

소형전기자동차 난방부하 대응을 위한 전기히터별 특성 실험적 분석

이호성*, 전한별*, 정재우**, 원현주***

*한국자동차연구원 융합연구본부 열제어연구센터

**한국자동차연구원 그린카연구본부 하이브리드동력연구센터

***동아전장(주)

e-mail:leehs@katech.re.kr

Experimental Study on Performance Characteristics of Electric Heaters for Small-sized Electric Vehicles

Ho-Seong Lee*, Han-Byeol Jeon*, Jae-Woo Chung**, Heon-Joo Won***

*Thermal Management Research Center, KATECH

**Advanced Powertrain R&D Center, KATECH

***Motor R&D Center, Dong-Aha Electric Equipment Co. Ltd

요약

본 연구에서는 초소형 전기자동차 난방부하에 대응할 수 있는 난방 히터를 적용하기 위하여, 다양한 종류의 전기히터를 HVAC에 적용하여서, 성능 특성을 분석하였다. 동일한 소비전력을 소모하는 히터를 설계하였을 때, 타입이 변경되어도, 유사한 방열성능을 보여주었다. 타입별로, 공기측 질량유량 변화에 대해서, 방열량과 효율이 다르지만, 대체적으로 95%이상의 열효율을 보여주고 있다. Sheath 타입의 경우와 Honeycomb 타입의 경우, 동일한 성능을 적용하기 위해서는 PTC 타입 대비 체적이 늘어나야하는 구조를 가지고 있어서, 이러한 부분을 개선해야할 것으로 판단된다. 초소형 전기자동차 난방 부하에 대응하기 위하여, 적합한 히터의 경우, 성능 측면만을 고려하였을 때, PTC 히터가 효율적이라고 판단된다. 향후, 초소형 전기차에 적용하여서, 실차 운전조건에서의 난방 성능을 분석하여서, 시스템 상태와 실차 상태와의 성능 비교 분석을 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 진행중이다. 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 전기구동 자동차에 필수적으로 적용되고 있다.

초소형 전기차의 경우에도, 일부 초기 제품을 제외하고는

새로이 개발되고 있는 차량에서는 공조시스템을 적용하여서, 상품성을 확보하는 제품이 시장에 나오고 있는 상황이고, 특히, 난방의 경우, 전기승용차에서 적용되고 있는 PTC 히터를 용량을 줄여서, 난방 부하에 대응하고 있다.

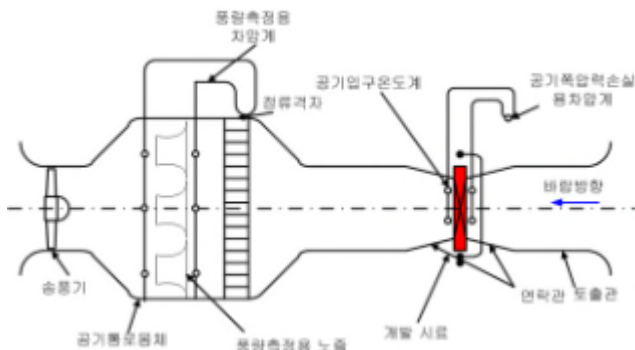
공기가열식 PTC히터의 경우, 내연기관 자동차의 경우, 상대적으로 효율이 높은 디젤엔진의 초기 난방 성능 확보를 위한 보조난방 수단으로서, 저전압 히터(1.0kW이하, 12V)가 사용중[1]이고, 엔진 열원의 확보가 어려운 전기동력 자동차의 경우, 겨울철 난방 부하 및 시동시의 Defrost에 대응할 수 있도록 고전압(288~450V)을 사용한 고전력의 공기가열식 전기식 히터에 대한 연구가 많이 진행되었다.[2]~[5]

초소형 전기차의 경우에도, 소형 전기차와 유사하게, 외부 환경 변화에 대응하기 위하여서, 공조시스템 적용시의 일충전 주행거리(저온시)가 줄어들고 있으므로(상온대비 약 80% 수준으로), 저전력·고효율의 난방모듈에 대한 개발이 필요하고, 이를 위하여서, 본 연구에서는 다양한 종류의 전기히터에 대한 분석을 진행하여서, 소형전기자동차에 적합한 난방시스템을 연구하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 조건

본 연구에서 진행하고 있는 소형전기자동차의 경우, 전압 레벨이 72V이기 때문에, 전기히터의 경우에도, 72V를 적용하여서, 성능 분석을 진행하고자 하였다. 전기히터의 종류로는 PTC 타입, Sheath 타입, 그리고, Honeycomb 타입을 소형 전기자동차에 적용될 수 있도록 제작하였고, 전기히터와 공기와의 열교환을 통하여서, 실내로 적용되는 구조에 대한 성능 특성 분석을 진행하였다. 소형 전기자동차에 적용되는 PTC 히터의 경우, 1.5kW 정도의 소모전력을 가지고 있었다는 것을 벤치마킹을 통하여서, 검토하였고, 타입별로 유사한 소모전력을 가지는 히터를 제작하였다. 타입별 히터의 경우, 초소형 전기차에 적용되는 HVAC에 공기가열식 히터 성능 분석을 위하여서, 히터부와 냉각 유체(공기)측 입/출구 압력 측정을 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(72V) 전원 공급장치부, 데이터 획득 장치로 구성된다. 평가장비는 최대 냉각 용량 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, 히터 최대 운전조건 및 공기측 질량유량을 변경시켜가면서, 소형 전기자동차용 전기히터 타입에 따른 성능 특성을 분석하였다.



[그림 1] 초소형 전기차용 공기가열식 히터 성능 평가 장비 개요

초소형 전기차용 히터 성능을 분석하기 위하여서, 공기측의 경우, 식(1)과 같이 방열량을 분석하였고, 전기 소모전력의 경우, 전력적산계(WT-210)를 통하여서, 분석하였다. 히터의 효율은 공기측과 전기 소모전력과의 비율을 나타낼 수 있도록 식(2)와 같이 분석하였다.

$$\dot{Q}_{air} = m_{air} \cdot c_{p,air} (T_{air,out} - T_{air,in}) \quad (1)$$

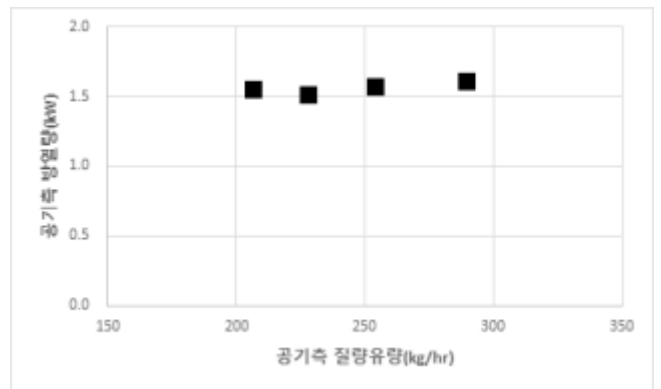
$$\eta = \frac{\dot{Q}_{air}}{\dot{W}} \quad (2)$$

3. 실험 결과

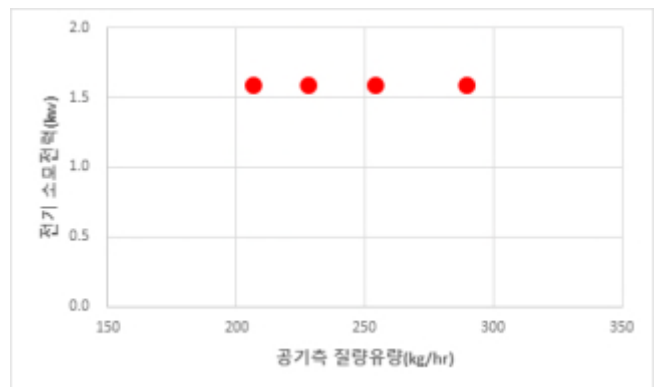
본 연구는 초소형 전기차에 적용될 수 있는 전기히터에 대해서, 히터 타입에 따른 성능 특성을 분석하고자 하였다. 공기가열식 히터를 개발하였고, Sheath 타입, HoneyComb 타입, 그리고, PTC 타입에 대한 전기히터 성능 특성을 분석하였다.

3.1 Sheath 타입 히터 성능 특성

Sheath 타입 히터에 대한 성능을 분석하였을 때, 그림 2와 같은 결과를 얻었다. Blower 단수를 증가시키면, 공기측 풍량이 증가하기 때문에, 공기측 방열량 증가하는 경향을 보이고 있다.(그림 2)



(a) 공기측 방열 특성



(b) 소모전력

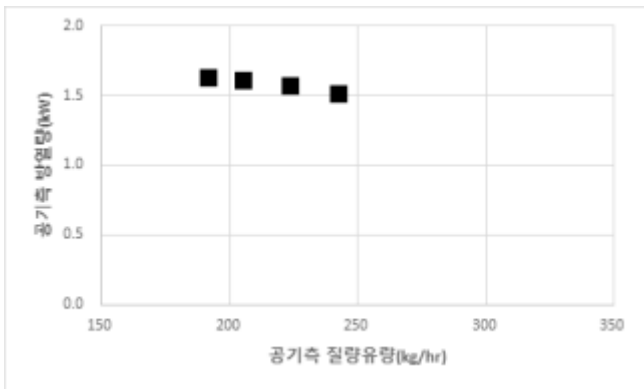
[그림 2] Sheath 타입 전기히터 성능 특성

Sheath 타입 히터의 효율은 전체적으로 98%정도를 보여주고 있었다. Sheath 타입 히터의 경우, 사형 타입(Spiral type)

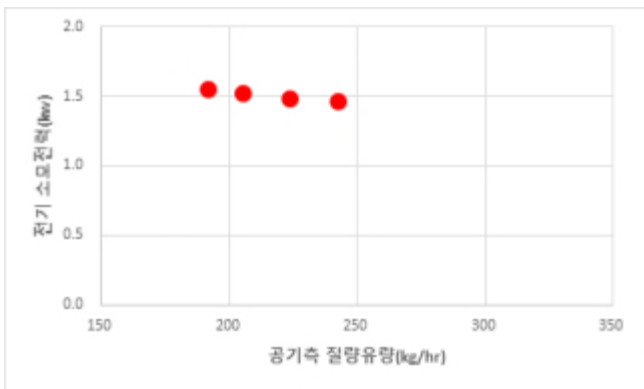
으로 공기측 출구 온도가 일정하지 않고, 측정 위치에 따라서, 다르게 측정되는 결과를 보여주고 있기 때문에, HVAC 출구에서, 탑승객까지의 연결부위에서 공기측의 혼합이 잘 될 수 있는 구조를 가져야 할 것으로 판단된다.

3.2 Honeycomb 타입 히터 성능 특성

Honeycomb 타입 히터 성능을 아래 그림 3과 같이 분석하였다. 공기측 유량의 경우, Blower 단수가 증가하면, 커지는 상황이고, 유량이 증가할수록 전기소모전력 및 공기측 방열량이 작아지는 결과를 보여주고 있다. 유량이 증가하게 되면, 공기측으로 열전달이 진행될 수 있는 시간이 적기 때문에, 열량이 적어지는 결과를 보여주고 있다. 효율 측면에서는 100% 수준을 보여주고 있기 때문에, Honeycomb 타입의 경우, 전기 에너지가 열에너지로 Sheath 타입보다는 전달이 잘되는 것으로 판단된다. Honeycomb 히터의 경우, 열전달 면적이 Sheath 타입 히터보다 더 크게 설계되었기 때문에, 효율이 높아진 것으로 판단된다. 그렇지만, 열전달 면적이 높은 만큼 차압이 크게 발생하여서, 동일한 HVAC 단수에서 공기측 유량은 더 적어지는 결과를 보여주고 있다.



(a) 공기측 방열 특성

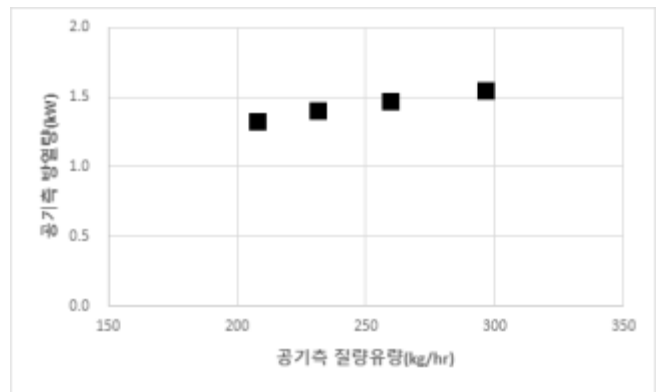


(b) 소모전력

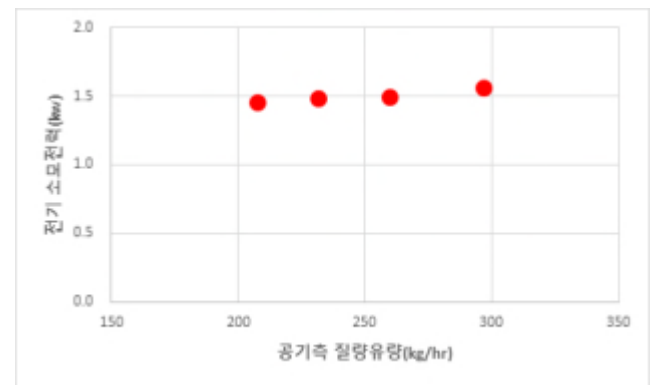
[그림 3] Honeycomb 타입 전기히터 성능 특성

3.3 PTC 타입 히터 성능 특성

PTC 타입 히터의 경우, 아래 그림 4과 같이 분석하였다. 공기측 유량이 증가할수록, 방열량은 커지지만, 소비전력은 유지하고 있었다. 그러므로, 열효율은 점점 커지는 결과를 보여주고 있었다. 열효율은 다른 히터 타입과 동일한 공기측 유량 조건에서 거의 95.7%로 약간 낮은 결과를 보여주고 있었다. 낮은 유량의 경우에는 효율이 낮았지만, 유량이 증가하면, 100%에 가까운 효율을 보이고 있기 때문에, 고유량에서는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.



(a) 공기측 방열 특성



(b) 소모전력

[그림 4] PTC 타입 전기히터 성능 특성

4. 결론

본 연구에서는 초소형 전기자동차 난방부하에 대응할 수 있는 난방 히터를 적용하기 위하여, 다양한 종류의 전기히터를 HVAC에 적용하여서, 성능 특성을 분석하였다. 그 결과는 아래와 같다.

- 1) 동일한 소비전력을 소모하는 히터를 설계하였을 때, 타입이 변경되어도, 유사한 방열능을 보여주었다.
- 2) 타입별로, 공기측 질량유량 변화에 대해서, 방열량과 효율이 다르지만, 대체적으로 95%이상의 열효율을 보여주고 있

다.

3) Sheath 타입의 경우와 Honeycomb 타입의 경우, 동일한 성능을 적용하기 위해서는 PTC 타입 대비 체적이 늘어나야 하는 구조를 가지고 있어서, 이러한 부분을 개선해야 할 것으로 판단된다.

4) 초소형 전기자동차 난방 부하에 대응하기 위하여, 적합한 히터의 경우, 성능 측면만을 고려하였을 때, PTC 히터가 효율적이라고 판단된다.

향후, 초소형 전기차에 적용하여, 실차 운전조건에서의 난방 성능을 분석하여, 시스템 상태와 실차 상태와의 성능 비교 분석을 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “국가 혁신클러스터사업(P0006672_저전력·비산화물 세라믹 발열체를 활용한 전기차용 난방모듈 개발)”에서 지원하는 산업기술 혁신사업(자동차산업핵심기술개발사업, 과제번호 : 20002762)에 의해서, 수행되었으며, 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