

전압형 고주파 인버터를 이용한 간접유도가열 열유체 에너지시스템과 그 성능평가

김용주*, 신대철**, 김기환***, 内堀 義隆****, 川村 泰三****

*특허청, **호서대학교, ***세명대학교, ****Seta Kosan Co., Ltd.

Electromagnetic Indirect Induction Fluid Heating System using High-Frequency Inverter and Its Performance Evaluations

Y J Kim, D C Shin, K H Kim, Y Uchihori, Y Kawamura

Korea Industrial Property Office, Hoseo Univ., Semyung Univ., Seta Kosan Co., Ltd.

ABSTRACT

This Paper the state-of-the art 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 20kHz to 50kHz. A specially-designed induction heater 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 connected to the inverter and tubulence 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

전자유도가열 발열체와 유체이동과의 새로운 열교환방식은 파이프라인 시스템에 있어서 여러 가지의 기체, 액체 및 증발체 등을 저온에서 초고온에 이르기 까지 고정도의 가열이 가능한 방법으로 일체의 연소 과정이 없다는 점에서 작업환경의 개선이 가능하며, 온도제어 신뢰성에 뛰어난 특성을 보이는 전자유도 유체 가열기술은 IGBT대응의 고주파 인버터를 사용하여 고성능·고효율화 시스템화가 가능한 고주파 PE(Power Electronics)의 새로운 분야로 주목받고 있다.^[1,2]

이러한 고주파 인버터는 상용교류·다이오드전류 비평활 직류로부터 수kHz~수MHz의 고주파교류를 발생시킬 수 있다. 본원에서의 고주파 인버터는 모듈

타입의 IGBT를 사용한 위상지연 PWM공진형 고주파 인버터를 도입하여 부하로서 고주파자속을 발생시키는 유도자 워크코일, 즉 이동유체를 가열시키기 위해 과전류를 이용하는 특수하게 설계된 넓은 전열면적을 갖는 적층형 타입의 충전발열체를 사용한다. 부하계는 이러한 구조물을 내장한 유체가열 용기, 용기출구의 유체 온도를 안정하게 제어하기 위해 열전대 일점 검출에 의한 오토튜닝 PID제어부로 구성된다. 이러한 전기에너지-열교환 시스템은 절연체의 파이프내부에 새롭게 설계된 유도발열체 구조물을 통과하는 이동유체의 난류를 이용하여 유체를 내부로부터 가열하는 방식(DPH: Dual Packs Heater)과 유도발열체를 내장한 磁性스테인레스와 알루미늄의 2중 구조의 금속합관 구조의 발열체인 용기 파이프의 내벽을 유체가 접촉 이동하여 외부로부터 내부로 향하는 가열방식(SPH: Single Pack Heater)를 생각할 수 있다.^[4]

본고에서는 위의 DPH 및 SPH방식의 고주파 공진형 인버터제어 전자유도 열유체 가열방식의 에너지 생성 및 그 응용 시스템을 예로 들어 시뮬레이션에 의한 동작해석, 실험결과 및 이동유체의 순시가열시스템의 성능평가와 그 응용에 대해 논하고자 한다.

2. 전자유도 유체가열 시스템의 구조

그림 1에 나타낸 DPH시스템의 구조는 절연 파이프 내의 가열용기 내부에 특수발열체 적층형 규칙충진물을 워크코일로 부터 전자유도에 의해 과전류로 발열시켜 파이프 용기에 물이나 공기 등의 이동유체를 전자(電磁)유도 발열체에 접촉시킴에 따라 작은 비열로 급속 가열을 가능하게 하는 새로운 유체가열 방식을 나타낸다.

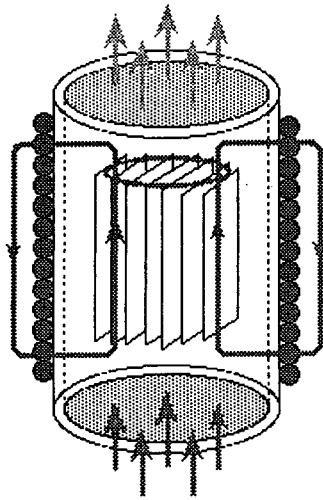


그림 1 DPH 시스템의 구조

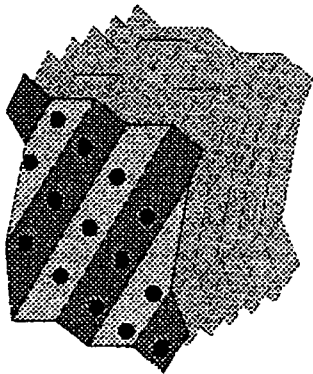


그림 2 적층형 규칙 충전물

그림 2에 발열체로서의 적층형 규칙충전물을 나타내는데 이 발열체는 금속선이 아닌 금속박판을 이용하기 때문에 고온 가열시 단선, 단락 및 전기절연에 뛰어나며 열용량이 작은 발열부의 구성이 가능하고 유체 통과 저항이 극히 작아 출력부의 온도응답성이 빠른 등의 종래의 유체가열장치에서 얻을 수 없었던 특징을 갖는다.^[4]

3. 고주파 인버터 및 그 제어장치

그림 3에 고주파 인버터로서 정주파 PWM방식 전압형 직렬부하 공진형 인버터를 나타내는데 절연파이프의 두께, 내부의 적층형 규칙충전물의 소재 그리고 가열유체계에 의해 변화하는 인덕턴스와 저항분으로 구성되는 전기회로 모델로 볼 수 있다. 실제로 워크 코일과 피 가열 물체계의 사이에 정합 트랜스가 사용되는데 R-L부하와 L을 보상하는 C로부터 직렬공진 회로계를 위한 고효율 운전을 위하여 인버터의 동작 주파수 선정이 중요하다. 이는 R-L회로에 직렬보상 콘덴서 C를 사용하여 R-L-C직렬부하 공진회로 부하계를 구성하는데 발열체를 극한정도까지 가열하지 않으면 전기회로 정수는 거의

변화하지 않기 때문에 R-L회로계로 볼 수 있기 때문에 직렬부하보상 콘덴서 C는 R-L부하계의 L을 보상하는 최적 동조조건 하에서 사용 가능하다.

R-L부하계의 R이 IGBT의 도통저항에 비해 비교적 큰 경우에는 직렬공진회로계가, 또한 R-L부하계의 R이 IGBT의 도통저항에 비해 작은 경우에는 직렬 인덕턴스를 갖는 병렬공진회로가 효율적 측면에서 유리하다.

그림 4는 전압형 직렬공진 스위칭펄스 패턴을 나타낸 것으로 S1(S2)의 구동전압펄스를 기준 위상의 펄스로서 S4(S3)와의 전압구동펄스의 정주파수 위상차 ϕ 를 0~180° 까지 연속적으로 변화시켜 출력전압을 제어함을 나타내고 그림 5는 출력주파수와 부하공진회로의 공진주파수를 일치시켰을 때의 출력전압의 동작을 나타낸다.

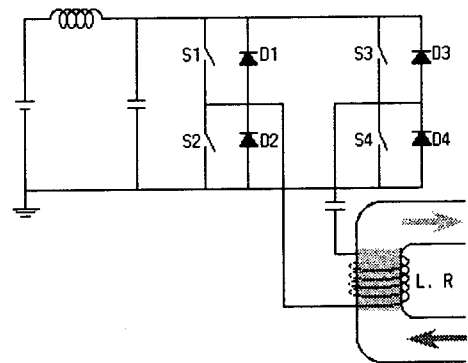


그림 3 전압형 직렬부하 PWM 공진형 인버터

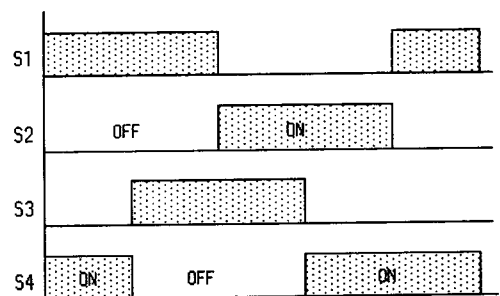


그림 4 전압형 직렬공진 스위칭패턴

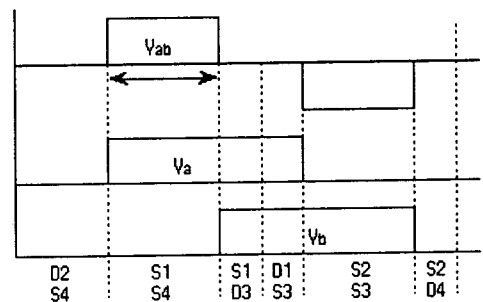


그림 5 정상상태에서 각부 전압파형

4. 고주파 인버터제어 전자유체가열 시스템

그림 6은 상용전원을 수10kHz의 HFAC로 변환 및 변조하기위한 전력변환 프로세서와 가열용기 출력의 유체의 온도를 제어하기 위한 신호변환 제어시스템의 구성도를 나타낸다.

일반적으로 열교환기라는 것은 2개의 기체 및 액체, 증발체의 온도차를 격벽 등을 이용하여 혼합하지 않고 열이동을 행하는데 반하여 본 방식은 금속발열체의 내부까지 가열하기 때문에 발열체로서의 적층규칙충진물의 직경, 체적 재질, 절연파이프의 두께 등의 항목에 따라 다소 다르지만 수십kHz대의 고주파전류가 필요하므로 인버터의 스위칭소자로서 저전압강하 타입의 IGBT모듈을 적용한 전압형의 전류공진방식을 취한다. 특히 IGBT의 $V_{CE(sat)}$ 이 낮은 것일수록 유리한데 이러한 관점에서 IGBT보다 MCT 및 B-SIT의 도입도 유용하리라 생각된다. 또한 다이오드 정류기의 출력측에 비평활 LC필터를 사용하므로 상용주파수 전원측에서 보면 복잡한 액티브 PWM제어 없이 고효율 특히 선 전류의 정현파화 기능을 갖게되어 전원환경에 뛰어난 특성을 갖으며, 부하측에서 보면 그림 6과 같이 간단히 제어를 구성할 수 있기 때문에 상시 공진주파수에 가까운 동작점 소위 최대출력 공급 정합조건 근처에서 스위칭이 이루어지도록 위상 지연 PWM제어에 의해 CFVP기능을 갖도록 설계되어 부하적합 정합환경을 만족하고, 더욱이 고주파 인버터에 의한 DC-HFAC 변환부의 사이즈 및 무게가 고밀도화가 가능한 직렬공진에 의한 ZCS동작 모드를 이용하므로 IGBT처럼 MOS 게이트 드라이브로 turn-on, 바이폴라 모드에서 turn-off하는 스위칭소자에서는 테일전류에 의한 과도손실도 극히 적어 노이즈필터의 소형화가 가능하며 급격한 전압서지에 대해서는 클램프형 무손실 스너버 회로의 구성만으로 시스템의 안정동작을 도모할 수 있다.

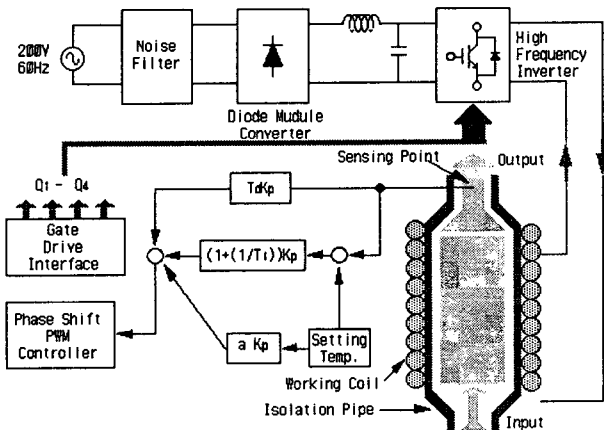


그림 6 제안 시스템 구성도

특히, 위상지연 PWM 풀브릿지 인버터에서의 기준암

은 로스레스 인덕턴스 스너버제어 상(相)암이 로스레스 캐패시턴스 스너버 구성이라고 하면 PWM제어 프로세서에서도 소프트스위칭을 행할 수 있으므로 PWM제어에 관계없이 소프트스위칭이 실현 가능하도록 보조공진 전류(轉流)암 링크 고주파 PWM인버터의 도입도 생각할 수 있다.

5. 온도 추종특성

그림 7은 유체로서 공기를 사용하여 가열한 열풍발생 장치의 경우의 온도추종특성을 나타내는데 절연 파이프 라인에 흐르는 기체는 공기만이 아닌 다양한 증발체의 급속 가열이 가능하며 또한 발열부의 열용량이 작기 때문에 출구온도의 응답성 및 제어성이 우수하고 내부발열체가 단선/단락 되는 부분이 없으므로 내열성이 뛰어나며 저압 고온의 온도변화에 적합한 특성을 갖는다. 그림 8에 온도응답성 그래프에서 알 수 있듯이 급격한 온도상승 및 하강에 대해서도 뛰어난 온도추종특성을 나타내고 있다.

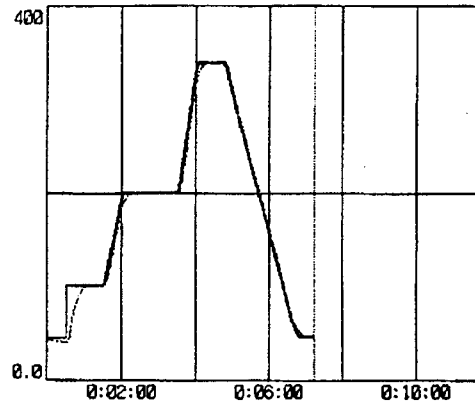


그림 7 전자유도 가열부의 온도추종 특성

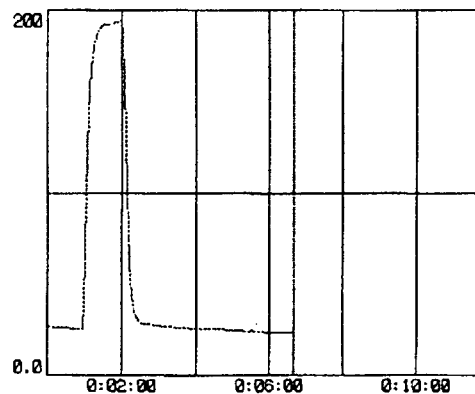


그림 8 전자유도 가열기의 온도응답 특성

6. 열방사성 증발체 발생 시스템

과열(過熱) 증기는 포화증기를 재가열 하는 re-boiler로서 열교환기가 필요하지만 본 시스템에서는 그림1에 나타난 가열장치를 2단으로 구성하여 고주파 공진형 인버터제어 유도가열 방식 포화증기 발생부와 과열증기 발생부로 나눌 수 있는 토탈시스템을 그림 9에 나타낸다.

본 시스템은 공진형 인버터구동 제1전자(電磁) 가열부에서 저압의 포화증기를 생성하고 다음의 제2전자(電磁) 가열부에서 200~600℃ 정도의 저압과열(열방사성)증발유체를 순시 또는 연속적으로 출력하게된다

각각의 전자(電磁)가열부에 의한 유체가열방식은 불소수지계의 절연체 용기내에 특수 스텐합금의 박판 적층형 규칙충진물을 수납하여 용기 외부의 고주파 공진형 인버터 접속의 워크 코일로부터 비접촉 상태로 전자유도 과전류를 구조체에 흘림으로서 발열하게된다. 또한 제1전자 가열부에 종래의 보일러 시스템을 도입하고 제2가열부로서 열방사성 증발유체를 발생시켜 방청, 살균, 건조의 각 프로세서를 동시에 달성 가능함으로서 금속제품 및 글라스제품 등의 크린 세정이 가능하다.

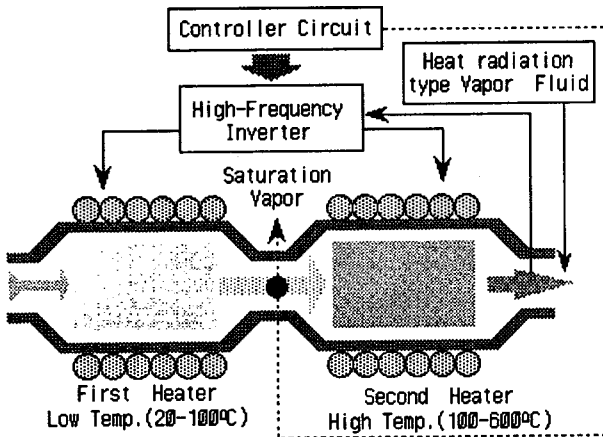


그림 9 유도가열 포화증기 및 과열증기 발생장치

이러한 전자(電磁)유도가열시스템은 열교환 효율이 높고 고정도의 온도제어와 순시가열이 가능한데 특히, 비접촉식이므로 히터의 신뢰성이 높으며 스케일 부착에 따른 유체품질의 저하가 없으며 시스템전체를 소형화 할 수 있는 특징을 가지고 있다. 더욱이 공진형 인버터를 이용하는 유도가열방식의 가열에 의한 배기가스정화 시스템 및 배출 미립자 저감용 유도가열 공진형 인버터시스템의 연구개발도 진행 중에 있다.^[5]

7. 결 론

DPH 유도가열방식이 절연파이프 용기 내에 내장하는

적층형 규칙충진물을 전자유도가열 이론에 의해 발열시켜 유체(기체, 액체, 증발체)를 통과시킴에 따라 발열체와 유체의 직접접촉에 의한 고효율의 열 교환을 행하게 되는 것을 본 시작실험에 의해 상당히 유용함을 확인할 수 있었다.

그러나 고주파인버터의 스위칭손실 및 노이즈 대책, 고성능화 그리고 소프트 스위칭방식에 대해 계속 연구가 필요하며, 특히 고주파인버터의 회로방식 및 제어부의 개발 그리고 유체가열부의 새로운 구조의 제안과 그 열교환효과에 대해 보다 구체적으로 연구를 진행할 필요가 있다고 판단된다.

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," 電氣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パックス構造形電子誘導器液加熱システム," 平成6年電氣關係學會完濟支部聯合大會 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", 島田理化技報, Vol.3, No. 1, pp. 29~31, 1993年 1月.
- [4] 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.
- [5] 畑中, 國武, "排出微粒子低減用高周波誘導加熱電源," 日本船用機關學會誌, 第31卷, 第6号, pp. 325~334, 1996年 6月.