

FET적용 PTC히터 성능 특성 분석을 위한 실험적 연구

이호성*, 전한별*, 남승윤**, 김정일***

*한국자동차연구원 열제어연구센터

**레보텍(주)

***세딕(주)

e-mail : leehs@katech.re.kr

Experimental Performance Analysis of PTC electric heater with FET

Ho-Seong Lee*, Han-Byeol Jeon*, Seung-Yoon Nam**, Jung-Il Kim***

*Korea Automotive Technology Institute

**Revotech

***CEDIC

요 약

본 연구는 전자파 개선을 위하여, FET를 적용한 고전압 공기가열식 PTC 히터에 대한 히터 고유의 성능 특성을 분석하기 위하여, 완성차가 요구하는 조건을 기준으로 평가 및 분석을 진행하였다. FET를 적용하였다고 하여도, PTC 성능의 경우, 완성차가 요구하는 평가 조건에서 약 6.0kW@0℃, 300kg/hr를 보여주고 있기 때문에, IGBT를 적용한 제품과 유사한 성능을 보이고 있는 것을 알 수 있다. Duty가 증가시켰을 때, 방열량과 소비전력은 증가하는 경향을 보이고 있지만, 방열량 증가대비 소비전력이 더 크기 때문에, 효율은 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 공기측 질량 유량이 증가하게 되면, 방열량은 증가하지만, 소비전력의 증가폭은 크지 않아서, 효율측면에서는 증가되는 경향을 보이고 있다. 향후에는 FET를 적용한 고전압 PTC 히터에 대한 전자파 분석을 통하여, 기존 IGBT를 적용한 제품과의 전자파 측면에서의 효과에 대한 연구를 진행할 예정이다.

1. 서론

온실가스 배출량 감축, 유가상승 및 환경규제 강화 등에 효과적으로 대응하기 위하여, 친환경 자동차로 인식되어지는 전기동력 자동차에 관심이 집중되고 있으며, 2004년 이후 선진국을 중심으로 본격적인 시장이 형성되어서, 개발 및 양산이 진행 중이다. 기존 내연기관차량에서는 난방시 엔진폐열을 이용하였기 때문에, 난방시 추가되는 에너지 소모가 없었지만, 전기동력 자동차의 경우, 엔진폐열 같은 고열원이 없기 때문에, 난방을 위해서, 전기식 히터를 사용할 수 밖에 없는 상황이다. 겨울철 차량의 시동시 Defrost에 대한 대응을 위하여서는 비교적 효율이 높은 히트펌프 시스템으로 대응이 힘들기 때문에, 전기식 PTC히터를 사용하여, 공기온도를 빠르게 높여서, 빠르게 운전 시야를 확보할 수 있도록 해야하기 때문에, 전기식 PTC 히터의 적용은 전기 구동 자동차에 필수적으로 적용되고 있다.

공기가열식 PTC히터의 경우, 내연기관 자동차의 경우, 상대적으로 효율이 높은 디젤엔진의 초기 난

방 성능 확보를 위한 보조난방 수단으로서, 저전압 히터(1.0kW이하, 12V)가 사용중[1]이고, 엔진 열원의 확보가 어려운 전기동력 자동차의 경우, 겨울철 난방 부하 및 시동시의 Defrost에 대응할 수 있도록 고전압(288~450V)을 사용한 고전력의 공기가열식 전기식 히터에 대한 연구가 많이 진행되었다.[2]~[5] 고전압 PTC 히터의 경우, 용량제어를 위하여서, IGBT를 적용한 제어기를 사용하고 있지만, 전주파수 영역에서 유럽 전자파 규격을 만족하지 못하고 있기 때문에, 본 연구에서는 MOSFET를 사용한 제어기를 개발하여서, 유럽 전자파 규격을 만족시키고자 연구개발을 진행하였다. 기존에 사용한 IGBT의 경우, 전기동력 자동차에 적용하는 구동 모터등 고용량에 사용하고 있지만, 본 연구에서 적용하고자 하는 공기가열식 히터의 경우, 상대적으로 저용량이고, 고주파 영역에서의 전자파 문제등을 해결할 수 있으므로, MOSFET으로 사용이 가능할 것으로 판단되며, MOSFET 적용시의 제어기 구조를 바꾸어서, 전기자동차 난방부하에 대응할 수 있는 공기가열식 PTC 히터 개발을 진행하고자 하였다.

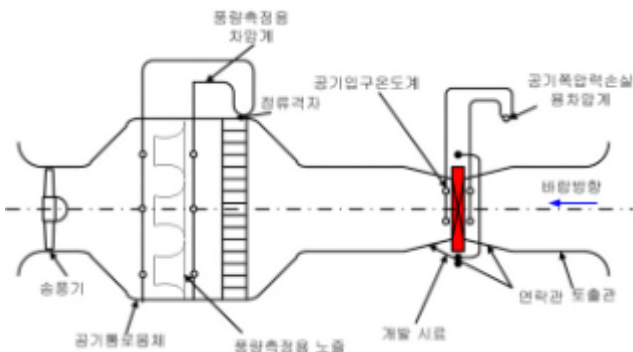
본 연구에서는 MOSFET을 적용한 PTC 히터의 성능 특성을 분석하여서, 기존과 유사한 성능을 확보할 수 있는지에 대한 실험적인 분석 진행하였다.

2. 본론

2.1. 평가 장비 및 조건

고전압 공기가열식 PTC 히터 성능 분석을 위하여, 히터부와 냉각 유체(공기)측 입/출구 압력 측정용을 통한 유로의 유동저항 측정과 아울러 입/출구 온도와 유량 측정을 통한 방열량과 발열 효율을 비교 평가할 수 있도록 하였고, 공기 온도 제어부, 코어 풍동 공기 유동 제어부, 고전압(360V) 전원 공급 장치부, 데이터 획득 장치로 구성된다. 평가장비는 최대 냉각용량 60,000kcal/h의 수냉식 R-22 냉방 시스템에 의해 ±0.2℃의 안정성으로 -20 ~ 60℃의 범위로 제어되는 공기 온도 제어용 환경챔버, ±1%의 안정성으로 ISO 9002 인증 AMCA 표준 다중 노즐에 의해 5 ~ 80m³/min의 범위로 PID 제어되는 코어부의 공기 유동 제어용 풍동을 적용하였다.

평가 조건의 경우, 완성차에서 요구하는 조건인 외기온도 0℃ 조건에서, PTC 히터 Duty조건 및 공기측 질량유량을 변경시켜가면서, FET를 적용한 고전압 PTC히터에 대한 성능 특성을 분석하였다.



[그림 1] FET적용 고전압 공기가열식 PTC 히터 성능 평가 장비 개요

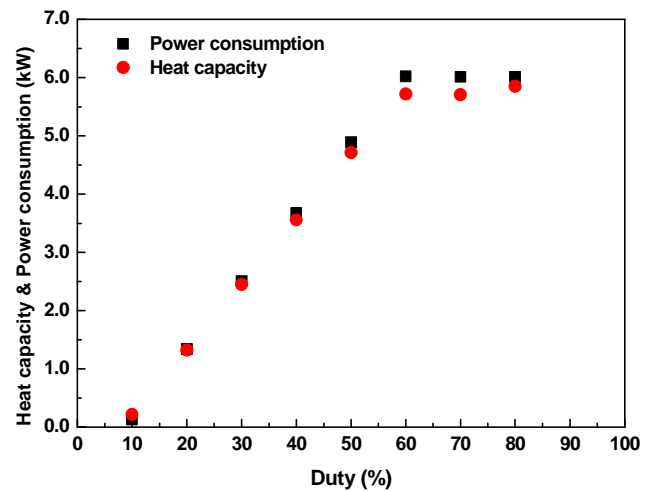
고전압 PTC 히터 성능의 경우, 공기측의 경우, 엔탈피 방법(식 (1))을 사용하여 방열량을 측정하였고, 전기측 소비전력의 경우, 전력계산기(WT-210)를 통하여서, 분석하였다. 히터의 효율은 공기측과 전기측과의 비율을 나타낼 수 있도록 식(2)와 같이 분석하였다.

$$\dot{Q}_{air} = \dot{m}_{air}(h_{air,in} - h_{air,out}) \quad (1)$$

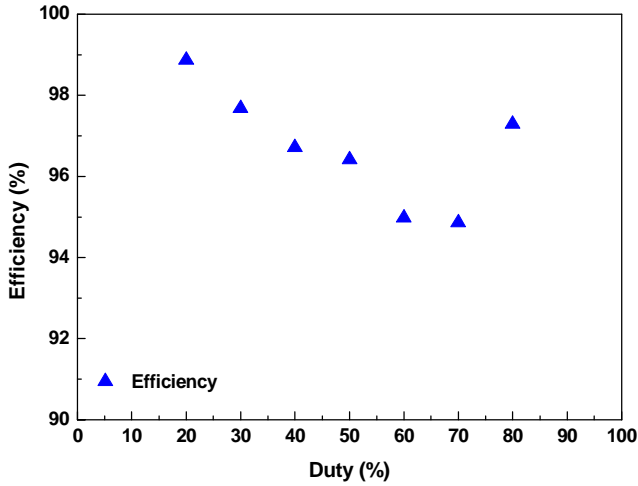
$$\eta = \frac{\dot{Q}_{air}}{\dot{W}} \quad (2)$$

2.2. 평가 결과

FET를 적용한 고전압 PTC의 Duty별 소비전력과 방열량에 대한 분석 결과를 그림 2와 같이 나타내었다. 평가를 진행한 시료의 경우, Duty를 증가시켜서, 방열량을 증가시켜, 난방 성능을 향상시킬 수 있도록 하고 있다. Duty 60%이상에서는 거의 동일 성능을 보이고 있고, 약 6.0kW수준의 방열량을 보이고 있다. 효율의 경우, Duty가 증가하여서, 소비전력이 증가하는 조건에서는 낮아지는 경향을 보이고 있지만, 전체적으로 약 95%이상의 효율을 보여주고 있다. 평가 장비에 적용시에 히터 출구쪽의 온도는 히터와 30±10mm에 위치하여서, 측정되고 있으므로, 복사열에 의해서, 효율이 높은 수준을 유지하는 것으로 판단된다.

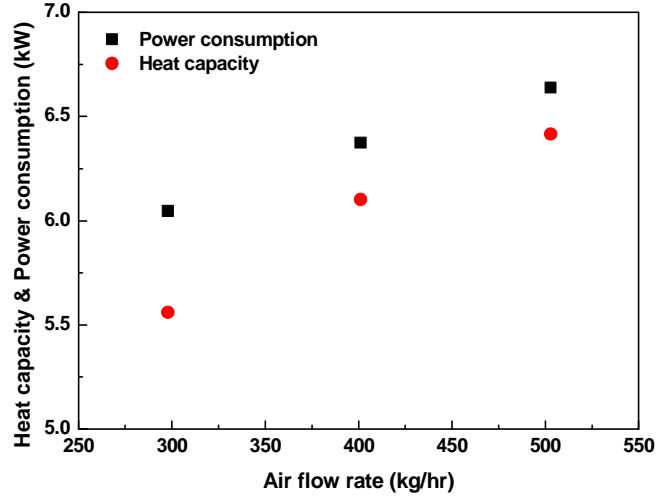


(a) 방열량 및 소비전력



(b) PTC 히터 효율

[그림 2] PTC 히터 Duty별 성능 특성

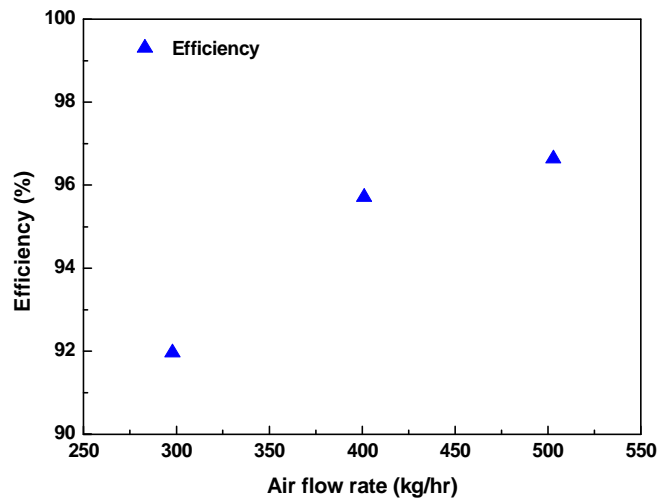


(a) 방열량 및 소비전력

고전압 PTC 히터의 경우, 자동차의 HVAC에 적용되어서, 저온시에 Cabin 내의 온도를 높이기 위해서, 적용되는 상황으로, 혹한기에는 공기측 풍량을 블로워의 단수를 높여서, 증대시키고 있다. 그래서, 본 연구에서는 풍량이 증가되는 상황에서의 FET를 적용한 고전압 PTC의 성능 특성을 분석하였다.(그림 3)

공기측 질량유량이 증가할수록 방열량 및 소비전력을 증가하는 경향을 보이고 있다. 평가시 Duty를 Max. 조건인 80%조건에서 진행하였을 때, 300kg/hr에서 500kg/hr로 증가되면, 방열량은 5.56kW에서 6.4kW로 약 15%정도 증가하는 경향을 보이고 있다. 혹한기의 외기조건에서 Cabin 내부의 온도를 높이기 위해서는 공기측 질량유량을 증가시켰을 때, 온도 증가 속도가 높아진다는 것을 알 수 있다. 이는 Kim et al.[5]에서 풍량 변화에 대한 경향과 유사한 결과를 보이고 있다.

효율측면에서는 풍량이 증가하게 되면, 방열량과 동일하게 92%에서 96.6%로 약 4.6% 더 높은 결과를 보이고 있다. 저유량에 비해서, 고유량에서는 방열량이 증가하였기 때문에, 효율측면에서는 더 효과적이었다는 것을 그림 3은 보여주고 있다.



(b) PTC 히터 효율

[그림 3] PTC 히터 적용 공기측 풍량 변화에 따른 성능 특성

3. 결론

전자과 개선을 위하여서, FET를 적용한 고전압 공기가열식 PTC 히터에 대한 히터 고유의 성능 특성을 분석하기 위하여서, 완성차가 요구하는 조건을 기준으로 평가가 진행되었다. 분석 결과 아래와 같은 결론을 얻게 되었다.

(1) FET를 적용하였다고 하여도, PTC 성능의 경우, 완성차가 요구하는 평가 조건에서 약 6.0kW@0°C, 300kg/hr를 보여주고 있기 때문에, IGBT를 적용한 제품과 유사한 성능을 보이고 있는 것을 알 수 있다.[5]

(2) Duty가 증가시켰을 때, 방열량과 소비전력은 증가하는 경향을 보이고 있지만, 방열량 증가대비 소비전력이 더 크기 때문에, 효율은 점차 감소하는 경향을 보이고 있다.

(3) 공기측 질량 유량이 증가하게 되면, 방열량은 증가하지만, 소비전력의 증가폭은 크지 않아서, 효율 측면에서는 증가되는 경향을 보이고 있다.

향후에는 FET를 적용한 고전압 PTC 히터에 대한 전자파 분석을 통하여서, 기존 IGBT를 적용한 제품과의 전자파 측면에서의 효과에 대한 연구를 진행할 예정이다.

후기

본 연구는 중소벤처기업부 구매조건부신제품개발사업(과제번호 : S2590424)과 산업통상자원부 우수기술연구센터사업(과제번호 : 10051890)의 지원하에 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Yoon-Hyuk Shin, Dong-Hyun Lim, Dae-Geon Kim, Seung-Ku Ahn, Ki-Yong Kim, Sung-Chul Kim, "Development of PTC elements and a Heater as Supplementary HEating for Internal Combustion Engine", Proceeding of KSME, 2013
- [2] Hee-Jin Shin, Seul-Gi Lee, Sang-Won Jung, Sang-Deok Kim, Min-Gyeong Shin, Hyun-Soo Kim, "Development of Positive Temperature Coefficient Heater Performance Simulator for x-EVs", Proceeding of KSAE, 2014
- [3] Ki-Yeong Kim, Sung-Chul Kim, Min-Soo Kim, "Experimental studies on the heating performance and efficiency for electric vehicle", Proceeding of KSAE, 2010
- [4] Du-Youl Choi, Chul-Min Kim, Won-Suk Lee, Jae-Sik Choi, Soo-Yeon Kang, "Development of Integrated High-Voltage PTC heater with Independent Control", Proceeding of KSAE, 2015
- [5] Yong-Chul Kim, Nak-Sup Sung, Keon-Soo Jin, Hoo-Taek Cho, "Consideration of High Voltage PTC Heater", Proceeding of KSAE, 2011