

유도가열방식 과열증기 발생장치 개발

설용태*, 이의용**, 권혁민**

*호서대학교 전기공학과

** (주)에이티에스

e-mail:ytsul@hoseo.edu

The Development of Superheater System Using Induction Heating

Yong-Tae Sul*, Eui-Yong Lee**, Hyuk-Min Kwon**

*Dept of Electrical Eng., Hoseo University, **ATS Inc.

요 약

본 논문에서는 유도가열방식을 이용한 과열증기 발생장치를 제안하였다. 발열방식은 외부의 가열코일로부터 특수 합금 발열체에 비접촉 상태로 전자유도 와전류를 구조체에 흐르게 하였다. 인버터는 스위칭주파수 20[kHz]대역에서 작동되는 풀-브리지 고주파 직렬 부하 공진형이며, LC 공진 설계에서 부하자체를 L로 선정하여 효율을 최대화 하였다. 개발된 장치는 전자유도가열 발열체와 유체이동에 의한 새로운 열교환 방식으로 일체의 연소과정 없이 기체, 액체 및 증발체 등을 상온에서 500[°C]이상의 고온에 이르기까지 고정도의 가열이 가능하여 작업환경 개선이 가능하다.

1. 서론

최근 섬유나 제지의 건조공정이나, 폐기물 건조, 조리, 살균 등 여러 산업분야에서 100[°C]이상의 증기인 과열증기를 활용하는 신기술 공정이 다양해지고 있다[1]. 이러한 과열증기를 기존과 같이 화석연료를 연소시켜 발생할 경우에는 환경오염과 고유가에 따른 비용 등의 문제가 발생하여 새로운 방식의 과열증기 발생에 대한 연구가 활발해지고 있다.

온도제어 신뢰성에 뛰어난 특성을 보이는 전자유도 유체 가열기술은 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 이용한 고주파 인버터를 사용하여 고성능, 고효율의 시스템화가 가능한 전력전자의 새로운 분야로 주목받고 있다. 이러한 고주파 인버터는 상용교류·다이오드정류 비평활 직류로부터 수[kHz]~수[MHz]의 고주파교류를 발생시킬 수 있다. 고주파 인버터는 모듈타입의 IGBT를 사용한 전압형 직렬부하 고주파 공진형 인버터를 도입하여 부하로서 고주파자속을 발생시키는 유도자 워크코일, 즉 이동유체를 가열시키기 위해 와전류를 이용하는 새로운

방법의 설계로 넓은 전열면적의 직충형 발열체를 사용한다. 이러한 전기에너지의 열교환 시스템은 절연체의 파이프내부에 새롭게 설계된 유도발열체 구조물을 통과하는 이동유체의 난류를 이용하여 유체를 내부로부터 가열하는 방식이다[3,5,6].

본 논문에서는 절연체 용기 내에 전도성의 특수 합금 발열체부하를 수납하여 용기 외부의 고주파 공진형 인버터 접속의 가열코일로부터 비접촉 상태로 전자유도 와전류를 구조체에 흘림으로서 발열하게 되는 새로운 유체가열방식을 제안하였다. 설계한 시스템 인버터는 스위칭주파수 20[kHz]대역에서 작동되는 풀-브리지 고주파 직렬 부하 공진형이며 LC 공진 설계에서 부하자체를 L로 설정하여 효율을 최대화 하였다. 개발된 장치는 전자유도가열 발열체와 유체이동에 의한 새로운 열교환 방식으로 파이프라인 시스템에 있어서 여러 가지의 기체, 액체 및 증발체 등을 상온에서 500[°C]이상의 고온에 이르기까지 고정도의 가열이 가능한 방법으로 일체의 연소과정 없이 없다는 점에서 작업환경의 개선이 가능하다.

2. 과열 증기 발생 시스템의 구성

그림 1은 작은 비열의 발열체를 급속하게 온도를 올릴 수 있는 새로운 유체가열 시스템의 구조이다. 이 장치의 구조는 절연 파이프내의 가열용기 내부에 특수하게 설계된 발열체부하를 가열코일로부터 전자유도에 의해 와전류로 발열시켜, 절연파이프 용기내의 물이나 공기 등의 이동유체를 전자유도 발열체인 부하에 접촉시킨다.

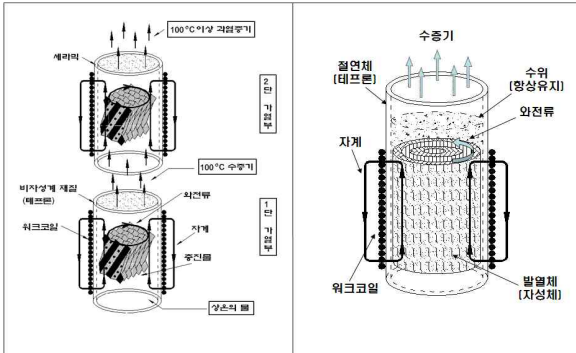


그림 1 유도가열시스템의 구조

규칙 충진물을 이용한 열교환기는 기존의 열교환기에 비해 단위체적당 전열면적이 매우 크고, 규칙 충진물 내부에 전열촉진제를 설치함으로써 유동의 혼합 및 난류를 생성함으로써 높은 열전달 특성을 얻을 수 있는 장점을 지니고 있다. 이와 같은 장점으로 인해 규칙 충진물을 사용하는 열교환기는 피가열 유체와 발열체와의 온도차를 줄일 수 있고 발열체의 과도한 온도상승으로 인한 파손을 방지할 수 있으며, 작은 열용량으로 급속한 가열이 가능한 장점이 있다.

그림 2는 1, 2차 측 발열부하(발열체 및 절연체)를 나타낸다. 1차 측 발열체의 재질은 비 투자율이 큰 SUS 40 계열이 가장 좋으며, SUS 30 계열도 무방하다. SUS 재질을 사용하는 이유는 중요한 유체나 기체의 이동시 부식으로 인한 매질의 오염을 방지하기 위해서이다.

1차 측 절연체의 재질은 100[°C]의 물과 수증기에 견디고 가공성이 우수한 테프론을 사용하였으며, 압력을 고려하여 2차 측과 같이 세라믹 가공도 가능하다.

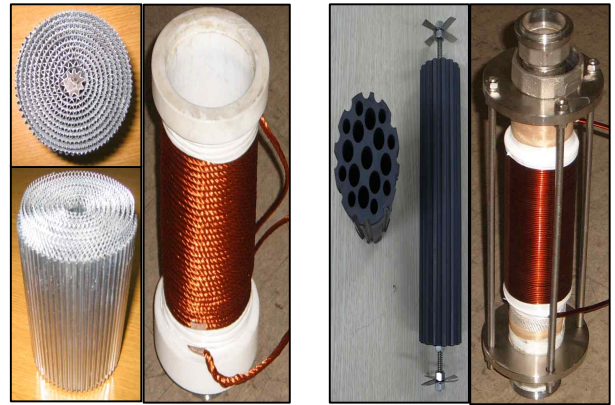


그림 2 발열부하(1차, 2차)

2차 측 발열체는 카본세라믹으로 하였다. 일반 금속의 경우 초고온가열시 큐리점 관계로 사용 불가능하나 카본세라믹의 경우 1,000[°C]이상에서 사용 가능하다. 그리고 2차 측 절연체의 재질은 세라믹(알루미나 99.8%)으로 사용온도가 1,800[°C]까지이다.

3. 공진형 인버터 시스템

그림 3은 고주파인버터로서 풀-브릿지 전압형 직렬부하 공진형 인버터의 전기회로 모델이다. 이것은 절연파이프의 두께, 내부의 공진발열체의 소재 그리고 가열 유체계에 의해 변화하는 인덕턴스와 저항분으로 구성된다.

실제로 워킹코일과 피 가열 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 직렬보상 C를 사용하여 R-L-C직렬부하 공진회로 부하계를 구성한다. 발열체를 극한정도까지 가열하지 않으면 전기회로 정수는 거의 변화하지 않기 때문에, R-L회로계로 볼 수 있으므로 직렬부하보상 캐패시터 C는 R-L부하계의 L을 보상하는 최적 동조조건에서 사용 가능하다.

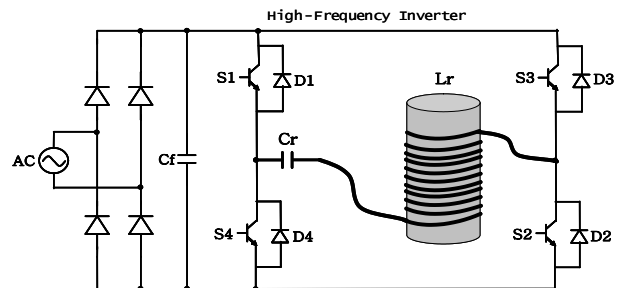


그림 3 풀-브릿지 공진형 인버터

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[2].

대 전력 스위칭 회로에서는 상부(위쪽 IGBT)와 하부(아래쪽 IGBT)의 암쇼트에 의해서 관통전류가 발생하게 된다. 관통전류가 발생하는 원인은 푸쉬-풀 구동(push-full driving)시 소자의 턴 오프 지연이(turn off delay)가 발생하여 위, 아래상이 순간적으로 동시에 온 되기 때문이다. 따라서 보통 위상과 아래상의 스위칭 사이에 수[μ s]의 불감시간대(dead time)을 고의로 발생시키게 된다. 대개 IGBT의 경우에는 2~3[μ s]정도를 사용하며, 스위칭 속도가 좀 더 빠른 MOSFET(Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)의 경우에는 1~1.5[μ s]정도를 사용한다[3].

위 그림 3과 같이 독립적으로 동작할 수 있는 2개의 레그로 구성된 단상 풀-브리지 인버터에서 각 레그의 전압이 구형파이면서 서로 180° 위상차가 되도록 제어하면 출력전압도 구형파가 된다. 출력전압을 구형파로 제어할 경우, 실제 회로에서 스위치 S_1, S_2 와 S_3, S_4 는 동시에 온·오프되는 스위치 쌍처럼 동작하며 각 스위치 쌍의 통류율(duty ratio) D는 50[%]가 된다.

4. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안된 유도가열용 인버터는 그림 4와 같이 구성하였다. 시스템 구성은 크게 입력부, 전력변환부, 출력부로 나눌 수 있다. 입력부는 정류회로로 구성되며 주요 소자는 브리지다이오드와 캐패시터이다. 전력변환부는 스위칭소자와 스너버회로, 구동회로로 구성된다. 본 실험에서 사용한 스위칭소자는 모듈타입으로 된 IGBT이며 구동회로는 보호회로가 내장된 전용 드라이버를, 컨트롤러는 AVR atmega 시리즈를 사용하였다. 그리고 출력부는 공진회로로 구성되며 캐패시터(C)와 부하 인덕터(L)가 있다.

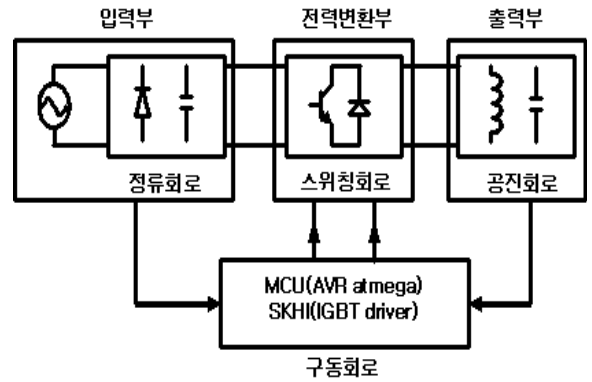


그림 4 제안한 인버터 시스템의 블록도

본 실험에서 공진 파라메타로 공진탱크의 커패시턴스는 용량이 0.1[μ F]인 고 내압 커패시터 1~10개를 병렬 연결하여 사용하였으며, 부하의 인덕턴스는 50~150[μ H]로 조정하였다. 공진 커패시터는 주파수 특성이 좋은 폴리프로필렌계열을 주로 사용하지만 리플전류를 고려해서 적절한 용량의 것을 사용하였다. 또 부하이자 공진 인덕터는 1차 측엔 자성 스테인레스(발열체), 테프론(절연체), 리즈와이어(가열코일)로, 2차 측엔 카본세라믹(발열체), 세라믹(절연체), 리즈와이어(가열코일)로 특수하게 설계하였다.

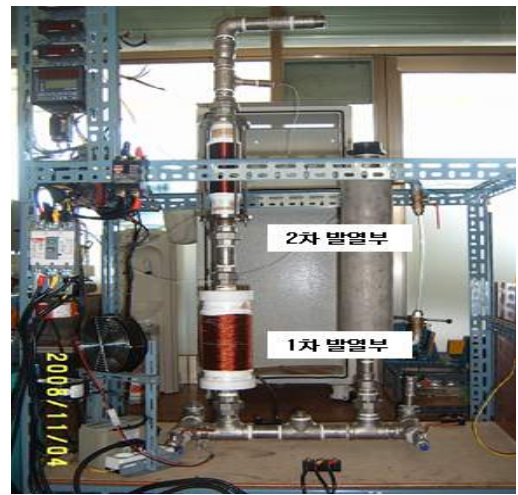
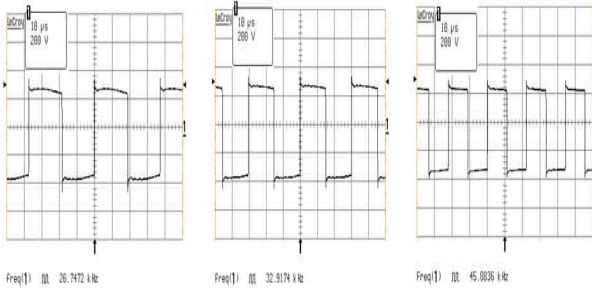


그림 5 과열증기 발생장치

유도가열방식 과열증기 발생장치는 그림 5와 같이 1차가열부와 2차가열부 구성의 2단으로 설계하였다. 1차가열부는 15[kW]의 용량이며 물을 가열하여 100[$^{\circ}$ C] 수증기를 발생시킨다. 수증기 발생시간은 1분 이내이며, 다시 이 증기는 단열처리되어 있는 배관을 통하여 용량 5[kW]의 2차가열부를 통과하면서 추가 가열되면 여기서 습공기인 과열증기로 변하여 출구로 배출된다. 300[$^{\circ}$ C]기준으로 과열증기 발생

시간은 총 3분정도이다.

2차가열부의 출구에는 온도센서가 장착되어 있어 출구의 과열증기 온도를 읽을 수 있으며, 온도제어기를 통한 PID(Proportional-Integral-Derivative)제어로 공진 인버터의 출력을 제어하여 과열증기의 온도를 정밀하게 제어할 수가 있다. 각각의 가열부에는 공진형인버터가 연결되어 있으며, 1차 수증기를 발생시키는 가열부에는 역시 수위조절기가 장착되어 항상 일정 수위 이상 유지되도록 하였다.



(a) 100[%] 출력 (b) 50[%] 출력 (c) 10[%] 출력

그림 6 PID제어기에 의한 주파수 출력파형(2차측)

그림 6은 PID 온도컨트롤러의 제어신호에 따른 주파수 출력파형을 나타낸다. 제어기의 4~20[mA] 전류신호는 전압값으로 환산되어 MCU(ATmega)의 포텐셔메타를 조정하여 100[%]~10[%] 출력을 제어한다.

5. 결론

본 연구에서는 전자유도가열 발열체와 유체이동에 의한 새로운 열 교환 방식으로 여러 가지 기체, 액체 및 증발체를 고온까지 가열을 할 수 있는 장치를 제안하였다. 개발된 장치는 일체의 연소 과정이 없는 파이프라인 시스템을 사용하였고, 고주파 인버터는 모듈타입의 IGBT를 사용한 직렬 공진형 인버터를 도입하였다. 그리고 부하로서 이동유체를 가열시키기 위해 고주파 자속을 발생시키는 유도자 가열코일을 사용하였다.

본 시스템은 일체의 압력을 가하지 않고 500[°C] 이상의 과열증기를 단시간에 발생시킬 수 있는 장점을 가지고 있으며, L-C공진에 있어서 부하 자체를 인덕터로 사용하여 효율을 높였다. 이로서 고주파 공진형 인버터를 이용한 유체 가열방식은 유도가열에 있어 새로운 가열방식으로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

앞으로 고주파 인버터의 스위칭 손실 및 노이즈

대책, 고성능화 그리고 시스템의 출력 제어를 위한 컨트롤러 및 보호회로의 설계에 대한 연구와 유도가열의 보다 넓은 응용분야에 대한 연구 등이 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 김옥신, 이동현, 전원표, “과열 증기 이용 친환경 건조기술”, Korean Chem. Eng. Res., Vol. 46, No. 2, 258-273, April, 2008.
- [2] D. C. Shin, H. M. Kwon, Y. J. Kim, H. D. Lee, K. H. Kim, “Development a Heater using Induction Heating Based on a High Frequency Resonant Inverter”, German-Korean Symposium 2004 on Power Electronics and Electrical Drives, 172-176, June, 2004.
- [3] 신대철, 권혁민, 김기환, 김용주, “유도가열용 고주파 공진형 인버터를 이용한 과열증기 발생장치 개발에 관한 연구”, 전력전자학회 논문집, 119-125, 2004년 4월.
- [4] 이봉섭, “고주파 유도가열용 전원장치의 개발에 관한 연구”, 한국산업응용학회지, 제5권, 제3호, 179-186, 2002.
- [5] Y. J. KIM, K. H. KIM, D. C. SHIN, “Electromagnetic Indirect Induction Fluid Heating System using Series Resonant PWM Inverter and Its Performance Evaluations”, The Transactions of KIPE, vol. 7, No. 1, pp. 48-53, Feb, 2002.
- [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'01, pp. 69-74, Oct, 2001.