

# STEP 응답을 이용한 유도가열조리기의 부하해석

한 경혜<sup>o</sup>, 정 윤철, 노 희석, 권 경안, 양우종  
(주) 금성사, 생활 시스템 연구소

## Analysis of Induction Heating Vessel using step response

G. H. Han, Y. C. Jung, H. S. Roh, K. A. Kwon, W. J. Yang  
GoldStar Co., Living System Laboratory

**ABSTRACT** - This paper describes the analysis and modeling process of vessel which is used for induction heating jar and induction heating cooker. We present how to calculate the value of modeling parameter according to the shape of the vessel and work coil, and the temperature of vessel.

### 1. 서 론

주방 환경의 쾌적화를 위해 불꽃없는 COOK-TOP형 유도 가열 조리기가 나온 이후 최근에는 강한 화력 및 고효율로 한국적인 가마솥 밥맛을 재현할 수 있는 유도가열 밥솥이 개발되어 판매되고 있다. 유도 가열 조리기의 가열 원리는 철심 트랜스에서 철심에 열이 나는 것을 적극 이용하는 것으로 철심 CORE의 철손을 극대화하고, 1차측 Coil의 동손은 극소화하여 모든 에너지가 철심 CORE(가열용기)에 전달 되도록 하는 것이다. 철손의 주요인은 용기의 재료에 따른 히스테리시스손, 에디 커런트손으로 나누며 (1) 히스테리시스손은 자화곡선(B-H 특성)이 갖는 히스테리시스에 의하는 것으로 그 크기는 자계의 진폭에 비례하여 증가하는데, 1사이클당 손실은 주파수에는 의존하지 않는다. (2) 에디커런트손은 CORE을 형성하는 한개의 덩어리는 도전성을 갖고 있으므로 한개의 Coil로 간주되어 전류가 흐르게 되면 권선저항에 의하여 Joule열이 발생하는데, 이것을 에디커런트손이라고 한다. 에디 커런트손은 코어의 크기, 저항을 및 주파수에 의해 정해지므로 고주파용의 코어재는 분말화하여 절연시켜 에디 커런트손을 줄이기 위해 일본시켜 사용한다.

본고는 유도 가열 조리기의 용기인 냄비나 유도 가열 밥솥의 다양한 형상, 가열 코일과의 기구적 위치, 용기의 온도에 따른 특성을 STEP응답을 이용하여 회로적인 Parameter값으로 Modeling함으로써 최적의 스위칭 Device선택, 스위칭 주파수영역결정, ZVS(Zero voltage switching)의 영역등을 Simulation으로 쉽게 결정할 수 있게 함으로써 신뢰성 높은 제품을 빠른 시일내에 개발할 수 있도록 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 유도 가열 조리기의 구성

그림 1은 유도 가열 조리기(밥솥)의 기본 회로도이다. 교류 상용 전원(60Hz)을 정류 수단과 평활 수단을 통해 맥류 전압(120Hz)으로 만든 이후 이를 스위칭 소자(IGBT)를 이용하여 스위칭(주파수 20 - 50kHz)함으로써 가열 코일에 고주파 전류를 인가하여 가열 용기에 자속을 쇄교시켜 히스테리시스손, 에디 커런트손, 잔류손을 발생시켜 용기를 가열하게 한다. 가열 코일과 병렬, 혹은 직렬로 연결된 콘덴서와 FRD(Free Wheel Diode)는 스위칭 소자의 ZVS(Zero Voltage Switching)을 위해 공진을 일으키기 위한 소자이다. 스위칭 소자의 제어 및 각종 이상 상태 발생시 스위칭 소자의 보호 및 출력 제어를 위하여 제어 전용 IC 및 주변 회로로 구성 된다.

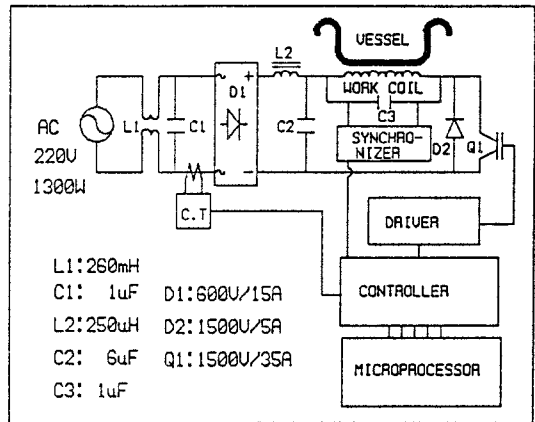


그림 1. 유도가열조리기의 기본 회로도

#### 2.2 가열 코일 및 가열 용기

그림 2는 가열 코일 및 용기(그림에서는 유도가열 밥솥의 밥통)의 실체이며 하단의 Ferrite는 하단으로 누설되는 자속을 차단하면서 아울러 가열 용기가 없는 상태에서 Inverter를 동작 했을 때 스위칭 소자의 파손을 막기 위한 것이다. 그림 3은

본고가 제안한 등가 회로 Model 이다. R1은 가열 코일 동손을, R2는 Hysteresis손을, Cp는 권선의 부유용량을, Ls는 용기의 인덕턴스를, R3은 용기의 손실을, k는 가열 코일(Lp)과 용기의 인덕턴스(Ls)의 결합계수를 감안한 Model이다.

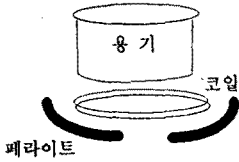


그림 2. 가열 코일과 용기의 실체

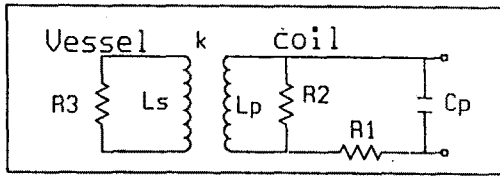


그림 3. 가열 코일, 용기의 Modeling

### 2.3 Model Parameter 추출

먼저 그림 4와 같이 STEP응답의 재현성을 높이기 위하여 직렬로 기준 콘덴서(Cr)를 부착하여 단위 STEP함수 응답 특성을 다음의 경우에 대해 구한다.

- ㄱ) 용기가 없을때 파형
- ㄴ) 용기가 있을때 용기와 가열 코일간의 간격별 응답 파형
- ㄷ) 용기가 있을때 용기의 온도별 응답 파형

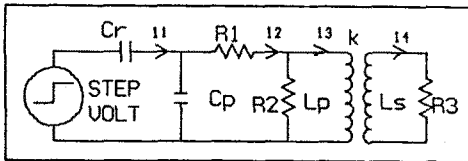


그림 4. STEP 전원 인가 회로

ㄱ) 조건에서 Lp와 R1은 제작기에 의하여 구하고 R2와 Cp는 상태 방정식에서 k(결합 계수)를 0으로 생각하고 감쇄 계수 및 공진주파수에 의하여 구할 수 있다. ㄴ) 조건에서는 ㄱ)에서 구해진 소자의 Parameter값과 용기를 증가화한 저항(R3)과 Secondary 인덕턴스(Ls)비를 에너지 전달 계수( $\eta$ )라고 하는 FACTOR로 하여, 가열 코일과 용기의 거리별 k(결합계수) 및 에너지전달 계수를 파형의 최대점, 공진 주기, 감쇄비를 이용하여 이 계수를 확정 시킨다. ㄷ) 조건에서는 위치에 대한 결합계수는 고정시키고 용기의 온도별 에너지 전달 계수( $\eta$ )를 구한다. 이상과 같이 구한 Model Parameter값은 종합적으로 표 1 과 같다.

CH1 10mV/div A 20ms 3.75 V CH2  
CH2 20V

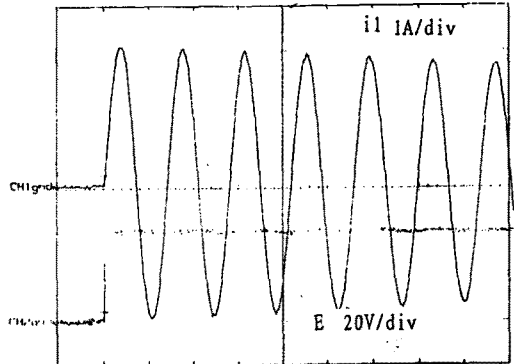


그림 5. 용기가 없을 때 STEP 전압 & 입력전류 파형

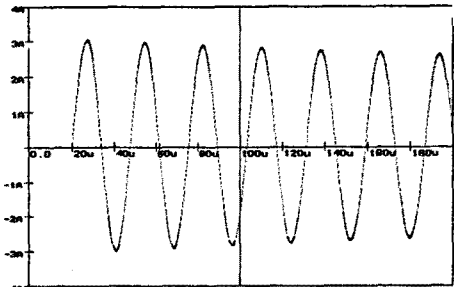


그림 6. 그림 5를 수치해석을 이용해서 확인한 파형

CH1 10mV/div A 5ms 3.75 V CH2  
CH2 20V

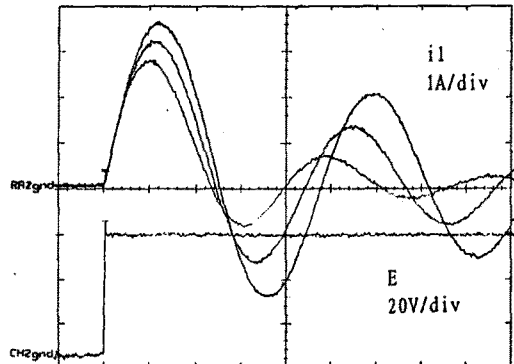


그림 7. 가열 코일과 용기의 거리별 전압&전류 파형

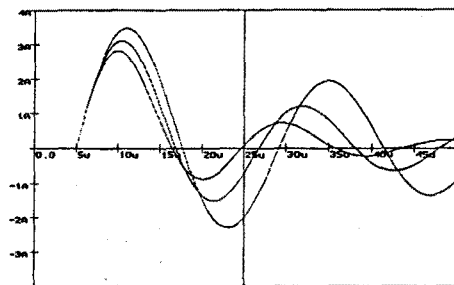


그림 8. 그림 7를 수치해석을 이용해서 확인한 파형

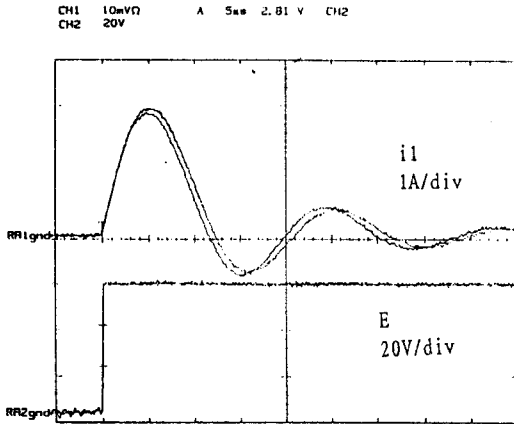


그림 9. 용기의 온도별 STEP 전압 & 입력전류 파형

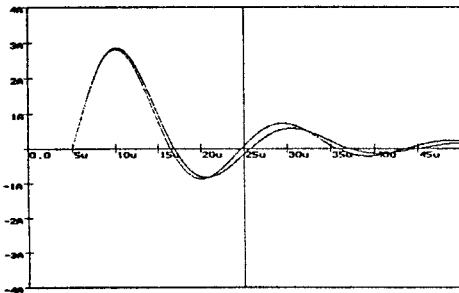


그림 10. 그림 9를 수치해석을 이용하여 확인한 파형

표 1. Model Parameter 값

Lp	Cp	R1	R2	n		k		
				25°C	100°C	1cm	2cm	3cm
uH	pF	mΩ	kΩ					
256	55	455	55	100k	125k	0.83	0.76	0.63

#### 2.4 Modeling Parameter 검증

표 1과 같이 구한 Modeling Parameter를 상용 회로해석 Program이나 수치해석 Program을 이용하여 Set의 출력, 스위칭 소자의 Spec등을 고려하여 최적 설계를 Simulation으로 구하여 여기서 구해진 값을 바탕으로 Inverter(그림 1도)를 설계하여 스위칭 소자의 전압, 전류 파형과, 용기의 소비전력을 측정하여 용기의 Modeling이 적합한가를 확인하였다.

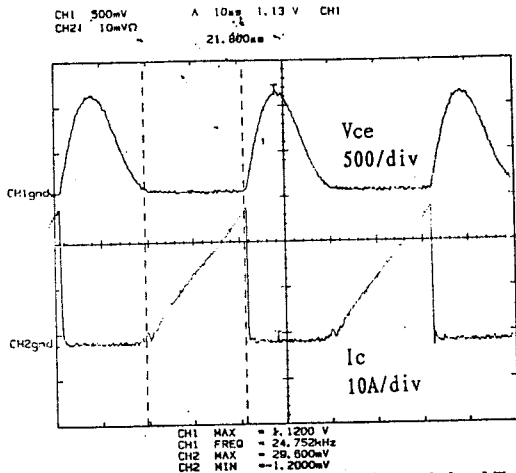


그림 11. Inverter(그림 1)의 IGBT(Q1)의 전압, 전류

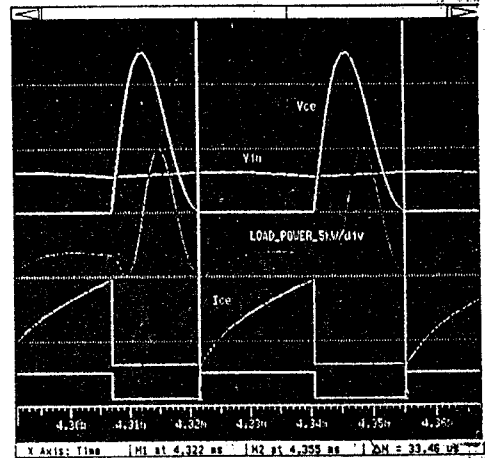


그림 12. 상용 Program을 이용한 Inverter 각부파형

### 3. 결 론

STEP 응답을 인가하여 그 응답으로써 회로를 완전히 확정지을 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 용기의 재질, 형태, 가열 코일과의 기구적 결합 형태, 용기 온도별로 가열 Coil 및 부하의 등가 Modeling Parameter를 정확하게 얻음으로써 Inverter의 스위칭 방식별로 스위칭 주파수, On time 결정 등 모든 회로 정수 결정을 Simulation으로 수행하여 Inverter 개발기간을 획기적으로 단축할 수 있으며 또 정확한 해석 및 파형 분석을 통해 최적의 스위칭 Device를 결정할 수 있어 가격이 저렴하고 신뢰성 높은 Inverter를 쉽게 개발할 수 있었다.

참조 문헌:

- 1) 박 송 배 '회로 이론
- 2) Tanroku Miyoshi, & Munehiko sumiya & Hideki Omori 'Analysis of an Induction Heating System by the Finite Element Method combined with a Boundary Integral Equation.'