

유도가열 시스템을 적용한 치과용 고주파 주조기 설계

(Design of High Frequency Casting Machine for Dental using Induction Heating System)

송성근* · 임상길 · 이상훈**

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

Abstract

Currently, The method to produce a brewing body for dentistry supplementation water produces a brewing body by fabrication, burying and it is heat wish in city gas and oxygen. It uses an original judgment found airplane the brewing body uses a spring of the back wait that melting temperature dissolved various alloys in by a blow pipe, and to generate centrifugal force and produces it. In addition, because it uses preheating to dissolve an alloy in general, it is hard to regulate the appropriate melting temperature of the alloy and brewing time and generates a brewing defect hereby same as gas industry and pinhole and shows the defect of the supplementation thing due to the super-heating. In this paper, We developed the high induction heating system which it could set brewing time, temperature and had durability and security, by the kind of the alloy to produce a high quality prosthetic thing brewing body.

Key Words : Induction Heating Systems, High-Frequency Half-Bridge Inverters, Resonant Inverter

1. 서 론

현재 국내 치과기공소에서 치과보철물용 주조체를 제작하는 방법은 왁스로 형태를 제작, 매몰 및 소환하여 도시가스(또는 프로판가스)와 산소(또는 공기)를 열원으로 하여 블로우 파이프(blow pipe, 산소토치, 현장에서서는 불때)에 의해 용융온도가 약 930~1,050[°C] 정도의 귀금속합금인 금합금, 도재용착주조관용 비귀

금속 합금으로 용융온도가 약 1,200~1,250[°C] 정도 되는 Ni-Cr계 합금 및 가철성 국소의치의 금속구조물(metalframe)으로 사용되는 비귀금속 합금으로 용융온도가 약 1,300[°C] 정도인 Co-Cr계 합금을 용해한 후 대기 중에서 스프링을 이용해 원심력을 발생시키는 원심주조기에서 주조체를 제작하고 있다. 일반적으로 대기 중에서 불때를 이용하여 합금을 용해하기 때문에 합금의 적절한 용융온도 및 주조시간을 조절하기 어렵고 이로 인하여 가스공이나 핀홀과 같은 주조결함을 발생시키며, 과열(over melting)로 인하여 용점이 낮은 첨가금속의 증발로 합금의 조성을 변화시켜 물성을 저하시키고, 또한 합금의 제조업체에서 권장하는 최소 수축율 보다 더 많은 수축이 발생하여

* 주저자 : 전자부품연구원 디지털컨버전스연구원 센터장

** 교신저자 : 한국승강기대학 승강기 전기설계과 전임강사

Tel : 055-949-2289, Fax : 055-949-2254

E-mail : purme@klc.ac.kr

접수일자 : 2012년 6월 2일

1차심사 : 2012년 6월 8일

심사완료 : 2012년 6월 25일

보철물의 체적의 정확성이 떨어져서 환자들의 불만이 야기됨으로 인해 재 작업하는 경우가 빈번이 발생하고 있다. 특히 1,200[°C] 이상으로 용융온도가 높은 비귀금속 합금인 Ni-Cr계 합금 및 Co-Cr계 합금의 경우 귀금속합금인 금합금보다 주조하는 과정 중 주조 실패율이 높다. 이러한 이유는 높은 온도를 얻기 위해서 가스와 산소의 양을 많이 분사해야 하기 때문에 용해하는 과정에서 합금에 가스가 미세하게 포함되어 기공이나 핀홀 등의 주조결함을 야기시키며, 주조시간이 길기 때문에 공기 중의 가스를 주조체가 함유하게 되는 경우가 많다[1].

본 논문에서는 국내외적으로 생산하고 있는 치과용 합금을 양질의 치과용 보철물 주조체로 제작하기 위해서 주조온도는 1,500~1,600[°C]까지, 주조시간은 합금의 종류 및 장입량에 따라 30초에서 90초 사이에 용해할 수 있는 내구성과 안정성이 겸비된 고주파 발생장치의 개발, 주조온도편차는 ± 5 [°C] 정도, 알루미늄이나 도가니는 최적의 조건으로 사용하여 100회 정도 사용할 수 있도록 개발하였으며, 주조방법으로는 주조성이 우수한 원심주조법으로 진공보다는 실용적인 가스분위기 시스템이 장착된 치과용 보급형 가스분위기형 주조기에 필요한 기술들을 개발하였다. 우선적으로 고주파주조기의 가장 중요한 부분인 고주파발생장치 및 이에 적절한 동력공급장치를 설계 및 제작하여 충분한 실험을 통하여 내구성 및 안정성이 겸비된 고주파 발생장치를 개발하였다. 개발한 치과용 보급형 가스분위기형 고주파 원심주조기에 장착된 고주파 발생 시스템은 풀-브릿지 방식의 전류형 인버터와 전류형 인버터에 맞는 ZVS 스위칭 방식의 채택 및 스위칭 동작하에서 듀티율의 변화와 주파수 변조로 연속적인 전력 조정이 가능하게 하였으며, 궁극적으로 기존 유도가열 시스템에서 사용되는 토폴로지의 변화를 주어 커패시터를 제거하고, 커패시터에 의해 생기는 역률의 틀어짐을 방지하고 단위역률을 이룰 수 있는 회로로 설계하였다. 이러한 회로의 구성에 대한 결과로 영전압 스위칭 펄스폭 변조 유도가열 시스템은 전력변환에 대한 고효율화와 폭 넓은 제어가 가능하게 되는 시스템을 설계하여 시뮬레이션하여 제작하였다. 두 번째로,

대부분 기존에 사용되고 있는 원심 주조기는 일정한 크기의 주조링만을 장착할 수 있어 다양한 크기의 주조체를 제작하기가 곤란하고, 주조링의 크기를 달리할 경우 도가니가 고정 장착된 상태이므로 도가니와 주조링 간의 간격이 일정치 않아 주입력이 떨어진다. 문제점과 작업자의 번거로움을 해결하기 위하여 다양한 크기의 주조링을 사용할 수 있고, 그에 따른 밸런스를 손쉽게 조절할 수 있으며, 도가니와 주조링 간의 밀착력을 높여 주입력을 향상시킬 수 있도록 한 원심 주조기를 설계 및 제작하여 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 고주파 원심 주조기용 원심주조부 개발

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. 본 논문에서 개발하고자 하는 치과용 보급형 가스분위기형 고주파 원심주조기에서 원심주조부의 설계 및 개발은 중요한 구성품 중의 하나이다. 따라서 원심주조기의 개발과정의 주안점은 고주파 주조기를 이용하여 주조하는 작업자 입장에서 도가니 장입, 소환된 주조링 장입, 합금 용해, 밸런스 조절, 원심력 가동, 주조링 제거 등의 반복되는 주요 작업과정 시 편리하고 신속하게 치과기공사가 다룰 수 있도록 하는 것이 주요 개발 목적이며 또한 다양한 크기의 주조링(매몰체내에 왁스가 소환되어 몰드가 형성)을 사용할 수 있고, 그에 따른 밸런스를 조절할 수 있으며, 도가니와 주조링 간의 밀착력을 높여 주입력을 향상시킬 수 있도록 한 원심 주조기를 개발하였다. 고주파 유도가열에 의해 용융된 도가니 속의 합금은 회전축의 고속회전에 따른 원심력에 의해 주조링으로 주입되고, 원심력의 압력하에서 응고하여 원하는 모양의 주조체를 얻을 수 있게 된다. 그러나 기존 사용되고 있는 원심 주조기는 일정한 크기의 주조링만을 장착할 수 있어 다양한 크기의 주조체를 제작하기가 곤란하고, 주

조링의 크기를 달리할 경우 도가니가 고정 장착된 상태이므로 도가니와 주조링 간의 간격이 일정치 않아 주입력이 떨어진다는 문제점이 있다. 이러한 문제점과 작업자의 번거로움을 해결하기 위하여 다양한 크기의 주조링을 사용할 수 있고, 그에 따른 밸런스를 손쉽게 조절할 수 있으며, 도가니와 주조링 간의 밀착력을 높여 주입력을 향상시킬 수 있도록 설계하여야 한다. 다음은 원심주조부의 주요 구성요소들을 나타내었다.

2.1.1 가스분사 노즐

도가니에 장입된 합금을 용융시키기 위한 유도 코일과 합금 용융시 불활성 가스를 공급하기 위한 노즐을 설계하여 장착하였다. 회전축 내에 형성된 관로를 통하여 불활성 가스 공급원으로부터 불활성 가스를 공급받을 수 있도록 설계하였다.

2.1.2 회전축, 회동부, 이송봉, 안착부

모터로부터 동력을 전달받아 회전하는 회전축과, 회전축을 그 내측에 수용하기 위한 장홀이 형성되고 회전축을 장홀에 수용시켜 핀 결합에 의해 시소형태로 장착되는 회동부와, 회동부의 양측면에 슬라이딩 가능하게 장착되는 한 쌍의 이송봉과, 이송봉의 일측단에 고정 장착되고 주조링을 안착시킬 수 있도록 안착부재가 마련된 주조링 안착부를 설계하여 가공 및 조립하였다.

2.1.3 가변형 밸런스 웨이트

주조링 안착부와 회동부 사이에 위치되어 슬라이딩 가능하도록 그 양측편이 이송봉에 장착되고 그 중심부에 도가니를 안착하기 위한 안착홈이 형성된 도가니 안착부와, 도가니 안착부와 주조링 안착부에 대응하여 회전축을 중심으로 밸런스를 조절할 수 있도록 회동부에 장착된 무게중심 가변형 밸런스 웨이트를 설계하여 가공 조립하였다.

2.1.4 조임부

밸런스 웨이트에 의해 회동부의 수평상태를 맞춘 뒤 그 상태를 고정할 수 있도록 회전축 단부에 나사 결합

되어 회동부와 밀착되게 조이기 위한 조임부를 설계하였다.

2.1.5 스톱퍼

이송봉은 원심력 작용으로 도가니 안착부가 주형틀 안착부로 과도하게 밀착되는 것을 방지할 수 있도록 도가니 안착부 전단에 스톱퍼 장치를 설계하였다.

2.1.6 지지판

주조링 안착부는 도가니 안착부와 마주보도록 이송봉 단부에 그 양단이 고정 장착되고 그 센터를 중심으로 하여 사선방향으로 슬라이드 공이 천공된 지지판을 설계하였다.

2.1.7 이송레버부

지지판의 슬라이드 공을 따라 슬라이드 가능하게 설치되고 상기 주형틀을 안착하기 위한 안착홈이 형성된 안착부재 및 안착부재를 슬라이드 공을 따라 이송시켜 주조링과 도가니를 정렬시키기 위한 이송레버부를 설계하였다.

2.1.8 미세조절부

웨이트 밸런스는 회동부로부터 연장 형성된 나선봉에 나사결합되어 풀거나 조임에 따라 그 무게중심을 가변할 수 있도록 설치되고, 나선봉을 따라 이송봉을 이송시켜 밸런스를 미세조정할 수 있도록 나선봉과 나사결합된 다이얼이 그 내측에 회전 가능하게 삽입 내재되고 이송봉 타측단에 그 양단이 고정 장착된 곱판으로 이루어진 미세조절부를 설계하였다.

2.2 고역률 고주파 유도가열 공진형 인버터

치과용 보급형 가스분위기형 고주파 원심주조기에 장착된 고주파 발생 시스템은 전류형 풀-브릿지 인버터 방식을 이용한 유도가열 시스템용 공진형 인버터를 제안하였다[4-5]. 그림 1은 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터를 나타낸다. 제안된 인버터는 일반적

인 전류형 풀-브릿지 인버터 방식과 다르게 다이오드를 생략한 스위치를 채택하여 동기형으로 스위칭하는 회로를 구성하였다. 또한 입력측에 존재하는 컨버터 부분의 커패시터를 제거하여 커패시터에 의해 생기는 역률의 틀어짐을 방지하고 단위역률로 이룰 수 있도록 하여 전류형 컨버터로 동작할 수 있도록 구성하였다.

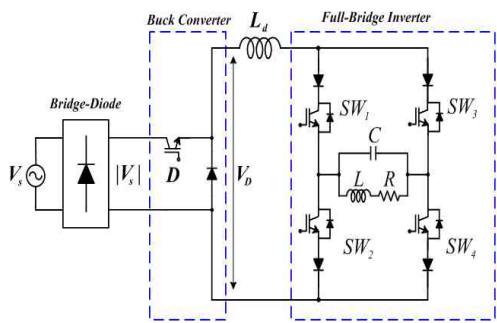


그림 1. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터
Fig. 1. Proposed concept of current full-bridge inverter

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-

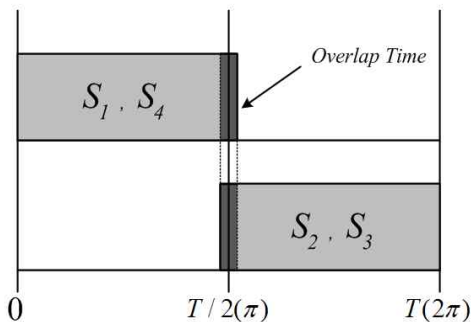


그림 2. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터의 게이트 신호
Fig. 2. Gate signal of proposed current full-bridge inverter

브릿지 인버터 방식을 유지하며, 별도의 PFC회로를 제외하고 입력전류 및 전압에 대해 단위역률을 이룰 수 있게 하였다. 전류형 인버터에서 스위칭 방식은 전압형과 다르게 스위치가 양의 영역에서 음의 영역으로 전환될 때 암(Arm) 단락이 이루어져야 전류 패스가 이루어진다. 제안된 회로 역시 수 $[\mu]$ 의 암-단락이 이루어지게 게이트 신호를 주었으며 주기 T동안 스위칭 파형을 그림 2에 나타내었다. 그림 2와 같이 일정한 암-단락이 이루어지지 않을 경우 입력 측에 존재하는 인덕터 L_d 에 계속 전류가 잔존해 있게 되며 인덕터 L_d 가 포화하게 된다.

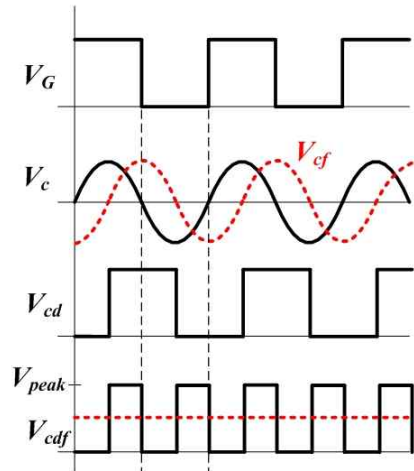


그림 3. 제안된 자동 공진 추종 알고리즘
Fig. 3. Proposed auto resonant following algorithm

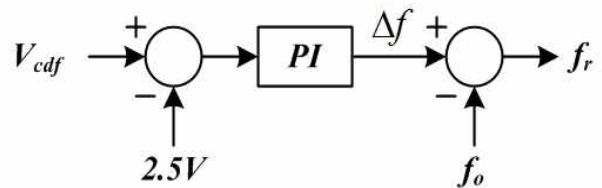


그림 4. 제어 블록도
Fig. 4. Control block diagram

고주파 유도가열에 사용되는 공진형 인버터의 경우 보호의 강인성에 대한 장점이 있으나 복잡한 시퀀스 회로가 필요하다. 따라서 전류형 인버터의 단점에 대

한 개선이 필요하다. 그림 3은 전류원 공진형 인버터의 자동 공진 추종을 위한 알고리즘도를 나타낸다. 그림 3에서 V_G 는 인버터에서 스위치에 인가되는 전압을 의미하고, V_c 는 부하단 커패시터에 흐르는 전압을 나타낸다. 이 두 전압이 동위상일 때 전류원 인버터는 공진을 일으킨다. 이 때 V_c 를 All Pass Filter를 거쳐 90° 지연시키고 이를 V_{cf} 라 칭한다. 이렇게 지연된 V_{cf} 를 기준으로 V_{ad} 라는 디지털 신호를 발생시킨다. 이렇게 발생한 V_G 와 V_{ad} 를 EX-OR 게이트를 거쳐게 되면 최종적으로 V_{peak} 이고 Duty비 0.5를 가지는 V_{adf} 가 발생하게 된다. V_{adf} 의 평균 전압은 V_{peak} 가 5[V]라고 가정할 때 평균 2.5[V]가 나오게 된다. 이와 같은 과정을 얻어내게 되면 PI제어를 통해 공진 주파수를 추종하는 방식을 사용하게 된다. 이를 블록도로 나타내면 그림 4와 같다. 여기서 2.5[V]를 기준으로 일정 전압 ΔV 의 변동까지는 허용 주파수로 인식하며, 이를 벗어날 경우엔 다시 공진 주파수를 추정하게 된다.

3. 실험

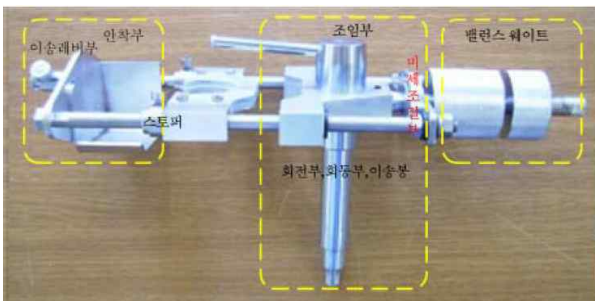
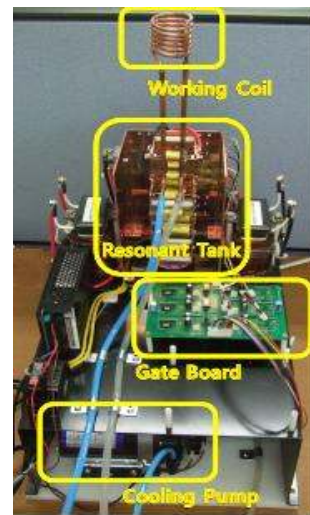


그림 5. 제안된 원심 주조부
Fig. 5. Proposed centrifugal casting machine

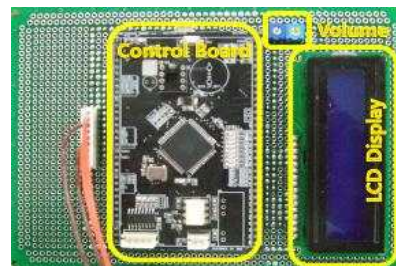
치과용 가스분위기형 고주파주조기 제작을 위해 원심 주조부와 고주파 유도 가열 시스템을 제작하였다. 그림 5는 설계된 원심 주조부를 나타내고 있으며 그림 6은 제작된 고주파 유도 가열 시스템과 제어기를 나타내고 있다. 원심력을 이용하는 원심 주조기는 모터나 스프링으로부터 동력을 전달받아 회전하는 회전축, 회전축에 그 중앙이 지지되는 암, 암의 일측단에 장착되

는 도가니와 주조링, 이들에 대응하여 암의 반대편에 장착되는 웨이트 밸런스, 도가니를 감쌀 수 있도록 상승하여 고주파 유도 가열을 통해 금속을 용융시키기 위한 가열로로 구성하였다.

제작된 고주파 유도 가열 시스템은 Working coil, 공진탱크, 그리고 설계된 전류형 풀-브릿지 인버터로 구성되어 있다. 제안된 전류형 풀-브릿지 인버터는 Atmega사의 AVR 128 마이크로프로세서를 이용하여 디지털 제어가 가능하도록 설계하였다.



(a) 고주파 유도 가열 시스템



(b) 제어보드

그림 6. 제안된 고주파 유도 가열 시스템
Fig. 6. Proposed current full-bridge inverter

용융온도가 1,250~1,350[$^{\circ}$ C]에 가까운 금속을 얼마만큼의 시간에 용해시킬 수 있는지에 대한 확인과 효율을 확인하였다.

그림 7은 현재 공진 주파수로 스위칭 하고 있는 파

형이다. 일정 시간동안 오버랩 타임이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 제안된 인버터의 출력 전압, 출력 전류를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 공진 주파수로 설정한 주파수와 입력 전압 및 전류는 출력 전압과 전류와 단위역률을 이루고 있음을 확인하였다. 그림 8의 파형은 현재 공진 시 제안된 인버터의 출력전압 출력전류를 나타내고 있다. 공진 주파수로 설정한 주파수와 입력 전압 및 전류는 출력 전압과 전류와 단위역률을 이루고 있음을 확인하였다. 또한 피가열체를 삽입하였을 때 공진 주파수에서 약간 벗어나는 것을 확인하였으나, 이는 피가열체를 용해 시킬 수 있는 허용 주파수에 속하고 있음을 확인하였다. 허용 주파수는 약 $\pm 0.2 [kHz]$ 정도임을 확인하였다.

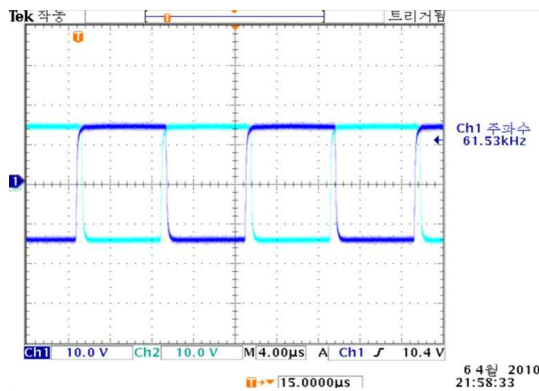


그림 7. 제안된 인버터의 스위칭 파형
Fig. 7. Switching wave of proposed

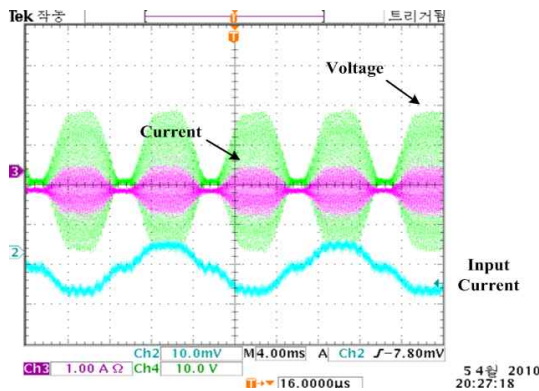
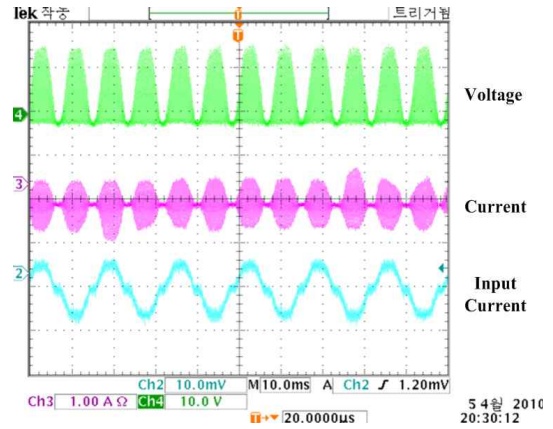
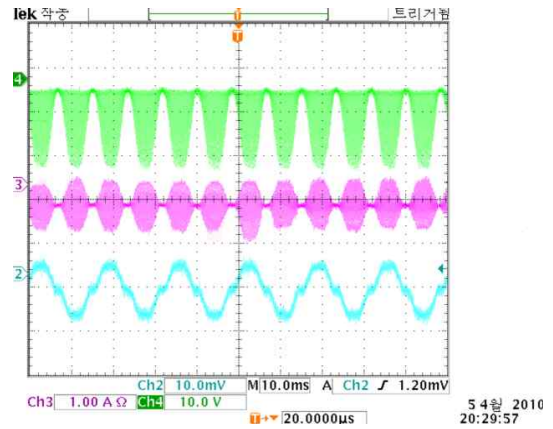


그림 8. 제안된 인버터의 출력전압, 출력전류
Fig. 8. Output voltage, current of proposed inverter



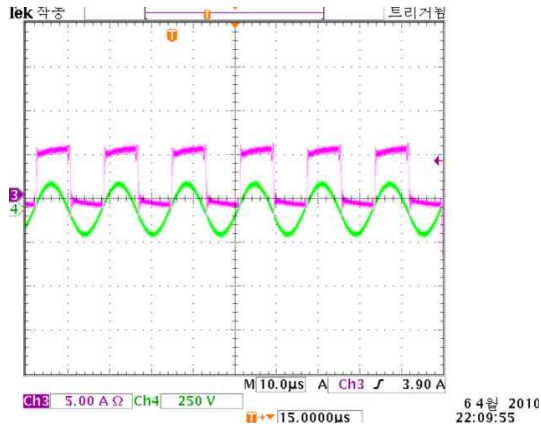
(a) SW_1 에서의 전압과 출력 전류 파형



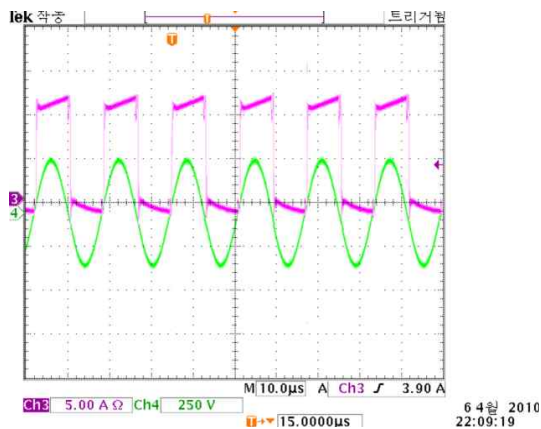
(b) SW_3 에서의 전압과 출력 전류 파형

그림 9. 각 부의 전압 전류 파형
Fig. 9. Output voltage, current of each parts

실제로 피가열체를 삽입하여 용해를 시킬 때의 인버터측 파형은 그림 10과 같이 나타나며, ZVS(Zero Voltage Switching) 상태가 이루어짐을 확인할 수 있었다. 또한 인버터 측의 ZVS(Zero Voltage Switching) 스위칭이 이루어짐을 확인하였으며, 공진 상태를 유지한 채 전압 및 전류가 단위 역률을 이루고 있음은 확인한 파형은 그림 11에 나타낸다. 그림 12는 과용 비귀금속 합금인 피가열체를 나타낸다. 최종적으로 용점이 약 $1,250[^\circ C] \sim 1,350[^\circ C]$ 정도의 Ni-Cr계 및 Co-Cr계 치과용 비귀금속 합금인 피가열체를 가열하였으며, 약 20~25초 내에 급속하게 녹는 것을 확인하였다.



(a) 출력 50[%]



(b) 출력 100[%]

그림 10. 제안된 인버터의 출력
Fig. 10. Output of proposed inverter

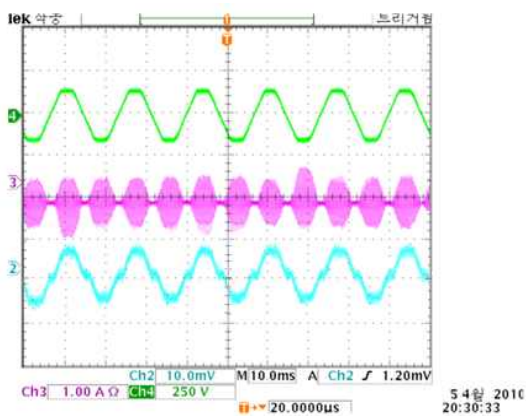


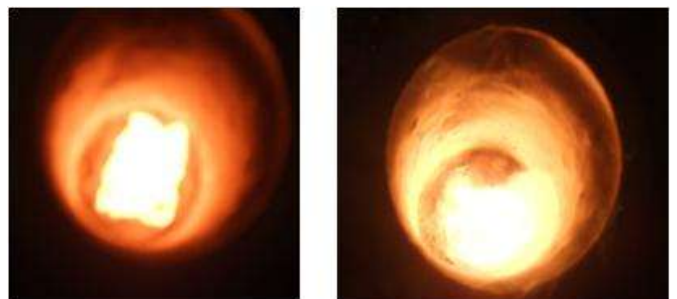
그림 11. 단위역률 파형
Fig. 11. PFC wave



그림 12. 치과용 비귀금속 합금인 피가열체
Fig. 12. A heating object of dental nonmetallic alloy



(a) 출력 50[%]



(b) 출력 100[%]

그림 13. 출력에 따른 주조체의 가열 상태
Fig. 13. Heating condition of casting according output power

그림 13에 보여지는 것과 같이 가열이 이루어짐을 확인하였으며, 그림 13 (a)는 출력 50[%] 이내의 상태에서 가열 물체가 가열되는 상태를 보이며, 그림 13 (b)는 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 부

하단 및 인버터 측에 공진이 이루어짐을 확인하였다.

치과용 주조체의 최대용융온도 및 주조시간은 주조체의 대상에 따라 전력변환기를 통한 출력의 조절만으로 시간 설정과 온도를 변화시켰다. 여러 번의 실험을 통해 최대용융온도와 주조 시간을 데이터화하였으며, Table 1과 그림 14는 Co-Cr계 합금의 데이터를 나타내고 있다.

표 1. Co-Cr계 합금 주조시간 및 주조온도 Data
Table 1. Alloy casting time and temperature Data of Co-Cr

No.	장입량([g])	주조시간([sec])	측정온도([°C])
1	30	57	1,487
2	30	62	1,483
3	30	57	1,492
4	30	60	1,479
5	30	64	1,484

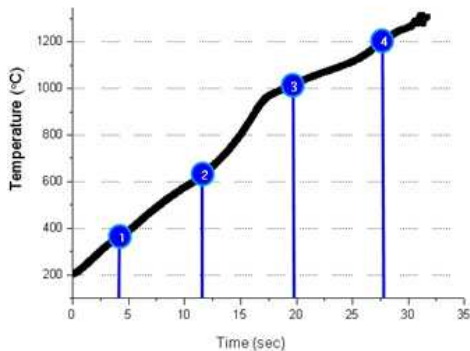
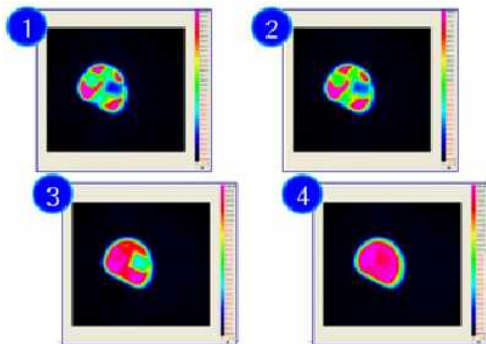


그림 14. 시간에 따른 주조체의 온도변화
Fig. 14. Temperature variation of casting according to time

4. 결 론

본 논문에서는 양질의 보철용 주조체 제작을 위한 치과용 보급형 가스분위기형 고주파 원심주조기를 설계를 하였다. 제안된 치과용 주조기의 경우 불패를 사용하지 않고 고주파를 이용하여 최대용융온도와 주조시간을 최적화하였으며, 양질의 주조체를 제작하는 것을 실험을 통해 검증하였다. 치과용 보급형 가스분위기형 고주파 원심주조기에 장착된 고주파 발생 시스템의 경우 유도가열을 위한 새로운 방식의 풀-브릿지 방식의 전류형 인버터로 구성된 공진형 컨버터를 제안하였다. 제안된 공진형 컨버터는 유도가열 응용분야에서 전력용 반도체 소자 사용 시 발생하는 문제점인 역 내압 부담용 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 ◇



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. 2007년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스 연구센터 센터장.



임상길 (林相吉)

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



이상훈 (李相勳)

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