

자동차 워셔액 가열시스템의 온도 변화 특성에 관한 연구

하지수^{1*}, 이선봉², 이동권³

¹계명대학교 환경과학과, ²계명대학교 기계자동차공학, ³KCW (주)

A Study on the Characteristics of Time Dependent Temperature Change in a Automobile Washer Heater

Ji-Soo Ha^{1*}, Seong-Bong Lee² and Dong-Kwon Lee³

¹Department of Environmental Science, Keimyung University

²Department of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University

³Technical Research Center, KCW

요 약 본 논문은 추운 겨울 자동차 앞면 유리에 생기는 성에를 제거하는 워셔액 가열시스템의 가열과 분사에 따른 온도변화 특성에 관한 연구이다. 지금까지 다른 연구에서는 워셔액 가열시스템에 대한 온도 변화 특성을 간단한 수학적 모델링을 통하여 분석하였으나 본 연구에서는 워셔액 가열시스템의 보다 더 최적화된 제어시스템 설계를 위해 워셔액 가열시스템의 시간에 따른 열유동 특성 변화를 전산유체해석(CFD)을 통해 파악하기로 한다. 이를 위해서 워셔액 가열시스템의 주요 부분인 히터와 워셔액에 대한 비정상상태 해석을 수행하고 워셔액 전체의 온도 변화 특성을 분석하였다. 이를 토대로 워셔액의 가열시간과 분사시 온도 특성을 파악하여 워셔액 가열시스템의 최적설계의 기본 자료로 활용하도록 하였다.

Abstract The present paper has been accomplished to elucidate the characteristics of temperature change in a car washer heater system for removal of frost formed at the surface of a car. The previous studies had used a simplified mathematical modeling to analyse the temperature change characteristics for a car washer heater system. In the present study, an unsteady computational fluid flow and heat transfer analysis for a washer heater system has been done by using computational fluid dynamic analysis method. From the present CFD analysis, the time dependent temperature change in a car washer heater system has been analysed and derived the heating time and ejection temperature of the washer liquid to establish the optimal design basis for a washer heater system.

Key Words : Washer heater system, Frost, Temperature distribution, Ejection temperature, Heating time, Thermistor

1. 서론

추운 겨울에 자동차를 시동하게 되면 운전석 앞의 유리에 딱딱한 성에가 생겨서 운전자의 시야를 가리는 경우가 종종 있다. 이렇게 생긴 성에를 빠른 시간 안에 제거하는 장치가 자동차 워셔액 가열시스템이다. 워셔액을 가열하는 방식은 여러 가지가 있는데 별도의 히터를 이

용하는 방법과 엔진 냉각수를 이용하는 방법 등이 있다 [1,2]. 기존의 연구들을 살펴보면 워셔히터의 온도를 측정하여 가열시간과 분사 등에 관한 동작을 제어하는 기술에 관한 연구들이 이루어지고 있다[3-6]. 최근에는 워셔액 가열시스템의 제어를 위해 워셔액 가열에 대한 간단한 수학적 모델링을 통해 온도를 예측한 것과 실측한 것을 비교하여 워셔액 제어 설계에 관한 파라미터를 도출

*Corresponding Author : Ji-Soo Ha(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-5919 email: jisooaha@kmu.ac.kr

Received December 14, 2012 Revised February 5, 2013 Accepted March 7, 2013

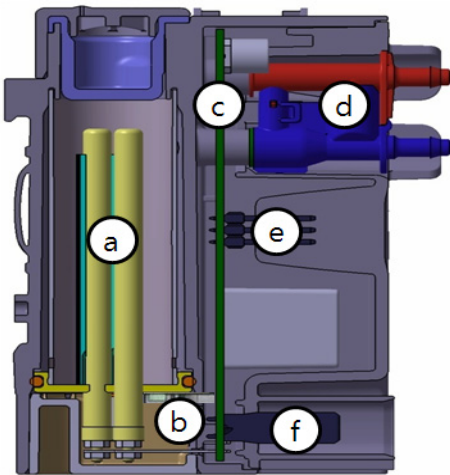
하여 워셔액 가열 제어시스템을 구현하는 연구도 있었다 [7].

지금까지의 연구들에서는 워셔액의 가열에 따른 변화 특성을 간단한 수학적 모델링이나 워셔액 외부에서의 온도 측정을 통해서 부분적으로 예측하여 이를 워셔액 가열시스템 제어에 활용하였다. 본 연구에서는 워셔액 가열시스템의 보다 더 최적화된 제어시스템 설계를 위해 워셔액 가열시스템의 시간에 따른 열유동 특성 변화를 전산유체해석(CFD)을 통해 파악하기로 한다. 이를 위해서 워셔액 가열시스템의 주요 부분인 히터와 워셔액에 대한 비정상상태 해석을 수행하였다. 이를 토대로 워셔액 전체의 온도 변화 특성을 분석하고 워셔액의 가열시간과 분사시 온도 특성을 파악하여 워셔액 가열시스템의 최적설계의 기본 자료로 활용하는 것을 목적으로 한다.

2. 수치해석 방법

2.1 가열 시스템의 구조

본 연구에서 적용한 워셔액 가열시스템의 구조는 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 ㉑는 저항 발열체를 나타내며 2개의 가열요소가 병렬로 연결되어 있고 용량은 12V/532W이며 저항 값은 각각 0.27Ω 이다. ㉒는 가열시스템 제어에 필요한 온도 측정용 써미스터 위치이다. ㉓는 PCB 제어부이며 ㉔는 매니폴드로 워셔액의 출입구 역할을 한다. ㉕는 와이퍼/와셔 시스템의 연결부이며 ㉖는 가열기의 전원연결단자이다.

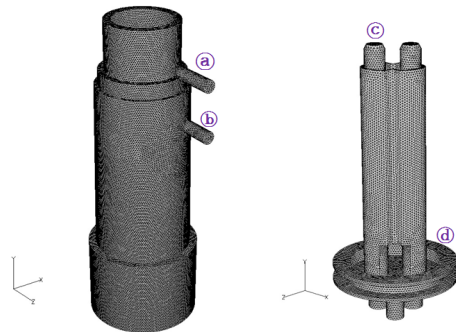


[Fig. 1] Configuration of washer heater system.

2.2 수치해석 모델링

앞 절에서 워셔액 가열시스템의 전체 구조를 살펴 보았다. 자동차 워셔액 가열시스템에서 유동과 열전달에서 중요한 부분은 워셔액과 이를 가열하는 히터 부분이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서의 열유동해석에 포함된 영역은 Fig. 1에서 저항발열체인 ㉑와 ㉑ 주위에 워셔액이 충전되는 영역과 워셔액의 입출구 영역인 ㉔로 범위를 설정하기로 한다.

이 영역으로 CFD 해석에 필요한 모델링을 한 것을 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 왼쪽은 워셔액이 충전되는 원형관이며 ㉑는 워셔액 출구, ㉒는 워셔액 입구이다. 오른쪽은 저항발열체(㉑)와 이것을 지지하는 원형판(㉒)으로 구성되어 있다. 오른쪽 형상이 왼쪽 원형관 내부에 설치되게 된다. 본 연구에서는 약 190만개의 격자를 열유동해석에 이용하였다. 사용한 열유동 해석 소프트웨어는 CFD 해석에 널리 이용되고 있는 Fluent 소프트웨어를 이용하였다.



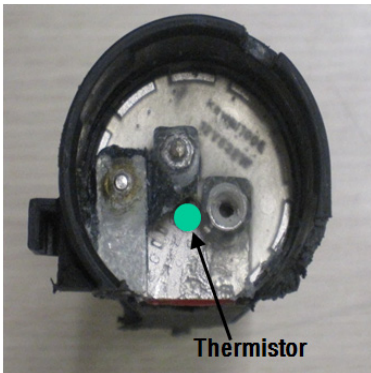
[Fig. 2] Schematic configuration of washer heater system used in the CFD analysis.

워셔가열시스템의 열유동해석에 포함된 형상에는 여러 가지 재질이 들어 있다. 원형관은 P.P.재질이며 저항 발열체는 구리로 되어 있고 이 내부에 가는 철선의 열선이 발열한다. 원형 지지판은 황동으로 되어 있다. 이에 대한 물성치인 밀도, 비열, 열전도율을 Table 1에 나타내었다. 가열되는 워셔액은 에탄올을 이용하였으며 에탄올의 물성치도 Table 1에 나타내었다. 에탄올은 워셔가열시스템 내부에서 자연대류 유동을 하거나 워셔액이 분사할 때 강제 유동을 하기 때문에 점도와 열팽창계수가 필요한데 이에 대한 각각의 값은 $2.5 \times 10^{-5} \text{kg/ms}$ 와 $7.5 \times 10^{-4} / \text{K}$ 이다. 또한 저항 발열체의 내부에 있는 가는 열선에서 발생하는 열발생율을 $1.1 \times 10^8 \text{W/m}^3$ 으로 환산하여 적용하였다.

[Table 1] Material properties of washer heater system

Material	Density (kg/m ³)	Heat capacity (J/kgK)	Thermal conductivity (W/mK)
P.P.	1.25	0.46	2.8
Copper	8910	0.094	338
Brass	8310	0.096	103
Ethanol	790	2470	0.18

본 연구에서의 워셔액 가열시스템은 총 4단계로 가열과 분사를 반복한다. 각 단계에서 가열시간은 Fig. 3에 나타난 온도센서(thermistor)로 조절한다. Fig. 3은 워셔액 가열기를 밑에서 본 형상이다. 1단계에서의 가열시간은 온도센서의 온도가 61°C일 때까지 가열하며 그 이후에 3.7초 동안 분사한다. 2단계부터는 온도센서에서의 온도가 66°C가 될 때 까지 가열하고 분사시간은 1단계와 같이 3.7초 동안 분사한다. 1단계에서의 초기 온도는 워셔액과 워셔액 가열시스템 모두 외부 온도와 동일한 온도로서 -20°C로 설정하였다. 이러한 초기조건, 물성치, 온도 조절 조건을 바탕으로 워셔액 가열시스템의 비정상상태 열유동 해석을 수행하여 워셔액 가열시스템의 온도 변화 특성을 다음 절에서 살펴보기로 한다

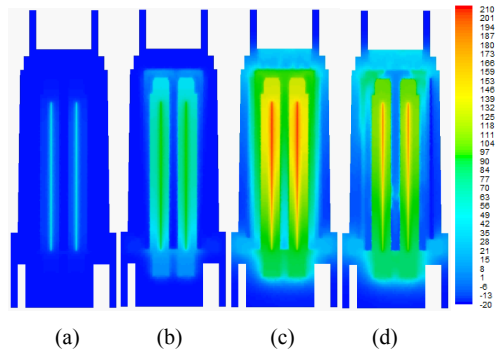


[Fig. 3] Thermistor location of the washer heater system

3. 결과 및 고찰

3.1 워셔액 가열시스템의 내부 온도 분포 특성

워셔액 가열시스템은 앞 절에서 언급한 바와 같이 총 4단계로 가열과 분사를 반복하도록 운전한다. 1단계에서는 워셔액 가열시스템이 외기 온도인 -20°C에서 가열되기 시작한다. 가열시간 조절용 온도센서의 온도가 61°C로 되면 새로운 워셔액이 워셔액 가열시스템으로 3.7초 동안 유입이 되면서 가열된 워셔액을 외부로 분사하게 된다.



[Fig. 4] Temperature distribution in the washer heater system for the several time steps of the 1st heating and ejection step. (a) 1sec, (b) 10sec, (c) 47sec and (d) 50.7sec.

이러한 1단계에서의 몇 가지 시간에서 워셔액 가열시스템 내부의 온도 변화 특성을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에 나타난 결과는 Fig. 2에서 표현한 두 개의 저항발열체의 중심을 지나는 단면에서의 온도 분포를 나타낸 것이다.

Fig. 4(a)를 살펴보면 가열이 시작 된지 얼마 지나지 않은 시각인 1초에서는 저항 발열체 내부에 있는 가는 열선에서만 온도가 올라간 것을 관찰할 수 있다. Fig. 4(b)에서는 가열시간 10초인데 저항발열체 전체의 온도가 올라가서 저항 발열체가 우선 가열된 것을 알 수 있다. 저항발열체 주위에는 워셔액이 채워져 있는데 아직 이 시각에는 워셔액이 가열되지 않음을 알 수 있다.

Fig. 4(c) (47초)에서는 온도센서 위치에서의 온도가 61°C가 되는 시각이며 1단계 가열시간이 끝나는 시각에서의 온도 분포이다. 발열체의 최대 온도는 210°C까지 올라가고 저항발열체 주위의 워셔액도 데워져서 온도가 올라가 있는 것을 관찰할 수 있다. 이 시각 이후부터 새로운 워셔액이 주입되며 또한 외부로 분사되기 시작한다.

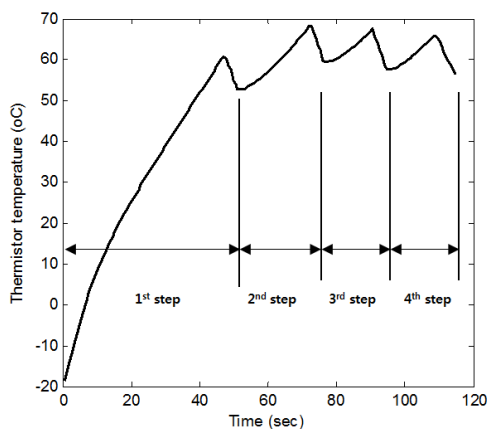
Fig. 4(d) (50.7초)에서는 새로운 워셔액 주입이 완료되는 시각인데 (c)에서의 온도 분포에 비교하면 새로운 워셔액 주입에 따라 워셔액 영역의 온도가 낮아져 있고 또한 열선 부근의 온도도 낮아져 있음을 알 수 있다. 그러나 저항발열체는 이미 상당한 온도로 데워져 있어서 새로운 워셔액을 가열하는데 있어서 1단계 보다는 짧은 시간에 데울 수 있음을 예측할 수 있다.

3.2 단계별 가열시간 제어 특성

앞 절에서 살펴본 바, 1단계 가열 및 분사시기에는 워셔액 가열시스템의 초기 온도는 외부 온도인 -20°C와 동일하기 때문에 워셔액 가열시스템 자체를 가열시키는 시

간이 필요하여 분사전 가열시간이 약 47초 필요하였다. 1 단계에서 가열된 워셔액 가열시스템은 새로운 워셔액이 3.7초간 주입되어도 1단계만큼 온도 저하가 일어나지 않고 조금의 온도 저하가 있지만 가열된 상태를 유지하게 된다. 이렇기 때문에 2단계부터의 가열시간은 1단계에서 보다 짧아질 것으로 예상하였다.

온도센서로 측정된 온도로 가열과 분사를 조절하였을 때 4단계 가열 및 분사과정에서 온도센서 위치에서의 온도 특성을 그림 5에 나타내었다. Fig. 5를 살펴보면 앞에서 살펴 본 것과 같이 1단계의 가열 분사 시간에 비하여 2, 3, 4 단계의 가열 및 분사시간이 약 50% 감소하였음을 알 수 있다. 2, 3, 4 단계를 비교하면 2단계에서의 가열 및 분사시간이 나머지 단계 보다 약간 길어진다.



[Fig. 5] Time history of the thermistor temperature for four heating and ejection steps.

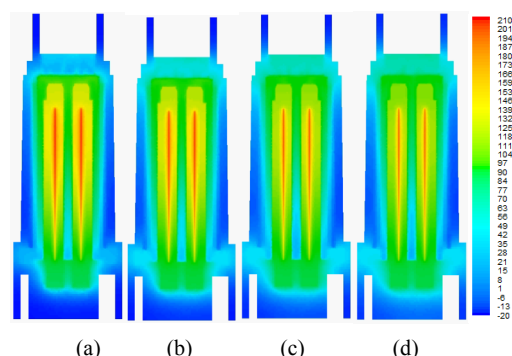
[Table 2] Comparison of heating time for four steps.

step	heating time (sec)
1 st step	47.0
2 nd step	21.6
3 rd step	14.0
4 th step	13.7

각 단계 별 가열시간을 비교한 것을 표 2에 나타내었다. Table 2에서 살펴보면 앞에서 언급한 것과 같이 1단계에서 가열시간이 47초로서 가장 길고 2단계는 21.6초, 3,4단계는 14초 및 13.7초로 단계가 지나갈수록 가열시간이 단축되었다.

각 단계에서 가열시간이 끝나는 시점에서 Fig. 4와 동일한 단면에서의 온도 분포를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 4단계 모두 온도 분포는 유사하게 나타나지만 저항가열체의 열선의 온도가 단계가 지나가면서 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 각 단계에서 분사초기

시점에서 워셔액 가열시스템 출구에서의 워셔액의 온도는 각각 81.4, 80.6, 81.4, 79.6°C로 나타나서 4단계의 워셔액 분사시의 온도가 거의 유사함을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 워셔액 가열시스템의 가열시간 조절은 Fig. 3에서 나타난 현재의 위치에서 온도를 측정하여 제어하는 것이 타당함을 알 수 있다.



[Fig. 6] Temperature distribution in the washer heater system for four steps at the end of heating, (a) 1st step, (b) 2nd step, (c) 3rd step and (d) 4th step.

4. 결론

본 연구는 추운 겨울에 자동차 앞면 유리에 생성되는 성에를 원활히 제거하기 위한 워셔액 가열시스템의 열적 최적설계의 기반을 정립하기 위해 수행하였다. 본 연구에서는 지금까지 다른 연구에서 사용하였던 간단한 수학적 모델링을 사용하는 대신 CFD 방법을 통해 워셔액 가열시스템 전체의 유동 및 열전달을 해석하여 워셔액 가열시스템의 시간에 따른 온도 분포 변화를 살펴보았으며, 이를 토대로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 워셔액 가열시스템은 총 4단계로 가열과 분사를 반복하는데 1단계 가열 시에는 가열시작 전에 워셔액 가열시스템의 초기 온도가 외부 온도와 같이 -20°C이므로 가열 초기에는 가열기 자체의 온도를 올리는데 전기열 에너지가 소모됨을 알 수 있었다.
- 2) 1단계 가열시간은 47초로서 이 이후에 3.7초간 워셔액이 주입이 되면 워셔액이 주입되는 입구 벽면의 온도가 내려가는 것을 관찰할 수 있었고, 또한 워셔액 저항 발열체는 1단계 초기온도만큼 내려가지 않고 가열된 상태를 유지함을 알 수 있었다.
- 3) 가열시간은 워셔액 가열시스템 하단바닥에 설치되어 있는 온도센서로 제어한다. 이곳의 온도가 1단계에서는 61°C, 나머지 단계에서는 66°C 될 때까지

가열한다. 이렇게 가열할 때 각 단계별 가열시간은 각각 47.0, 21.6, 14.0, 13.7초로 나타났다. 단계가 진행 될수록 가열시간이 짧아짐을 알 수 있었다.

- 4) 각 단계 가열시간 마지막에서의 온도 분포특성을 살펴보면 유사한 분포임을 알 수 있었고 각 경우의 워셔액 분사시의 출구온도는 각각 81.4, 80.6, 81.4, 79.6°C로 나타나서 워셔액 분사 시 온도는 거의 균일함을 알 수 있었다.

References

- [1] Siemens VDO, "Apparatus for warming a washer liquid for a windscreen washing device", Europe Patent, No. 0870657, 1998.
- [2] Lee, R., John, P., "Device to provide heated washer fluid", U.S. Patent, No. 6364010, 2000
- [3] Karl, H. K., Daryl, H. and Eugene P., "An Innovative Method of Heating Windshield Washer Fluid for Improved Windshield Cleaning Efficiency", SAE Technical Paper, March, 2004.
- [4] Strom, P., "Low Cost Integrated Hot Fluid Windshield Cleaning System Enhances Driver Safety", SAE Technical Paper, April, 2008.
- [5] Dave, H. and John W., "Much Improved Vision with ClearFast(Heated Fluid Washer System)", SAE Technical Paper, October, 2004.
- [6] Jochen, B. and Matteo, P., "Heater Liquid Container For A motor Vehicle", U.S. Patent, No. 2005/0036771, 2005.
- [7] Je-Sung Lee, Jung-Hyun Kim, Jong-Seob Won and Seon-Bong Lee, "Study on control system design for washer fluid heating system", J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, June, 2012.

하 지 수(Ji-Soo Ha)

[정회원]



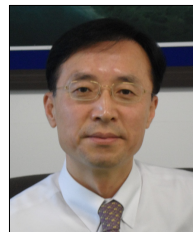
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 2007년 2월 : 현대중공업(주) 산업기술연구소 수석연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 환경과학과 교수

<관심분야>

연소공학, 열유체전산해석

이 선 봉(Seon-Bong Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 부산대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1994년 1월 ~ 2005년 4월 : 대우정밀(주) 연구소 수석연구원
- 2005년 5월 ~ 2007년 2월 : 대구경북과학기술원 책임연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>

자동차 전장제어, 소성가공

이 동 권(Dong-Kwon Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과(학사)
- 1991년11월 ~ 2003년 3월 : 한국전자(주) 연구소 선임연구원
- 2003년 4월 ~ 2010년 12월 : KTV글로벌(주) 책임연구원
- 2011년 3월 ~ 현재 : KCW(주) 기술연구소 수석 연구원

<관심분야>

자동차 전장제어