

# 공진형 인버터를 이용한 평판유도가열 시스템의 최적설계

박상훈, 신대철  
호서대학교

## Optimum Design of Reputation Slab Induction Heating System using Resonant Inverter

Sang hoon Park, Dae chul Shin  
Hoseo Univ

### ABSTRACT

본 논문에서는 고주파 공진형 인버터 접속의 가열 코일로부터 비접촉 상태로 전자유도 와전류를 구조물에 가하여 발열하는 공진형 인버터를 이용한 유도가열 방식의 최적설계를 제안하였다. 설계한 시스템 인버터는 스위칭주파수 20[kHz] 대역에서 동작하는 하프 브리지 고주파 직렬 부하 공진형이며 LC공진 설계 시 부하 자체를 L로 설정하여 효율을 최대화 하였다. 또한 유도가열용 인버터에 적용 가능한 스너버회로의 특성분석을 통해 본 시스템의 최적화에 관한 연구를 하였다.

### 1. 서 론

유도가열 원리는 금속가열에 이용하는 고주파 유도가열이라 칭하는 것으로 전자유도 작용에 의한 것이며 교류 전류가 흐르는 코일 속에 위치한 금속 등의 도전체는 와전류손의 저항에 의하여 전력의 크기만큼 열이 발생한다. 이와 같이 발생하는 열에너지를 이용하여 피가열 물질을 가열하는 것을 유도가열이라 한다. 이와 같이 유도가열방식의 전열시스템은 에너지 절약과 환경보호의 차원에서 중요한 역할을 하리라 생각된다.

전력반도체소자의 발전과 더불어 전력변환장치 기술은 종래의 스위칭 회로기술을 기본으로 하여 고속화, 대용량화로 발전해왔다. 또한 온도제어 신뢰성에 뛰어난 특성을 보이는 전자유도 유체 가열기술은 IGBT를 이용한 고주파 인버터를 사용하여 고성능·고효율의 시스템화가 가능한 전력전자의 다양한 분야로 주목받고 있다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 평판유도가열 시스템의 유도가열 인버터에 적용하여 가능한 스너버를 사용하여 IGBT 턴 오프 시 부하 L에 축적된 에너지에 의해 collector emitter간에 서지 전압이 발생하는 것을 확인하여 안정동작(SOA)내에서 동작이 보장되고 스위칭 시 손실이 저감되도록 안정화 방법으로 최적설계를 하였다.

### 2. 평판유도가열 시스템

그림 1과 같이 평판유도가열 시스템 구성은 크게 입력부, 전력변환부, 출력부로 나눌 수 있다. 입력부는 정류회로로 구성되며, 전력변환부는 스위칭소자와 구동회로로 구성된다. 본 실험에서 사용하는 스위칭소자는 IGBT이며, 출력부는 공진회로로 캐패시터와 부하 인덕터가 있다<sup>[2]</sup>.

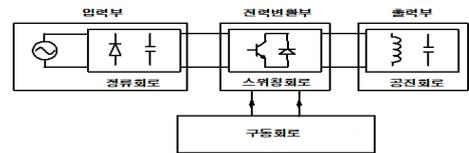


그림 1. 평판유도가열 시스템 구성도  
Fig. 1. A block diagram of slab induction system.

그림 2는 하프 브리지 인버터로 직류 전원 전압이 캐패시터에 의해 두 부분으로 분리되며 스위치의 수가 2개로 된다. 각 캐패시터는 용량이 동일하며 양단에  $V_{dc}/2$ 의 전압이 걸리게 된다<sup>[3]</sup>.

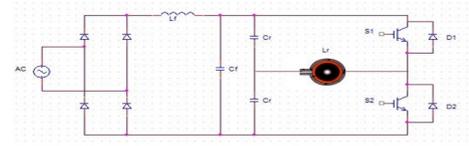


그림 2. 하프브리지 인버터  
Fig. 2. Half-bridge inverter.

그림 3은 평판유도가열 시스템의 부하 인덕턴스 전압과 전류 파형을 나타냈다.

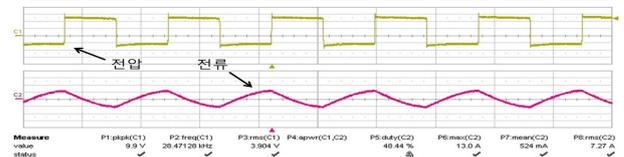


그림 3. 유도가열시스템 전압,전류  
Fig. 3. Waveforms of slab induction system voltage and current.

### 3. 실험 및 고찰

본 논문에서는 그림 4와 같이 평판 유도가열 시스템 실험장치를 구성하였다. 공진 캐패시터는 주파수 특성이 좋은 폴리프로필렌 계열로 주로 사용하지만 리플전류를 고려해서 적절한 용량의 것을 사용 하였다. 부하이자 공진 인덕턴스는 리프와이어로 사용하였다.

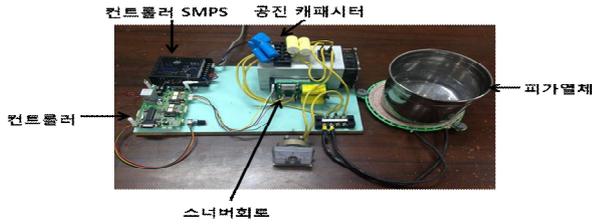
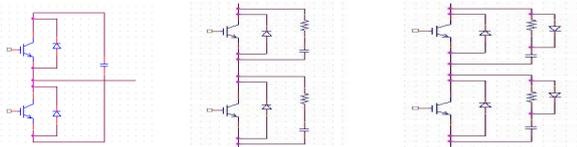


그림 4. 실험장치  
Fig. 4. Experimental set-up.

본 실험에서는 스위칭 소자로 사용하는 IGBT가 턴 오프할 때의 주회로 전류의 급격한 변화에 의해 부유 인덕턴스에 높은 전압이 유기되는 것에 의해 서지 전압이 발생한다. 이 전압이 IGBT의 collector emitter간 내압을 초과하면 소자파괴에 까지 이른다. 스너버회로는 스위칭 서지 전압을 IGBT의 내압 이하로 얻을 목적으로 사용하는 것이다<sup>[4]</sup>. 그림 4는 스너버 종류와 접속도를 나타낸 것이다.



(a) C스너버 (b) RC스너버 (c) RCD스너버  
그림 5. 스너버 종류와 접속도  
Fig. 5. Snubber type and connection.

C스너버는 간단한 스너버 회로로서 주회로 인덕턴스와 공진이 발생하는데 영향을 준다. RC스너버는 턴 오프시 전압상승률을 억제하는 효과는 있지만, 대용량에 적용하기에는 스너버 저항을 적은 값으로 해야하는 단점이 있다. RCD스너버는 회로가 복잡하지만 고주파 스위칭 소자에 가장 합리적이다.

스너버 캐패시터는 식(1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$C = \frac{L \cdot I}{(V - E)^2} \quad (1)$$

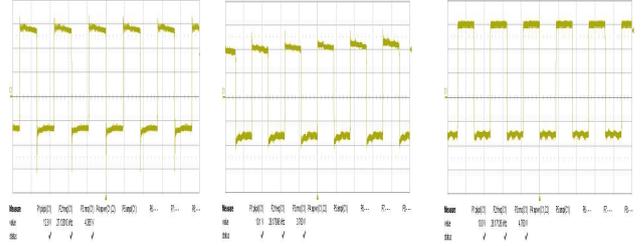
여기서, L: 주회로의 부유 인덕턴스[H]  
I<sub>0</sub>: IGBT의 턴 오프시 collector 전류[A]  
V: 스너버 condenser 전압의 최약도달[V]  
E: 직류전원전압[V]

스너버 저항은 턴 오프 동작까지 축전전하의 90[%]를 방전하는 조건에서 식(2)와 같이 구할 수 있다.

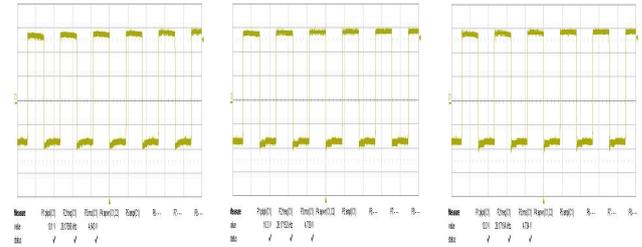
$$R \geq \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot C \cdot f} \quad (2)$$

여기서 f: 스위칭 주파수

스너버회로가 없을 경우와 C스너버회로와 설계한 RCD스너버회로를 인버터에 적용하여 비교하였다. C스너버의 경우 캐패시터 값을 변화하여 실험 하였다. RCD스너버의 경우 캐패시터는 C스너버와 동일하게 사용하였고, 대용량에 많이 사용하는 방전저지형 RCD스너버를 실험하였다. RCD스너버의 캐패시터 값은 식(1)에 의해 캐패시터 값을 구하면 4.46[uF]이 된다. 저항 값은 식(2)에 의해 150[Ω]이 산출되고 다이오드는 고속스위칭이 가능한 D39 06D를 사용하여 RCD스너버회로를 설계하였다. 그림 5는 스너버회로에 따른 실측 전압 파형이다.



(a) 스너버 미포함 (b) C스너버[2.2uF] (c) C스너버[3.3uF]



(d) C스너버[4.7uF] (e) C스너버[10uF] (f) RCD스너버

그림 6. 스너버회로에 따른 실측 전압 파형  
Fig. 6. Waveforms of survey voltage according to Snubber circuit.

#### 4. 결론

본 논문에서는 평판유도가열 시스템의 공진형 인버터의 적용가능한 스너버회로를 제안 하였다.

1. 그림 6의 실측 파형을 통해 스너버회로가 없는 경우와 스너버 회로가 있는 경우의 턴 오프 시 서지전압을 비교한 결과 스너버회로가 있을 경우가 IGBT의 스위칭이 더 안정적이었다.
2. 그림 6(d)와 같이 C 스너버의 경우 식(1) 값에 의해 근사 값인 캐패시터 4.7[uF]를 사용한 결과 IGBT의 스위칭이 가장 안정적이었고, RCD스너버 전압파형을 비교한 결과 C스너버 4.7[uF] 보다 불안정적인 파형을 보였다.
3. RCD스너버 다이오드를 선정 할 경우 역회복 시간이 더 짧은 다이오드를 선정하여야 한다.

앞으로 유도가열용 공진형 인버터의 제안한 스너버회로는 대용량 스위칭소자 보호에 기여할 것으로 기대한다.

#### 참고 문헌

- [1] Y. J. KIM, K. H. KIM, D. C. SHIN, "Electromagnetic Indirect Induction Fluid Heating System using Series Resonant PWM Inverter and Its Performance Evaluations", The Transactions of KIPE, vol. 7, no. 1, pp. 48~53, FEd, 2002.
- [2] 권혁민, 신대철 "고주파 공진형 인버터를 이용한 유도가열형 2단 히터", 조명·전기설비학회논문지 제19권 제7호, pp. 66~67, 2005.11.
- [3] Jose M. Buridio, et al., "Asymmetrical voltage cancellation control for gull bridge series resonant inverter", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 19, no. 2, pp. 461~469, 2004.
- [4] 김태진 "용접전원의 고주파화를 위한 전력용반도체소자의 스너버회로 설계 및 병렬접속" Journal of KWS, vol. 21, no. 1, pp. 36~38 February, 2003.