

# 접합 온도를 고려한 All Metal Induction Cooker 전력 반도체 소자 선정

장은수, 박상민, 주동명, 이병국<sup>†</sup>  
 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

## Selection of Semiconductor Switching Devices for All Metal Induction Cooker Considering Junction Temperature

Eun Su Jang, Sang Min Park, Dongmyoung Joo, and Byoung Kuk Lee<sup>†</sup>  
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문에서는 자성체 및 비자성체 용기 가열이 모두 가능한 Induction Cooker 스위칭 소자를 선정한다. 비자성체 용기 가열 시 스위칭 소자에서 발생하는 손실, 열 저항 및 방열판의 온도를 통해 Package Type에 따른 접합 온도를 계산하여 스위칭 소자를 선정하고 실험을 통해 선정한 스위치의 적합성을 검증한다.

### 1. 서 론

용기의 재질에 따라 다른 비 투자율 특성은 용기의 등가 인덕턴스를 상이하게 나타나게 한다. 따라서 자성체 용기뿐만 아니라 비자성체 용기를 모두 가열하기 위해서는 재질마다 다른 등가 인덕턴스를 보상하기 위해 공진 네트워크를 변경하여 Induction Cooker를 동작시켜야한다. 이러한 공진 네트워크의 변경은 릴레이를 통해 용기 재질을 판별하고 공진 커패시터를 절체함으로써 구현할 수 있다<sup>[1]</sup>. 또한 알루미늄 등의 경우 비자성체 재질의 낮은 비저항 특성으로 용기의 등가 저항이 작아 워킹 코일에 공진 커패시터가 직렬 연결된 SRC (Series Resonant Converter) 토폴로지를 사용하는 Induction Cooker의 공진 네트워크 및 스위칭 소자에 흐르는 전류가 증가하게 된다.

비자성체 용기를 가열하기 위해서는 용기의 등가 저항을 증가시키기 위해 전력변환장치를 높은 주파수 영역에서 동작시켜 공진 전류를 감소시켜야 하며 스위칭 손실 및 전력 반도체 스위칭 소자의 도통 손실이 증가하게 된다. 또한 비자성체 용기 가열 시 무효 전력 증가에 따른 역 병렬 다이오드의 도통 손실 역시 증가한다. 이러한 스위칭 소자에서 발생하는 손실은 스위치의 온도를 상승하게 되고 스위칭 소자의 소손을 초래하게 된다. 따라서 본 논문에서는 스위칭 소자의 Package Type별 열 해석을 통해 접합 온도를 고려한 All Metal Induction Cooker의 스위칭 소자를 선정하고 실험을 통해 선정한 스위치의 적합성을 검증한다.

### 2. 스위칭 소자 선정 및 검증

Junction 온도는 전력 반도체 스위칭 소자에서 발생하는 손실과 스위칭 소자의  $R_{th}$ , 절연지의 열저항 및 방열판의 온도를 통해 계산할 수 있으며 방열판의 온도는 25°C로 일정하다

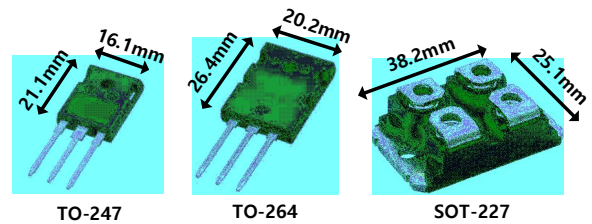


그림 1 Package type 별 스위칭 소자  
 Fig. 1 Switching device according to package type.

표 1 스위칭 소자의 Package에 따른 비교  
 Table 1 Comparison of switching device according to package type.

Parameters	Value		
Part Name	IPW65R041CFD	FDL100N50F	IXFN120N652
Package	TO-247	TO-264	SOT-227
$V_{DS}$	700 [V]	500 [V]	650 [V]
$I_D$	68.5 [A]	100 [A]	108 [A]
$R_{ds(on)}$	41 [mΩ]	43 [mΩ]	24 [mΩ]
$R_{th(jc)}$	0.250 [C/W]	0.050 [C/W]	0.024 [C/W]

고 가정한다. 그림 1은 본 논문에서 비교하는 TO 247, TO 264, SOT 227 Package의 스위칭 소자를 나타내며 각 스위칭 소자의 스펙은 표 1과 같다.

$$T_{junction} = (\sum R_{th} \times P_{loss}) + T_{Sink} \quad (1)$$

자성체 용기 및 비자성체 용기의 가열이 모두 가능한 Induction Cooker를 구현하기 위해 설계한 워킹 코일 위에 알루미늄 용기를 올려두고 LCR 미터를 통해 등가 저항 및 등가 인덕턴스를 측정된 그래프는 그림 2를 통해 볼 수 있다. 서론에서 언급했던 바와 같이 비자성체 용기의 낮은 저항을 보상하기 위해 전력변환장치를 높은 동작 주파수 영역에서 동작 시켜야 하지만 동작 주파수가 증가할수록 전력 반도체 스위칭 소자에서 발생하는 스위칭 손실이 비례하여 증가하므로 Trade off를 고려하여 동작 주파수 영역을 106~110kHz로 선정한다. 또한 공진 전류의 제한을 위해 알루미늄 용기 가열 시 최대 입력 전력을 2.6kW로 선정한다. 따라서 접합 온도 계산은 최대 입력 전력인 2.6kW 조건을 기준으로 계산한다<sup>[2]</sup>.

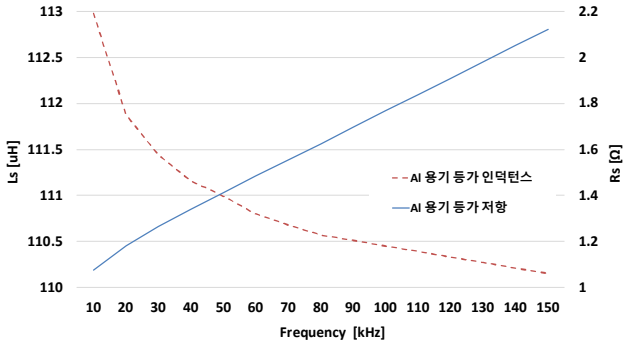


그림 2 주파수에 따른 Al 용기의 등가 저항 및 등가 인덕턴스  
Fig. 2 Equivalent resistance and inductance of Al vessel according to frequency variation.

스위치 및 다이오드의 도통 손실은 설계한 공진 네트워크가 동일하기 때문에 스위칭 소자 및 공진 네트워크에 흐르는 전류는 스위칭 소자의 변경에 무관하며 표 1에 언급한  $R_{ds(on)}$ , 역 병렬 다이오드의  $V_F$ 와 같은 factor를 통해 계산한다. 선정된 동작 주파수 영역의 등가 저항을 고려할 때 최대 입력 전력 조건 2.6kW에서 공진 네트워크에 흐르는 전류는 49.13A로 계산할 수 있으며 각 스위칭 소자에 흐르는 전류의 실효값은 34.74A이다. 또한 역 병렬 다이오드의 도통 손실은 데드 타임 동안 다이오드에 흐르는 전류의 한 주기 동안의 평균값으로 근사화하여 계산할 수 있으며 각 스위칭 소자에 흐르는 전류의 평균값은 5.94A이다. 스위칭 손실은 스위칭 소자의 기생 커패시턴스  $C_{rss}$ 가 급격하게 변화하는 구간의 평균값인  $C_{rss(aver)}$ 를 구하여 식 (2)와 같이  $Q_{gd}$ 를 계산하고 식 (3)와 같이 게이트 저항  $R_g$  및 밀러 전압  $V_m$ 을 통해 게이트 전류  $i_g$ 를 도출하여 스위칭 시간  $t_{sw}$ 를 계산한다. 그리고 폴 전압 380V, Turn Off 시 전류 58.85A 및 동작 주파수 및 앞서 계산한 스위칭 시간  $t_{sw}$ 를 통해 식 (4)과 같이 스위칭 손실을 계산한다.

$$Q_{gd} = C_{rss(aver)} \cdot V_{pole} \quad (4)$$

$$i_g = V_m \cdot R_g \quad (5)$$

$$P_{sw} = V_{pole} \cdot I_D \cdot f_{sw} \cdot t_{sw}/2 \quad (6)$$

표 2는 스위치 Package Type 별 방열판에 닿는 면적을 고려한 절연지 및 Thermal grease의 열 저항을 나타낸다. 계산한 각 Package Type의 스위치 및 다이오드의 도통 손실과 스위칭 손실 그리고 식 (1)을 통해 계산한 최대 입력 전력 조건에서의 접합 온도를 계산한 결과는 표 3과 같다. Junction 온도는 SOT 227 Package가 스위치의 전체 손실이 가장 작으며 방열판과 접촉 면적이 넓고 절연지를 사용하지 않기 때문에 다른 Package에 비해 접합 온도가 상대적으로 낮음을 확인할 수 있다. 따라서 용기 가열 시간에 따른 접합 온도의 증가를

표 2 절연지 및 Thermal grease 열 저항  
Table 2 Thermal resistance of thermal pad and thermal grease.

Package Type	$R_{th(pad)}$ [°C/W]
TO-247 (Thermal pad)	1.17
TO-264 (Thermal pad)	0.99
SOT-227 (Thermal grease)	0.151

표 3 스위칭 소자의 손실 및 접합 온도  
Table 3 Switching loss and junction temperature.

Parameters	Value [Unit]		
	TO-247	TO-264	SOT-227
Conduction Loss (D)	6.53 [W]	4.75 [W]	5.34 [W]
Conduction Loss (Sw)	49.48 [W]	51.90 [W]	28.97 [W]
Switching Loss (Sw)	10.71 [W]	10.31 [W]	2.51 [W]
Total Switching Loss	66.72 [W]	66.95 [W]	36.82 [W]
Junction Temperature	119.74[ C]	94.63[ C]	31.44[ C]

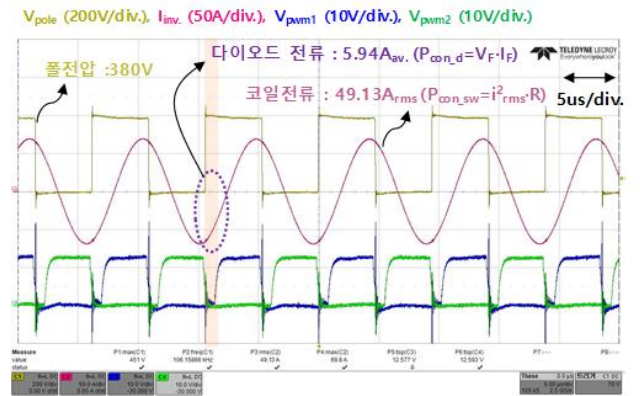


그림 3 알루미늄 용기 가열 시험 파형  
Fig. 3 Boil test waveform of Al vessel.

고려하여 SOT 227 Package 스위칭 소자 IXYS 社 IXFN120N65X2로 선정한다. 그림 3은 알루미늄 용기 가열 시 주요 파형을 나타낸다. TO 247 및 TO 264 Package의 스위칭 소자를 사용하여 알루미늄 용기 가열 시 스위치의 온도 상승에 따라 스위치의 소손이 발생하였지만 선정한 스위칭 소자로 가열 시 정상적으로 2.6kW를 만족하며 동작하는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문은 자성체 및 비자성체 용기의 가열이 가능한 Induction Cooker의 전력 반도체 스위칭 소자를 선정하였다. 비자성체 용기의 최대 입력 전력 조건에서 스위칭 소자에서 발생하는 손실, 열 저항 및 방열판 온도를 통해 계산한 접합 온도를 고려하여 스위칭 소자를 선정하고 실험을 통해 검증하였다.

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다. (No. 20164030200980)

### 참고 문헌

- [1] I. Milan, "Series resonant inverter with selective harmonic operation applied to all metal domestic induction heating" *IET Power Electron*, 2011, Vol. 4, No. 5, pp. 587-592.
- [2] 장은수, "비자성체 용기 가열을 위한 Induction Cooker 공진 네트워크설계", 전력전자학술대회 논문집, 2017. 07, pp. 44-45