

에어컨 압축기용 전력변환기의 열 분포 해석

한근우*, 김성곤*, 이충훈*, 최명현*, 정영국**

*(재)전북자동차기술원, **세한대학교

Thermal distribution analysis of a power converter for air conditioner compressor

Keun-Woo Han*, Seong-Gon Kim*, Chung-Hoon Lee*, Myoung-Hyun Choi*,
Young-Gook Jung**

*JIAT, **Sehan University

ABSTRACT

본 연구에서는 상용차의 무시동시 에어컨용 전력변환기의 열 분포를 조사하였다. 유한요소법(FEM : Finite Element Method)기반의 열 분포 시뮬레이션을 한 후, 이 결과를 바탕으로 실험을 수행하였으며, 방열판 및 MOSFET의 열 분포 결과를 서로 비교 분석하였다

상용차용 무시동 에어컨 시스템의 전력변환기는 24V의 배터리 전압을 200V이상의 DC전압으로 승압시키는 중요한 역할을 담당한다. 승압된 DC전압은 3상 인버터에 의하여 3상 AC로 변환되어 무시동 에어컨 압축기를 구동한다. 그림 1은 공진형 전력변환기의 제어시스템을 나타낸다. 주 제어루프는 주파수 변조에 의한 디지털 제어 루프이며, 이를 통하여 출력전압이 250V로 일정하게 제어된다. 이같이 10배 이상의 승압과정을 거치므로 전력변환기에서는 열이 발생하게 되며 열 분포도의 검토는 전력변환기의 부품 수명 예측과 부품 절약에 중요하다.

1. 서론

여름철 에어컨 사용량이 많은 상용차의 경우 냉방 동력을 위해 빈번하게 대형엔진을 구동함으로써 과도한 연료 소비와 배기가스 오염을 발생시킨다. 이 문제를 해결하기 위해 상용차용 무시동시 에어컨 압축기 시스템[1]이 제시되어 차량에 적용 중이다. 무시동시 에어컨 압축기 시스템은 24V배터리를 10배 이상 승압 가능한 고주파변압기와 하프브리지 구조의 DC전압 배압기의 공진형 전력변환기가 필수적이다.

2.2 전력변환기의 열 분포해석

정상상태의 경우, 전력변환기 내의 열 분포는 표면에서 대류되어서 사라지는 열 비율과 같다. 전력변환기에서의 온도분포는 미소체적에 에너지 평형법칙을 고려하여 열방정식으로 표현하면 식(1)과 같다.

본 연구에서는 차량의 무시동시 에어컨용 전력변환기[2]의 열 분포도를 유한요소법(FEM)에 의해 테스트하고 이 결과를 바탕으로 실험을 수행한 후, 방열판과 MOSFET을 포함한 전력변환기의 열 분포를 서로 비교하고자 한다.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(kr \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + q = 0 \quad (1)$$

식(1)을 적분하고 적절한 경계조건을 적용하여 적분상수를 산출하면 다음과 같은 온도분포를 도출할 수 있다.

2. 이론

2.1 에어컨 시스템

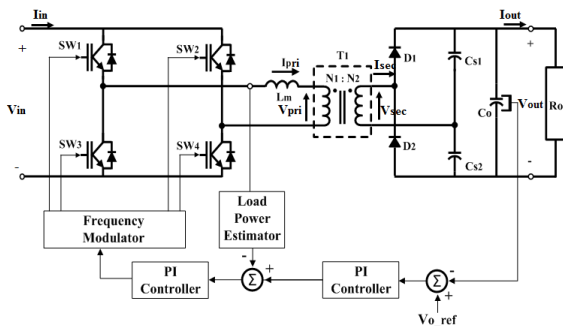


Fig.1. Resonant converter in non-starting air conditioner.

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dX} [W] \quad (2)$$

$$q_x = \frac{Q_x}{A} = -k \frac{dT}{dX} [W/m^2] \quad (3)$$

식(2)와 식(3)은 열전달율(Heat flow rate)과 열 속(Heat flux)의 수학적 표현이며, k는 열전도율 상수이다. 식(4)은 대류에 의해 냉각되는 표면온도를 산출하기 위한 에너지 평형식을 나타낸다.

$$Q = hA(T_s - T_\infty) [W] \quad (4)$$

단 h : 대류 열전달계수[W/m²C], A : 대류 열전달이 발생하는 면적, Ts : 물체 표면 온도, T∞ : 표면에서 충분히 멀리 떨어진 유체의 온도이다.

자연대류 조건의 대기수치를 적용하며, 열 해석 수행을 위한 전력변환기 모델의 경계조건은 방열판과 그 주위에 있는 주변 부품을 해석 모델로 구성한다. 외부 전체에 자연대류 조건

(Convection : $5E-6[W/m^2k]$)을 부여하고, 외부온도는 25°C로 설정하며 MOSFET등의 발열부품에 해당한 열 속 값을 입력 후 해석을 한다.

3. 열 분포 시뮬레이션 결과

앞서 언급된 열 해석 조건을 바탕으로 시뮬레이션을 진행한 결과, 전력변환기의 방열판은 최대 28.4°C의 열 분포를 형성함을 알 수 있다. 방열판을 포함한 전력변환기의 최고 온도는 약 59.2°C로 MOSFET지점에서 가장 높은 열 분포를 나타내고 있다. 열 분포 해석 결과, 전력변환기는 적정온도 80°C 이하로 열 분포가 형성되어 있으므로 열에 의한 문제는 없으리라 판단된다. 개발 초기에 선정하였던 전력변환기의 방열판 가로방향 크기(L) 250mm를 시뮬레이션 결과를 바탕으로 하여 210mm로 축소할 수 있었다.

Table 1. Simulation result of heat distribution

Item	Heat Sink	DC Power converter
Max. Temperature	28.4°C	59.2°C

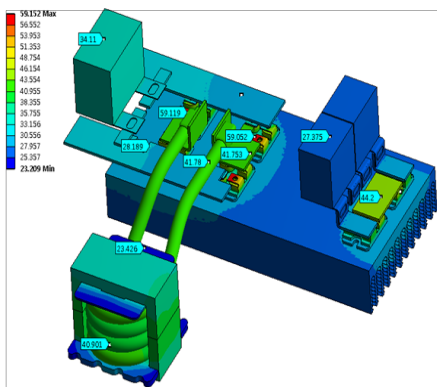


Fig. 2. Heat distribution of the resonant converter(Heat sink : L=250mm)

4. 실험 결과

그림 3은 전력변환기의 실험 장치를 나타낸다. 전력변환기의 하드웨어는 제어부, 파워부, MOSFET와 게이트 드라이버, 고주파 변압기로 구성된다.

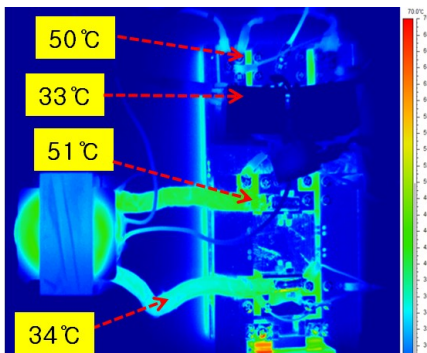


Fig.3. Heat distribution image of the resonant converter(Heat sink : L=210mm)

표 2는 열 분포 시뮬레이션 결과, 방열판이 적정온도에 대하여 여유가 있다고 예상되어 방열판을 길이(L)방향으로 40mm 정도 축소하여 실험을 수행한 것을 서로 비교한 것이다.

Table 2. Result of each heat sink

Heat sink	Width	Hight	Length
Simulation	120mm	40mm	250mm
Experiment	120mm	40mm	210mm

그림 3은 전력변환기를 최대 부하조건(2.5kW)에서 열 분포 실험을 한 결과를 나타내고 있다. 유한요소법(FEM)에 의한 열 분석 결과를 참고하여 실험이 진행되었으며, 방열판은 크게 L=250mm와 210mm 2가지로 구분하였다. 실험 결과, 저 전압 측 버스바(입력전원 측 라인)와 MOSFET, 다이오드와 같이 고압 소자에서 높은 온도가 발생하였다. 표 3은 시뮬레이션과 실험의 열 분포 결과를 서로 비교해 놓은 것이다.

Table 3. Comparison of heat distribution

Heat distribution	Heat Sink	MOSFET
Simulation	28.4°C	59.2°C
Experiment	33°C	51°C

5. 결론

본 연구에서는 상용차의 무시동시 에어컨용 전력변환기의 열 분포도 해석을 하였다. 열 해석 시뮬레이션과 실험을 진행한 결과, 전력변환기의 방열판은 최대 28.4°C와 33°C의 열 분포를 보였다. 방열판을 포함한 전력변환기의 최고 온도는 각각 59.2°C와 51°C로서 시뮬레이션 및 실험 모두 MOSFET지점에서 가장 높은 열 분포를 나타내었다. 결과적으로 전력변환기는 적정온도 80°C 이하의 열 분포를 보임으로서 열 문제가 없음을 알 수 있었다. 개발 초기에 선정하였던 전력변환기의 방열판 가로방향 크기(L) 250mm를 열 분포 시뮬레이션 결과를 통하여 210mm로 축소 가능하였다.

이 논문은 (재)전북자동차 기술원(JIAT)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 한근우,김성곤,정영국,임영철 "상용차를 위한 무시동 에어컨 압축기용 공진형 DC/DC전력변환기 개발", 전력전자학회지 논문지, 제19권, 6호, pp.557-563, 2014.12
- [2] 한근우,김성곤,이충훈,최명현,정영국,임영철 "전력변환장치를 이용한 상용차용 무시동 에어컨 압축기 시스템", 한국조명전기설비학회 논문지, 제26권, 6호, pp.96-108, 2015.6