

차량워셔액 가열시스템에서 충전재 및 유로의 재질에 따른 열전달 특성 연구

차우섭¹, 김태권^{2*}

¹계명대학교 대학원 기계자동차공학과, ²계명대학교 기계자동차공학과

Heat transfer characteristics with materials of the filler and flow path in vehicle washer heater system

Woo Sub Cha¹ and Tae Kwon Kim^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Keimyung University

²Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

요약 동절기에 차량 전면유리의 결빙이나 이물질을 제거하기 위하여 워셔액 가열시스템 적용이 점차 늘어나고 있다. 이 워셔액 가열 시스템은 짧은 시간동안 목표온도까지 워셔액이 가열되도록 설계되어야 한다. 본 연구에서는 급속하게 워셔액을 가열하기 위하여 차량 워셔액 가열 시스템의 내부 부품의 재질에 따라 열전달 특성을 해석하였다. 해석을 위해 열유동 전산해석에서 사용하고 있는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 상용코드인 ANSYS-FLUENT 소프트웨어를 이용하였다. 본 모델은 3차원 비정상상태의 축대칭 모델로 Fluent에서 제공하는 압력기반(Pressure-Based) 기법 중의 하나인 Coupled 기법을 적용하였다. 이 결과를 통하여 충전재 및 유로의 최적화된 재질을 찾게 되었다. 충전재 재질은 낮은 밀도를 가진 공기가 실리콘카바이드보다 빠르게 가열되었다. 유로재질은 니켈보다 열전달계수가 약 4배 정도 큰 구리가 내부에 열을 균일하게 전달되어 메탄올의 가열 시간을 단축하여 효율이 더 높게 나왔다.

Abstract Vehicle washer heater system is more widely adopted to defrost a window or to clear the windshield glass in winter season. The washer heater system should be designed to heat up washer fluid rapidly to the target temperature for only a short time. A numerical analysis has been carried out to analyze the heat transfer characteristics with materials of inside parts in vehicle washer heater system with filler and flow path. ANSYS - FLUENT software is employed for the analysis. The axial symmetry model is three-dimensional and unsteady. It applies to the coupled method which is one of pressure based. Through this result, it was obtained to find the optimal material condition for the filler and flow path in washer system. For material of filler, the air with lower density was heated more rapidly rather than silicon carbide(SiC). For material of flow path, copper with the heat transfer coefficient of approximately four times greater than the nickel gives us higher efficiency. That is the reason why the heating time of methanol was reduced to make uniform temperature in washer heater system.

Key Words : CFD, Heat transfer, Unsteady, Vehicle washer heater.

1. 서론

사회의 성장과 발전에 따라 자동차의 필요는 선택의 문제가 아니라 필수로 자리를 잡아가고 있다. 자동차는

과거의 단순 운송수단의 의미에서 현재는 업무, 문화, 여가활동과 생활공간 등으로 급속히 발전하고 있다. 소비자들의 요구에 따라 기술이 발전하고 여러 첨단 장치들이 자동차 개발에 적용됨에 따라 운전자들은 보다 편리

본 연구는 산업통상자원부·한국산업기술진흥원 지정 계명대학교 전자화자동차부품지역혁신센터(B0008866)의 지원에 의한 것입니다.

*Corresponding Author : Tae Kwon Kim(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-5551 email: tkkim@kmu.ac.kr

Received January 3, 2014

Revised (1st February 27, 2014, 2nd March 4, 2014)

Accepted May 8, 2014

하고 안전하게 운행 할 수 있게 되었다. 자동차의 안전 및 편의성문제와 관련한 분야 중에서 전면 유리의 시야 확보에 관련한 연구들이 중요시 되고 있다. 기존의 차량에 장착된 일반 워셔액 분사시스템은 겨울철에 전면 유리의 결빙 문제나 먼지 등의 이물질들을 제거하는데 한계가 있다. 이의 개선을 위하여 워셔액 가열 시스템을 통해 워셔액을 급속하게 가열하여 분사함으로써 짧은 시간에 시야확보에 방해가 되는 이물질들을 제거하여 운전자의 시야확보가 가능하게 하는 기술이 최근 주목받고 있다[1-4].

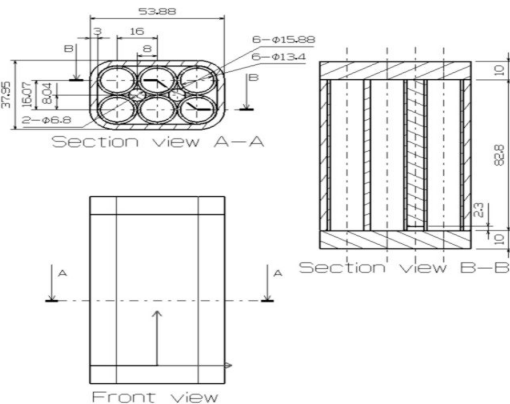
워셔액 가열 시스템의 주안점은 짧은 시간동안 목표 온도까지 워셔액을 가열시키는 것으로 볼 수 있다. 급속하게 워셔액을 가열하기 위하여 기계적 측면으로 워셔액 가열 시스템의 재질의 선택을 들 수 있다. 열전달율이 좋은 재질을 사용한다면 목표온도에 도달하는 시간이 짧아질 것으로 예상된다.

본 연구에서는 열유체 전산해석에서 사용하고 있는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 상용코드인 ANSYS-Fluent 소프트웨어를 이용하여 차량 워셔액 가열 시스템 내부부품의 재질에 따른 열전달 특성을 해석하였다. 이결과를 통하여 열효율을 구함으로써 보다 효과적인 충전재 및 유로의 재질을 구하였다.

2. 해석

2.1 모델링

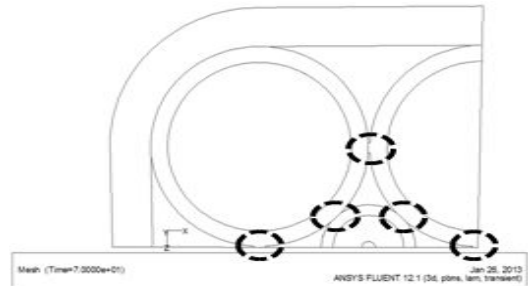
Fig. 1는 모델링을 위한 도면으로써 워셔액 가열 시스템의 가열기, 유로, 바디의 치수와 형태를 나타낸다. Fig.



[Fig. 1] The drawing for modeling

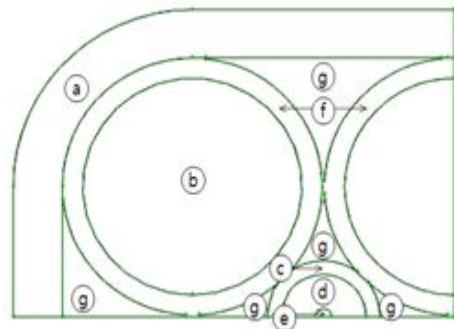
2는 Fig. 1의 해석을 위한 워셔액 가열 시스템의 모델링 단면이고, 접선 부분은 용접되어 있다고 가정하였으며 가열체와 유로 간에 면 접촉을 하였다.

위의 모델은 위, 아래, 좌, 우 모두 대칭구조이며 해석 계산시간을 줄이고자 Fig.1의 워셔액 가열기의 1/4 단면을 모델링 하였다. 격자의 개수는 6,358,567개이며, 모두 Tetra/hybrid 격자를 사용하였다.



[Fig. 2] Modeling of cross-section of the washer fluid heating system

2.2 해석 조건



[Fig. 3] Shape of washer fluid heating system

Fig. 3은 워셔액 가열 시스템의 구조 형상을 나타낸 것이다. ㉑는 가열기를 감싸고 있는 형태로 재질은 플라스틱이다. ㉒는 워셔액이 채워져 가열되는 공간이고, ㉓는 가열체의 표면이고 재질은 구리이다. ㉔는 가열체 표면과 발열체 사이에 절연 역할을 해주는 산화마그네슘이고, ㉕는 가열체의 중심부로 열을 발생시키는 발열체이고, 재질은 칸탈이다. 칸탈은 저항 발열체로 고온의 사용을 견딜 수 있다. ㉖는 유로이며 재질에 따라 열전달 해석을 할 부분이다. ㉗는 충전 공간으로써 충전재가 들어갈 공간이고, 이 곳 또한 재질에 따라 열전달 해석을 해야 될 부분이다.

[Table 1] Materials of fluid path and filler

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Flowpath (f)	Copper	Copper	Nickel	Nickel
Filler(g)	Air	SiC	Air	SiC

Table 1은 Case별 충전재와 유로의 재질을 나타내었다. 유로의 재질은 보편적으로 사용되고 있는 구리와 비교적 높은 비열과 낮은 열전도도로 형성되어 있는 니켈을 비교하였고, 충전재의 재질은 공기와 밀도와 열전도가 높은 실리콘 카바이드를 비교하였다.

2.3 해석방법

전산해석은 서론에서 언급하였듯이 CFD(Computational Fluid Dynamics)사용코드인 Fluent 소프트웨어를 이용하였다. Fluent는 유동장을 수치적으로 예측하기 위하여 수치계산 영역을 적절한 수의 제어체적으로 분할한 후 지배방정식을 제어체에 관하여 적분하는 유한체적법(Finite Volume Method)을 사용하며 유동장 해석은 Patanka에 의하여 제안된 SIMPLE 알고리즘을 채용한다 [5].

본 연구는 비정상상태의 지배방정식으로 식 (1)은 연속방정식이고 식 (2)~(4)는 x,y,z방향의 운동량 방정식이다. 그리고 식 (5)은 열전달 방정식이다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} \\ &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \rho g_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} \\ &= -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \rho g_y \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} \\ &= -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \rho g_z \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) \\ &= k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{q} \end{aligned} \quad (5)$$

본 모델은 비정상상태의 증력을 고려한 3차원 축대칭이며, 에너지방정식을 이용하였고, Fluent에서 제공하는 압력기반(Pressure-Based) 기법 중의 하나인 Coupled기법을 적용하였다. 비정상상태의 가열시간은 60초로 가정하였다. 경계조건은 외기온도를 영하 20°C로 가정하였으며, 자연대류로 열전달계수는 6W/m³·K로 설정하였다.

Table 2는 해석에 필요한 물성치를 나타내었다. 워셔액은 메탄올로 대체하였으며, 이 물성치는 Fluent에서 제공하는 데이터베이스를 기반으로 이용하였다. 식 (6)은 열원(Heat Source Term)을 나타내는 식으로 V는 전압이고, R는 저항이고, \bar{V} 는 체적이다.

$$Q''' (W/m^3) = \frac{V^2}{R} \times \frac{1}{\bar{V}} \quad (6)$$

[Table 2] Properties for analysis

	Copper	MgO	Kantal	SiC	Air	Plastic	Methanol	Nickel
Density (j/kg-k)	8978	3580	7100	3100	1.225	1.25	785	8900
Cp (w/m-k)	381	889	552	675	1006.43	0.46	2534	460.6
Thermal Conductivity (kg/m-s)	387.6	51.6	11	180	0.0242	2.8	0.2022	91.74
Viscosity (kg/m-s)					1.7894×10 ⁻⁵		5.495×10 ⁻⁴	
Thermal Expansion Coefficient(1/k)	1.65×10 ⁻⁵	1.3×10 ⁻⁵	1.3×10 ⁻⁷	5×10 ⁻⁶	3.43×10 ⁻³	1.2×10 ⁻⁵	1.22×10 ⁻³	1.34×10 ⁻⁵

전압은 자동차 공회전시 전압으로 약 13.5V, 저항은 칸탈의 저항인 0.911Ω으로 설정하여 모델링 되어진 체적은 $4.6262 \times 10^{-8} \text{m}^3$ 이다. 식 (6)의 Q'' 은 열원의 값으로 $4.3243 \times 10^{-8} + 0.09 \text{W/m}^3$ 로 설정하였다.

3. 분석 토의

3.1 해석결과

Fig. 4는 60초 후의 Case별 온도 분포를 나타낸 것이고, 발열체에 동일한 에너지를 투입하였다. Fig. 4 (a)는 유로가 구리일 때 충전재는 공기인 Case1의 온도 분포로 발열체 먼 곳까지 많은 열이 균일하게 전달되어 대체적으로 온도가 높음을 알 수 있다.

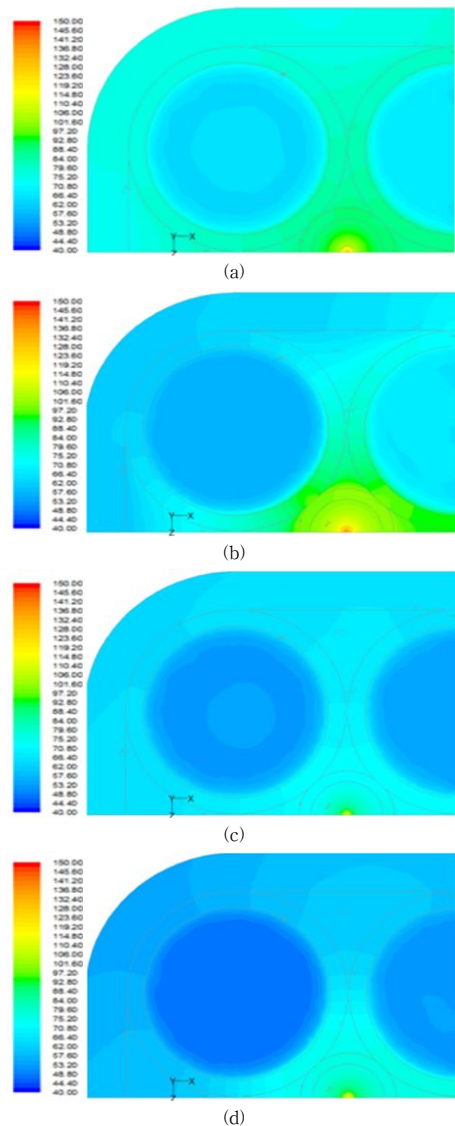
유로인 구리는 열전도율이 높고, 충전재인 공기는 비열은 비록 높으나 밀도는 아주 작아 실리콘카바이드보다 빠르게 가열되는 것으로 사료된다.

Fig. 4 (b)는 유로가 구리일 때 충전재는 실리콘카바이드인 Case2의 온도 분포로 비교적 열이 균일 전달되지만, 온도가 Case1에 비해 메탄올의 온도가 낮다. 위에서 언급 하였듯이 실리콘카바이드의 밀도가 매우 높아 공기보다 느리게 가열되는 것으로 생각된다. Fig. 4 (c)은 유로가 니켈일 때 충전재는 공기인 Case3의 온도 분포를 나타낸 것으로 다른 Case에 비해 발열체와 가열기 표면의 온도가 높아진다. 이는 물성치로 알 수 있듯이 구리보다 니켈이 열전달 계수가 낮아 열전달이 잘되지 않아 발열체와 가열기 표면에 열이 집중이 되는 것으로 사료된다. Fig. 4 (d)는 유로가 니켈일 때 충전재는 실리콘카바이드인 Case4의 온도 분포이고, 가열 공간 속에 메탄올의 온도가 낮음을 확연하게 알 수 있다. 이는 열전도율이 낮은 니켈이 유로이고, 또한 높은 밀도의 실리콘카바이드가 충전재로 사용되어 메탄올에 열전달이 잘 되지 않는 것으로 사료된다.

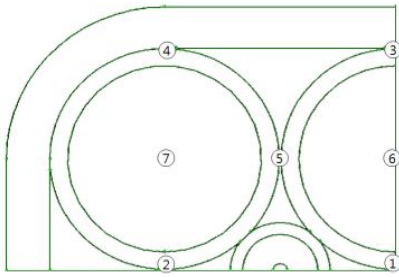
Fig. 5는 위서액 가열 시스템의 중심 단면에 온도를 측정할 위치이다. 60초 동안 각 위치에 따른 온도의 변화를 알아보기 위하여 위치를 지정하였다.

Fig. 6은 Case별 60초 동안 Fig. 5에서 나타낸 위치 따른 온도분포를 나타낸 것이다. 모든Case는 위치별 온도가 ①,⑤,②,③,④,⑥,⑦순으로 높게 나타났다. Case1과 Case2는 유로의 재질이 구리로 비슷한 온도 경향을 보이고, 위치별 온도의 차이가 대체적으로 작다. 하지만 Case3과 Case4는 유로의 재질이 니켈로 인하여 비슷한

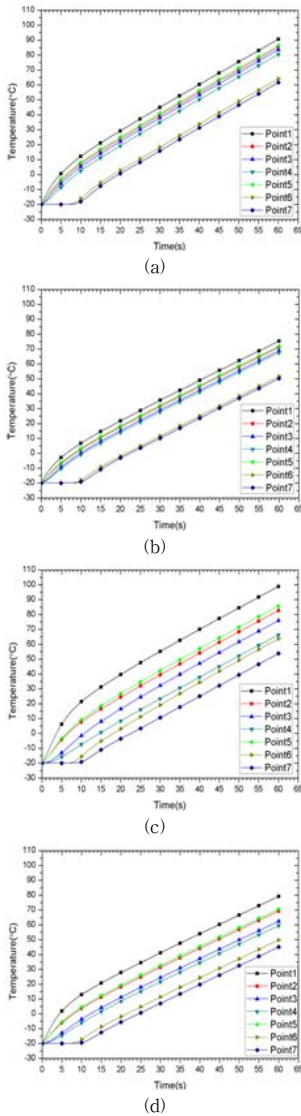
온도 경향이 보이고, 위치별 온도의 차이는 Case1과 Case2의 보다 비교적 크다. 이는 충전재의 재질보다 유로의 재질에 의해 위치별 온도의 차이가 결정되는 것으로 예상된다. 위서액 가열 시스템에서 가장 중요한 영역은 메탄올이 채워져 있는 위치 ⑥,⑦이다. 이 영역의 평균 온도는 모든 Case 중에서 유로가 구리이고, 충전재가 공기인 Case1 가장 높다는 것을 알 수 있다. 이는 구리의 높은 열전달계수와 공기의 낮은 밀도로 인하여 다른 Case의 비해 유로에서 빠르게 열전달 되었고, 공기가 빠르게 가열되기 때문인 것으로 예상 할 수 있다.



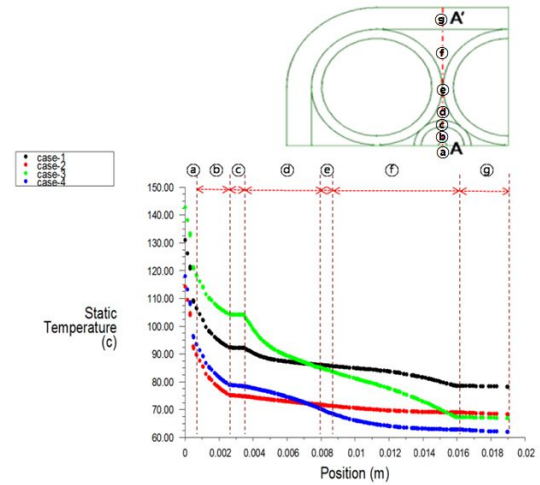
[Fig. 4] Temperature distribution after 60 seconds (a) Case1 (b) Case2 (c) Case3 (d) Case4



[Fig. 5] Location of temperature measurement



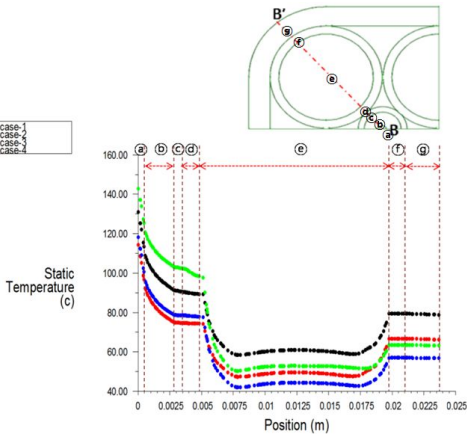
[Fig. 6] Temperature distribution with position during 60 seconds
 (a) Case1 (b) Case2 (c) Case3 (d) Case4



[Fig. 7] Temperature distribution of A-A' cross-sectional

Fig. 7은 A-A' 단면의 온도 분포를 보여주고 있다. ㉑ 구간은 열원으로 온도가 가장 높은 영역이고, ㉒ 구간은 산화마그네슘이고 발열체를 절연 시켜주지만, 낮은 열전달율로 인하여 열원으로부터 멀어질수록 열이 많이 전달 되지 않아 온도가 급격히 떨어지는 구간이다.

㉓ 구간은 가열체의 표면인 구리 재질로 높은 열전도율로 인하여 온도가 대체적으로 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. ㉔ 구간은 충전공간으로써 Case1과 Case2는 온도의 변화가 많이 없지만, Case3와 Case4의 온도가 급격히 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 니켈인 유로에서 충전공간에 열전달이 잘 되지 않은 것으로 사료된다. ㉕ 구간은 유로로 Case1와 Case2는 구리재질로 온도가 거의 일정하게 유지되는 반면에 Case3와 Case4는 니켈재질로 온도가 낮아진다. 위와 같은 이유로 니켈의 열전달율이 구리의 열전달율보다 낮기 때문이다. ㉖ 구간 역시 충전공간으로 유로의 재질이 니켈인 Case3와 Case4의 온도가 발열체에서 멀어질수록 온도가 급격히 낮아진다. 이는 열원에서 멀리 떨어져있는 영역까지 열전달이 잘 되지 않아 온도가 낮은 것으로 사료된다. ㉗ 구간은 가열기를 감싸고 있는 플라스틱으로 모든 Case의 온도가 일정하게 유지되고 이 구간은 외기로 인한 자연대류가 일어나는 구간이다.



[Fig. 8] Temperature distribution of B-B' cross-sectional

Fig. 8은 B-B' 단면의 온도 분포를 보여주고 있다. ㉑ 구간은 열원인 칸탈이며 온도가 가장 높은 구간이고, ㉒ 구간은 절연재인 산화마그네슘으로 낮은 열전달율로 인하여 열원으로부터 멀어질수록 온도가 급격히 떨어지는 구간이다. ㉓ 구간은 가열체의 표면인 구리 재질은 높은 열전달율로 온도가 대체적으로 유지되고 Case3은 가열체의 표면에 열이 집중되어 있어 온도가 모든 Case중에서 가장 높게 나타났다 ㉔ 구간은 유로이며 Case3은 온도가 다른Case에 비해 온도의 변화량이 크다 이는 표면에서 집중된 열이 가까운 유로영역에서는 높은 열을 가지고 있으나 멀어질수록 온도가 감소하는 것을 알 수 있다. ㉕ 구간은 메탈올의 온도로 유로의 온도보다 급격히 낮고, 가열된 메탈올에 인하여 대류되어 메탈올 중심의 온도가 조금 더 높음을 알 수 있다. ㉖ 구간은 유로로 가열체와 ㉔ 구간보다 온도가 낮지만, 온도는 대체적으로 일정하게 유지 된다. ㉗ 구간은 가열기를 덮고 있는 플라스틱으로 외기로 인한 자연대류가 일어나는 부분이며, 이 구간 또한 온도가 거의 일정하게 유지된다.

3.2 효율

효율을 도출하기 위해서 수치해석으로 나온 결과를 바탕으로 한다.

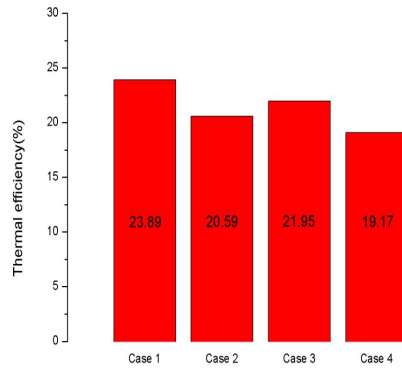
$$Q_{out} = \rho \times C_p \times V \times (T_e - T_s) \quad (7)$$

$$Q_{in} = Q''' \times V \times s \quad (8)$$

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100 \quad (9)$$

식 (7)의 Q_{out} 은 메탈올의 열량을 나타내는 식으로 ρ 는

밀도, c_p 는 비열, V 는 체적, T_e 는 완료시점 평균 온도, T_s 는 시작시점 평균 온도이다. 해석결과에 따른 Case별 메탈올의 온도와 $1.743 \times 10^{-5} m^3$ 인 체적으로 메탈올의 열량을 도출하였다. 식 (8)의 Q_{in} 은 히터의 열량을 나타낸 식이다. Q_{in} 은 열원의 열량이고, V 는 열원의 체적으로 $4.6262 \times 10^{-8} m^3$ 이며, s 는 가열시간으로 60초이다. 이는 위서액 가열 시스템의 특성상 가열온도 상승률이 중요함으로 최대 가열시간으로 임의로 기준을 세운 것이다. 식(9)의 η 는 열효율을 나타내는 식이다. 식(7), (8)에서 얻은 결과를 식(9)에 대입 시켜 Fig. 9와 같이 열효율을 나타내었다. Case 1의 경우가 23.89%, 으로 가장 높게 나타나고 있다.



[Fig. 9] The thermal efficiency at each case

4. 결론

본 연구에서는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 사용코드인 Fluent 소프트웨어를 이용하고, 메탈올의 상 변화는 고려하지 않고 자동차위서액 가열시스템의 열유동 특성을 해석 하였으며, 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 동일한 에너지를 투입하였을 때 Case1의 경우는 발열체 먼 곳까지 많은 열이 균일하게 전달되었음을 알 수 있으나 Case3은 발열체와 가열체 표면에 열이 집중 되어있음을 알 수 있다.
2. 공통적으로 같은 가열체의 표면은 구리재질로 온도 변화가 거의 없음을 알 수 있고, 유로재질이 구리인 Case1과 Case2는 열전달계수가 유로재질이 니켈인 Case3과 Case4보다 약 4배정도 커 열이 균일하게 전달됨을 알 수 있다.
3. 가열 공간 속 메탈올의 온도는 유로에서 멀어질수록

록 점차 낮아지고 메탄올의 중심영역에서는 온도가 상승하는 것을 알 수 있는데 이는 메탄올이 가열되어 대류가 일어나 그 영향으로 메탄올의 중심영역에서의 온도가 상승하는 것으로 예측된다.

4. 수치해석 된 결과를 토대로 Case별 메탄올의 열량과 히터의 열량으로 열효율 도출한 결과 Case1, Case3, Case2, Case4의 순으로 효율이 높게 나왔다.
5. 본 연구에서는 메탄올의 상변화를 고려하지 않고 열유동 특성을 해석하여 메탄올의 온도가 지속적으로 증가하게 된다. 추후 상변화의 대한 방법을 개선한 후 연구가 필요하다.

References

- [1] Gensonic, Inc., Window cleaning fluid heating system having timer-controlled heater and differential input circuit, US patent, 5354965, 1992.
- [2] Siemens VDO., Apparatus for warming a washer liquid for a windscreen washing device, EP, patent 0870657, 1998.
- [3] L. A. Bissonnette, D. G. Harris, M. A. Pattison, Fluid heater, US Patent, 6912357, 2002.
- [4] Continental automotive electronics private company, Washer fluid heating system of vehicle, KR patent, 100973708, 2010.
- [5] S. V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. New York: McGraw-Hill, 1980.

김 태 권(Tae Kwon Kim)

[정회원]



- 1981년 3월 ~ 1995년 8월 : 한국 기계연구원 실장
- 1992년 8월 : 한국과학기술원 기계공학과 연소공학전공(Ph.D.)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>
연소공학

차 우 섭(Woo Sub Cha)

[준회원]



- 2013년 2월 : 계명대학교 기계자동차공학 (학사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학 대학원생

<관심분야>
연소공학