로운 개념의 제품들이 계속해서 개발될 것으로 예상된다.

이러한 유도가열 방식이 연소에 의한 종래의 발열방식과 비교하여 가열 효율이 높아 경제적이고, 온도에 대한 신속한 응답성으로 인하여 시스템의 워밍업 등에 수반되는 열 손실을 줄일 수 있으며, 출력온도 제어의 용이성 및 안전성이 뛰어나며 오염 물질의 발생이 없어 위생적이이며 청결하다는 우수한 장점을 갖는다고 할 수 있다.

한편 DPH기술이란 기존에 있던 유도가열 기술과 새로운 가열방법을 실현시키는 기술이라고 할 수 있으며 이러한 가열기술을 널리 확산보급하기 위해서는 그 업계에 적합한 엔지니어링이 필요할 것이며 단순히 종래형과 교체한다는 발상만으로는 본 DPH시스템의 가치를 최대한 활용할 수 없을 것이다.

앞으로 고주파인버터의 스위칭손실 및 노이즈대책, 고성능화 그리고 소프트 스위칭방식에 대한 실질적 연구가 계속 필요하며 특히, 고주파인버터의 회로방식 및 제어부의 개발 그리고 유체가열부의 새로운 구조의 제안과 그 열 교환 효과에 대한 보다 구체적으로 연구가 진행되어야 할 것이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 정용채, 박병욱, 조관열 “가전제품의 유도가열 기술현황”, 전기학회지 제50권 2호 2001년 2월
- [2] 정용채, “유도가열 제품의 기술동향”, 電力電子學會 論文誌, 2000년 10월
- [3] 김용주, 김기환, 신대철, “직렬공진 PWM인버터를 이용한 전자간접 유도가열 열유체 에너지시스템과 그 성능평가”, 電力電子學會 論文誌, 2002년 2월
- [4] 신대철, 권혁민, 김기환, 김용주, “유도가열용 고주파 공진형 인버터를 이용한 과열증기 발생장치 개발에 관한 연구”, 電力電子學會 論文誌, 2004년 4월
- [5] 김성호, “풀브리지 공진형 인버터를 이용한 알루미늄 박판 가열에 관한 연구”, 호서대학교, 2004년
- [6] 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 2001, pp 69-79, Seoul Korea, Oct 2001.
- [7] 김용주, 신대철, 김기환, “전압형 고주파 인버터를 이용한 간접유도가열 열유체 Energy system과 그 성능평가”, 전력전자학회 논문지 제7권 제1호 2002년 2월