

Full-Bridge 고주파 공진형 인버터를 이용한 유도가열시스템의 개발에 관한 연구

권혁민, 김성호, 신대철, 김용주
호서대학교

A Study on the Development of Induction Heating System for Using Full-Bridge High-Frequency Resonant Inverter

H.M. Kwon, S.H. Kim, D.C. Shin, and Y.J. Kim,
Hoseo University

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.

1. 서 론

고주파 유도가열은 무공해 에너지 절약을 기본으로 하는 전기가열의 한 방법으로 화석연료 사용에 대한 환경보호 및 에너지 절감화 요구에 부응하기 위한 것으로 온도에 대한 응답특성을 크게 개선하기 위하여 공진형 인버터 및 열 교환 기술을 적용한 새로운 기술이라 할 수 있다.

제안한 유도가열 시스템은 증류탑 장치에 사용되는 특수적층 규칙충진체에 의한 열 교환기술과 IH전자유도가열용의 특수한 고주파 전력회로 기술을 융합한 차세대 가열방식으로 휴대가 간편하면서도 증발기, 온수기, 과일수증기 발생기, 가스히터 등 여러 기기에 응용되어 사용될 수 있는 차세대형의 열원이자 가열장치로서 액체, 기

체의 가열과 액체의 증발, 고체의 가열 등 가열장치에 필요한 기본적인 기능이 총망라되어 있어 식품가공산업 뿐만 아니라 화학산업, 반도체산업, 의료산업 등에도 폭 넓게 응용할 수 있는 충분한 발전성을 가지고 있는 등의 기존의 가열장치에서는 얻을 수 없었던 다양한 장점들을 가지고 있다.

전자유도가열 발열체와 유체이동과의 새로운 열교환방식은 기체 및 액체 등을 저온에서 초고온에 이르기까지 고정도 가열이 가능한 방법으로서 주목을 받고 있다. 특히 일체의 연소과정이 없다는 점에서 작업환경의 개선이 가능하며 온도제어 신뢰성에 뛰어난 본 기술은 IGBT 대응의 고주파 인버터를 사용하여 고성능, 고효율화 시스템화가 가능한 고주파 PE(Power Electronics)의 새로운 분야로 주목받고 있다.^[1,2]

본 논문은 실제 제작한 1.5[kW]급 half-Bridge 고주파 공진형 인버터 시스템과 4[kW]급 full-Bridge 인버터 시스템의 동작해석, 특성분석 및 이동유체의 순시가열 시스템의 성능평가와 그 응용에 대해 논한다.

2. 유도가열시스템

2.1 유도가열 시스템의 구조

그림 1에 나타낸 유도가열시스템의 구조는 절연 파이프내의 가열용기 내부에 특수발열체인 적층형 규칙충진물을 워크코일로부터 전자유도에 의해 와전류로 발열시켜 절연파이프 용기에 물이나 공기 등의 이동유체를 전자유도 발열체인 적층형 규칙충진물에 접촉시킴에 따라 작은 비열의 규칙충진물을 급속하게 온도를 올리거나 내릴 수 있도록 하는 새로운 유체가열 시스템의 구조를 나타낸다.

그림 2는 발열체로서 특수하게 설계된 적층형 규칙충진발열체를 나타내는데 이 발열체는 금속선이 아닌 금속박판을 이용하기 때문에 고온 가열시 단선, 단락 및 전기절연 성능이 뛰어나며 비열이 작으며 열 용량이 큰

발열부의 구성이 가능하고 유체 통과저항이 극히 작아 출력부의 온도응답특성이 빠르며 정밀 온도제어가 가능하다는 종래의 유체가열장치에서 얻을 수 없었던 뛰어난 특성을 갖는다.^[3, 5]

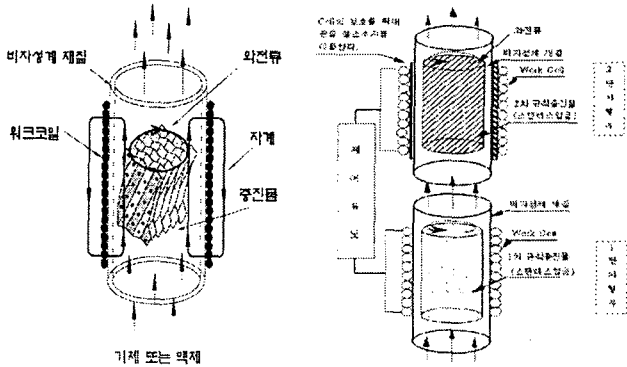


그림 1. 유도가열시스템 구조

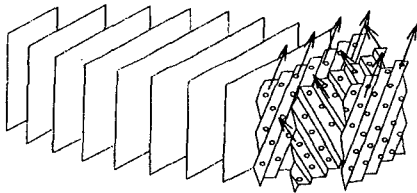
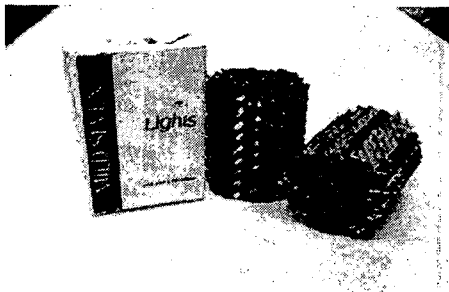


그림 2. 충전발열체

특히, 표면적이 크다는 것은 히터로 사용할 경우 전열 면적을 많이 사용할 수 있다는 것으로 가열 시에 표면 온도를 낮게 잡을 수 있다는 것을 의미한다. 이렇게 복수로 적층되어 있는 작은 용적의 금속판에 의해 충분한 전열면적을 확보할 수 있으며 금속판 자체가 자기발열을 한다는 특징을 갖고 있다.

2.2 full-Bridge 고주파 공진형 인버터

그림 3은 고주파인버터로서 full-Bridge 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 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.

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.^[6-8]

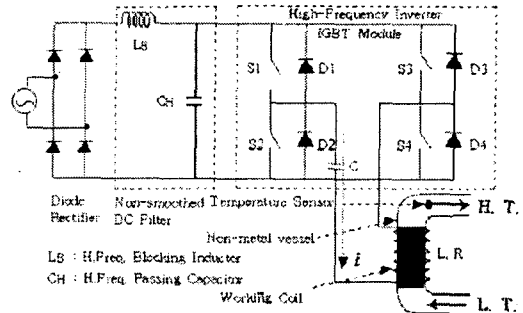


그림 3. full-bridge 공진형 인버터

그림 4는 전압형 직렬공진 스위칭펄스 패턴을 나타낸 것이다. 스위치 S1과 S3가 동시에 ON, OFF 되고 스위치 S2와 S4는 S1, S3와 180° 위상차를 두고 동시에 ON, OFF된다.

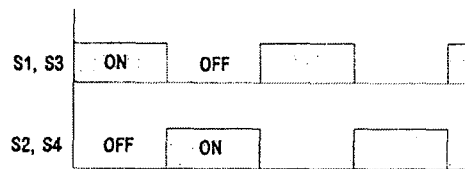


그림 4. 전압형 직렬공진 스위칭패턴

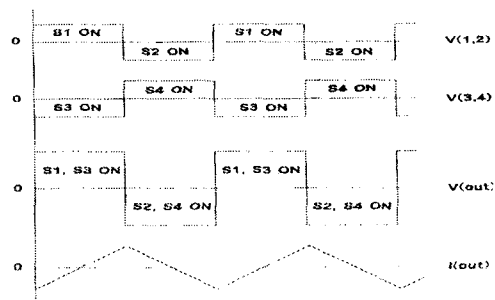


그림 5. 정상상태에서 각부 파형

단상 full-Bridge 인버터의 실제 회로구성은 서로 독립적으로 스위칭 할 수 있는 2개의 폴로 이루어진다. 각 폴의 구성과 동작은 단상 half-bridge 인버터에서와 같게 되며 그림 5는 각 폴의 폴전압이 구형파이고 두 폴전압이 180° 위상차가 되도록 제어할 때, 인덕터 L을 부하로 갖는 단상 full-Bridge 인버터의 각부 파형을 나타낸다. 이때 인버터의 출력전압 V(out)은 그림 5과 같이 크기가 V(DC)인 구형파가 된다. 인덕터 L에 구형파의 전압이 인가되면 부하전류 I(out)은 V(out) = V(DC)인 동안은 증가, V(out) = -V(DC)인 동안은 감소된다.^[8]

본 실험에서 사용한 IGBT모듈은 후지사의 2MBI100L-120제품으로 내압이 1200[V], 100[A]이다. 또한 1차측의 파라미터로 용량이 0.1[μF]인 콘덴서를 여러개 사용하였으며, 코일 값인 인덕턴스는 100[μH] ~ 220[μH]으로 조정하였다.

공진 콘덴서는 주파수 특성이 좋은 폴리프로필렌계열을 주로 사용하지만 리플전류를 고려해서 적절한 용량의 것을 사용하였다. 브릿지 다이오드 뒷단에 사용되는 LC 필터는 상용주파수의 전원 측에서 보면 복잡한 액티브 PWM제어를 행하지 않고 고효율 특히 선 전류의 정현파화 기능을 갖도록 설계하는데 소형화로 구성된 시스템 특성상 120[Hz] 리플성분을 그대로 통과시킬 수 있도록 작은 용량의 필터를 선정하였다. 또한 필터선정시 역률 제어특성을 고려하여 통상 LC필터로 사용되는 인덕턴스는 수십 [μH], 콘덴서는 수 [μF]정도의 용량을 사용하였다.

이상의 시험 조건 하에서 설계된 half-Bridge와 full-Bridge의 입력/출력관계를 살펴보면 다음 표 1과 같다.

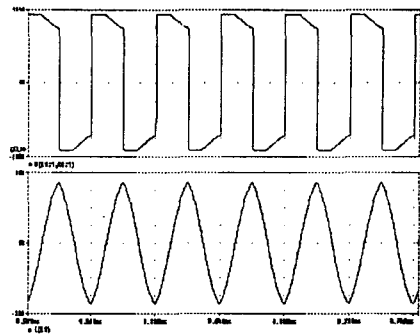
표 1. half-Bridge와 full-Bridge의 입, 출력 특성

	입 력			출 력(L-C)		
	[V]	[A]	[kW]	[V]	[A]	[kHz]
하프브릿지	220	7	1.5	300	14	22
풀브릿지	200	20	4	400	40	24.7

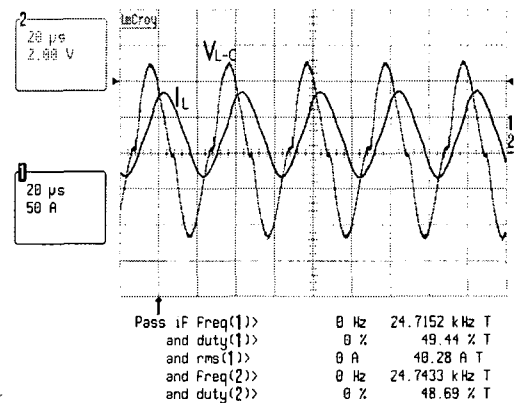
그림 6은 full-Bridge의 Pspice 시뮬레이션에 의한 출력전압 및 전류 파형과 실측파형을 비교한 것이다.

그림 7과 그림 8은 실제 제작한 실험용 유도가열 시스템 장치로 소형 보일러 시스템 및 2단 가열 고온 증기 발생장치이다.

소형 보일러 시스템은 half-Bridge 인버터나 full-Bridge 인버터를 이용한 1단 가열 시스템으로 워터펌프에 의해 물이 순환하며 피 가열체인 충전 열체를 통과하여 온수가 된다.



(a) full-Bridge 시뮬레이션파형



(b) full-Bridge 실측파형

그림 6. 시뮬레이션파형과 실측파형(full-Bridge)

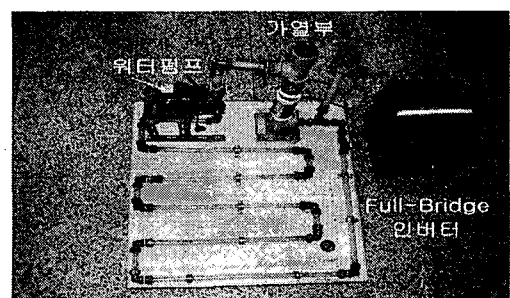


그림 7. 소형 보일러 시스템

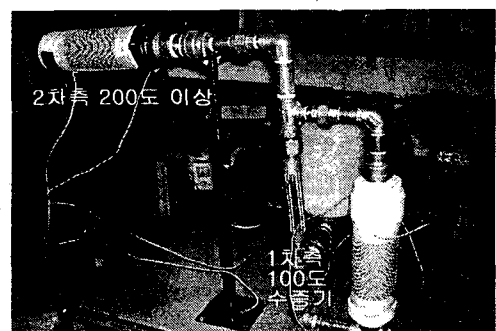


그림 8. 2단 가열 고온증기 발생장치

2.3 실험용 유도가열 시스템 및 그 응용

2단 가열 고온 증기발생장치는 1차측에서 full-Bridge 인버터를 이용하여 온도를 100[°C]까지 올려 수 증기를 발생시키고 2차측에서는 그 수증기를 half-Bridge 인버터로 다시 200[°C]이상까지 온도를 올려준다.

종래의 사고를 벗어난 전혀 새로운 발상의 전환 하에서 만들어진 고효율의 가열장치로 그 응용분야가 매우 광범위한 이러한 전자유도가열의 유효성은 인지도가 매우 높아져 산업설비에서부터 현재 가정용 전자조리기로 대표되는 IH(Induction Heating)기술로 일반 가정에 널리 보급되어 생활환경을 크게 개선시키기도 하였다.

본 시스템이 응용 가능한 분야를 정리하면 그림9와 같으며 상온에서 1000[°C]까지의 열원을 사용하는 전 산업에 크게 이용 가능할 것이다.

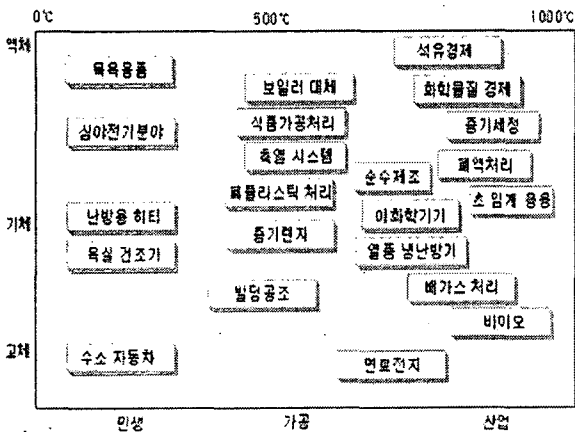


그림 9. DPH(2단 가열)시스템의 응용분야

3. 결 론

유도가열에 의한 유체가열방식은 절연체 용기 내에 특수 스테인레스 합금의 박판 적층형 규칙 충전발열체를 수납하여 용기 외부의 고주파 공진형인버터 접속의 워킹코일로부터 비접촉 상태로 전자유도 와전류를 구조체에 흘림으로서 발열하게 된다. 이러한 전자유도가열 시스템은 열교환 효율이 높고 고정도의 온도제어와 순시가열이 가능한데 본 시스템 장치는 비접촉이므로 히터의 신뢰성이 높으며 스케일 부착에 따른 유체품질의 저하가 없으며 시스템 전체를 소형화 할 수 있는 특징을 가지고 있다.

이러한 유도가열 방식이 연소에 의한 종래의 발열 방식과 비교하여 가열 효율이 높아 경제적이고, 온도에 대한 신속한 응답성으로 인하여 시스템의 Warming Up 등에 수반되는 열 손실을 줄일 수 있으며, 출력온도 제어의 용이성 및 안전성이 뛰어나며, 배출가스 등

의 오염 물질의 발생이 없어 위생적이며 청결하다는 우수한 장점을 갖는다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 内堀, 川村, 中岡, “アクティブフィルタ機能付き高周波インバータを用いた電子誘導熱交換器”, 電気學會半導體電力變換研究會(SPC), pp. 73~82, 1994年 6月.
- [2] 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年電気關係學會完済支部聯合大會GS-1, 1994年 11月.
- [3] 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.
- [4] Y J KIM, D C SHIN, “Soft-Switched PWM DC-DC Converter with Quasi Resonant-Poles and Parasitic Resonant Components of High-Voltage Transormer”, 전력전자학회 논문지, vol. 4, No. 4, pp. 384~395, 1999년 8월.
- [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, June.
- [6] 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”, 日本電気學會全國大會, pp. 4~124. 1999年 3月.
- [7] 김용주, 김기환, 신대철, “직렬공진 PWM인버터를 이용한 전자간,접유도가열 열유체 에너지시스템과 그 성능평가”, 전력전자학회 논문집, 2002년 2월.
- [8] 노의철, 정규범, 최남섭, “전력전자공학”, pp. 361~370, 2002년 1월.