

유도가열용 100kHz 5MVA 인버터 모듈 개발

유효열, 심은용, 강재봉, 고창순, 최길용, 김형복
(주)다원시스

Development of 100kHz 5MVA Inverter Module for Induction Heating

Yoo Hyo Yol, Shim Eun Yong, Kang Jae Bong, Go Chang soon, Choi Gil Yong, Kim Hyoung Bok
Dawonsys Co. LTD

ABSTRACT

The Induction Heating equipment is widely used for steel plate heating in the surface treatment process of steel industries. In the case of thin steel plate, for high efficiency We need the high frequency induction heating equipment more than 100kHz. But it is difficult to realize the high frequency and high power at the same time. That's why most high frequency equipment more than 100kHz has been imported from advanced Manufacturer. This paper will describe the development of 100kHz/5MVA inverter module for 100kHz/20MVA induction heating. We used the LCL resonance topology and ZVS/ZCS switching technology. And we also developed the low loss gate drive board and plate busbar inverter stack. We proved the performance by various experiment.

1. 서론

유도가열방식으로 가장 효율적으로 가열할 수 있는 금속판재의 두께는 침투깊이의 3배 이상일 때이다. 따라서 효율적인 면을 감안한다면 두께가 얇은 금속 판재 일수록 높은 주파수의 유도가열장비가 필요하다. 예를 들면 0.2mm 이하의 초박판의 경우 0.2mm/3의 침투깊이를 갖는 50kHz~100kHz 주파수 대역이 필요하다. 이는 설비비와 에너지 절감에도 크게 영향을 준다. 현재까지 국내에서 개발이 이뤄지지 못한 100kHz 20MVA 급의 금속판재 가열용 유도가열장치 개발을 ATC과제를 통해 진행하고 있다. 본 논문은 1차년도 과제 100kHz 5MVA 모듈 개발 내용을 소개한다.

2. 본론

2.1 유도가열을 이용한 강판 가열 원리

그림1과 같이 가열 코일에 교류 전류를 흘리면 자장이 형성되고 이 자장은 코일 내부의 강판 내부에 코일전류와는 반대 방향으로 와전류(Eddy Current)가 유도된다. 이 유도 전류에 의해 강판이 가열되고, 이것을 이용한 장비가 유도가열장비라고 한다.

코일에 교류 전류를 흘리면 금속의 원주방향을 따라 자기장의 생성을 방해하려는 방향으로 전류가 유도되며 이 전류의 크

기는 금속이 자성물질 여부와는 무관하게 표면에서 내측으로 들어갈수록 지수 함수적으로 감소한다. 이러한 현상을 표피효과(Skin Effect)라 한다.

즉 단순히 표현하면 표면에서 일정 깊이까지만 전류가 존재한다고 할 수 있고 이 깊이를 침투깊이(Skin Depth)라 하며 다음과 같이 정의된다.[1]

$$d = 15.9 * \sqrt{\rho / \mu f} \quad (1)$$

여기서 $d[m]$: 침투깊이
 $\rho[\Omega cm]$: 금속의 전기저항
 μ : 금속의 비투자율
 $f[kHz]$: 코일 자속의 주파수

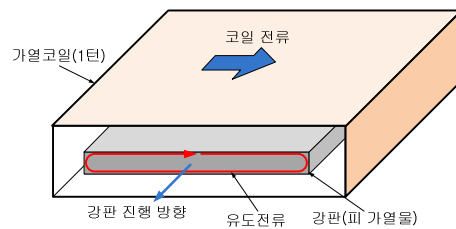


그림 1 유도가열을 이용한 강판 가열 원리

2.2 100kHz 5MVA 인버터 모듈 개발

100kHz 5MVA 스택 개발 과정에서 전체 시스템 구성은 LCL공진 방식을 이용하였다. LCL 공진 방식은 타 방식에 비하여 고주파 인버터에서 스위칭 손실을 줄이기 위한 영진압 스위칭을 가능하게 하고 구조가 간단해 지는 장점이 있다.[2]

2.2.1 시험 장비 구성도

그림 2는 100kHz 5MVA 시험 구성도를 나타내었다. IGBT 400A 1200V를 사용하였으며 평판 부스바 설계를 통한 기생 L을 최대한 줄이는 방법으로 설계하였다. 또한 임피던스 매칭 리액터를 이용하여 출력값을 제어 할 수 있다.

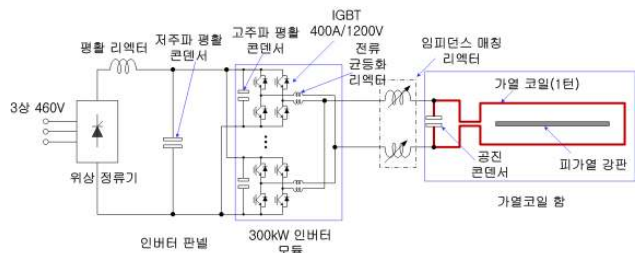


그림 2 시험 장비 구성도

2.1.2 100kHz 저 손실 대용량 구동기

100kHz 이상의 주파수에서 IGBT를 병렬로 구동하기 위해 저 손실 대용량 구동기가 필요하다. 본 설비에서는 Unipolar Gate 구동으로 구동 전력을 현저히 줄일 수가 있었다.

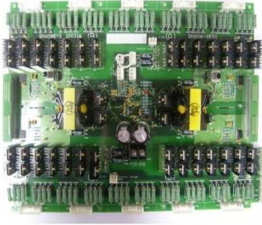


그림 3 대용량 IGBT Driver

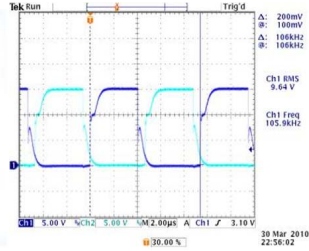


그림 4 Gate 파형
Ch1: Gate 전압, Ch2: Gate 전압

2.1.3 100kHz 5MVA 제작 및 시험

아래 그림5는 100kHz 5MVA 3D설계이고, 그림6은 실제 제작 시험 사진이다.

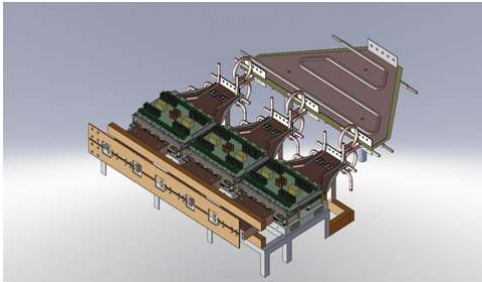


그림 5 100kHz 5MVA 인버터 3D 설계

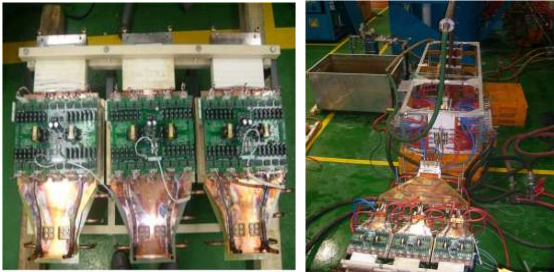


그림 6 100kHz 5MVA 인버터 제작 및 시험

인버터의 스위칭 손실은 냉각수량과 온도상승을 이용한 열량법으로 측정하여 정격에서 약 15kW의 손실이 발생함을 확인하였다.

Coil L값 0.51uH , 병렬 C값 4.8uF 을 사용하였으며, 임피던스 매칭 리액터 값을 2uH으로 맞추어 정격 출력 5MVA달성 하였다. 그림 7은 정격 출력의 파형이다. 이 때 각 부위의 전압 전류 값을 측정하여 표 1에 나타내었다.

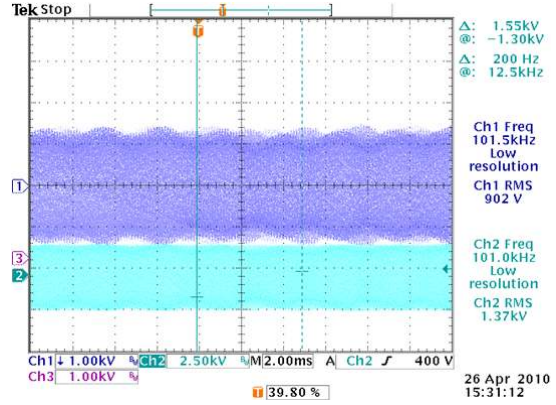


그림 7 정격 파형
Ch1: 인버터 전류, Ch2: 공진콘덴서 전압

표 1 정격 출력 Data 값

DC 전압	440V	공진 Cap 전압	1370V
DC 전류	839A	공진 Cap 전류	4173A
인버터 전류	902A	주파수	101kHz
전력	369KW	KVAR	5.73MVA
Xc : 328.4			

3. 결론

본 논문에서는 100kHz 20MVA 유도가열장치 개발의 1차 단계인 100kHz 5MVA 인버터 모듈의 제작 및 시험 내용을 기술하였다. 실제 철강라인에 적용 할 유도가열장치 개발의 첫 단계가 잘 마무리되어 2차년도의 개발에 더욱 박차를 가할 수 있을 것이다. 또한 유도가열의 응용분야 적용이 더욱 확대될 수 있는 계기가 될 것이다.

이 논문은 ATC과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Chester A. Tudbury, "Basics of Induction Heating", vol.1, 1960.
- [2] S Dieckerhoff, MJ Ruan, RW De Doncker, "Design of an IGBT-based LCL-resonant inverter for high-frequency induction heating", Industry Applications Conference, vol.3, pp.2039-2045, 1999