

새로운 자동 공진점 추종 방식의 유도가열 시스템

손석용*, 김춘성*, 김선필*, 김세민**, 박성준*
전남대학교*, (주)에이앤디에스**

The Induction Heating System of A Novel Automatic resonance point tracking method

Seok Yong Son*, Chun Sung Kim*, Sun Pil Kim*, Se Min Kim**, Sung Jun Park*
Chonnam National University*, ANDS**

ABSTRACT

유도가열은 석유, 가스 등의 연료를 사용하는 종래의 설비에 비해 에너지 효율이 높고 관리가 수월하며, 공해를 유발하지 않는 등의 많은 장점으로 인해 산업 분야에 다양하게 응용되어 사용하고 있다. 유도가열의 원리는 전자유도작용을 이용하여 와전류에 의한 손실과, 히스테리시스 손실에 의한 주열열이 발생하는데, 이렇게 발생된 열로 가열하는 방법이며 가열 속속성, 고효율, 친환경, 안정성의 장점을 갖는다. 그러나 공진형 유도 가열 인버터 시스템은 환경의 변화나 피가열체의 부식 등의 이유로 공진주파수가 변하는 단점이 있다. 따라서 기존의 단점을 극복하기 위해 자동으로 공진점을 추종할 수 있는 알고리즘을 제안하였고, 기존의 복잡한 제어회로나 알고리즘을 극복하여 시스템의 간소화를 실현하였다.

1. 서 론

기술의 발전과 산업화의 진화에 따라 우리 사회는 더욱 안전과 환경 보호에 적합한 장비의 개발이 요구된다. 또한 자원의 고갈로 인한 에너지 부족 현상을 줄이기 위한 고 효율의 에너지 변환 장치가 요구된다. 그에 유도 가열은 에너지 절약을 기본으로 하는 전기 가열의 한 방법으로 종래의 가열기로 사용된 가스로 및 증유로 보다 가열물의 가열 시간이 짧아 열에 의한 변형이 적고, 가열물의 자체 발열이므로 효율이 높아 전체 시스템의 소형화 및 경량화가 가능한 장점을 가진다.

유도 가열은 일반적으로 유도 코일로써 알려진 고주파 전류 운반자로부터 변환되는 전기 에너지에 의해 금속 부분의 온도를 올리는 방법이다. 1831년 패러데이에 의해 발견된 전자기 유도 현상이 그 근본이 되며, 코일에 교류 전류를 인가하여 금속 표면에 전자유도 작용에 의한 와전류 유도 현상을 통한 발열 방식이 유도 가열의 원리이다. 본 연구에서는 새로운 전력 기반 공진점을 추종 기법을 사용하여 개선된 유도 가열 시스템 구축이 가능할 것으로 판단된다. 제안된 회로는 하프브리지 인버터 방식으로, 자동 공진점 추종 방식을 적용하여 소프트 스위칭 방식이 이루어 질 수 있다는 장점을 지니고 있을 뿐만 아니라 하프브리지 방식의 특성상 전력용 반도체 소자의 내압이 작으며, 대용량화로의 확장이 용이하게 된다.^[1]

새롭게 제안하는 공진점 추종 제어 기법을 사용한 유도 가열 시스템을 시뮬레이션과 실험을 통하여 타당성을 증명하였다.

2. 본 론

2.1 유도 가열 인버터 회로 구성

하프 브리지 직렬공진 인버터를 기본으로 전체 회로 구성을 그림 1에 나타낸다.

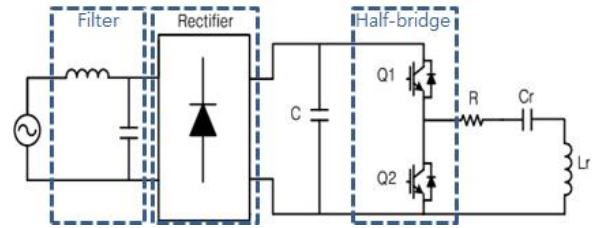


그림 1 유도 가열 공진형 인버터의 회로 구성
Fig. 1 Configure circuit of the induction heating resonant inverter

계통을 입력으로 필터와 정류기를 통해 dc 전압을 만들고, 하프 브리지 인버터를 통해 교류전류를 유도 가열 부하에 인가하게 된다. 유도 코일과 직렬 커패시터가 공진을 이루기 때문에 전류가 사인과 형태로 출력되며, 소프트 스위칭을 하여 스위칭 손실을 저감시킬 수 있다.

2.2 전력 기반 공진점 추종 방식

시스템의 특성상 인버터 시스템에서 공진 커패시터의 값은 동작 중에는 거의 변하지 않지만 가열 코일과 피가열체는 주변 환경, 온도, 재질 등에 의해 그 값이 변하기 때문에 자동으로 공진점을 추적하는 알고리즘이 필요하다. 입력되는 전력의 역률을 이용한 공진점 추종 방식을 적용하기 위해 RLC 직렬 회로의 임피던스를 분석하고, 주파수에 따른 전압과 전류의 위상차를 확인하였다.

$$Z_{eq} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (1)$$

$$|Z_{eq}| = \frac{\sqrt{(\omega RC)^2 + (1 - \omega^2 LC)^2}}{\omega C} \quad (2)$$

$$\angle Z_{eq} = \tan^{-1} \left(\frac{\omega^2 LC - 1}{\omega RC} \right) \quad (3)$$

식 (3)의 임피던스 각도에 의해 주파수 변화에 대한 전압과

전류의 위상차가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

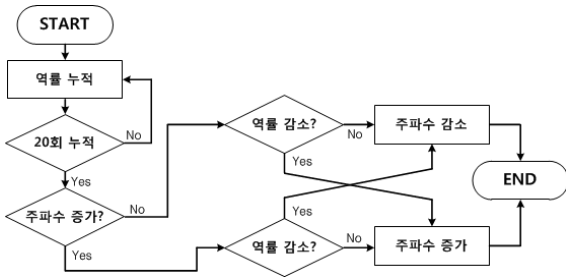


그림 2 제어 알고리즘
Fig. 2 Control algorithm

전압과 전류의 d q 변환을 통해 식(4)와 (5)를 이용해 무효전력과 유효전력을 구하고, 역률을 검출하게 된다. 역률의 오차를 줄이기 위해 누적하여 평균을 취하고, 역률의 증가 감소에 따라 스위칭 주파수를 증가할 것인지 감소할 것인지를 판단하게 된다.

$$P = \frac{1}{2}(v_{dc}i_{de} + v_{qe}i_{qe}) \quad (4)$$

$$Q = \frac{1}{2}(v_{qe}i_{de} - v_{de}i_{qe}) \quad (5)$$

2.3 시뮬레이션

회로와 제어 알고리즘의 검증을 위해 PSIM을 이용해 시뮬레이션을 수행하였다. 스위칭 주파수의 변화를 확인하기 위해 초기 스위칭 주파수를 20kHz로 설정하였고, DLL블럭을 이용하여 제어 알고리즘을 적용하였다.

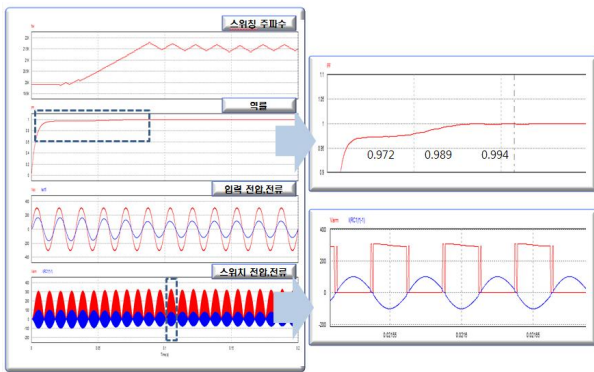


그림 3 시뮬레이션 파형
Fig. 3 Simulation waveform

초기 스위칭 주파수 20kHz에서 공진주파수인 22kHz로 추종하는 파형을 확인할 수 있다. 주파수가 변하면서 역률 또한 증가하게 된다. 공진 주파수에 이르게 되면 스위치의 전류파형이 사인파 형태가 되고, 소프트 스위칭이 되는 것을 확인하였다.

2.4 하드웨어구성과 실험

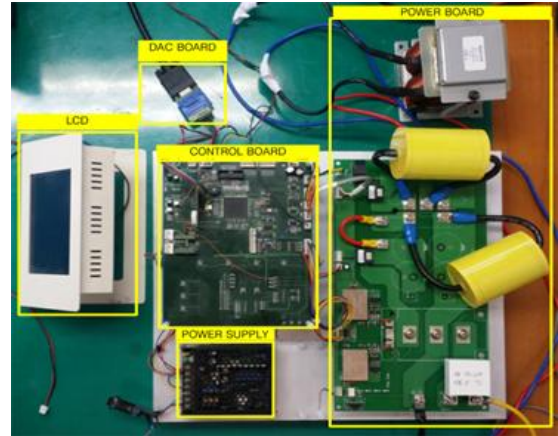


그림 4 실험 스택 구성
Fig. 4 Experimental stack configuration

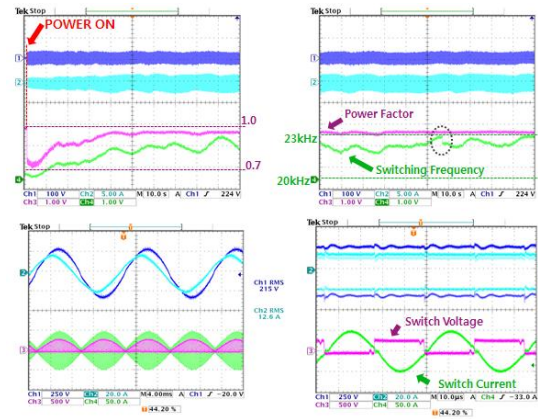


그림 5 실험 결과 파형
Fig. 5 Experimental result waveform

3kW 입력 전력에서 시뮬레이션과 동일한 실험 결과파형을 얻었다. 최대 역률 추종을 위한 주파수 변화를 DA를 통해 확인하였고, 최대 역률에서 스위치 전압과 전류를 통해 소프트 스위칭을 확인하였다.

3. 결론

유도가열 온풍 시스템은 가열체의 재질이나 온도, 주변 환경에 의해 리액턴스의 변화가 생기고 그에 따라 공진 주파수가 변하게 된다. 본 논문에서는 새로운 주파수 추종 방식을 이용하여 3kW의 전력이 입력되는 온풍 시스템을 제작 및 실험하였다. 전력 기반의 공진점 추종 방식은 기존의 복잡한 제어회로 구성이나 알고리즘을 극복하여 공진 주파수를 추종하므로 시스템의 효율을 극대화 할 수 있어 산업 전반에 걸친 다양한 분야로의 응용 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] John Davies, Peter Simpson, "Induction Heating Handbook".