

Water-air 혼합 미세분사 냉각 적용 열교환기 예비평가

강현성^{*,**}, 신윤혁^{*}, 조중원^{*}, 이현균^{*}

^{*}한국자동차연구원

^{**}고려대학교 기계공학과

e-mail:yhshin@katech.re.kr

Preliminary Evaluation of Water-Air mixed Spray Evaporative Cooling in a Radiator for vehicle

Hyun Sung Kang^{*,**}, Yoon Hyuk Shin^{*}, Chung Won Cho^{*}, Heon Kyun Lee^{*}

^{*}Korea Automotive Technology Institute

^{**}Department of Mechanical Engineering, Korea University

요약

본 논문에서는 차량용 냉각모듈의 성능향상을 위해 라디에이터(Radiator) 표면에 미세분사를 적용하여 이에 대한 예비 평가 및 분석을 진행하였다. 냉각수와 공기 간의 열교환이 이루어지는 핀-튜브(Fin-tube) 열교환기의 표면에 공기와 물이 혼합된 미세분사를 적용하여 냉각수 측 방열량 변화를 운전조건 별로 비교하였으며, 이를 통해 압축공기와 물을 활용한 미세분사가 냉각모듈에 적용됨에 따른 냉각성능 향상 및 특성을 확인하였다.

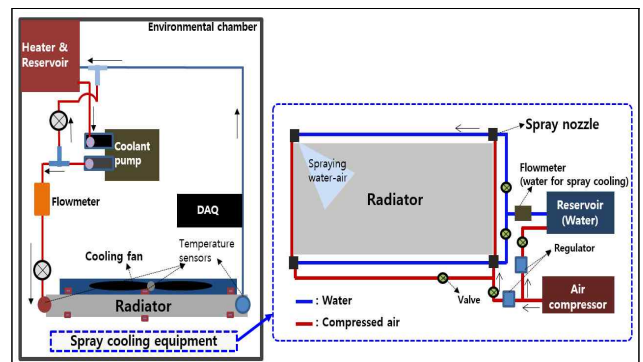
1. 서론

최근 온실가스 감축을 위해 수송 분야에서는 전력 기반의 상용차에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 수소연료전지를 적용한 대형수소화물차는 비교적 빠른 상용화가 진행되고 있다. 기존 내연기관 적용 화물차의 경우, 운행시간 및 출력을 고려할 때 상대적으로 온실가스 배출에 미치는 영향도가 상당히 높기 때문에 수소연료전지가 적용된 대형수소화물차의 보급은 온실가스 감축 목표 달성을 위해 필요할 것으로 판단된다[1].

대형수소화물차는 화물을 이송하기 때문에 고부하 운전조건이 형성되며, 이는 연료전지의 고출력이 가능한 높은 전류밀도의 운전영역에서 운전시간이 비교적 높다. 따라서 연료전지 스택의 열관리시스템의 성능 및 신뢰성 확보는 매우 중요하다[1,2]. 가혹 운전조건에서 스택의 신뢰성과 더불어 화물차의 공간적 구성 효율을 확보할 수 있는 스택 냉각 향상 기술로서 기존 냉각모듈에서 연구되는 Water droplet 미세분사 냉각기술이 활용 가능할 것으로 예상된다[2-4].

본 연구에서는 Water-air 미세분사를 적용한 차량용 냉각모듈에 대한 예비 성능평가를 수행하였으며, 이를 통해 운전조건에 따른 냉각성능 향상도 및 특성 분석을 진행하였다.

쿨링팬(Cooling fan)과 라디에이터(Radiator)로 구성된 냉각모듈에 미세분사 적용을 통한 냉각성능 비교 평가를 위해 그림 1과 같이 성능평가 장치가 구성되었다. 환경챔버 내에 냉각수 펌프(Coolant pump)와 히터(Heater) 및 리저버(Reservoir) 등으로 냉각모듈 평가시스템을 구성하였으며, 미세분사 장치는 압축기(Air compressor), 분사노즐(Spray nozzle) 및 레귤레이터(Regulator) 등으로 구성하였다. 표 1과 같이 핵심부품의 사양을 나타냈다. 미세분사 노즐(Spray nozzle)은 압축공기와 물이 혼합되어 분사되는 방식으로 일정한 압력형성과 밸브 작동을 통해 적절한 미세분사 운전범위를 설정하였다. 또한, 미세분사 적용시 구성부품 별 비교 운전조건은 표 2와 같이 나타냈다.



[그림 1] Water-air 미세분사 적용 냉각모듈 성능평가 장치 구성 개념도

2. 성능평가 장치 구성 및 운전조건

[표 1] 미세분사 적용 냉각모듈 성능평가 장치 핵심부품 사양

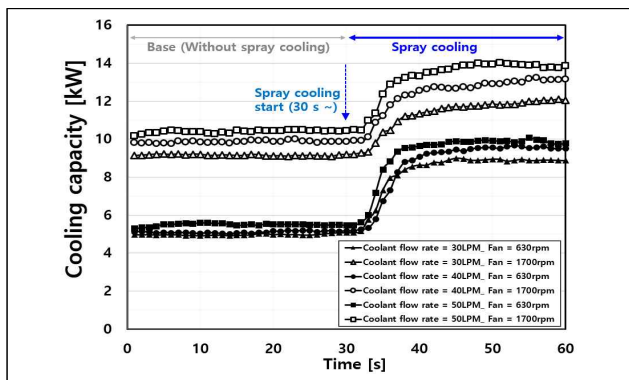
Components		Values
Radiator	Size [mm ³]	430 × 600 × 12
Spray Nozzle	Air consumption [m ³ /s]	0.001 (1.5 bar, 1 ea)
Coolant	Water and Ethylene Glycol solution [%]	50

[표 2] 미세분사 적용 냉각모듈 성능평가 운전조건 비교

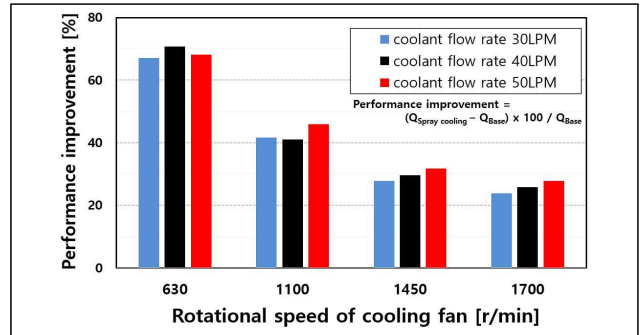
Parameters		Values
Inlet air	Temperature [°C]	25, 30, 35(±1)
	Relative humidity [%]	55(±5)
Coolant	Temperature [°C]	65, 70
	Flow rate [L/min]	30, 40, 50
Cooling fan	Rotational speed [r/min]	630, 1100, 1450, 1700
Spray nozzle	Pressure of Compressed air [bar]	1.4
	Pressure of Water reservoir [bar]	2.0
	Water flow rate [L/min]	0.36~0.40
	Distance of spray to radiator [mm]	50
	Number of spray nozzle [ea]	4

3. 성능평가

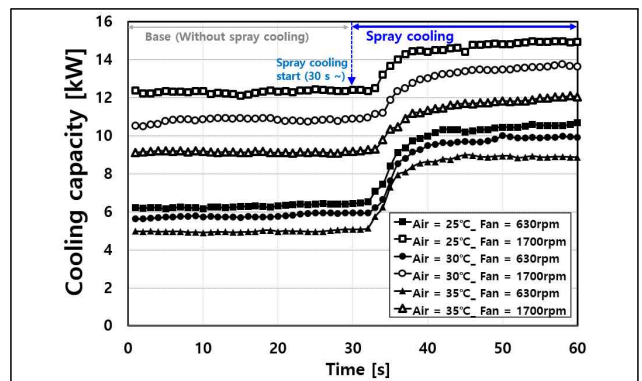
공기-물 혼합 미세분사 적용을 통한 라디에이터(Radiator)의 성능비교를 각 운전조건 별로 수행하였으며, 분사유량을 일정하게 적용함에 따라 공기측 유량을 조절하는 쿨링팬(Cooling fan)의 회전수가 낮은 영역에서 보다 높은 냉각성능 향상을 보였다. 그림 3과 같이 쿨링팬의 고회전수 영역에서는 냉각수 유량이 높을수록 미세분사에 의한 냉각성능이 더욱 향상됨을 보였다.



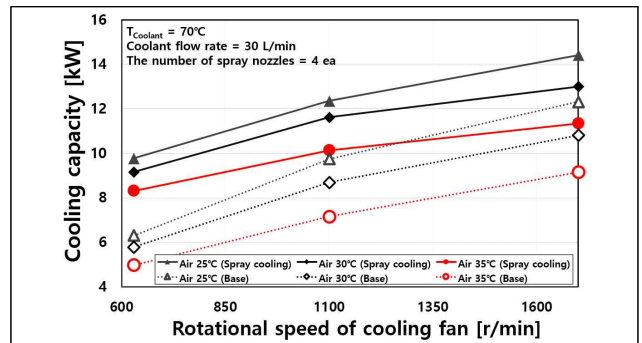
[그림 2] 냉각수(Coolant) 유량 및 쿨링팬(Cooling fan) 회전수 별 미세분사 적용에 따른 라디에이터(Radiator) 냉각성능 변화 비교



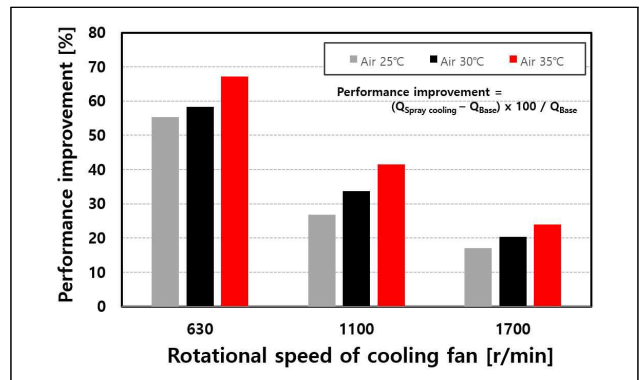
[그림 3] 냉각수(Coolant) 유량 및 쿨링팬(Cooling fan) 회전수 별 미세분사 적용에 따른 냉각성능 향상도 비교



[그림 4] 외기온도 및 쿨링팬(Cooling fan) 회전수 별 미세분사 적용에 따른 라디에이터(Radiator) 냉각성능 변화 비교



[그림 5] 외기온도 및 쿨링팬(Cooling fan) 회전수 별 미세분사 적용에 따른 라디에이터(Radiator) 냉각성능 결과 비교



[그림 6] 쿨링팬(Cooling fan) 회전수 및 외기온도 별 미세분사에 의한 냉각성능 향상도 비교

또한, 그림 5, 6과 같이 외기온도가 높을수록 미세분사 효과에 의한 라디에이터(Radiator)의 냉각성능 향상도가 상대적으로 높아짐을 보였으며, 쿨링팬(Cooling fan) 회전수가 높아질수록 상대적으로 외기온도 상승에 의한 냉각성능 변화율 차이는 낮아졌다.

4. 결론

본 연구에서는 Water-air 미세분사를 적용한 차량용 냉각모듈의 예비 성능평가를 수행하였으며, 전체 운전 구간에서 미세분사를 적용함에 따라 라디에이터의 방열량은 향상되었다. 특히 쿨링팬(Cooling fan)의 회전수가 높은 영역에서 비교적 냉각성능 향상도가 감소함을 보임에 따라 향후, 적용 열교환기 모델을 대상으로 최대냉각 필요 운전조건에서의 미세분사 최적화와 더불어 표면처리를 적용한 성능 개선 연구를 진행하고자 한다.

5. 사사

본 연구는 정부(산업통상자원부)의 재원으로 국가혁신클러스터사업(P0015341)과 한국자동차연구원의 2021년 KATECH 자체투자사업(미래 원천기술 확보)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] Jokela, T., Iraklis, A., Kim, B., and Gao, B., "Combined Sizing and EMS Optimization of Fuel-cell Hybrid Powertrains for Commercial Vehicles", SAE Technical Paper 2019-01-0387, 2019.
- [2] Vende, P. E., Trinquet, F., Lacour, S., Delahaye, A., and Fournaison, L., "Efficiency of water spraying on a heat exchanger: Local characterization with the impacted surface", Applied Thermal Engineering, 128, 684-695, 2018
- [3] Yang, H., Rong, L., Liu, X., Liu, L., Fan, M., and Pei, N., "Experimental reserch on spray evaporative cooling system applied to air-cooled chiller condenser", Energy Reports, 6, 906-913, 2020
- [4] Macias, A.; Boulon, L.; Trovão, J. P. F., "Experimental study on an air-cooled air conditioning unit with spray evaporative cooling system", International Journal of Refrigeration, 2021.