

# 전자유도가열용 Full-Bridge 고주파 공진형 인버터의 개발

## Development of Full-Bridge High-Frequency Resonant Inverter for Electromagnetic Induction Heating

권혁민, 신대철, 김용주, \*김기환  
호서대, \*세명대

전화 : 041-540-5352 / 핸드폰 : 011-438-2393

Hyuk-Min Kwon, Dae-Cheul Shin, Yong-Ju Kim,  
Dept. of Computer Science, Hose University  
E-mail : pigmin@hanmail.net

### Abstract

In this paper are described the indirect induction heated boiler and induction heated hot air producer using the voltage-fed series resonant high-frequency inverter which can operate in the frequency range from 20 [kHz] to 50 [kHz]. A specially designed induction heater, which is composed of laminated stainless assembly with many tiny holes and interconnected spot welding points between stainless plates, is inserted into the ceramic type vessel with external working coil. This working coil is connected to the inverter and turbulence fluid through this induction heater to moving fluid generates in the vessel. The operating performances of this unique appliance in next generation and its effectiveness are evaluated and discussed from a practical point of view.

### I. 서론

최근 고주파 PE(Power Electro)기술은 고주파 전력용 반도체 소자 및 관련되는 부품의 진보와 이를 응용한 전력변환 장치 및 각종 응용시스템과 제어장치 등 여러 응용기술의 발전에 힘입어 앞으로 유망한 기술 분야로 주목을 받고 있다.

제한한 유도가열 시스템은 증류탑 장치에 사용되는 특수 적층규칙충진체에 의한 열교환 기술과 IH(Induction Heating)전자 유도가열의 특수한 고주파 전력회로 기술을 융합한 가열방식으로 증발, 온수기, 과일수증기 발생기, 가스히터등 여러 가지로 응용될 수 있는 차세대형의 열원이자 가열장치로서 식품가공 산업뿐만 아니라 화학산업, 반도체산업, 의료산업 등에도 폭넓게 응용할 수 있는 충분한 발전성을 가지고 있으며 기존의 가열장치에서는 얻을 수 없었던 다양한 장점들을 가지고 있다.

전자유도가열 발열체와 유체이동과의 새로운 열교환 방식인 파이프라인 방식을 이용하여 저온에서 초고온에 이르기까지 자유로운 온도 제어가 가능하다. 또한 그 신뢰성이 뛰어난 특성을 가진 전자유도가열 시스템은 IGBT를 고주파 인버터에 사용하여 고성능, 고효율의 시스템화가 가능한 고주파 PE의 새로운 분야로 주목 받고 있다[1,2].

본 논문은 실제 제작한 4[KW]급 풀브리지 인버터 시스템의 동작해서, 특성분석 및 이동유체의 순간가열 시스템의 성능평가와 그 응용에 대해 논한다.

### II. 유도가열 시스템

#### 2.1 유도가열의 원리

금속가열에 이용되는 고주파가열은 정확하게는 고주

과 유도가열이라 칭하는 것으로 전자유도(電磁誘導) 작용에 의한 것으로 교류(고주파) 전류가 흐르는 코일(coil) 속에 위치한 금속등의 도전체는 와전류(Eddy current) 손실과 히스테리시스(Hysteresis) 손실의 저항에 의하여 전력의 크기만큼 열이 발생한다. 이와 같이 발생하는 열에너지를 이용하여 피가열(금속 또는 도전체) 물질을 가열하는 것을 유도가열이라 하며, 특히 고주파 전류를 이용한 것을 고주파유도가열이라 한다.

그림1과 같이 코일에 교류(고주파) 전류를 통하면 코일 주변의 교류전류에 의한 교변자속이 발생하고 이 자계 속에 놓인 도전체에는 전자기 유도현상에 의하여  $e = -N \frac{d\phi}{dt}$  의 유기기전력이 발생하게 된다. 이때 발생하는 유기기전력에 의해 생기는 전류를 와전류라 하고 피가열체의 고유저항과 와전류에 의한  $P = I^2R$ 의 전력크기 만큼 열을 발생하게 된다.

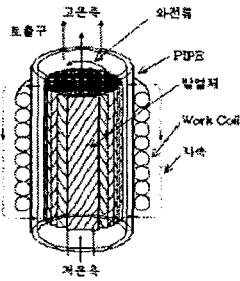


그림 1. 유도가열시스템 구조

그림2는 유도가열의 발열체로서 특수하게 설계된 적층형 규칙 충전발열체를 나타내는데 이 발열체는 금속선이 아닌 금속박판을 이용하기 때문에 고온 가열시 단선, 단락 및 전기절연 성능이 뛰어나며 열용량이 작은 발열부의 구성이 가능하고 유체 통과저항이 극히 작아 출력부의 온도응답특성이 빠르며 정밀 온도제어가 가능함이 종래의 유체가열장치에서 얻을 수 없었던 뛰어난 특성을 갖는다.[6]

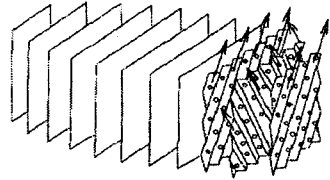
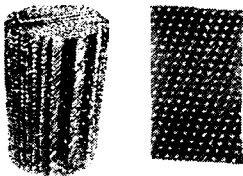


그림 2. 충전발열체

## 2.2 Full-Bridge 고주파 공진형 인버터

그림3은 고주파인버터로서 전압형 직렬부하 공진형 인버터를 나타내는데 이것은 절연파이프의 두께, 내부의 적층형 규칙 충전발열체의 소재 그리고 가열 유체계에 의해 변화하는 인덕턴스와 저항분으로 구성되는 전기회로 모델로 볼 수 있다.

실제로 워킹코일과 피가열 물체계의 사이에 정합 트랜스가 사용되는데 R-L부하와 L을 보상하는 C로부터 직렬공진 회로계를 위한 고효율 운전을 위하여 인버터의 동작 주파수 선정이 매우 중요하다. 이는 R-L회로에 직렬보상 콘덴서 C를 사용하여 R-L-C직렬부하 공진회로 부하계를 구성하는데 발열체를 극한정도까지 가열하지 않으면 전기회로 정수는 거의 변하지 않기 때문에 R-L회로계로 볼 수 있으므로 직렬보상 콘덴서 C는 R-L부하계의 L을 보상하는 최적동조건 하에서 사용 가능하다.

R-L부하계의 R이 IGBT의 도통저항에 비해 비교적 큰 경우에는 직렬공진회로계가, R-L부하계의 R이 IGBT의 도통저항에 비해 작은 경우에는 직렬 인덕턴스를 갖는 병렬공진회로가 효율적 측면에서 유리하다고 할 수 있다[3,4,5].

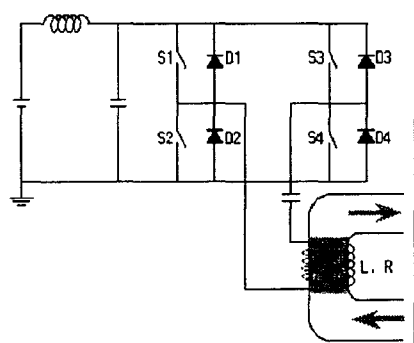


그림 3. Full-bridge 공진형 인버터

본문에서 사용한 스위칭 소자인 IGBT는 Power-MOSFET 의 고속 스위칭 성능과 Bipolar-Transistor의 고전압, 대전류 처리능력을 겸

비한 소자로서 Power Transistor module보다 스위칭 속도가 빠르고 Power-MOSFET보다 고내압, 대용량이다. Gate-Emitter간에 전압을 인가해 Power-MOSFET를 도통시키면 npn Transistor의 Base collector간에 낮은 저항값이 접속된 pnp Transistor 도통상태로 된다.

그러므로 IGBT는 Power-MOSFET와 같이 전압신호에 의해 ON,OFF상태를 제어할 수 있는 전압제어형 소자이다.

메인 스위칭 소자인 IGBT를 구동하기 위해서는 최적의 드라이브회로 설계가 필요하다. IGBT는 MOSFET와 같이 전압 구동형 소자로, 게이트의 입력 임피던스가 높고, MOSEFT보다 훨씬 큰 전류를 흘릴 수 있다..

게이트 전압이 너무 낮으면 ON전압이 상승하여 정상 손실이 증대하고, 게이트 전압이 너무 높으면 부하 단락이나 고장시 단락전류가 증가하게 된다. 게이트 전압의 최대값에 대한 한계와 컬렉터 전류의 사용범위 등을 고려하여, ±15[V]로 설계하였다.

구동회로 방식으로는 펄스 트랜스를 이용하는 방식과 포토커플러를 이용하는 방식이 있는데, 전자는 구동신호의 절연과 구동전력을 겸하는 면에서 유리하지만 사용주파수의 제한이 따르는 단점이 있다. 후자는 절연된 직류전류와 포토커플러로 구동 시그널을 전달하고 이를 증폭하여 사용하는 방식으로 회로가 약간 복잡한 단점이 있지만, ON/OFF 펄스폭에 제한이 없으며, 동작속도가 빠르므로, 고주파 스위칭에 유리하다. 본 IGBT에 사용한 구동회로는 Toshiba의 고속 포토커플러 TLP552을 이용하여 드라이브를 설계하였다.

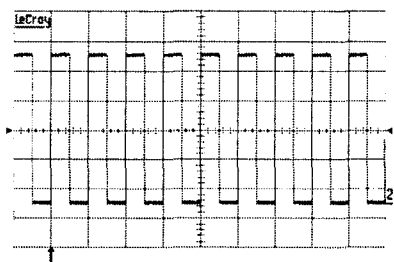


그림 4. 전압형 직렬공진 스위칭 패턴

단상 Full-Bridge 인버터의 실제 회로구성은 서로 독립적으로 스위칭 할 수 있는 2개의 폴로 이루어진다. 각 폴의 구성과 동작은 단상 Half-Brid인버터에서와 같게 같게 되며 그림4는 각 폴의 폴전압이 구형파이고 두 폴전압이 180°위상차가 되도록 제어하였다.

본 실험에서 사용한 IGBT모듈은 후지사의

2MBI100L-120제품으로 내압이 1200[V], 100[A]이다. 또한 1차측의 파라미터로 용량이 0.1[uF]인 콘덴서를 사용하였으며, 인덕턴스는 100[uH]~220[uH]로 조정하였다.

공진 콘덴서는 주파수 특성이 좋은 폴리프로필렌 계열을 사용하여 리플전류를 고려해서 적절한 용량의 것을 사용하였다. 브릿지-다이오드 뒷단에 사용되는 LC 필터는 상용주파수의 전원 측에서 보면 복잡한 액티브 PWM제어를 하지 않고 고효율 특히 선 전류의 정현파 화 기능을 갖도록 설계하는데 소형화로 구성된 시스템 특성상 120[Hz]리플성분을 그대로 통과시키도록 작은 용량의 필터를 선정하였다. 또한 필터선정시 역률 제어특성을 고려하여 통상 LC필터로 사용되는 인덕턴스는 수십[uH], 콘덴서는 수[uF]정도의 용량을 사용하였다[6].

표 1. Half-Bridge와 Full-Bridge의 입,출력 특성

	입력t			출력(L-C)		
	[V]	[A]	[kW]	[V]	[A]	[kHz]
Half-Bridge	220	7	1.5	300	14	22
Full-Bridge	200	20	4	400	40	24.7

공진형 인버터의 이상적이 출력전압은  $v_0 = \sqrt{2} V_0 \sin \omega t$ 의 값으로 sin파 출력을 가지며 출력 전류는  $i_0 = \sqrt{2} I_0 \sin(\omega t - \phi)$ 의 값을 가진다. 이상적인 공진형 인버터는  $v_0$ 와  $i_0$ 의 위상차이  $\phi$ 값이 없어야 하지만 본 실험에 제작된 공진형 인버터는 시스템의 안정을 위하여 10% 미만의  $\phi$ 값을 주어 실험을 하였다. 그림6은 Full-Bridge 실측 출력전압 및 전류 파형이다[7].

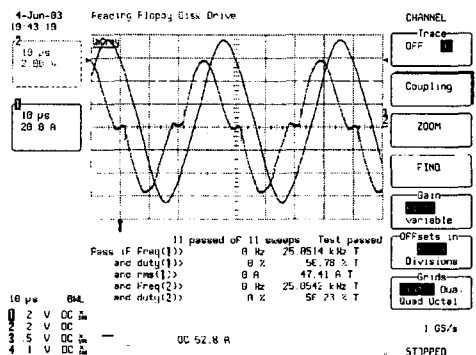


그림 6. Full-Bridge 실측파형

### III. 결론

그림7은 실제 제작한 실험용 유도가열 시스템 장치인 보일러 시스템 및 2단 가열 고온 스팀 발생장치로서 Half-Bridge 인버터나 Full-Bridge 인버터를 사용한 1단 가열 시스템으로 순환펌프에 의해 물이 순환하여 발열체와 물이 직접접촉하는 열교환방식으로 온수가 된다.

2단 가열 고온 스팀 발생장치는 1차측에서 Full-Bridge 인버터를 이용해 수증기를 발생하고 그 수증기를 2차측에서 Half-Bridge 인버터를 이용하여 재가열 하여 200[°C]이상의 고온 스팀을 만든다.

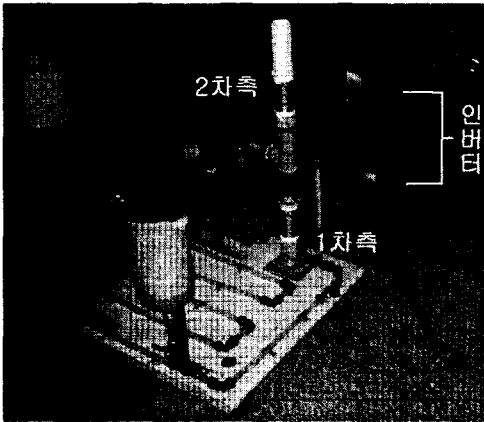


그림 7. 보일러 및 2단 가열 시스템

표 2. 유도가열 시스템의 초고온 영역에서의 응용

응용 목적	처리 내용	온도영역(°C)
활취	막혀가스성분의 선화분해에 의한 활취	650 ~ 800
활업소화	염소를 함유한 물질의 무해화, 재자용화	500 ~ 900
HACCP 대책	자생관리기준에 준한 과열수증기를 이용한 살균	150 ~ 500
단화	ROF의 이용화, 역 회수 등	500 ~ 900
폐기물 처리	각종 폐기물의 건조, 단화, 감용화	500 ~ 900
白燻(mist) 제거	H <sub>2</sub> + CO 의 분해, 벽면 제거	650 ~ 800
흑연(蠟燭) 제거	미연, 가연성 입성물질을 포함한 흑연 제거	750 ~ 1100

종래의 사고에서 벗어나 전혀 새로운 발상의로 만들어진 고효율 가열장치로 그 응용분야가 광범위하고 전자유도가열은 유효성의 인지도가 매우 높아져 산업설비에서부터 현재 가정용 전자조리기로 대표되는 IH(Induction Heating)기술이 일반 가정에 보급되어 생활환경을 크게 개선시키기도 하였다.

본 시스템이 응용 가능한 분야를 정리하면 표2와 같으며 상온에서 1000[°C]까지의 열원을 사용하는 전 산업에 크게 이용 가능할 것이다.

유도가열 시스템은 종래의 직접가열과는 다른 새로운 방식이며 고효율 가열 장치로 응용분야가 매우 광범위하다. 지금까지 사용되어진 부분은 산업설비의 유도도와 칼라 인쇄용 히팅롤등이 있으며, 가정용으로 조리기구 및 IH전기발삼이 있다. 본문에서 지금까지 사용되어왔던 유도가열 기술이지만 아주 새로운 형태의 부하단인 절연파이프 용기 내에 내장되는 증진가열체를 유도가열 발열시켜 유체를 통과 시킴에 따라 발열체와 유체의 직접접촉에 의한 고효율의 열교환 시스템을 제안 하였다.

앞으로 시스템의 출력 제어를 위한 컨트롤러 및 보호회로 설계와 증진물의 재료에 관한 연구가 필요하며, 유도가열의 폭넓은 응용 분야에 대한 조사가 진행되어져야 할 것이다.

### 참고문헌(또는 Reference)

- [1] 内堀, 川村, 金龍柱, 中岡, “オートチューニングPID 制御インバータによるデュアルックス構造形電子誘導器液加熱システム”, 平成6年電気関係學會完済支部聯合大會GS-1, 1994年 11月.
- [2] 石間, “誘導加熱用インバータの新型マッチング技術”, 鳥田理化技報, vol. 3, No. 1, pp. 29~31, 1993年 1月.
- [3] Y J KIM, D C SHIN, “Soft-Switched PWM DC-DC Converter with Quasi Resonant-Poles and Parasitic Resonant Components of High-Voltage Transformer”, 전력전자학회 논문지, vol. 4, No. 4, pp. 384~395, 1999년 8월.
- [4] 金龍柱, 中岡, 陸雄, “部分共振高周波負荷共振 PWM Inverter を使用した小型電子ボイラ應用”, 日本電氣學會全國大會, pp. 4~124. 1999年 3月.
- [5] Y. Uchihori, Y. Kawamura, Y. J. Kim and M. Nakaoka, “New Induction Heated Fluid Energy Conversion Processing Appliance incorporating Auto tuning PID control based PWM Resonant IGBT Inverter with Sensorless Power Factor Correction”, Proceedings of the IEEE power Electronics Specialist Conference, pp. 1191~1197, 1995, Jun
- [6] 김용주, 김기환, 신대철, “직렬공진 PWM인버터를 이용한 전자간접유도가열 열유체 에너지시스템과 그 성능평가”, 전력전자학회 논문집, 2002년 2월
- [7] 노의철, 정규범, 최남섭, “전력전자공학”, pp. 361~370, 2002년 1월.