

# 열회생 히터 설계 변수에 따른 유동 특성 해석

봉선우\*, 이현균\*, 원유만\*\*, 정상원\*\*\*, 김성희\*\*\*

\*한국자동차연구원

\*\*명화공업(주)

\*\*\*우리산업(주)

e-mail:swbong@katech.re.kr

## Flow Characteristics Analysis According to Heat Regenerative Heater Design Parameters

Seon-Woo Bong\*, Heon-Kyun Lee\*, Yu-Man Won\*\*, Sang-Won Jung\*\*\*, Seong-Hoe Kim\*\*\*

\*Korea Automotive Technology Institute

\*\*Myunghwa Inc.

\*\*\*Woory Inc.

### 요약

xEV 차량은 자동차 실내 난방은 물론 배터리 성능, 냉간 시동 효율 향상을 위해 냉각수(Coolant)와 같은 유체의 가열용 히터가 사용되고 있다. 대형 상용차의 경우 제동 시 발생하는 에너지가 크므로 제동 에너지를 회수하여 열로 전환시켜 배터리 Warm-up, 난방 등에 사용될 수 있다. 본 연구에서는 대형수소화물차의 열관리 및 연비 효율향상을 위한 냉각수 가열히터 열회생 히터(Regenerative Heater)를 개발하였으며, 설계 변수에 따른 히터의 성능을 해석을 통해 알아보았다. 열회생 히터의 최적화를 위해서는 냉각수 Boiling 방지와 히터에 흐르는 냉각수의 차압을 낮게 유지해야한다. 냉각수는 히터로부터 받는 열의 크기에 따라 Boiling 이 발생할 수 있으며, 히터에서 발생하는 차압이 클수록 냉각수 펌프의 전력 소모량이 증가하므로 Boiling 방지와 차압 개선을 위한 두 가지 모델을 제시하였으며, 유동 해석을 통해 두 가지 모델을 비교 평가하였다.

### 1. 서론

최근 수소 상용차에 대한 국내외 수요가 증가하고 있으며, 이에 따른 열관리 부품들의 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 열관리 시스템 성능 향상을 위해 제동 에너지를 활용한 방안이 고려되고 있으며, 특히 대형 상용차의 경우 제동 에너지가 크므로 제동 에너지를 회수하여 회수한 에너지를 열로 전환시켜 배터리 Warm-up, 난방에 적용되어지고 있다. 연료 전지 스택 및 배터리는 동절기에 Warm-up을 위한 상당한 에너지가 소모되어지기 때문에 이에 대한 기술개발이 필수적이다. 본 연구에서는 대형 수소화물차에 적용되는 열회생 히터를 개발하였으며, 히터 형상과 내부 유로 형상에 따른 Boiling 및 차압 성능을 유동해석을 통해 알아보았다.

### 2. 본문

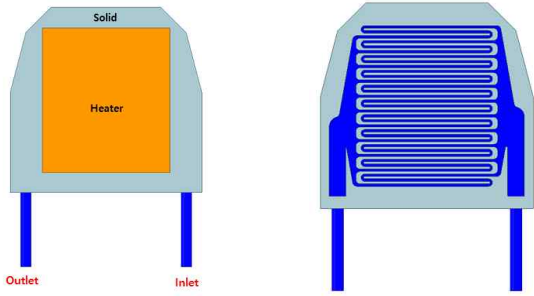
#### 2.1 유동해석 모델 및 조건

유동 해석 모델은 [그림 1]에 나타내었고, 해석 조건은 아래

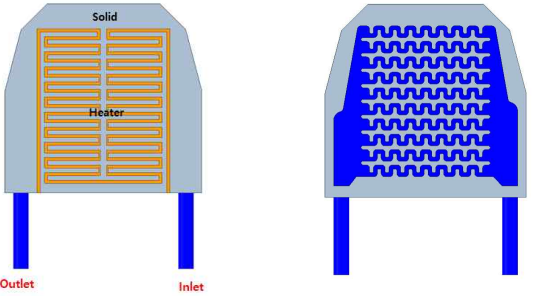
[표 1]에 나타내었다. 모델 형상은 알루미늄 평판위에 히터가 위치해 있으며, 유로를 따라 냉각수가 흘러 히터로부터 발생하는 발열을 냉각수에 전달하게 된다. 입구 조건은 25 LPM이며, 히터의 발열량은 10/30 kW의 전력량을 히터 면적으로 나눈 W/m<sup>3</sup> 단위의 Heat Source를 적용하였다. 출구는 대기압 조건으로 설정하였다. 모델의 크기는 Model #1, 2 모두 동일하며, 히터 체적은 Model #1은 1.48e-5m<sup>3</sup>, Model #2는 3.346e-6m<sup>3</sup>히터 전력량은 Model #1은 30kW, Model #2은 10kW로 설정하여 히터에 인가되는 전력 크기에 따른 발열량을 다르게 설정하였다.

[표 1] 유동 해석 조건

Inlet	Outlet	Viscous Model	Heat Source
25 LPM	Atmospheric pressure	k-epsilon	Model #1
			8.9e9 W/m <sup>3</sup>
			Model #2
			6.8e8 W/m <sup>3</sup>

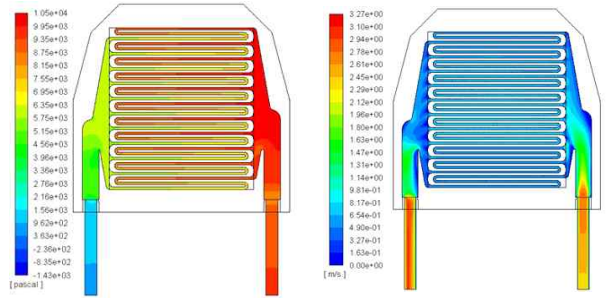


(a) Model #1



(b) Model #2

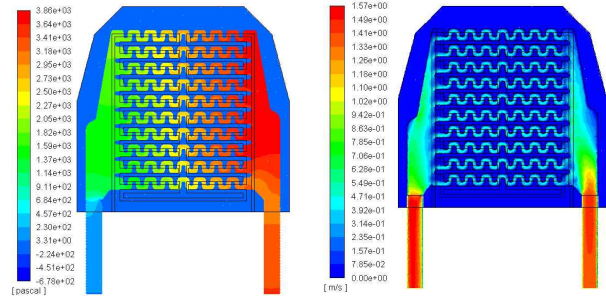
[그림 1] 유동 해석 모델



<Pressure Contour>

<Velocity Contour>

(a) Model #1



<Pressure Contour>

<Velocity Contour>

(b) Model #2

[그림 2] 압력/속도 해석 결과

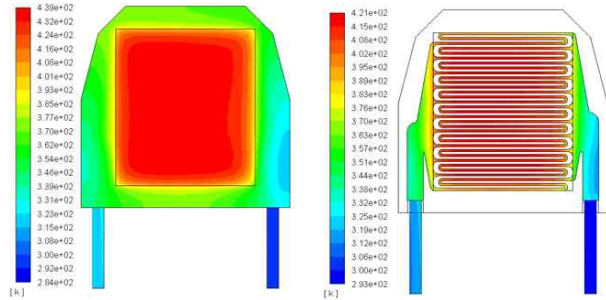
## 2.2 유동해석 결과

온도/압력/속도 해석 결과를 아래 그림에 나타내었다. 압력 해석 결과는 Model #1의 경우 입/출구 압력 차이가 9.58 kPa 을 나타내었으며, Model #2의 경우 3.43 kPa로 나타나 Model #2의 차압이 64.2% 더 적게 나타났다. 이는 Model #2가 Model #1보다 유량 증가 여력이 더 큰 것으로 판단된다.

속도 해석 결과를 살펴보면 Model #1의 경우 입구로부터 흐른 유량이 포트별로 분배될 때 급격한 형상 변화로 작동유체 흐름이 크게 꺾이는 것으로 나타난다. 급격한 작동유체의 방향전환은 압력손실이나 Vortex 발생 등의 원인이 되어 전반적인 성능에 악영향을 끼친다. 하지만 Model #2의 경우 급격한 작동유체의 방향 전환 없이 입구로부터 흐르는 유체가 끝에 있는 포트까지 골고루 흐르는 것을 확인할 수 있다.

온도 해석 결과를 살펴보면, Model #1의 경우 히터의 온도가 전체적으로 고르게 분포되어있는 반면, Model#2의 경우 하단 부근에서 열이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 히터의 최고 온도는 Model #1은 166도이며, Model #2는 153도로 나타났다. 냉각수 최대 온도는 Model #1은 148도, Model #2는 103도로 나타났다. 유체 온도를 살펴보면, Model #1은 전반적으로 고르게 유체 온도가 형성된 것을 볼 수 있으며, Model #2는 하단 부근의 온도가 높게 나타났는데, 이는 Model #2의 유로 포트가 Model #1보다 한 단 적어 최하단 히터에서 발생 되는 열이 바로 열교환되지 않아 발생한 것으로 판단된다.

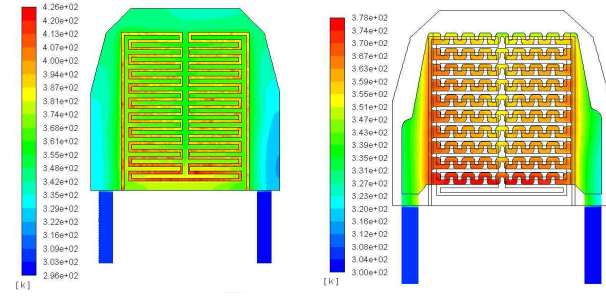
[그림 4]와 [그림 5]에 포트별 유량과 포트별 유량 그래프를



<Total Model Temperature>

<Fluid Zone Temperature>

(a) Model #1



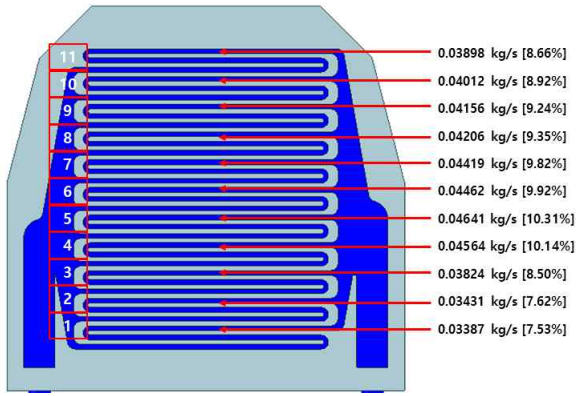
<Total Model Temperature>

<Fluid Zone Temperature>

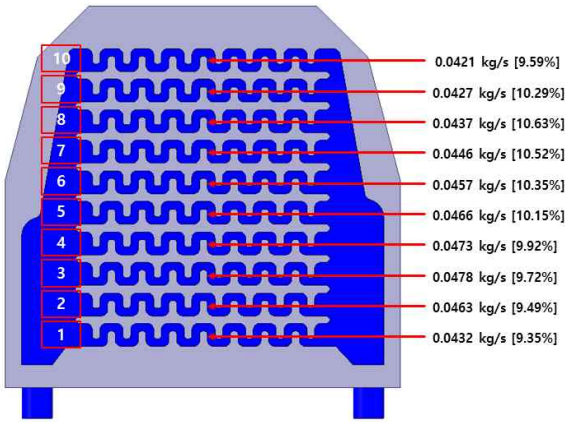
(b) Model #2

[그림 3] 온도 해석 결과

나타내었다. Model #1의 경우 1~8번 포트까지 유량이 증가하는 것을 확인할 수 있고, 9번 포트부터는 유량이 11번 포트까지 감소하는 경향을 나타내었다. Model #2의 경우 1~3번 포트까지 유량이 증가하는 것을 확인할 수 있고, 4번 포트부터는 유량이 10번 포트까지 감소하는 경향을 나타내었다.

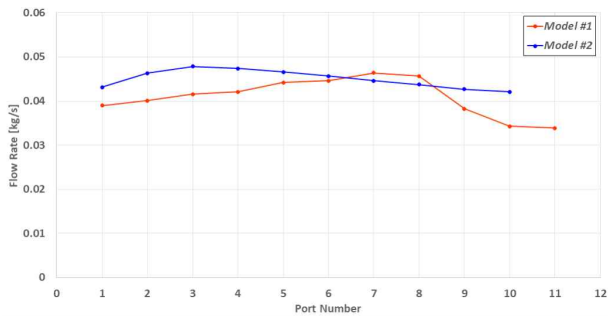


(a) Model #1



(b) Model #2

[그림 4] 각 포트별 유량 분포 결과



[그림 5] Model #1,2의 각 포트별 유량 분포 결과

### 3. 결론

본 연구에서는 열회생 히터 설계 변수에 따른 유동 특성을 해석을 통해 확인하였다. 동일한 크기의 모델들을 냉각수 유로 형성과 히터 제원에 따라 유동 특성이 다르게 나타나는 것을 확인하였으며, Model #1보다 Model #2가 차압이 약 64.2% 적게 나타났으며, 히터 최대 온도와 냉각수 최대 온도가 Model #1보다 Model #2가 약 8%, 30% 더 낮게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

냉각수의 Boiling 회피를 위해서는 유턴 방식의 냉각수 유로

형성보다 한 방향으로 흐르는 M자형 유로 설계가 더 효율적 일 것으로 판단된다. Model #2의 냉각수 최대 온도가 103도로 나타나 냉각수 Boiling 현상이 나타날 것으로 판단되지만 Model #1보다 낮은 차압으로 유량을 증가시킬 수 있는 여력이 있으므로, 유량 증가 시 냉각수 최대 온도는 더 낮아질 것으로 판단된다.

### 후기

본 연구는 산업통상자원부의 지역혁신클러스터육성사업(대형 수소화물차 열관리용 열재생(Regenerative Heater) 전기히터 및 쿨링모듈 성능향상 기술 개발, 과제번호 : P0015341)의 지원에 의해 수행되었음.

### 참고문헌

- [1] 한대성, 배규현, 윤현진, “냉각수 가열장치의 안정화를 위한 유로 최적 설계”, 반도체디스플레이기술학회지, 제20권 4호, 12월, 2021년.
- [2] 김준현, “폴리이미드 절연체 구조의 EM급 패치히터에 대한 열전달 특성 해석”, 한국생산제조학회지, 제 30권 3호, 페이지 224-232, 6월, 2021년.
- [3] 배석정, “전기자동차용 6kW급 CNT 히터의 내열구조강도 해석 설계”, 한국자동차공학회 춘계학술대회, 2021년.
- [4] 임택규, 이호성, 김지민, 전한별, 심승규, 송종욱, 김광섭, 유지선 “Fin 형상에 따른 냉각수 가열 히터 성능 변화에 대한 해석적 연구”, 한국산학기술학회 추계 학술발표논문집, 2022년.