

유도가열 시스템을 위한 새로운 전류형 풀-브릿지 공진형 인버터 설계

(Design of New Current Full-Bridge Resonant Inverter for Induction Heating System)

이상훈* · 임상길 · 송성근**

(Sang-Hun Lee · Sang-Kil Lim · Seung-Gun Song)

Abstract

There are two types of inverters that are generally used in induction heating systems: voltage type inverters and high-frequency half-bridge inverters. This paper proposes a new resonant inverter for induction heating systems using the current type full-bridge method. The proposed method can remove capacitors at the input end, and enables unity power factor operation by preventing phase differences of voltage and current. Furthermore, Zero Voltage Switching (ZVS) which is in tune with current type inverter can be adopted and continuous power adjustment is possible through duty ratio changes and frequency modulation in switching operation. Simulations and experiments showed that the proposed current type full-bridge resonant inverter could be used for unity power factor control and ZVS operation in induction heating systems.

Key Words : Zero Voltage Switching (ZVS), Induction Heating Systems, High-frequency Half-bridge Inverters, Resonant Inverter

1. 서 론

최근 IGBT를 비롯한 IGCT, SCR, MOSFET 등 전력용 반도체의 눈부신 발전으로 인해 전력용 반도체 소자를 이용한 고주파 영역의 스위칭을 요구하는 시스템의 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 유도가열

시스템은 기본적으로 패러데이의 전자기 유도현상을 이용한 것으로 도전성이 있는 물체를 감싸고 있는 가열코일에 고주파 교류 전류를 흘려주면 가열 코일에 의해 여러 개의 자계가 생성되고, 발생된 각각의 자계에 의해 와전류가 발생하며, 여러 개의 와전류가 도전성을 가지고 있는 대상의 표피 저항에 의해 주열로 발생하게 되어 대상을 가열 시키는 것이 유도가열의 원리이다.

유도가열 시스템에서 일반적으로 사용되는 인버터는 크게 두 가지 방식으로 나누어진다. 첫째로 전압형 인버터를 이용하는 유도가열 시스템이다. 이 시스템은 스위칭 주파수를 가변 하여 출력을 조절하

* 주저자 : 한국승강기대학 승강기 전기설계과 전임강사
** 교신저자 : 전자부품연구원 디지털컨버전스연구원 센터장
Tel : 055-949-2289, Fax : 055-949-2254
E-mail : sgsong@keti.re.kr
접수일자 : 2012년 5월 21일
1차심사 : 2012년 5월 25일, 2차심사 : 2012년 6월 18일
심사완료 : 2012년 6월 23일

며 공진 회로 내에서 무효전력을 이끌어내는 방식으로 원하는 공진 주파수보다 높은 주파수로 스위칭하는 방법이다. 이로 인해 인가전압에 따른 전류분의 위상이 지연되고 상대적으로 무효 전력이 가감되며, 부하측을 공진으로 구성하고 공진 주파수보다 높은 주파수로 스위칭하게 되면 자동적으로 턴-온시에 영전압 스위칭을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 고주파수로 갈수록 손실이 증가하게 되어 이를 줄이기 위해 보조회로를 구성하는 방식 대신 다른 방식의 회로를 구성하거나, 전력용 반도체 소자에 스트레스를 줄일 수 있는 영전압 스위칭 방식 대신 다른 스위칭 방식을 다르게 하여 손실을 감소 시켜야 하는 단점이 있다. 이에 반해 두 번째로 고주파 하프브리지 인버터 방식은 영전압 스위칭 방식이 이루어질 수 있다는 장점을 지니고 있을 뿐만 아니라 하프브리지 방식의 특성상 전력용 반도체 소자의 내압이 작으며, 이에 따라 대용량화로의 확장이 용이하여 유도 가열 시스템에 많이 사용되고 있다. 이러한 하프브리지 타입 고주파 인버터를 사용하게 되면 가열 효율이 높기 때문에 경제적이며, 신속한 가열로 인해 생기는 손실이 저감하여 고효율화를 이룰 수 있을 뿐만 아니라 가열시 생기는 오염 물질의 발생이 없어 청결하다.

치과 보철물 제작에 사용되는 합금은 대부분 흐름성이 좋지 않아서 주입 시 주조성을 향상시켜 주조체의 정밀도 및 물성을 향상시켜주기 위해서 진공압박 가압흡입, 원심 주조 등 여러 방법으로 주조성을 향상시킨다. 고주파 유도 가열에 의해 용융된 도가니 속의 합금은 회전축의 고속회전에 따른 원심력에 의해 주조링으로 주입되고, 원심력의 압력 하에서 응고하여 원하는 모양의 주조체를 얻을 수 있게 된다. 본 논문에서는 개발한 치과용 보급형 가스분위기형 고주파 원심주조기에 장착된 고주파 발생 시스템에서 새로운 방식의 풀-브릿지 방식의 전류형 인버터로 구성된 공진형 컨버터를 제안하고자 한다. 제안된 공진형 컨버터는 유도가열 응용분야에서 신형 전력용 반도체 소자 사용 시 발생하는 문제점인 역 내압 분담용 다이오드를 접속하거나 복잡한 제어회로를 구성해야 하는 문제점 등을 보완하

고 고효율화를 실현할 수 있는 토폴로지의 적용으로 회로의 단순화 및 고효율화가 가능하다. 제안된 토폴로지의 단순화로 인해 기존의 복잡한 회로에서 생기는 효율 손실의 저감효과를 갖고, 신형 전력용 반도체 소자의 사용이 자유로워짐으로 인해, 회로구성에 있어서 다양성을 줄 수 있었다. 또한 전류형 인버터에 맞는 ZVS(Zero Voltage Switching) 스위칭 방식의 채택 및 스위칭 동작에서 시비율의 변화와 주파수 변조로 연속적인 전력 조정이 가능하다. 작은 임피던스를 가지는 직렬 공진 방식과 달리 큰 임피던스를 가지는 병렬 공진 방식을 채택하여 부하측에서의 단락이 발생할 때 직류 회로에 큰 리액턴스 성분이 존재하게 하고 사고전류의 상승률을 줄임으로써 회로의 보호를 용이하게 하였다. 또한 기존 유도가열 시스템에서 사용되는 토폴로지의 변화를 주어 입력단의 커패시터를 제거하고, 커패시터에 의해 생기는 전압 전류의 위상차를 발생하지 않도록 하여 단위역률을 이룰 수 있는 회로로 설계하였다. 본 논문에서 제안한 영전압 스위칭 펄스폭 변조 유도 가열 시스템에 대한 타당성 검증을 위해 시뮬레이션을 실시하였으며, 시뮬레이션 결과를 토대로 실험을 하였다.

2. 본 론

2.1 고주파 인버터 회로의 기술

고주파 인버터는 기본적으로 전원 공급에 대하여 전류원으로 동작하는 전류형과 전압원으로 동작하는 전압형으로 구분할 수 있으나, 회로에 사용하는 소자의 구성 또는 제어방식에 따라 하프-브릿지(Half bridge)형, 풀-브릿지(Full bridge)형, 푸시-풀(Push Pull)형 등이 있다. 또한 부하 탱크회로의 형태에 따라 직렬공진, 병렬공진, 직·병렬 복공진 방식 등이 있다. 또 최근에는 스위칭 손실을 저감시키고 효율을 증대하기 위하여 영전류(ZCS : Zero Current Switching)와 영전압(ZVS : Zero Voltage Switching)방식을 도입하고 있다. 공진에 따라 인버터를 분류하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

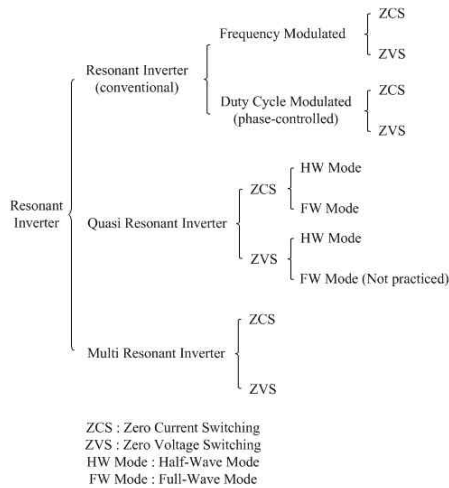


그림 1. 유도 가열을 위한 인버터의 분류
 Fig. 1. Inverter for induction heating

유도 가열을 위해 사용하는 고주파 인버터의 출력 방식은 아래와 같이 분류할 수 있다.

- ① 직류 전원 전압 제어 방식으로 위상제어와 초과에 의해 입력측의 에너지를 제어
- ② 인버터 자체에 VVVF 제어 기능을 부여하는 방식 (PFM, PWM)
- ③ 단위 인버터 간의 구간 위상제어 방식

위에서 분류한 ①의 위상 제어 방식의 회로 구성은 단순하지만 평활용 필터가 커지므로 장치 전체가 대형화되는 단점이 있으며, 최근에는 소·중 용량 기기의 경우는 ②, ③의 제어 방식이 활발히 연구 진행되고 있다[3].

고주파 공진 인버터는 기본적으로 부하에 대해서 전류원으로 동작하는 전류형과 전압원으로 동작하는 전압형으로 구분된다. 전류형 인버터는 회로의 동작 원리상 역 내압 특성을 갖고 있는 스위칭 소자가 요구되나, 신형 전력용 반도체 소자는 역 내압 특성이 없으므로 직렬로 역 내압 분담용 다이오드를 접속하거나 복잡한 제어회로가 요구되므로 전류형 인버터의 소자로는 적합하지 않다. 반면에 전압형 인버터는 비교적 적은 공진 전류로서 정합 변성기를 매개로 하여 부하에 에너지를 공급하고 있으며, 기동 보조회로가 필요 없어 주회로 구성이 간단하다.

병렬 공진회로를 기본으로 하고 있는 전류형 인버터

는 부하 측에서 전원을 볼 때 큰 리액터가 접속되어 있는 구성으로, 인버터의 전류 실패나 부하 측에서의 단락에 대해서는 직류회로에 큰 인덕턴스가 있기 때문에 사고 전류의 상승률이 적어서 보호가 용이한 이 점을 가지고 있다. 병렬 공진형 풀-브릿지 인버터의 스위칭 방법은 서로 대각으로 스위칭이 일어나며 부하 탱크 회로에 50[%]의 듀티 사이클을 가지고 구형과 전류가 흐른다. 그리고 탱크 회로에서 전류 공진이 발생하므로 부하에는 전원의 수배의 전류를 발생시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 최근에는 스위칭시 서로 대각적으로 전류 중첩 각을 설정하여 출력 전력을 제어하는 방법도 연구되어지고 있다[1].

2.2 유도 가열용 인버터

유도 가열용 고주파 인버터는 기본적으로 부하에 대해서 전류원으로 동작하는 전류형과 전압원으로 동작하는 전압형으로 구분된다. 전류형 공진 인버터는 반도체 소자에 흐르는 전류가 정합 변압기를 매개로 하여 부하에 큰 공진전류를 공급할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 초기 충전전류가 필요하므로 기동시간이 길어지는 단점이 있다. 더욱이 전류형 인버터는 회로 동작 원리상 역 내압 특성을 갖고 있는 스위칭 소자가 요구되나, 선형 반도체 소자는 역 내압 특성이 없으므로 직렬로 역 내압 분담용 다이오드를 접속하거나 혹은 복잡한 제어회로가 요구되므로 전류형 인버터의 스위칭 소자로서는 적합하지 않다는 것이 일반적이다. 반면에 전압형 공진형 인버터는 비교적 적은 공진 전류로서 정합 변압기를 매개로 하여 부하에 에너지를 공급하고 있으며, 기동 보조회로가 필요하지 않아 주회로 구성이 간단하다. 또 전압형의 경우는 안정운동 동작영역에서 벗어날 경우에도 자기 소호형 소자의 우수한 특성을 적극 활용할 수 있는 회로 형식이다. 유도 가열용 고주파 인버터는 하프-브리지 인버터, 풀-브릿지 인버터 토폴로지를 주로 사용한다. 그림 2는 고주파 인버터로서 하프-브리지 인버터를 나타내며 그림 3은 풀-브릿지 전압형 직렬 부하 공진형 인버터를 나타낸다.

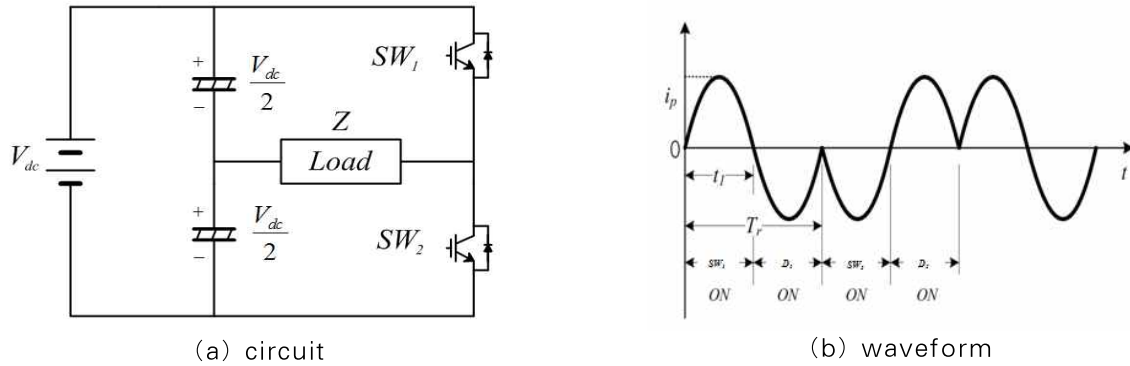


그림 2. 하프 브리지 직렬 공진 인버터
Fig. 2. Half-bridge series resonant Inverter

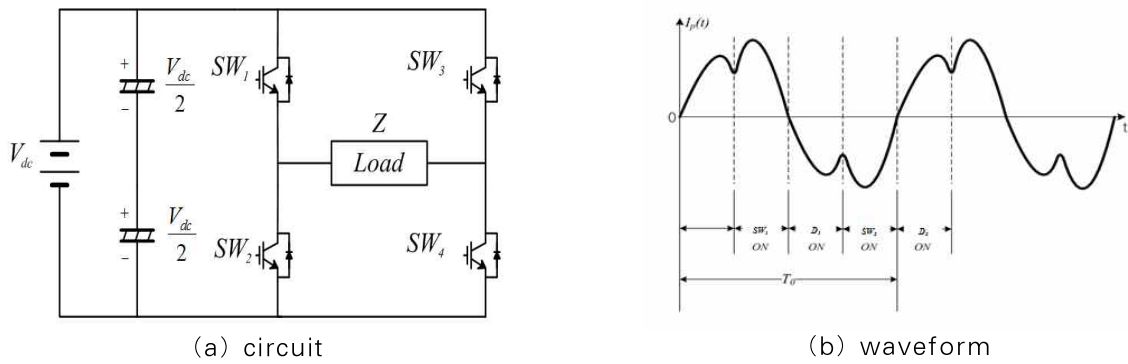


그림 3. 풀-브리지 직렬 공진 인버터
Fig. 3. Full-bridge series resonant Inverter

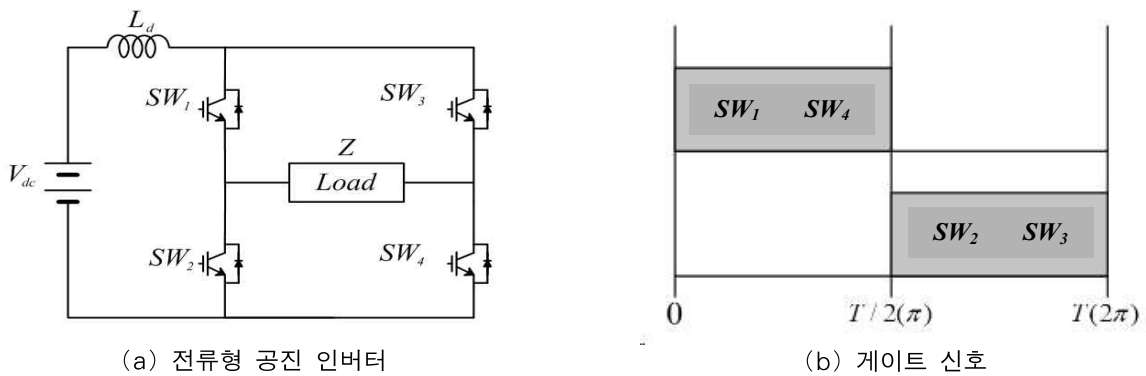


그림 4. 일반적인 전류형 풀-브릿지 공진 인버터
Fig. 4. Full-bridge series resonant Inverter

그림 4는 기존에 존재하는 풀-브릿지 구성을 한 전류형 고주파 인버터 회로를 나타낸다. 탱크회로는 유도 가열용 워킹 코일 L 과 피가열물체 저항 R , 역률 보

상용 콘덴서 C 로 구성되어 있으며, 커패시터는 유도 가열 부하와 병렬로 접속되어 있다. 다이오드의 경우 역전압 방지용으로 사용된다. 입력단에 존재하는 직

류 리액터의 경우 직류 전원으로부터 리플이 적은 일정 직류 전류를 부하로 공급하기 위한 것이며, 일반적으로 큰 값을 선정하여 일정한 정전류원을 근사적으로 실현 시키고 있다. 종래에는 인버터의 출력을 제어하기 위하여 직류 입력전원을 제어하는 방법이 종종 사용되었다. 종래에 인버터의 동작 방법은 그림 2.5에서 보는 바와 같이 상호 대각으로 스위치를 턴-온 하였으며, 출력 제어는 PFM(Pulse frequency modulation) 또는 전원을 가변시키는 방법이 일반적이다. 따라서 종래의 스위치의 동작은 그림 3.6에서 스위치의 게이트 신호 패턴에서 신호(s_1, s_4)와 (s_2, s_3)를 상호 대각으로 50[%]의 듀티 비를 갖는 스위치의 게이트 신호에 의해 회로를 턴-온하여 부하 탱크 회로에 구형파의 일정한 입력전류를 주입시키고 있다. 이 구형파 전류는 탱크 회로의 LC공진에 의하여 부하단에는 거의 정현파에 가까운 출력 전압을 발생하여 고주파 교류 출력을 발생시키고 있다[2,46-7].

2.3 제안된 고역률 고주파 유도가열 공진형 인버터

본 논문에서는 전류형 풀-브릿지 인버터 방식을 이용한 유도가열 시스템용 공진형 인버터를 제안하였다. 그림 5는 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터를 나타낸다. 제안된 인버터는 일반적인 전류형 풀-브릿지 인버터 방식과 다르게 다이오드를 생략한 스위치를 채택하여 동기형으로 스위칭 하는 회로를 구성하였다. 또한 입력측에 존재하는 컨버터 부분의 커패시터를 제거하여 커패시터에 의해 생기는 역률의 틀어짐을 방지하고 단위역률로 이룰 수 있도록 하여 전류형 컨버터로 동작 할 수 있도록 구성하였다. 회로의 구성은 $SW_1 \sim SW_4$ 까지 총 4개의 스위치를 사용하였으며, 입력단에 출력을 조절하기 위한 커패시터를 제거한 전류형 벡-컨버터와 인덕터 L_d 로 구성하였다. 부하는 인덕터 L 과 커패시터 C 로 구성하였으며, PFC 회로를 없앤 전류형 풀-브릿지 방식의 회로를 구성하였다. 제안된 회로의 경우 기존 전류형 풀-브릿지 인버터 방식을 유지하며 별도의 PFC회로를 제외하고 입력전류

및 전압에 대해 단위역률을 이룰 수 있게 하였다.

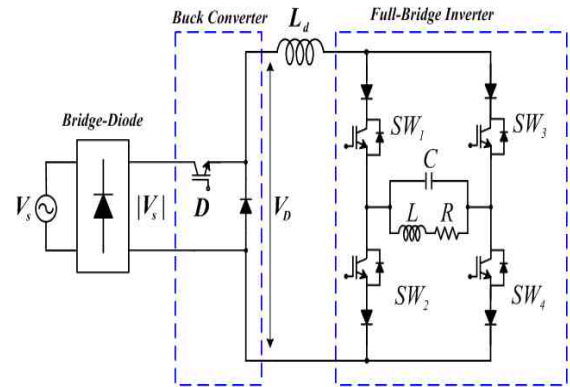


그림 5. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터
Fig. 5. Proposed concept of current full-bridge inverter

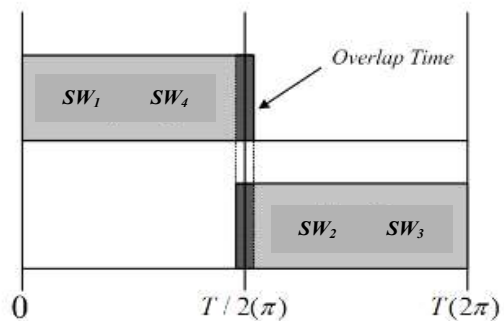


그림 6. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터의 게이트 신호
Fig. 6. Gate signal of proposed current full-bridge inverter

전류형 인버터에서 스위칭 방식은 전압형과 다르게 스위치가 양의 영역에서 음의 영역으로 전환될 때 암(Arm) 단락이 이루어져야 전류 패스가 이루어진다. 이로 환원하는 에너지 회수회로를 나타낸다.

제안된 회로 역시 수 μ 의 암-단락이 이루어지게 게이트 신호를 주었으며 주기 T동안 스위칭 파형을 그림 6에 나타내었다. 그림 6과 같이 일정한 암-단락이 이루어지지 않을 경우 입력 측에 존재하는 인덕터 L_d 에 계속 전류가 잔존해 있게 되며 인덕터 L_d 이 포화하게 된다. 그림 7은 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터의 동작모드를 나타낸다. 각 모드별 동작모드는 다음과 같다.

① Mode 1 (SW_1, SW_2 On)

Mode 1은 SW_1 과 SW_2 가 On되어 회로의 시작 구간이다. 본 구간은 입력전압 $dV_p|\sin\omega t|$ 이 입력될 때 입력측 전류형 컨버터의 전류 패스 구간을 만들어주기 위한 구간이며, 압-단락 시간을 증가시키면 승압의 효과까지 가져올 수 있게 된다. 이 구간의 시간을 전체 시간 T 시간 중 t_1 시간으로 정의 한다. 단 여기서 t_1 의 경우 매우 적으므로 무시한다. Mode1에 따른 전류루프는 다음과 같다.

② Mode 2 (SW_1, SW_4 On)

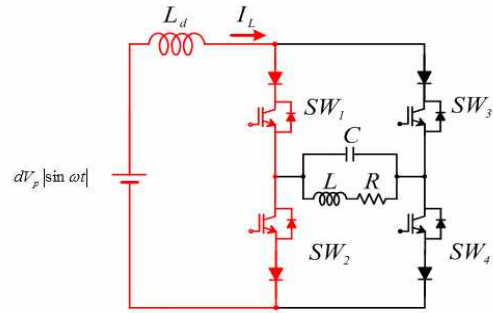
Mode 2은 SW_1 과 SW_4 가 On되어 입력측 전류형 컨버터에 전원이 입력되는 구간이다. 전류형 컨버터에 의해 가변된 출력전압을 얻어 교류를 만들기 위한 스위칭 패턴으로써 공진이 이루어지게 될 때 인덕터 L 과 커패시터 C 는 무효분이 사라지게 되므로 저항성분만 남게 된다. 최종적으로 Mode2에서는 ZVS 스위칭을 유지하며 공진 상태를 유지하게 되고 인버터측의 효율이 증가하게 된다.

③ Mode 3 (SW_3, SW_4 On)

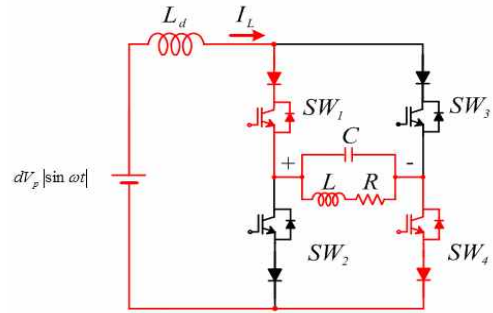
Mode 3은 SW_3 와 SW_4 가 On되어 Mode1과 반대 되는 전류 루프를 형성하게 된다. 이는 Mode1과 마찬가지로 입력측에 존재하는 전류형 컨버터의 전류 패스를 이루어지기 위한 구간으로써 압-단락 구간의 시간을 증가시키면 승압의 효과까지 가져올 수 있게 된다. Mode 3의 경우도 매우 짧은 시간으로써 무시할 수 있고 전류루프는 그림 7의 (c)와 같이 된다.

④ Mode 4 (SW_2, SW_3 On)

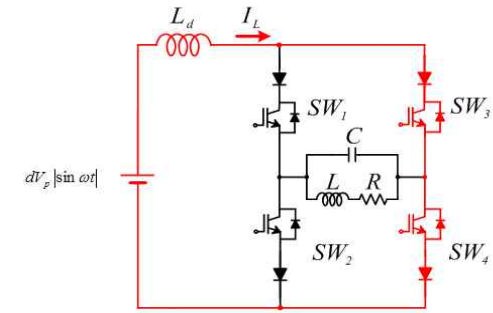
Mode 4는 SW_2 와 SW_3 이 On되어 Mode2과 반대 되는 전류 루프를 형성하게 된다. 부하측에서 볼 때 방향만 바뀌는 전류 루프를 형성하게 된다.



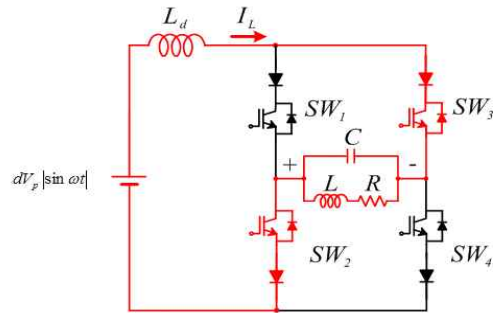
(a) mode(1)



(b) mode(2)



(c) mode(3)



(d) mode(4)

그림 7. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터의 동작모드
Fig. 7. Operation mode of proposed current full-bridge inverter

3. 실험

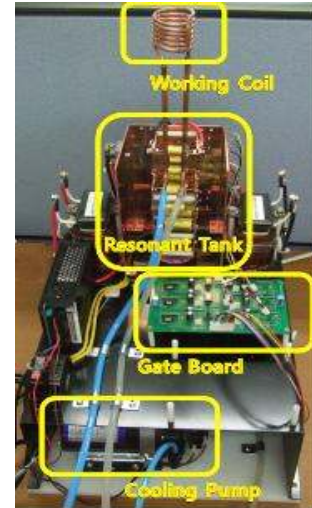
제안된 고주파 유도가열 시스템을 위한 전류형 풀-브릿지 인버터의 타당성 검증을 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션과 실험을 병행하였다. 그림 8은 제안된 고주파 유도가열 시스템을 나타낸다. 제작된 고주파 유도가열 시스템은 Working coil, 공진탱크, 그리고 설계된 전류형 풀-브릿지 인버터로 구성되어 있다. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터는 Artmega사의 AVR 128 마이크로프로세서를 이용하여 디지털 제어가 가능하도록 설계하였다.

표 1은 제안된 풀-브릿지 인버터의 시뮬레이션에 사용된 회로 정수를 나타낸다. 이 회로 정수는 고주파 입력전류 및 전압의 단위역률과 영전압 스위칭, 병렬 공진에서의 공진 주파수를 고려하여 설계하였으며, 공진주파수는 61.35[kHz]로 설정하였다.

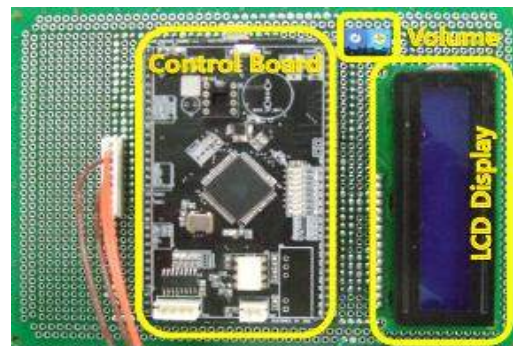
그림 8은 PSIM에서 구성한 유도가열 시스템의 회로이다. 입력전원은 상용전원 AC 220V 60Hz를 입력하였고 브릿지 다이오드를 통해 DC로 정류하였고, 전원의 조절을 위해 전류형 벡-컨버터를 이용해 감압이 가능하게 구성하였다. 스위칭은 dml을 통해 주었으며, 피가열체로 연결되는 선로 저항 성분을 고려하여 시뮬레이션 회로를 구성하였다. 단위역률로 들어오는 입력 전원에 대해 출력에 전압센서와 전류센서를 구성하여 최종 출력이 단위 역률을 이루는 지를 확인하였으며, 주파수의 변화에 따라 생기는 위상차와 임피던스 성분을 고려한 선택도 Q 에 대한 크기 선도를 확인하여 그림 9와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 1. 시뮬레이션 회로정수
Table 1. Simulation circuit parameter

입력전압(V_{in})		AC 220[V]
스위칭 주파수(f_{sw})		61.35[kHz]
입력측 인덕터(L_d)		3[mH]
부하단 인덕터(L)		4.07[μ H]
부하단 커패시터(C)		1.65[μ F]
Mode type	Buck Switch	FMG2G150US60
	Switch	FMG2G50US60



(a) 고주파 유도가열 시스템



(b) 제어보드

그림 8. 제안된 고주파 유도 가열 시스템
Fig. 8. Proposed current full-bridge inverter

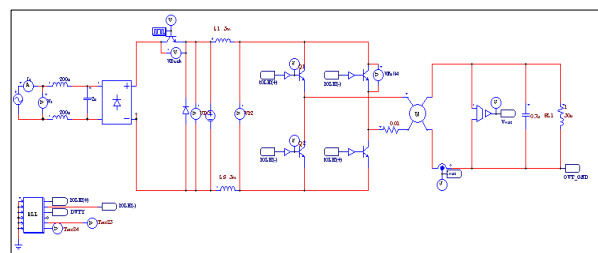
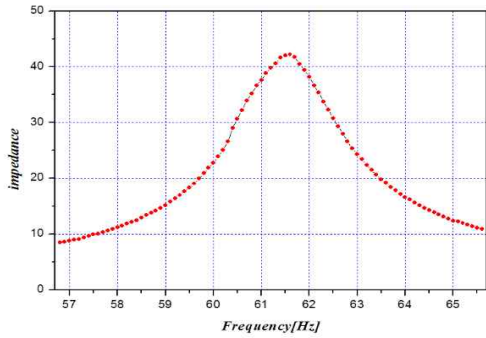


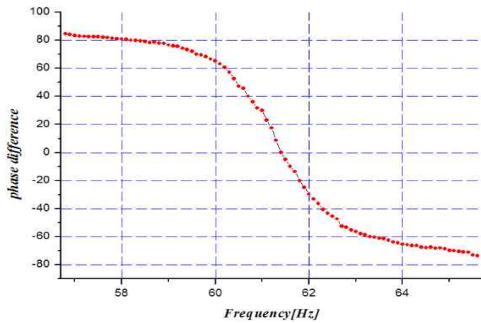
그림 9. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터의 시뮬레이션 회로도
Fig. 9. Simulation circuit of proposed current full-bridge inverter

위 값들은 커패시터 C 와 인덕터 L 이 고정되어 있을 때 61.35kHz에서 최대 출력을 가지게 되는 것을 확인

할 수 있었다. 이는 주파수를 0.1kHz씩 가변하여 나오는 전압과 전류에 대한 비로 산출된 결과이다.



(a) 주파수에 따른 임피던스 특성



(b) 주파수에 따른 위상차 특성

그림 10. 주파수 응답 특성
Fig. 10. Frequency response characteristics

그림 11은 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터의 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 단위역률을 이루고 있는 입력에 대해 출력의 단위 역률이 이루어지는 것을 보여 주고 있다. 또한 입력측 인덕터 L_d 에 흐르는 전류를 확인하여 공진이 이루어지고 있는 것을 확인하였다. 첫 번째 파형은 입력 전압과 전류의 파형이고 두 번째 파형은 출력 전압과 전류 파형이다. 입력과 출력 모두 단위 역률을 이루고 있으며, 이는 고역률을 이룰 수 있는 것을 검증한다. 세 번째 파형은 인덕터 L_1 에 흐르는 전류와 L_d 에 흐르는 전류가 동위상을 이룸을 확인 하였다. 그림 12는 제안된 인버터의 스위칭 파형과 스위칭과 부하 사이에 걸리는 전압을 나타낸다.

스위칭 파형은 일정 오버랩 타임이 존재하게 되고, 각 스위칭과 부하 사이에 걸리는 전압은 공진이 이루어

어지고 있음을 확인하였다. 정해진 공진 커패시터 C 와 L 을 통해 공진 주파수를 설정하고 일정한 오버랩 타임을 주었을 때 전류형 풀-브릿지 회로는 정상적인 동작을 하였고, 공진 주파수 이외에 주파수가 입력 될 때는 위상차가 생기는 것을 확인할 수 있었다.

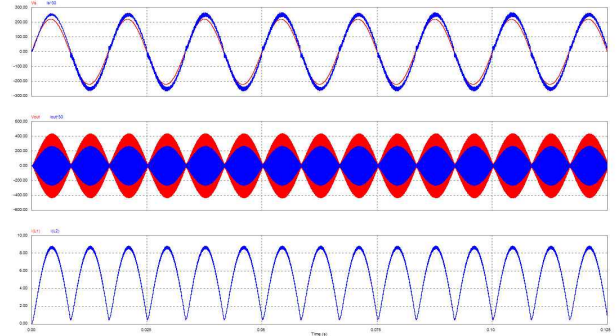


그림 11. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터의 시뮬레이션 파형(1)
Fig. 11. Simulation wave of proposed current full-bridge inverter(1)

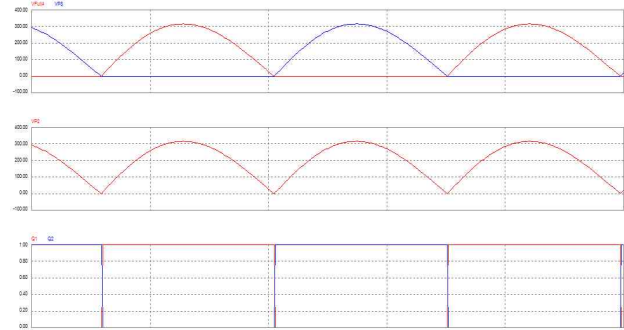
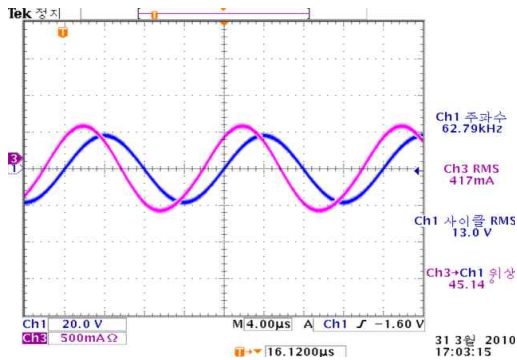


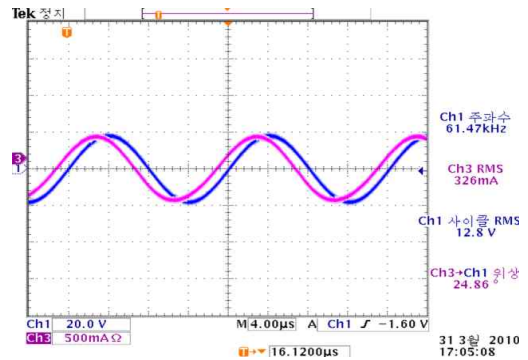
그림 12. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터의 시뮬레이션 파형(2)
Fig. 12. Simulation wave of proposed current full-bridge inverter(2)

따라서 주파수의 변화나 공진 탱크의 값이 변화되면 공진이 이루어지지 않았으며, 위상차가 생기게 되므로 단위 역률을 이룰 수 없었다. 그림 13은 주파수 변화에 따른 제안된 인버터의 입력전압 전류의 위상차를 나타낸다.

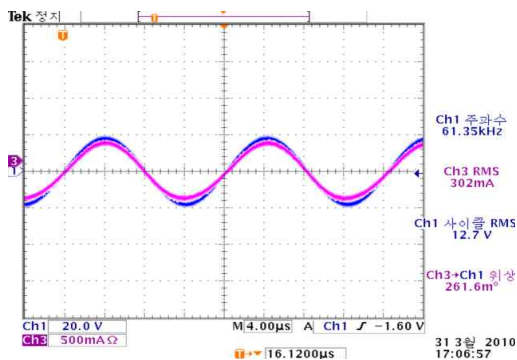
제작된 전류형 풀-브릿지 인버터의 공진 주파수를 찾기 위해 0.1[kHz]씩 가변 하여 공진 주파수점을 찾



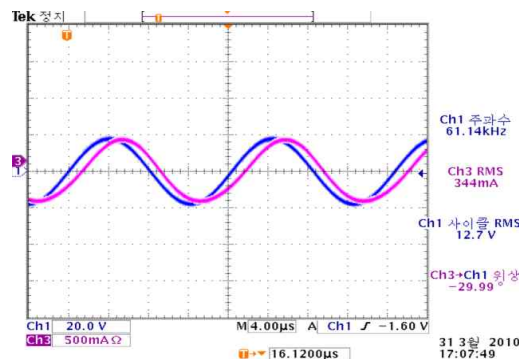
(a) 입력 전압, 입력 전류(62.79(kHz))



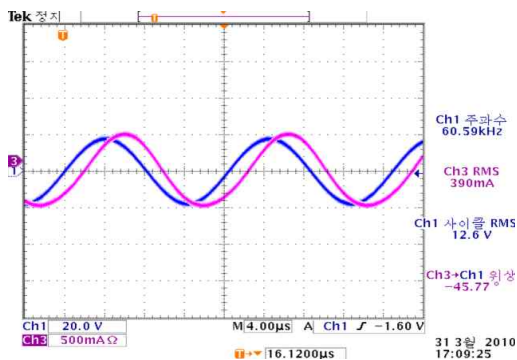
(b) 입력 전압, 입력 전류(61.47(kHz))



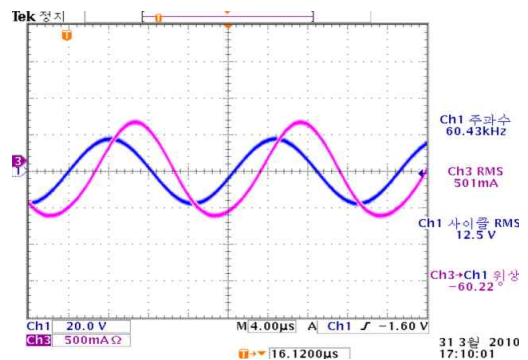
(c) 입력 전압, 입력 전류(61.35(kHz))



(d) 입력 전압, 입력 전류(61.14(kHz))



(e) 입력 전압, 입력 전류(60.59(kHz))



(f) 입력 전압, 입력 전류(60.43(kHz))

그림 13. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터의 전압 전류 위상

Fig. 13. Voltage, current phase of proposed current full-bridge inverter

고 공진 주파수에서는 전압과 전류의 위상이 같음을 확인하였다.

그림 14는 현재 공진 주파수로 스위칭 하고 있는 파형이다. 일정 시간동안 오버랩 타임이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 그림 15는 제안된 인버터의 출력 전

압, 출력 전류를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 공진 주파수로 설정한 주파수와 입력 전압 및 전류는 출력 전압과 전류와 단위역률을 이루고 있음을 확인하였다. 그림 16 (a)는 출력 50[%] 이내의 상태에서 가열 물체가 가열되는 상태를 보이며, 그림 16 (b)는

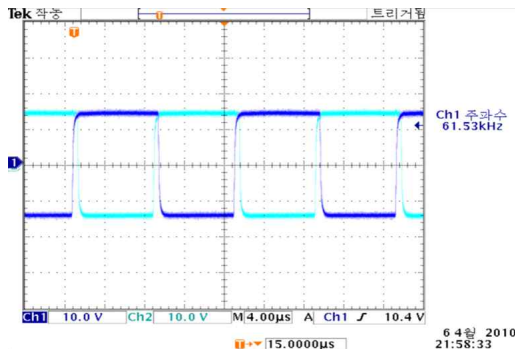


그림 14. 제안된 인버터의 스위칭 파형
Fig. 14. Switching wave of proposed

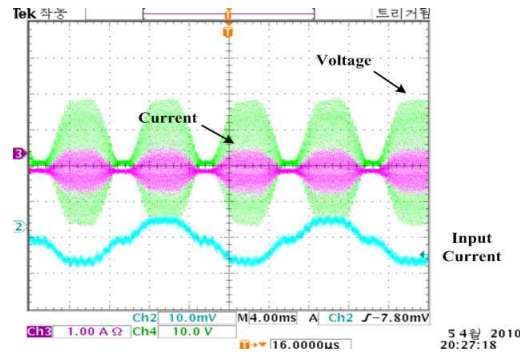
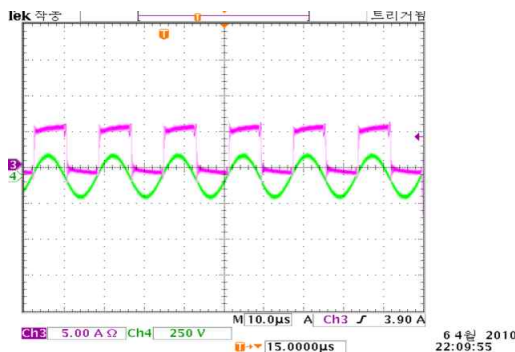


그림 15. 제안된 인버터의 출력전압, 출력전류
Fig. 15. Output voltage, current of proposed inverter

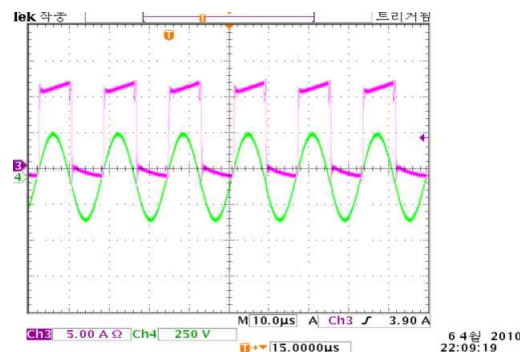
출력 100[%] 상태에 도달 했을 때 피가열체가 완전히 용해되어 액체 상태로 변하는 것을 확인하였다. 다음과 같은 상태는 입력측의 전원이 단위역률을 이루고 있고, 인버터측에 공급되는 스위칭은 ZVS(Zero Voltage Switching)를 이뤘으며, 최종적으로 부하단 및 인버터 측에 공진이 이루어짐을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 치과용 보급형 가스분위기형 고주파 원심주조기에 장착된 고주파 발생 시스템에서 유도가열을 위한 새로운 방식의 풀-브릿지 방식의 전류형 인버터로 구성된 공진형 컨버터를 제안하였다. 제안된



(a) 출력 50[%]



(b) 출력 100[%]



그림 16. 제안된 인버터의 출력
Fig. 16. Output of proposed inverter

공진형 컨버터는 유도가열 응용분야에서 신형 전력용 반도체 소자 사용 시 발생하는 문제점인 역 내압 분담용 다이오드를 접속하거나 복잡한 제어회로를 구성해야 하는 문제점 등을 보완하고 고효율화를 실현할 수 있는 알고리즘의 적용으로 회로의 단순화 및 고효율화가 가능하였다. 또한 기존 유도가열 시스템에서 사용되는 토폴로지의 변화를 주어 입력단의 커패시터를 제거하고, 커패시터에 의해 생기는 전압 전류의 위상차를 발생하지 않도록 하여 단위역률을 이룰 수 있는 회로로 동작이 가능함을 실험 통해 입증하였으며, 전류형 인버터에 맞는 ZVS(Zero Voltage Switching) 스위칭 방식의 채택 및 스위칭 동작에서 시비율의 변화와 주파수 변조로 연속적인 전력 조절이 가능함을 알 수 있었다.

References

- [1] Hong-Sam Kim "A study on new software switching high frequency inverter for induction heating", kyungnam Univ a master's thesis, 2008.
- [2] Gyu-Pan Cho etc 5, "Characteristics analysis of time sharing method VWF type high frequency resonant inverter", JIEE, vol 16, No.3 pp .20~28, 2002.
- [3] Gyu-Pan Cho etc 5, "A Study on Characteristics Analysis of Time Sharing Type High Frequency Inverter Consisting of Three Unit Half-Bridge Serial Resonant Inverter", JIEE, vol 15, No.1 pp .90~97, 2001.
- [4] Jae-Hoon Yoo etc 1 " A Study on the Frequency Control on the Induction Heating System Using Two Step Resonant Inverter", JIEE, vol 22, No.1 pp .95~103, 2008.
- [5] Soon-ill Hong etc 1, " Design of High Frequency Inverter with Series-parallel Load-Resonant for Induction Heating Application", JIEE, vol 14, No.6 pp .12~17, 2000.
- [6] J. G. Cho, and K. Y. Joe, "Novel Zero Voltage and Zero Current Switching Full Bridge PWM Converter using Transformer Auxiliary Winding.:", IEEE Trans., vol. 15, no. 2, pp250-257, 2000.
- [7] H. Yu, H. Xudong, J. sheng, "A Novel Load Adaptive Zero Voltage Switching Utilizing Diode Reverse Recovery Current for Soft-Switching Choppers and Inverters", PESC, Conference Proceedings, vol. 1, pp. 146~151. 2001.

◆ 저자소개 ◆



이상훈 (李相勳)

1974년 8월 11일생. 2000년 경성대학교 전기공학과 졸업. 2006년 부산대학교 메카트로닉스협동과정졸업(박사). 2002~2004년 9월 KT전기 기술연구소 주임 연구원. 2007~2009년 삼성전기 Power 사업팀 책임연구원. 2010년~현재 한국승강기 대학 승강기 전기설계과 전임강사.



임상길 (林相吉)

1985년 8월 9일생. 2008년 전북대 기계공학과 졸업. 2010년 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2010년 8월~현재 전남대학교 대학원 전기공학과 박사과정.



송성근 (宋成根)

1975년 9월 16일생. 1998년 전남대 공과대학 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2004년 (주)프로컴 시스템 연구원. 2004~2005년 (주) 세오전자 연구원. 현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 센터장.