

공진형 인버터를 이용한 2단 유도가열 시스템의 주파수제어에 관한 연구

(A Study on the Frequency Control on the Induction Heating System Using Two Step Resonant Inverter)

유재훈* · 신대철

(Jae-Hoon Yoo · Dae-Cheul Shin)

요 약

제한한 유도가열 시스템은 증류탑 장치에 사용되는 특수충진체에 의한 열교환기술과 IH(Induction-Heating) 전 자유도가열용의 특수한 고주파 전력회로 기술을 응용한 차세대 가열방식이다. 특히 일체의 연소과정이 없다는 점에서 작업환경의 개선이 가능하며 본 기술은 IGBT대응의 고주파 인버터를 사용하여 상용교류로부터 수[kHz]의 고주파교류(HFAC)를 발생시킬 수 있다.

본 논문에서는 1.5[kW]급 하프-브릿지 공진형 인버터 시스템과 공진부하의 동작해석, 특성분석 및 본 시스템을 이용한 2단계가열 과열증기 발생장치의 개발과 시스템의 응용에 대해 논하였다.

Abstract

Proposed induction-heated system is innovative system which applied special high-frequency power circuit technique for thermal converse technique and IH(Induction-Heating) magnetic induction heating generated from induction-heated metallic package that is for distillation unit. In this occurs not burning, so that the working environment can be improved. This electromagnetic induction heating technique is used high frequency inverter. By using high frequency inverter high frequency alternative current (HFAC) in the range of [kHz] can be made with conventional alternative current. In this contribution IGBT module is used for high frequency inverter.

In this paper are discussed action analysis and characteristics analysis of 1.5[kW]-Class half-bridge resonant inverter system and resonant metallic package. In addition, by using this system, how two step heating superheated steam generator is developed and application of system are also discussed.

Key Words : High-Frequency, Inverter, Induction-Heating

* 주저자 : (주)ATS 주임연구원
Tel : 041-549-5651, Fax : 041-533-3066
E-mail : dbwogns0824@nate.com

접수일자 : 2007년 8월 24일
1차심사 : 2007년 8월 28일, 2차심사 : 2007년 10월 15일
심사완료 : 2007년 11월 16일

1. 서 론

우리나라는 에너지 다소비형 산업구조로 되어 있어서 에너지 소비증가율 및 CO₂ 배출증가율이 선진

국과 비교하여 매우 높은 수준이다.

2000년 기준 CO₂배출량은 세계 9위(433.5백만 CO₂톤)에 달하며, 1990~1997년 온실가스 배출량은 1.7배 증가하고, 1인당 온실가스 배출량도 동일 기간 중 1.8배 증가하였다.

이는 철강, 석유화학산업 등 에너지 다소비업종의 비중 증가에 따른 것이다. 따라서 우리나라는 에너지를 많이 쓰는 경제구조에서 에너지를 적게 쓰는 경제구조로 전환하였고 고부가가치 산업 육성, 배출가스 저감기술 개발 등을 추진해야 할 것이다.

유도가열(IH : Induction Heating)기술의 기본 원리는 1831년 패러데이에 의해서 발견된 전자기 유도 현상이다. 코일에 교류전류를 흘려주면 코일 주위에 자속이 생기며, 이 자속의 시간적 변화에 의해 코일 부근의 금속체에 와전류가 유기되어 금속체가 가열되는 현상이 유도가열의 원리이다.

이러한 유도 가열 방식은 연소에 의한 발열과 비교하여 우수한 장점을 지니고 있다. 유도가열은 가열효율이 높기 때문에(가스기 : 70[%], 유도가열 : 90[%]이상)경제적이며, 신속한 가열을 통하여 워밍업등을 위한 소비전력을 줄일 수 있다. 또한 출력 및 온도제어가 용이하여 사용이 편리하며, 안정성 및 배출가스 등의 오염 물질의 발생이 없어 위생적이며, 청결하다[1].

본 논문에서는 하프브리지 대상 인버터로 유도가열용 인버터를 설계, 제작하여 유도가열 시스템으로써의 동작 특성 및 성능을 검증하였다. 시스템을 안정적으로 제어하기 위해서 인버터는 스위칭주파수 20[kHz]대역에서 작동되는 하프브리지 고주파 직렬 부하 공진형으로 하였으며, LC 공진 설계에서 부하자체를 인덕턴스(L)로 설정하였다. 마지막으로 공진형 인버터 설계를 위해 시뮬레이션 및 실험을 통해 정상 유도가열 시스템의 동작해석, 성능분석을 하여 제안한 방법이 효과적임을 보였고 실제 제작한 시스템에서는 2단 가열을 구현하였다. 목표온도 180[°C], 250[°C]을 설정한 이유는 음식물 쓰레기 건조와 음식물 가공을 할 수 있는 온도이기 때문이다. 또한 본 논문에서는 직접 제작한 고주파 유도가열 시스템을 사용하여 출력 온도에 따라 주파수를 변화하도록 시스템을 제어하여 유도가열 시스템의 전력

변화를 확인하고 그에 따른 안정성을 논하고자 한다.

2. 관계 이론

2.1 유도가열의 원리

2.1.1 고주파가열

고주파 가열방식에는 원리적으로 두 가지 방법이 있다. 하나는 피가열물이 목재, 고무, 먼 등과 같은 유전체인 경우, 소위 유전체손에 의한 자기발열을 이용해서 피가열물의 내부로부터 균일하게 가열시키는 유전가열이고, 또 다른 방식은 피가열물이 금속류 등과 같이 도전체인 경우로서 피가열물에 유기되는 와전류에 의한 주열을 이용하여 가열을 하는 유도가열이다.

유도가열방식은 유도가열용 코일에 흐르는 고주파 전류에 의하여 만들어지는 자장 중에 도전성을 가진 피가열물을 놓고 피가열물의 자기발열로 인하여 온도상승을 기대하는 것이므로 발열기구로서는 피가열물 중에 유기되는 와전류로 인한 와전류손과 피가열물이 철과 같이 자성체인 경우의 히스테리시스 손 등으로 분류할 수 있다.

실제로 대상이 되는 피가열물이 폐자료를 형성하는 일은 거의 없고, 또한 히스테리시스 계수도 매우 적으므로 히스테리시스 손에 의한 열의 발생은 와전류에 의한 열의 수[%] 밖에 되지 않는다. 따라서 고주파 유도가열에 의한 열의 발생은 실질적으로는 와전류에 기인하는 와전류손이라고 생각하여도 무방하다.

이와 같이 유도가열방식도 유전가열방식과 같이 피가열물 자신의 와전류손에 의하여 자기발열을 시키는 것이므로 금속의 용융, 단조, 용접 및 강의 담금질 등 각종의 열처리를 행하는 경우 수 초간이라는 매우 짧은 시간으로 피가열물을 요구하는 온도까지 가열시킬 수 있으므로 피가열물에서의 열의 방산도 적게 할 수 있어서 열효율이 양호하며 고주파 전원장치의 효율을 고려하여도 전체효율은 양호한 편이다.

종래의 방법과 같이 증류, 가스 혹은 전열을 이용한 기타의 전기로 등과 같이 별도의 고온 발열체를 준비할 필요가 없으며, 증류의 발열로 등에서 나오

는 소음이나 고온으로 인한 고통을 작업자가 느낄 수 없게 되며 위생적으로 작업할 수 있다.

2.2.2 전기가열

열원으로서 전력을 사용하는 경우 다른 열원과 비교하여 전기가열은 열효율이 매우 좋고, 높은 온도를 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 연료에 의한 가열에서는 연소가스, 과잉 공기에서 나가는 열과 불완전 연소 가스가 함유한 열량이 많아 열효율이 나쁘지만, 전기가열에서는 가스발생이 없고 밀폐 보온이 잘 되어 효율이 좋다.

기존의 가스 연소식 조리기의 경우 주변으로의 열손실이 많아 열효율이 40[%]에 불과하나, 유도가열 방식 조리기를 사용할 경우에는 그릇 자체가 발열하기 때문에 열손실이 적어 효율이 90[%]에 달하며, 가스식과 달리 CO₂의 발생이 없고, 연기나 증기의 방출량이 매우 적다.

그림 1과 같이 가열하고자 하는 도체에 코일을 감고, 이 코일에 고주파 전류를 흘리면 도체에는 고주파 자속이 통과한다. 고주파 자속의 변화에 의해서 도체에는 전류가 유기되며, 이 유기된 전류가 와전류이다. 이 와전류는 주파수가 낮은 경우에는 도체 단면의 전체에 전류밀도가 거의 같지만, 주파수가 높아짐에 따라 전류밀도는 표면에 집중된다. 이와 같은 현상을 표피효과라 한다.

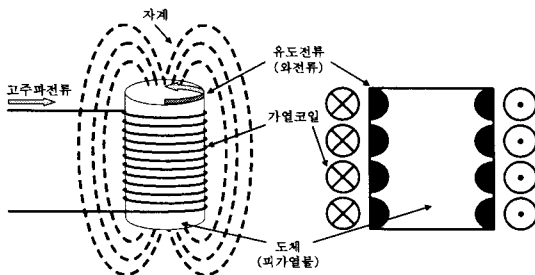


그림 1. 유도가열의 원리
Fig. 1. Principle of induction heating

주파수가 매우 높아지면 표피효과의 영향으로 와전류는 도체의 표면에 대부분 흐르고 중심부에는 거의 흐르지 않게 된다.

고주파 가열에 사용되는 고주파 전원의 주파수는

매우 범위가 넓기 때문에 부하와 용도에 따라 주파수를 선택하여 사용해야 한다.

2.2 유도가열 시스템의 등가회로 및 부하특성

일반적으로 유도가열 시스템은 가열코일과 부하를 각각 1, 2차 측으로 하는 변압기 등가 모델로 표현할 수 있다. 이 등가 모델은 그림 2와 같이 하나의 등가 인덕턴스 L_{eq} 와 등가 저항 R_{eq} 의 직렬연결로 나타낼 수 있다.

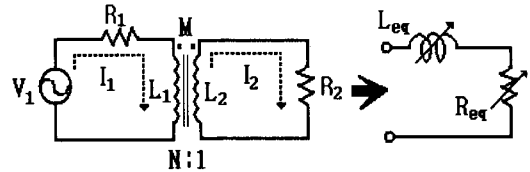


그림 2. 유도 가열 시스템의 등가 회로
Fig. 2. The equivalent circuit of induction heating system

그림 2의 회로를 풀면 식 (1)과 같다.

$$V_1 = (R_1 + j\omega L_1)I_1 - j\omega M I_2$$

$$0 = -j\omega M I_1 + (R_2 + j\omega L_2)I_2 \quad (1)$$

여기서 M 은 상호인덕턴스이다.

식 (1)을 I_2 에 대해서 정리를 하면 식 (2)와 같다.

$$I_2 = \frac{j\omega M I_1}{R_2 + j\omega L_2} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에 의해 등가회로의 파라미터는 식 (3)와 같다.

$$\frac{V_1}{I_1} = R_{eq} + j\omega L_{eq} \quad (3)$$

한편 이 등가화 된 파라미터 L_{eq} , R_{eq} 는 가열 부하의 크기와 위치, 가열코일과 부하사이의 거리, 부하의 도전율과 투자율, 동작주파수 등에 의해 변하게 된다. 또한 변압기 2차측 저항 R 는 와전류의 침투 깊이에 의해 결정되므로 식 (4)와 같다. 실제 유도

가열에 의해 발생하는 출력전력은 저항과 전류의 관계에 의해서 식 (5)로 표현된다.

$$R_2 = \frac{1}{\pm} = D_{\pm}^2 \cdot f \quad (4)$$

$$P = I_2^2 R_2$$

$$P = (NI_1)^2 \cdot D_{\pm}^2 \cdot f \quad (5)$$

여기서 N : 가열코일의 턴수, $I_2 = NI_1$ 이다[2].

2.3 하프-브릿지 인버터

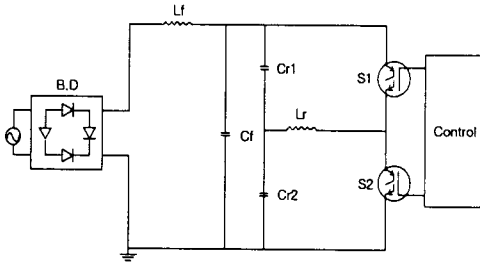


그림 3. 하프-브리지 공진형 인버터
Fig. 3. Half-Bridge resonant inverter

2.3.1 인버터의 기본 동작

그림 3의 하프-브리지 인버터는 직류 전원전압이 커패시터에 의해 두 부분으로 분리되며, 스위치의 수가 2개로 된다. 각 커패시터는 용량이 동일하며 양단에 $V_{dc}/2$ 의 전압이 걸리게 된다. 그리고 유도성 부하의 전류를 연속적으로 흐르게 하기 위해 케환다이오드가 필요하다.

대전력 스위칭 회로에서는 상부(위쪽 IGBT)와 하부(아래쪽 IGBT)의 암단락에 의해서 관통전류가 발생하게 된다. 관통전류가 발생하는 원인은 푸쉬-풀드라이빙(Push-full driving)시 소자의 턴 오프 딜레이(Turn off delay)가 발생하여 상, 하상이 순간적으로 동시에 온 되기 때문이다. 그래서 보통 두상의 스위칭 사이에 수[μs]의 불감시간대를 고의로 발생시키게 되며, 이 불감시간을 데드타임이라고 한다. 대개 IGBT의 경우에는 2~3[μs] 정도를 사용하며, 스위칭 속도가 좀더 빠른 MOSFET의 경우에는 1~

1.5[μs] 정도를 사용한다.

2.3.2 인버터 모드별 동작

동작모드에서 스위치 Q_1 과 Q_2 의 전류 방향성은 부하특성에 따라 정해진다. 대부분의 경우 부하는 역률이 1이 아니며, 전류의 방향에 따라 스위칭 타이밍이 결정되는 것도 아니므로 스위치 Q_1 과 Q_2 는 적어도 양방향 전류특성을 갖는 것이 요구된다. 스위치 Q_1 과 Q_2 의 전압 방향성은 입력전압에 의하여 결정된다.

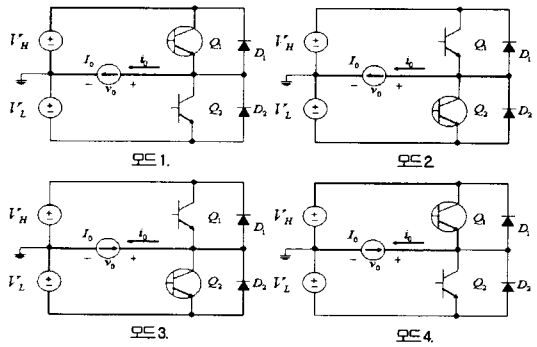


그림 4. 단상 하프 브리지 인버터 동작모드
Fig. 4. Single-phase half-bridge inverter operation mode

그림 4는 단상 하프 브리지 인버터 동작모드를 나타내고 있다.

동작모드 1에서는 전류가 $V_H \rightarrow Q_1 \rightarrow I_0 \rightarrow V_H$ 의 순서로 흐르며 출력전압 $v_0 > 0$, 출력전류 $i_0 > 0$ 일 때, 전력은 V_H 로부터 부하로 전달된다.

동작모드 2에서는 전류가 $V_L \rightarrow D_2 \rightarrow I_0 \rightarrow V_L$ 의 순서로 흐르며 출력전압 $v_0 < 0$, 출력전류 $i_0 > 0$ 일 때, 전력은 부하로부터 V_L 로 전달된다.

동작모드 3에서는 전류가 $V_L \rightarrow I_0 \rightarrow Q_2 \rightarrow V_L$ 의 순서로 흐르며 출력전압 $v_0 < 0$, 출력전류 $i_0 < 0$ 일 때, 전력은 V_L 로부터 부하로 전달된다.

동작모드 4에서는 전류가 $V_H \rightarrow I_0 \rightarrow D_1 \rightarrow V_H$ 의 순서로 흐르며, 출력전압 $v_0 > 0$, 출력전류 $i_0 < 0$ 일 때, 전력은 부하로부터 V_H 로 전달된다[3].

3. 위상제어

3.1 위상제어

위상제어는 전원의 각 반주기에서 제어소자의 도통시점을 변화시켜 출력의 실효치를 조정하므로 분수파제어 방식이며, 이를 위상각제어라고도 한다. 위상제어는 회로가 간단하고 제어가 쉬운 장점이 있다.

위상제어 정류기의 부하가 인덕턴스 성분을 포함하게 되면 동작이 조금 복잡해진다. 부하에 포함된 인덕턴스 L 의 크기에 따라 출력전류가 연속이 되기도 하고 불연속이 되기도 한다. 여기서는 인덕턴스 L 이 매우 큰 경우에 대하여 위상제어 정류기의 동작특성을 살펴보고 교류 입력측 역률과 고조파 등을 분석한다. 또한 이 방식은 AC 파형에 따라 아주 미세하게 조정되므로 AC 모터등 각종 전기기기를 손쉽게 제어할 수 있다.

그림 5는 단상 전파 위상제어 정류회로에서 순수 저항부하 R 을 $R-L$ 유도성 부하로 대체한 경우의 회로도 및 각부의 전압 및 전류파형을 나타낸다. 부하 인덕턴스 L 은 매우 커서 출력 전류의 리플성분이 거의 무시된다고 가정하고 위상제어 정류회로의 동작 원리를 알아본다.

전원전압 v_s 의 양의 반주기($0 \leq \omega t \leq \pi$) 동안에는 SCR T_1 과 T_4 가 순방향 바이어스 되고 T_2 와 T_3 는 역방향 바이어스 되므로 위상각 $\omega t = \alpha$ 에서 T_1 과 T_4 를 동시에 턴온한다. T_1 과 T_4 가 온 상태가 되면 전류는 전원 v_s , T_1 , $R-L$ 부하, T_4 로 구성되는 루프를 흐른다. 이 상태는 위상각 ωt 가 π 를 지나 v_s 의 극성이 바뀌어도 $\omega t = \pi + \alpha$ 에서 T_2 와 T_3 를 턴온할 때까지 지속된다. 왜냐하면 인덕터를 통해 흐르는 전류는 연속이고 T_1 과 T_4 의 턴오프 제어는 불가능하기 때문이다. 따라서 출력 전압 v_o 는 위상각 π 에서 $\pi + \alpha$ 구간 동안 v_s 와 같으며 음(-)의 값을 갖는다. 이 구간에서 T_2 와 T_3 는 순방향 바이어스 되어 있으므로 T_2 와 T_3 에 게이트신호가 인가되며 턴온된다. T_2 (T_3)가 $\omega t = \pi + \alpha$ 에서 턴온되면 T_1 (T_4)을 통해 흐르던

전류는 T_2 (T_3)로 옮겨지므로 전원전류 i_s 의 극성이 바뀐다. $\pi + \alpha \leq \omega t \leq 2\pi + \alpha$ 구간에서의 전류는 전원 v_s , T_2 , $R-L$ 부하, T_3 로 구성되는 루프를 따라 흐른다[4].

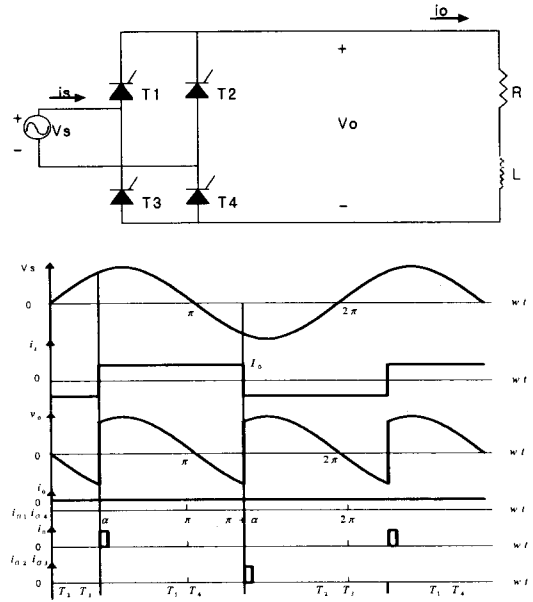


그림 5. 위상제어
Fig. 5. Phase control rectifier

3.2 인버터 시스템

3.2.1 DPH 시스템의 구성

본 논문에서 제안된 DPH용 인버터는 그림 6과 같이 구성하였다. 시스템 구성은 크게 입력부, 전력변환부, 출력부로 나눌 수 있다. 입력부는 정류회로로 구성되며, 주요 소자는 브리지다이오드와 캐패시터로 다이오드 후단에 사용되는 캐패시터는 상용주파수의 전원 측에서 PWM제어를 행하고 고효율 특히선 전류의 정현화 기능을 갖도록 설계하는데 시스템 특성상 120[Hz] 리플성분을 그대로 통과 시킬수 있도록 수 [μF]정도의 용량을 사용하였다.

전력변환부는 스위칭소자와 구동회로로 구성되며 온도, 전력조정부는 위상제어를 하고 있다. 본 실험에서 사용한 스위칭소자는 모듈타입으로 된 IGBT이며, 구동회로의 주요 소자는 74HC4046, 74HC74,

공진형 인버터를 이용한 2단 유도 가열 시스템의 주파수 제어에 관한 연구

IR2110을 사용하였다. 그리고 출력부는 공진회로로 구성되며 커패시터와 부하 인덕터가 있다.

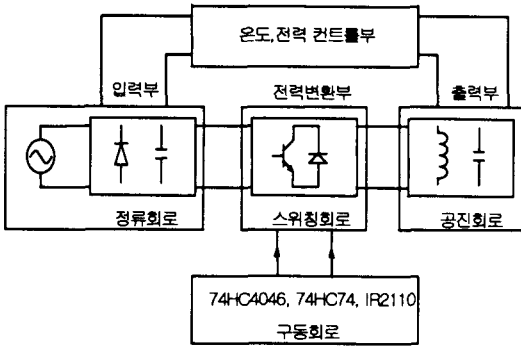


그림 6. 제안한 DPH 시스템의 구성도
Fig. 6. A block diagram of the proposed DPH system

74HC4046은 VCO(Voltage control oscillator)소자로서 전압을 비교하여 원하는 주파수의 구형파를 출력하는 오실레이터로 PLL(Phase locked loop)회로에 많이 쓰이는 소자이며, 74HC74는 D-플립플롭으로 입력신호의 상승주기에 온이 되고 다음 신호의 상승 주기에 오프 되도록 구현하여 기준 파형 Q_1 , $\overline{Q_1}$ 을 출력한다.

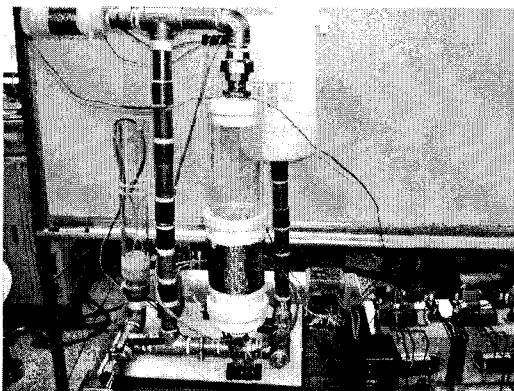


그림 7. 인버터 시스템
Fig. 7. Inverter system

그림 7은 실제 제작한 인버터로서 하프-브릿지 직렬부하 고주파 공진형 인버터를 나타내는데 이것은 절연파이프의 두께, 내부의 발열체부하의 소재 그리

고 가열 유체계에 의해 변화하는 인덕턴스와 저항분으로 구성되는 전기회로 모델로 볼 수 있다. R-L 부하와 L을 보상하는 C로부터 직렬공진 회로계를 위한 고효율 운전을 위하여 인버터의 동작 주파수 선정이 매우 중요하다.

4. 실험 및 검토

4.1 IsSpice를 이용한 시뮬레이션

그림 8은 시뮬레이션 툴인 IsSpice를 이용하여 작성한 회로이며, 그림 9는 작성한 회로의 시뮬레이션 파형이다. 스위치 X_1 , X_2 가 서로 상보적으로 스위칭하며, 암단락을 방지하기 위해 데드타임을 주었다. 공진주파수는 20[kHz]대역으로 설정하였고 스위칭 주파수는 공진주파수 보다 약간 높게 설정하였다.

그림 10과 그림 11은 본 논문에 실측파형을 나타낸 것이다. 실험을 통하여 본 논문에서 설계 제작한 공진형 인버터가 20~50[kHz] 영역에서 부하 양단의 전압파형과 부하의 전류파형이 이론파형 및 시뮬레이션 파형과 일치함을 확인하였다.

그림 12는 전력조정기에서 전력조정을 하지 않았을 때의 정현파이며, 그림 13은 90[%]로 위상제어를 하고 있는 실측파형이다.

1차 가열부는 1.5[kW]급 하프-브릿지 인버터를 사용하였으며, 상온의 물을 100[°C]의 수증기 상태로 만드는 역할을 한다. 2차 가열부는 1[kW]급 하프-브릿지 인버터로 구성하였으며, 1차측으로부터 유입되는 증기를 다시 가열하여 100[°C]이상의 과열증기를 발생시킨다. 그리고 1차측의 보일러부에는 항상 적정량의 물이 공급되어야 하므로 본 실험에서는 수위 조절센서와 밸브를 설치하여 원활한 물의 공급을 하였다.

실험 결과 1차측 목표온도 도달 시간은 50[sec], 2차측 온도도달 시간은 200[sec]로 일체의 압력을 걸지 않은 상태에서 고온도의 과열증기를 단시간에 발생시킬 수 있었다.

본 실험을 통하여 표 1은 목표온도 180[°C]로써 현재 시중에서 판매하고 있는 음식물 쓰레기 건

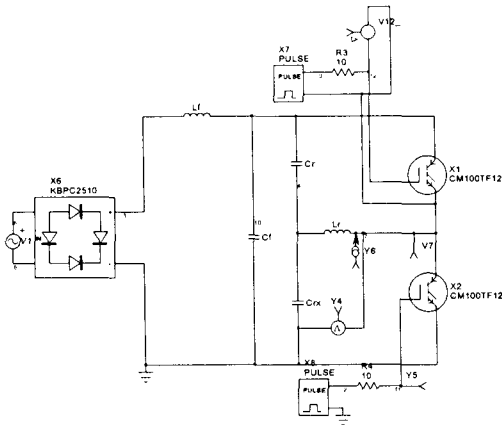


그림 8. 시뮬레이션 회로
Fig. 8. Simulation circuit

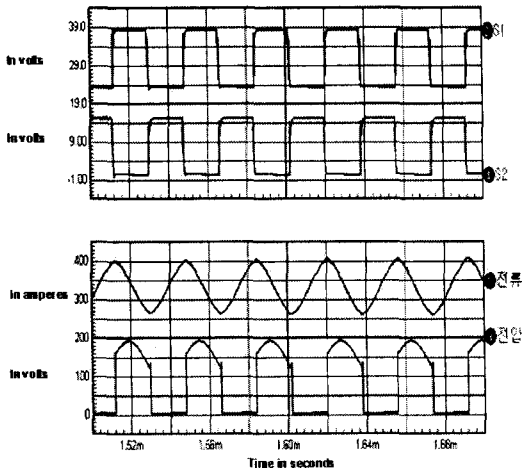


그림 9. 시뮬레이션 파형
Fig. 9. Simulation waveforms

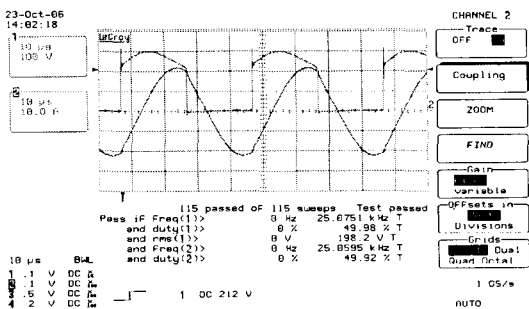


그림 10. 1차측 실측파형
Fig. 10. Switching and output waveforms

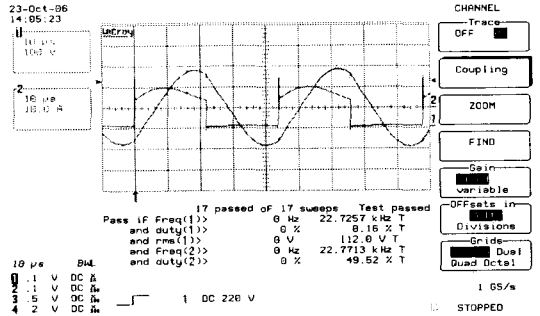


그림 11. 2차인버터 실측파형
Fig. 11. Switching and output waveforms

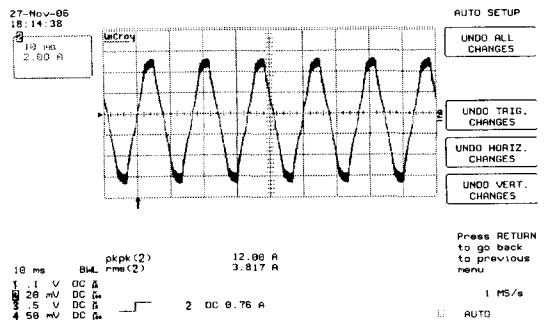


그림 12. 위상제어 정현파
Fig. 12. Phase control sine wave

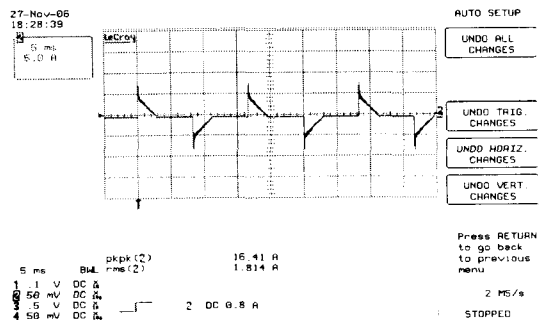


그림 13. 위상제어 90[%]
Fig. 13. Phase control 90[%]

조기와 비교하여 완전전조시간이 약 4시간 정도 있었으나 본 시스템에서는 시간을 단축시킬 수가 있다.

표 2는 목표온도 250[°C]로써 현재 시중에서 판매하는 오븐렌지와 본 시스템에 대한 비교표이다. 400[W]으로 온도를 올려줄수가 있으며 전기를 줄 감

공진영 인버터를 이용한 2단 유도가열 시스템의 주파수제어에 관한 연구

소시킬 수가 있을 것으로 예상된다.

표 1. 음식을 쓰레기 건조 상태 비교
Table 1. Dry condition comparison of food waste

	DPH시스템	에코웰
정격전압	110/220[V], 25[kHz]	220[V], 60[Hz]
최대출력	400[W]	360[W]
처리방식	과열증기	이중열풍
완전건조시간 (약700g)	1~2	4~5

표 2. 오븐렌지 비교 250[°C]
Table 2. Comparison between oven range and DPH

	DPH시스템	오븐렌지
정격전압	110/220[V], 25[kHz]	220[V], 60[Hz]
최대출력	400[W]	600[W]
온도	100~250[°C]	100~250[°C]

표 3. 각 주파수의 전류변화
Table 3. Current change of each frequency

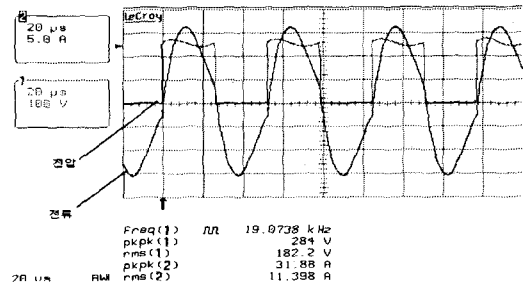
주파수 [kHz]	전압[V]	입력전류 [A]	출력전류 [A]
19	200	4	11.80
20	200	3.9	10.79
21	200	3.63	10.35
22	200	3.31	9.47
23	200	3.21	8.71
24	200	3.12	8.68
25	200	2.75	8.58
26	200	2.63	7.59
27	200	2.50	7.23
28	200	2.43	6.75
29	200	2.21	6.64
30	200	2.17	6.34
31	200	2.03	6.17

본 실험에서 사용한 IGBT모듈은 페어차일드사의 FMG2G100US60제품으로 내압이 600[V], 100[A]이다. 또한 1차측 파라메타로 용량이 0.1[μF]

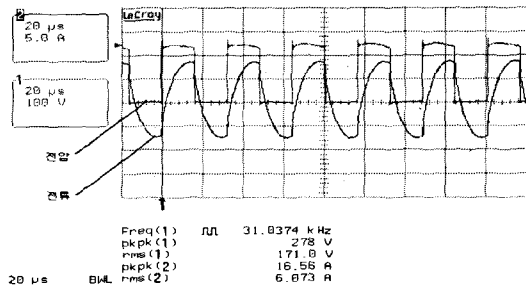
인 콘덴서를 여러 개 병렬 연결하여 사용하였으며, 코일 값인 인덕턴스는 100~200[μH]으로 조정하였다.

공진 콘덴서는 주파수 특성이 좋은 폴리프로피렌 계열을 주로 사용하지만 리플전류를 고려해서 적절한 용량의 것을 사용하였다. 브릿지 다이오드 뒷단에 사용되는 LC필터는 상용주파수의 전원 측에서 보면 복잡한 액티브 PWM제어를 행하지 않고 고효율, 특히 선 전류의 정현파화 기능을 갖도록 설계하는데 소형화로 구성된 시스템 특성상 리플성분을 그대로 통과시킬 수 있도록 작은 용량의 필터를 선정하였다. 또한 필터 선정 시 역률 제어 특성을 고려하여 통상 LC 필터로 사용되는 인덕턴스는 수십[μH], 콘덴서는 수[μF]정도의 용량을 사용하였다.

표 3은 주파수에 대한 입, 출력 전류변화이다. 이 유도가열 시스템의 공진 주파수는 18[kHz]이다.



(A) 주파수(19kHz)



(B) 주파수(31kHz)

그림 14. 주파수에 따른 전압 및 전류파형
Fig. 14. Waveforms of output voltage and current according to frequency

그림 14은 주파수에 따른 부하 양단의 전압 및 전류파형을 나타낸 것이다.

출력에 따른 주파수 가변을 위해 PICBASIC 2000 KIT와 온도조절기를 사용하였다. 온도조절기는 4~20[mA]의 출력을 내는데 이를 전압으로 변환하여 PICBASIC KIT의 입력으로 넣고 그에 따른 출력으로 주파수를 가변하였다.

표 4는 직접 실험하여 얻은 온도조절기 출력에 대한 전압 및 주파수이다. PICBASIC KIT에서 온도에 대한 제어가 이루어진다.

표 4. 출력에 따른 전압 및 주파수
Table 4. Voltage and frequency according to output voltage

온도조절기 출력전압 [V]	PICBASIC KIT디지털 출력(0~4095)	VCO입력 [V]	주파수 [kHz]
1[V]	4076	4.1	33
2[V]	3226.8	3.2	30
3[V]	2457.6	2.8	26
4[V]	1628.4	2.1	22
5[V]	819.2	1.5	18

5. 결 론

본 논문에서는 유도가열용 하프브리지 공진형 인버터를 이용하여 스위칭 주파수 19~31[kHz]범위에서 전압을 조정하여 안정하게 동작하는 유도 가열 시스템을 설계 및 제작하여 실험한 결과 상압에서 100[°C] 이상의 과열증기를 단시간에 발생시킬 수 있는 장점을 가지고 있으며, LC공진에 있어서 부하 자체를 인덕터만을 사용하였다. 고주파 공진형 인버터를 이용한 유체 가열방식은 유도가열에 있어 새로운 가열방식으로 기대가 되며 충분한 열원으로서 가능성을 확인할 수 있었다. 설정 온도를 정하면 목표온도[°C]까지 올라가 목표온도부터 전력조정기에서 위상제어를 해줌으로써 온도조절을 할 수 있다는 점을 확인할 수 있었다. 공진형 인버터를 이용해 각각의 주파수에 따른 유도가열 시스템의 전력 변화와 그에 따른 온도제어를 제안하였다. 주파수에 대한 동작특성을 확인하여 공진형

인버터를 이용한 유도가열 시스템의 안정성을 확인하고 주파수 선택도에 따른 전류의 변화 역시 확인할 수 있었다. 하프브리지 공진형 인버터를 이용하여 유도가열 시스템을 제품화하는데 앞으로 고주파인버터의 스위칭손실 및 노이즈대책, 고성능화에 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.

감사의 글

본 연구는 호서대학교 기초연구(과제번호 : 20070015)의 지원으로 수행되었으며, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] Hyuk-Min Kwon, “高周波 共振形 인버터를 이용한 誘導加熱 시스템에 關한 研究”, 호서대학교 박사학위논문, pp. 12~13, 2006.
- [2] 유재훈, 신대철, 권혁민, 박희창 “1.5(kW)급 고주파 공진형 인버터를 이용한 유도가열 가정용 시스템에 관한연구” 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1528, 2006.
- [3] 노의철, 정규범, 최남섭, “전력전자공학”, 문운당, pp. 111~112, 2002.
- [4] 노의철, 정규범, 최남섭, “전력전자공학”, 문운당, pp. 313~386, 2002.

◆ 저자소개 ◆

유재훈 (俞在勳)

1979년 8월 24일생. 2005년 호서대학교 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)ATS 주임연구원.

신대철 (申大澈)

1952년 3월 2일생. 1974년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1976년 농 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 농 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1977년 3월~1979년 2월 전주공업전문대학 전임강사. 현재 호서대학교 전기공학과 정교수.