

차량용 무시동 히터의 열전달 해석

이준순*, 박성영**

*공주대학교 기계자동차공학부

**공주대학교 공과대학 생산기술연구소

Heat Transfer Simulation of the Vehicle Heater

Junsun Lee*, Sung-Young Park**

*Div. of Automotive & Mechanical Engineering, Kongju National University

**Industrial Technology Research Institute, College of Engineering, Kongju National University

요 약

차량에 사용되는 무시동 히터 열교환기의 효율 개선을 위하여 열전달 해석을 수행하였다. 연구에 사용된 히터는 연료 공급관을 통해 연소부로 연료를 공급하고 연소시켜, 열교환기에 열을 전달한다. 열전달 효율을 증대시키기 위하여 열전달면 및 연소면의 형상을 해석적으로 개발하였다. 개선된 열교환기 모델은 외부 형상을 기존 제품과 동일하게 설계하여 단품상으로 교체가 가능하도록 설계 하였다. 해석 결과 기존 모델에 대비 개선된 모델에서 열전달 효율이 약 5.6배 향상되었다.

1. 서론

지속적인 유가상승으로 인한 대체에너지 개발과 미래형 자동차 탄생으로 자동차의 성능이 향상됨에 따라 엔진 폐열을 이용한 Heater 기능은 축소되고 향후 대체 에너지를 이용한 차량난방 시스템 개발은 확대 될 것으로 전망한다. 연료비 부담과 세계적인 대기 환경 규제 강화 추세에 따라 자동차 배기가스 배출로 인한 환경오염 방지책으로 공회전 방지 법안이 시행됨에 따라 무시동 히터 개발의 중요성은 대두되고 있다.

내연기관을 동력원으로 하는 차량, 선박, 항공기 등은 내연기관 내부의 유로를 순환하는 냉각수로부터 회수되는 열을 이용하여 실내난방을 수행하고 있다. 그러나 엔진의 냉각수온이 일정온도 이상 상승하기 전에는 실내난방이 이루어지지 않으므로, 실내난방을 수행하기 위해서는 공회전 시간이 길어지고, 오염물질 배출도 증가한다. 이에 따라 무시동 히터의 장착은 신속한 실내난방, 배기가스 저감, 에너지 절약이 동시에 이루어지는 장점을 가지고 있다.

2. 본론

2.1. 유동해석에 적용된 지배방정식

열교환기 내부의 유동은 정상 상태의 난류 유동으로 가정하였으며, 본 연구에서 사용된 상용 소프트웨어에서 적용된 연속방정식, 운동량방정식 및 에너

지 방정식의 표현은 식 (1)~(3)과 같다. 또한 난류 운동에너지 방정식과 난류운동에너지 소산방정식은 식 (4), (5)로 표현된다. 난류 모델로서 표준 $k-\epsilon$ 모델을 적용하였다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}[\mu_j(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i] + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \epsilon + S_i u_i + Q_H \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i}((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_i}) + S_k \quad (4)$$

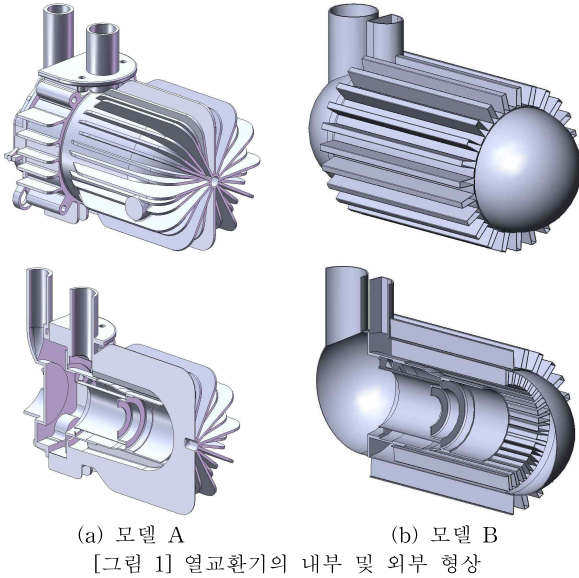
$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i}((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}) + S_\epsilon \quad (5)$$

유동을 기술하는 지배방정식의 수렴조건은 상용 소프트웨어인 FloWorks[1]에서 제공되는 자동목표치 수렴방식을 사용하였다. 이 방법은 목표치를 설정하고, 일정 수렴기간동안 목표치의 최대값과 최소값의 차로써 정의 되는 분산값을 계산하여 수렴의 여부를 결정하는 방식이다.

2.2. 해석 모델 및 경계조건

해석에 사용된 모델 A, B는 그림 1과 같고, 연소

부는 동일 형상이며 연소실 재질은 Stainless Steel 이다. 모델 A의 Heater Housing은 Aluminum으로 되어 있으며, 모델 B의 Heater Housing은 Stainless Steel로 되어 있다.



(a) 모델 A (b) 모델 B
[그림 1] 열교환기의 내부 및 외부 형상

Heat source는 연소공기에 온도와 질량유량을 설정하여 공급열량 조건을 부여하였다. 연소부위에 직접 열량조건을 부여하면, 정상상태에서 수렴하기 때문에 연소부의 용융점을 초과하는 온도계산 결과가 발생하였기 때문이다. 연료 소모량과 실내공기 유량은 실제 실험을 통하여 획득하였으며, 연료는 C₁₂H₂₆ 기준으로 저위발열량과 연료 소모량을 계산하여 열량 2.45 kJ/s를 얻었다. 또한 완전연소를 가정하여 이론공연비로 연소공기 유량을 설정하였다.

[표 1] 실측된 연료소모량 및 실내공기 유량

연료	C ₁₂ H ₂₆
저위 발열량 [kJ/kg]	44,467
연료 소모량 [g/s]	5.5×10 ⁻²
실내공기 유량 [m ³ /s]	0.0136

연소공기의 질량유량과 온도 설정은 다음과 같은 관계식으로 계산하였으며, Stainless steel과 Aluminum의 용융온도를 고려하여, 열량 100%를 공급할때 연소가스의 온도를 1400K으로 제한하고 실내로 공급되는 공기의 질량유량을 0.0018 kg/s로 설정하였다.

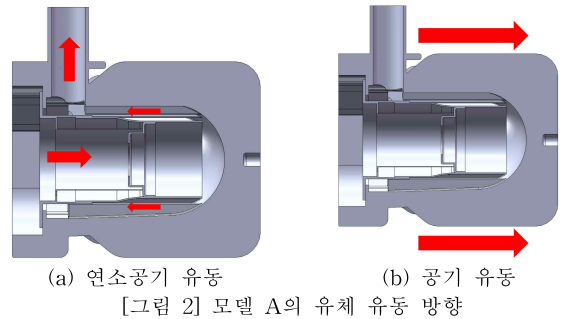
$$Q = \dot{m} \times C_p (T_2 - T_1)$$

표 2와 같이 연소공기의 온도와 질량유량을 경계 조건으로 유동 및 열전달 해석을 수행하였고, 실내공기의 평균 출구온도를 기준으로 실내로 공급되는 열량과 열효율을 계산하였다.

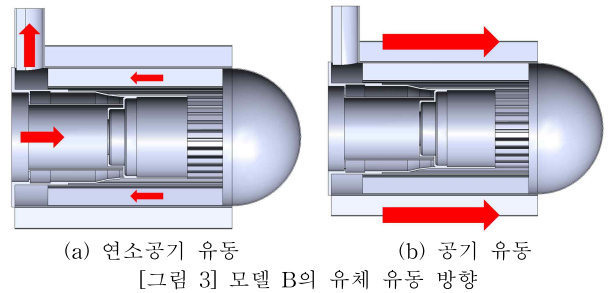
[표 2] 연소가스의 설정값

열량 20%	$\dot{m} = 0.0008 \text{ kg/s}$
	$T = 835.8 \text{ K}$
열량 40%	$\dot{m} = 0.0008 \text{ kg/s}$
	$T = 1290.9 \text{ K}$
열량 100%	$\dot{m} = 0.0018 \text{ kg/s}$
	$T = 1400 \text{ K}$

Heater Housing 내부의 연소공기 유동과 외부의 실내공기 유동 방향은 그림 2, 3과 같다. 모델 A와 B의 유동방향은 동일하며, 실내공기의 유량은 모델 A, B에서 동일하게 설정하였으며, 각각의 열량에 맞는 질량유량과 온도를 설정하여 해석을 수행하였다. Heater Housing을 감싸고 있는 외부 케이스는 열손실이 없다는 가정하에 단열조건을 부여하였다. 외부 케이스는 모델 A, B에서 동일한 모델을 사용하였다.



(a) 연소공기 유동 (b) 공기 유동
[그림 2] 모델 A의 유체 유동 방향



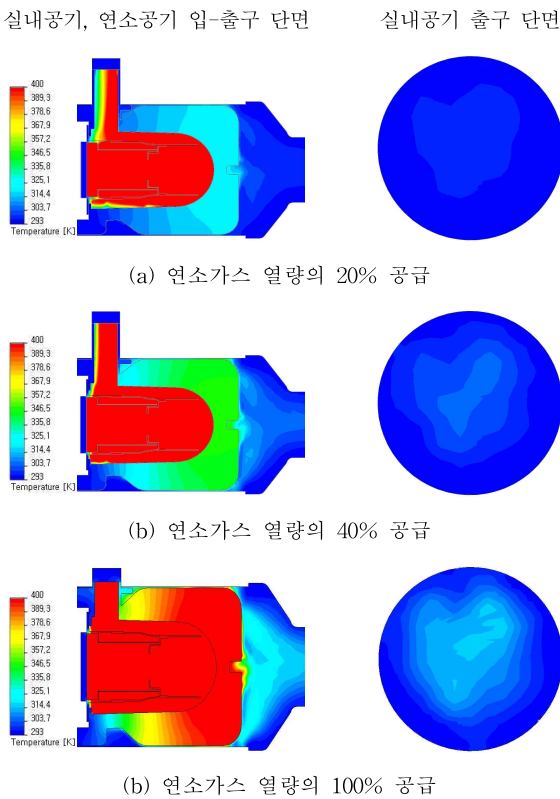
(a) 연소공기 유동 (b) 공기 유동
[그림 3] 모델 B의 유체 유동 방향

2.3. 열전달 해석 결과

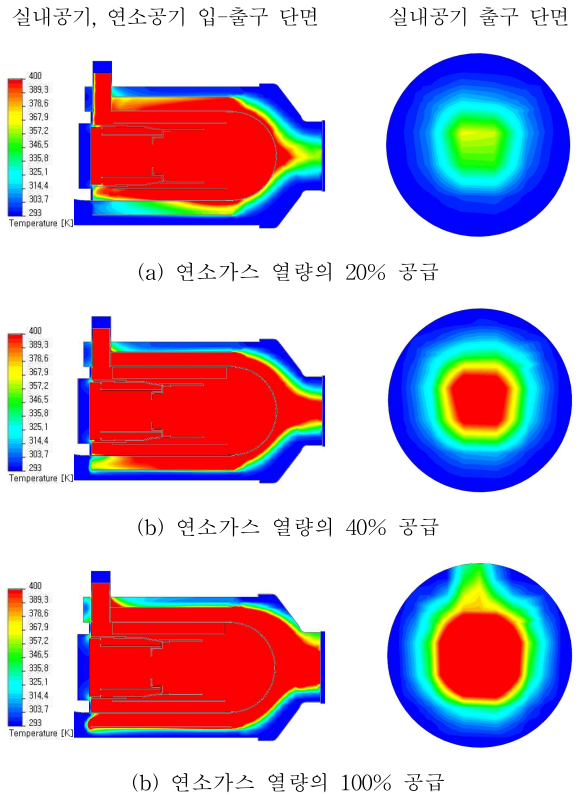
모델 A와 모델 B의 해석 결과 모델 B에서 높은 효율을 보여주었으며, 이는 Heater Housing의 재질과 두께에 의한 전도율의 차이로 사료된다. 연소공기에 주어진 열량과 출구에서의 열량비를 열효율로 사용하였다.

모델 A에 20%의 열량을 가했을 경우 실내공기 출구의 평균온도는 295.7K으로 열효율은 1.7%였다. 열량 40%의 경우 평균온도는 298.2K, 열효율은 3.4%였으며, 열량 100%의 경우에는 평균온도 304K, 열효율은 7.4%였다. 모델 B는 열량 20%에 평균온도 308.5K, 효율 10.5%였으며, 열량 40%의 경우는 평균온도 324.9K, 열효율 21.7%였다. 열량 100%의 경우는 평균온도 353K, 열효율 41.1%였다.

모델 A와 모델 B 모두에서, 케이스 주변의 공기에 충분한 열전달이 진행되지 못하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 케이스의 형상을 최적화하면 추가적인 열효율 상승이 기대되는 부분이다.



[그림 5] 연소가스 열량 공급에 따른 모델 A의 열전달 결과



[그림 6] 연소가스 열량 공급에 따른 모델 B의 열전달 결과

3. 결론

차량에 사용되는 무시동 히터 열교환기의 효율 개선을 위하여 열전달 해석을 수행하였다. 두가지 열교환기 모델에 대하여 해석 결과에 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모델 B에서 높은 열효율 결과를 획득하였으며, 해석 결과 모델 B가 모델 A보다 5.6배의 높은 열효율을 보였다.
2. 모델 A의 Heater Housing의 두께를 최적화를 통하여 현재보다 상승된 열효율의 Heater Housing을 제작할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 연소부와 Heater Housing의 변경외에 외부 케이스 형상의 최적화를 통하여 공기의 출구온도와 열효율 상승이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] NIKA GmbH, "COSMOS-FloWorks User's Manual", 2007.
- [2] McGraw-Hill Korea, "기본 열전달", 2004.