

전기자동차용 전자장비 냉각 제어 알고리즘에 관한 연구: Part 1 일반 냉각 제어 로직 유효성 분석

서재형¹, 김대완¹, 정태영², 정태희², 이무연^{*}
¹동아대학교 기계공학과, ²현대자동차

Study on the cooling control algorithm of electronic devices for an electric vehicle: Part 1 Effectiveness analysis of general control logic

Jae-Hyeong Seo¹, Dae-Wan Kim¹, Tae-Young Chung², Tae-Hee Jung²
and Moo-Yeon Lee^{*}

¹School of Mechanical Engineering, Dong-A University, ²Hyundai

요약 본 연구의 목적은 전기자동차용 고발열 전자장비를 최적으로 냉각 제어하는 알고리즘을 개발하는 것이다. 이를 위하여 준중형급 전기자동차의 전자장비 냉각시스템의 계절 부하별 냉각수온도 변화를 실험적으로 고찰하여 시험용 전기자동차 냉각 제어 로직의 타당성 분석을 수행하였다. 결과적으로 기존 전기자동차의 전자장비 냉각시스템은 필요 냉각부하인 기준 온도와 비교하여 과도하게 구동되고 있음을 확인하였다. 또한, 전기자동차의 연비 향상을 위하여 외기온도, 차량속도, 냉매온도 등을 고려한 최적 냉각 제어 알고리즘이 필요하다.

Abstract The object of this study is to develop an cooling control algorithm for electronics devices of the electric vehicle. In order to estimate the existing cooling control logic of the electronic devices for the small and medium sized electric vehicle, the experiments on the coolant temperature variation of the cooling system were conducted under 4 different seasons conditions. As a result, the existing cooling control logic were overcooled when it was compared with the reference temperature for a required cooling load. In addition, the newly developed optimum cooling control logic for improving the mileages of the tested electric vehicle with consideration of the ambient temperature, vehicle speed, and refrigerant temperature of the air conditioning on/off is necessary.

Key Words : Algorithm, Cooling, Control logic, Electronic device, Inverter

1. 서론

전 세계적으로 석유, 석탄 및 천연가스 등과 같은 화석 에너지 고갈과 환경규제에 따른 관련 법규 강화로 화석 에너지를 주요 에너지원으로 하는 수송 분야 중 하나인 자동차 산업에도 친환경 자동차에 대한 관심이 증가하고 있다. 완성차 업체들은 기존 화석에너지를 사용하는 내연기관을 대체할 수 있는 친환경 자동차인 전기자동차(xEVs)에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다[1]. 전기자

동차 중 가장 먼저 상용화에 성공한 하이브리드 자동차(HEV)는 주행 시 내연기관과 전기구동 모터를 동시에 사용하여 연비를 향상시키고 이산화탄소 등과 같은 배기가스를 감소시키는 효과를 가져왔지만 주요 동력원이 내연기관이기 때문에 국제적인 기준은 만족하지 못하였다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 주행 시 전기구동 모터의 사용 비중을 높이기 위하여 이차전지 제조업체는 배터리 에너지 밀도를 높이는 연구를 진행하고 있다. 완성차 업체는 하이브리드 자동차 보다 내연기관 사용용

본 논문(작품)은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Moo-Yeon Lee(Dong-A Univ.)

Tel: +82-10-5440-8421 email: mylee@dau.ac.kr

Received March 7, 2014

Revised March 18, 2014

Accepted April 10, 2014

줄이고 전기구동 모터 사용 비중을 늘린 플러그인 하이브리드 자동차 (PHEV)를 개발하였고, 최근에는 내연기관을 사용하지 않고 전기구동 모터만을 사용하는 순수전기자동차 (BEV) 개발을 활발히 진행하고 있으며 현재 국내외에서 완성차로 출시되고 있다[2]. 보조 동력원 및 주 동력원으로 전기구동 모터를 사용하는 전기자동차는 기존 내연기관 자동차와 달리 구동을 위한 대용량 구동 모터 (Traction motor), 모터에 전기를 공급하는 고전압 이차전지 (High voltage battery system), 고전압 배터리에서 보조배터리 및 전장부하로 전류를 공급하기 위한 컨버터 (Convertor) 및 구동 모터, 이차전지 충전에 필요한 인버터 (Invertor) 등 고발열 전자장비 (High heat flux electric devices)들로 구성된다. 이러한 전자장비들은 전기자동차 주행 시 매우 높은 열을 발생시키며, 발생 열의 냉각으로 인한 연비 저하 및 전자장비의 수명 단축 등의 문제를 발생시키기 때문에 전기자동차의 주행거리 연장과 전자장비의 신뢰성 확보를 위하여 고발열 전자장비 냉방 기술이 포함된 열관리 시스템 (Thermal management system, TMS)을 필요로 한다[3].

전기자동차를 구동하기 위하여 쓰이는 고발열 전자장비들은 종류에 따라 적정 사용온도가 각각 다르며, 그 중 열에 매우 취약한 부품도 있다. 이러한 전자장비는 사용 가능한 안전온도에 따라 적절한 열관리가 필요하며 이를 반영하여 열관리 시스템을 설계하여야 한다. 전기자동차에 사용되는 고발열 전자장비인 구동 모터[4], 고전압 이차전지[5-7] 및 인버터[8-10]를 냉각하기 위하여 이론적 및 실험적으로 활발한 연구가 진행되고 있다.

현재 전기자동차의 열관리 시스템은 차량 종류에 따라 설계를 다르게 하고 있다. 하이브리드 자동차 및 플러그인 하이브리드 자동차 등과 같이 구동을 내연기관과 전기구동 모터를 동시에 사용하는 전기자동차의 열관리 시스템은 내연기관 열관리 시스템과 일부 공유하여 열관리를 하고 있다[11-14]. 반면 순수전기자동차는 이차전지를 에너지원으로 하여 전기구동 모터만으로 구동하기 때문에 전자장비 열발생이 매우 크며, 열관리 시스템이 기존 내연기관 자동차에 비해 복잡한 구조를 가진다. 이러한 순수전기자동차의 열관리 시스템을 설계하기 위하여 활발한 연구가 진행되고 있지만 각 부품의 성능을 개선할 수 있는 최적 냉방 방식에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 순수전기자동차 또는 전기자동차 (xEVs)에 사용되는 고발열 전자장비들에 대한 냉각

성능 개선을 위한 최적 냉각 제어 알고리즘 개발을 위하여 기존의 냉각 로직을 적용한 준중형급 전기자동차의 전자장비 냉각시스템의 유효성을 분석하였다.

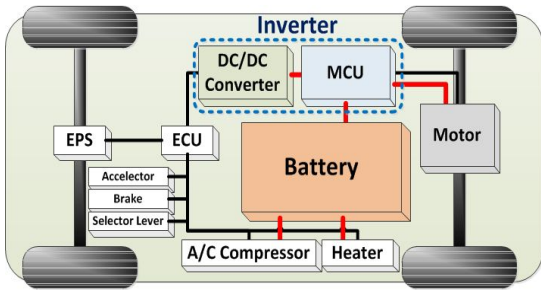
2. 실험방법 및 해석

2.1 기존 전기자동차 냉각 제어 로직

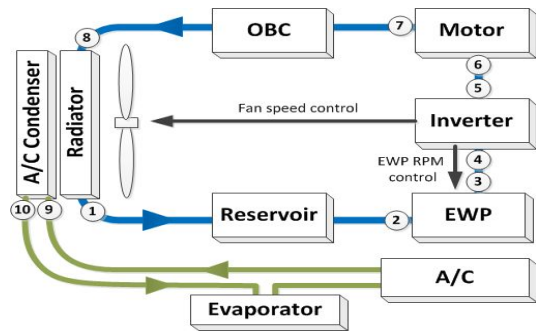
전기자동차에 사용되는 전자장비의 구성은 Fig. 1과 같이 대용량 구동 모터, 고전압 이차전지, 인버터 및 컨버터 등이 있으며 이들 전자장비 및 기타 구성기기를 제어하기 위하여 ECU (Electric control unit)가 장착되어 있다.

전기자동차에서 기존 내연기관 엔진의 대체 동력원으로 사용되고 있는 전기모터는 일반적으로 효율이 높은 3상 모터이다. 따라서 모터 구동을 위한 DC/AC 변환을 위하여 인버터가 필요하며, 구동모터뿐만 아니라 전기자동차에 사용되는 기타 보조기기를 구동하기 위하여 각 기기의 요구 전압을 충족하기 위한 DC/DC 컨버터도 필요하다. 이들 전자장비는 전기자동차의 연비향상을 위하여 고성능화 되어가고 있지만 전자장비의 요구 전력량 증가가 수반되므로 구동에 따른 전자장비의 발열량도 증가하고 있다. 따라서 전자장비의 최고 성능 확보를 위하여 각 제품별 안전 온도가 존재하며 전기자동차에는 전자장비를 안전온도 이내에서 구동하기 위하여 각 전자장비를 관통하는 냉각유로, 라디에이터, EWP (Electric water pump)로 구성된 냉각시스템이 장착되어 있다. 일반적으로 히트 싱크 (Heat sink)와 같은 자연대류 냉각장치 및 팬에 의한 강제대류 냉각장치 등 전자장치의 개별 냉각장치도 개발되어 있지만 최대냉각용량 부족 및 소비전력의 증가로 큰 냉각효과를 기대하기는 어렵다. 따라서 전자장비의 최대성능 유지 및 냉각시스템 소비전력 감소를 통한 전기자동차 연비향상 즉, 성능향상을 위해서는 라디에이터 팬 및 EWP에 의해 구동되는 냉각시스템의 제어기술 최적화가 중요하다. 본 연구의 대상은 준중형 전기자동차로서 81.4 kW급 전기모터로 구동되며, 냉각시스템은 150 W급 라디에이터 팬 및 30 W급 EWP로 구성되어 있다. Fig. 2는 전기자동차의 냉각시스템 구성도로서 작동유체인 냉각수(물 50% : 글리콜 50%)가 라디에이터 출구에서부터 냉각수 저장탱크 (Reservoir), EWP, 인버터, 구동모터, OBC (On-board charger) 및 라디에이터 입구로 순환하며, 라디에이터 전방에는 에어컨

을 구동하기 위한 컨덴서 (Condenser)가 위치하고 후방에는 방열축진을 위한 팬이 장착되어 있다.

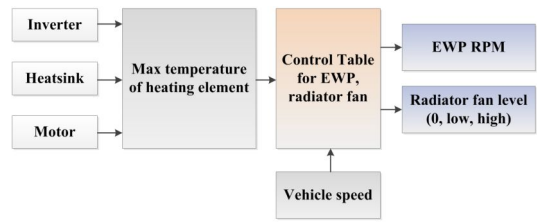


[Fig. 1] Schematic diagram of electronic vehicles

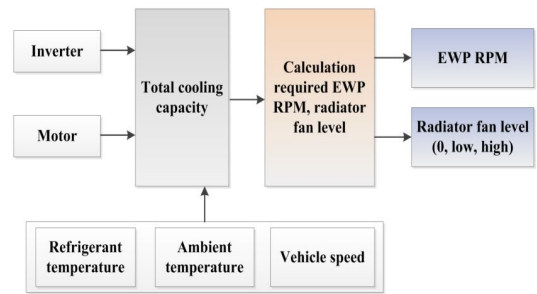


[Fig. 2] Schematic diagram of cooling system for electronic vehicles

Fig. 3은 전기자동차 냉각시스템에 사용되는 기존 전기자동차 냉각 제어 로직으로 인버터 소자 온도, 인버터에 장착된 히트 싱크 온도 및 모터 소자 온도 3가지 제어 기준이 있으며 각 기준온도는 차속에 따른 다단 제어 로직 (MAP)으로 냉각시스템 구동지령이 구성되어 있다. 즉 주행 시 각 온도 데이터는 설정된 제어 온도에 도달 시 입력된 제어 로직에 의해 EWP 속도와 라디에이터 팬 동작 레벨이 선택되며 이들 3가지 제어 지령 중 최대값으로 EWP 및 라디에이터 팬이 제어된다. 그러나 이러한 제어방식은 전자장비의 필요 냉각용량에 상관없이 1가지 제어기준만 충족 시 냉각시스템이 구동되며, 구동 기준 온도 또한 상당히 낮기 때문에 필요 이상의 전력을 소비하게 되어 효율적인 소비전력 관리가 힘들다. 또한 제어 변수가 전자장비의 소자 온도 또는 히트 싱크 온도 및 차속으로 한정되어 있으므로 외기온도, 주행환경 및 에어컨 작동 등 다양한 작동환경에서 전자장비의 이상 온도 변화에 대비할 수 없다.



[Fig. 3] Existing control logic of cooling system for electronic vehicles



[Fig. 4] Improved control logic of cooling system for electronic vehicles

Fig. 4는 개발하고자 하는 개선된 냉각 제어 로직으로서 주요 변수인 외기온도, 냉매온도 및 차속에 따른 전자장치의 필요 냉각용량을 고려하여 요구 EWP RPM 및 라디에이터 팬 레벨 지령을 결정하게 된다. 개선된 냉각 제어 로직을 개발하기 위해서는 차량 주행 시의 외기온도, 에어컨 작동 유무, 급가속, 급감속 등 계절별, 부하별 다양한 운전 조건이 냉각시스템에 미치는 영향을 고려해 볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 전기자동차 냉각 제어 로직이 적용된 전기자동차에서 외기온도 및 차속에 따른 냉각수온도 특성 및 혹서조건에서 에어컨 작동 시 응축기 냉매 온도가 냉각시스템에 미치는 영향을 분석하여 다양한 부하변수를 반영한 개선된 최적 냉각제어 알고리즘 개발 기반을 마련하고자 한다.

2.2 실험 방법

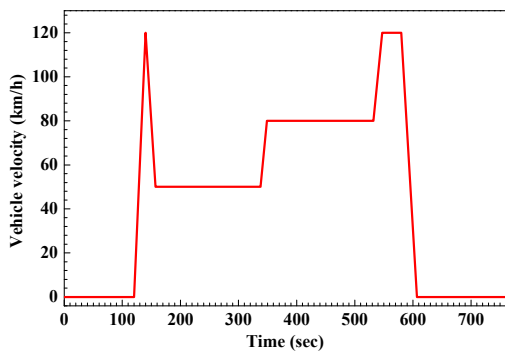
본 연구에서 기존 전기자동차 냉각 제어 로직을 분석하기 위하여 환경 챔버 (Environmental chamber)에서 각 계절 및 부하별 조건에 따른 냉각수온도 측정 실험을 진행하였다. 실제 차량 운행 시 고려해야 할 각 계절 및 부하별 조건을 적용하기 위하여 실험 조건을 수립하였다. 실험 시 고려한 계절별 조건은 봄(가을), 여름 및 겨울이며 추가로 혹한(외기온도 -8℃) 및 혹서 조건(외기온도

36℃)도 고려하여 총 4 Case의 실험을 진행하였으며 상세 조건은 Table 1에 나타내었다. Case 1은 겨울철 혹한 조건으로 온도 -8℃, 습도 58% 이며, Case 2는 겨울철 일반 조건으로 온도 2℃, 습도 54% 이며, Case 3는 봄 및 가을철 일반 조건으로 온도 20℃, 습도 50%, 일사량 600 W/m² 이다. Case 4는 여름철 혹서 조건으로 온도 36℃, 습도 70%, 일사량 800 W/m² 이며, 에어컨 OFF 및 ON 두 가지 조건에서 실험을 수행하였다. 다양한 환경조건에서 실험을 수행하기 위해 환경 챔버에서 온도, 습도 및 일사량 제어하여 계절별 환경을 구현하였지만 겨울철 조건(Case 1, 2)의 경우 챔버 내 기술적인 문제로 일사량 설정이 불가능하였다. 실험동안 환경 챔버 온도는 각 위치간 ±2 ℃ 오차의 정확도를 유지하였다.

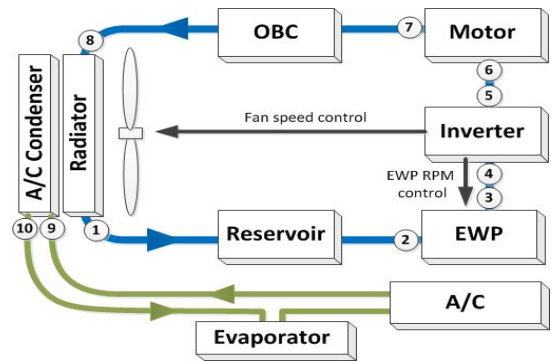
Fig. 5은 각 실험 Case마다 설정한 주행조건을 나타낸다. 각 Case별 총 실험시간은 약 760초 이며 시동 후 일정시간동안 정차한 뒤 120 km/h로 가속, 50 km/h 정속, 80 km/h 정속, 120 km/h 정속 및 감속하고 일정시간 정차 후 시동을 정지하였다. 단, Case 4의 경우 에어컨 구동 전/후의 명확한 비교를 위하여 에어컨 OFF 및 에어컨 ON일 때 주행조건에 따른 실험을 연속하여 수행하였다.

[Table 1] Experimental conditions

Case	Temperature (°C)	Humidity (%)	Solar radiation (W/m ²)	A/C
Case 1	-8	58	-	OFF
Case 2	2	54	-	OFF
Case 3	20	50	600	OFF
Case 4	36	70	800	OFF/ON



[Fig. 5] Vehicle driving condition



[Fig. 6] Thermal couple positions at cooling system for electronic vehicles

Fig. 6는 실험 시 온도 측정을 위한 열전대 (Thermo couple)의 설치 위치를 나타내었다. 설치 위치는 ① 라디에이터 출구, ② EWP 입구, ③ EWP 출구, ④ 인버터 입구, ⑤ 인버터 출구, ⑥ 모터 입구, ⑦ 모터 출구, ⑧ 라디에이터 입구, ⑨ 컨테서 입구, ⑩ 컨테서 출구이다. 단, ⑨ 컨테서 입구, ⑩ 컨테서 출구의 냉매 온도는 혹서조건에서 에어컨 구동 시에만 고려하였다. 실험을 통하여 획득한 냉각수 온도 데이터를 냉각성능 관점에서 분석하기 위하여 냉각시스템의 각 구간별 냉각용량을 계산하였다. 냉각용량 계산식은 식 (1)~(5)와 같다[15].

$$Q_{Radiator} = Q_{Radiator-EWP} + Q_{EWP} + Q_{EWP-Inverter} + Q_{Inverter} + Q_{Inverter-Motor} + Q_{Motor} + Q_{Motor-Radiator} \quad (1)$$

$$Q_{Radiator} = (\rho \cdot C_p \cdot v)_{Coolant} \cdot \Delta T_{Radiator} \quad (2)$$

$$Q_{Inverter} = (\rho \cdot C_p \cdot v)_{Coolant} \cdot \Delta T_{Inverter} \quad (3)$$

$$Q_{Motor} = (\rho \cdot C_p \cdot v)_{Coolant} \cdot \Delta T_{Motor} \quad (4)$$

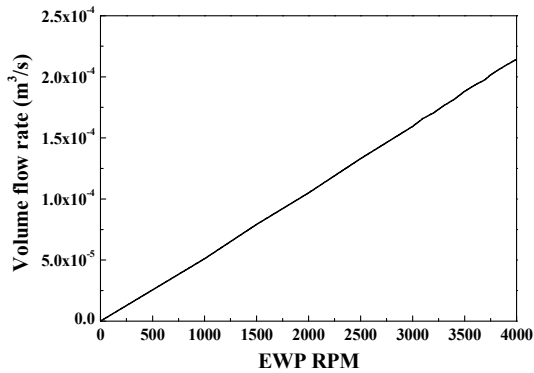
$$Q_{others} = (\rho \cdot C_p \cdot v)_{Coolant} \cdot \Delta T_{others} \quad (5)$$

여기서 Q 는 냉각용량, ρ 는 밀도, C_p 는 정압비열, v 는 체적유량, ΔT 는 각 구간 입출구의 냉각수 온도차이다.

Table 2는 실험에 사용된 냉각수의 물성치를 나타낸다. 냉각용량 계산 시 라디에이터 출구 측 냉각수 온도를 사용하였다. 냉각수의 체적유량은 EWP RPM에 따른 유량 실험 데이터를 참고하여 결정하였고 Fig. 7에 나타내었다.

[Table 2] Specific heat at constant pressure and density of coolant with temperature

Temperature (°C)	C_p , Specific heat (J/kg·K)	ρ , Density (kg/m ³)
0	4217.1	999.8
10	4192.9	999.7
20	4181.8	998.3
30	4178.5	995.7
40	4179.1	992.2



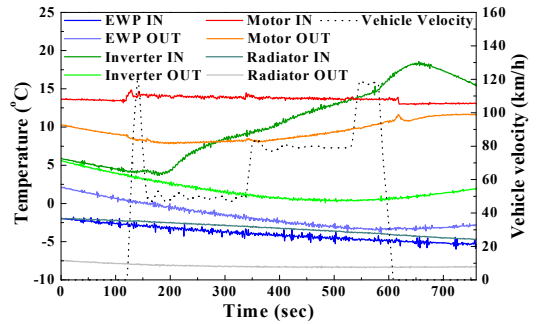
[Fig. 7] Volume flow rate of EWP with rpm speed

3. 결과 및 고찰

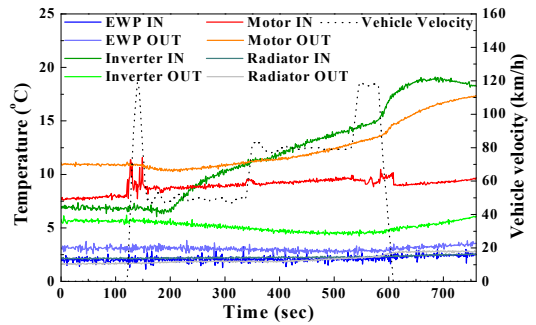
3.1 실험 데이터 분석

Fig. 8은 각 환경조건별 주행조건에 따른 냉각수 온도 변화를 나타낸다. Fig. 8(a), (b) 겨울철 혹은 밋 일반 환경조건에서 주행조건에 따른 냉각수 온도 변화를 나타낸다. 전자장치인 모터 및 인버터의 입·출구 구간은 온도가 상승되는 경향을 제외하면 나머지 구간에서 냉각수 온도 변화는 낮다. 이는 낮은 외기온도의 공기 유입으로 인하여 전자장치에서 발생된 열이 각 구간에서 쉽게 방열되기 때문이다.

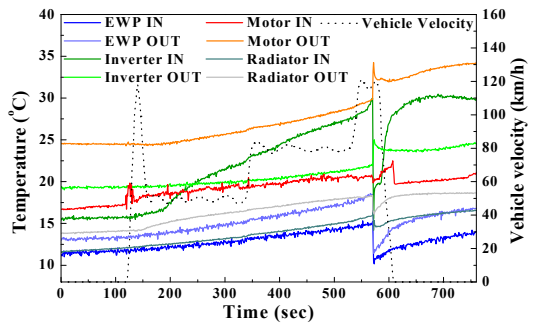
Fig. 8(c) 봄철(가을철) 환경 조건의 경우 주행조건에 따른 냉각수 온도 변화를 나타낸다. 냉각수 온도는 주행 구간에서 냉각수온도가 완만하게 증가되며 120 km/h 정속구간 575초 지점에서 급격한 온도증가를 보인다. 이는 인버터 소자, 히트 싱크 또는 모터 소자가 설정된 EWP 제어 기준 온도에 도달하였고, 제어 로직 지령에 의해 EWP가 구동되어 냉각수가 전자장비의 열을 순간적으로 흡수하였기 때문이다.



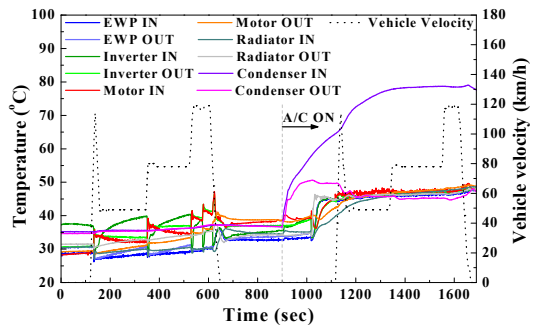
(a) Case 1



(b) Case 2

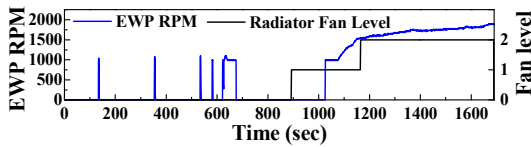


(c) Case 3

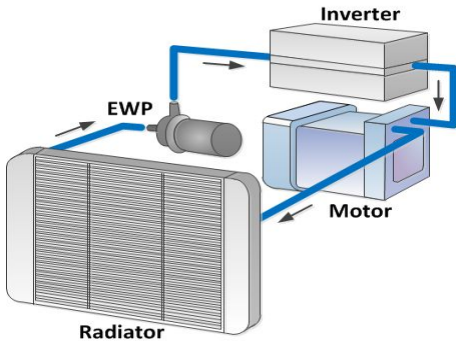


(d) Case 4

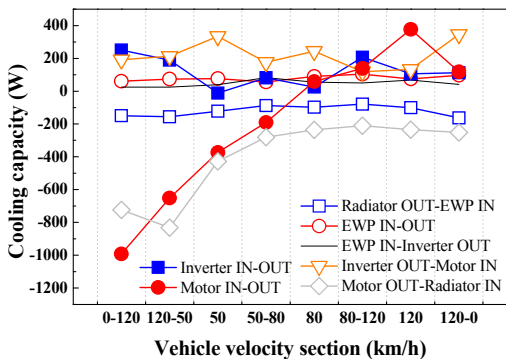
[Fig. 8] Variation of coolant temperature with environmental condition and vehicle velocity



[Fig. 9] EWP RPM and radiator fan level with time at Case 4



[Fig. 10] Diagram of cooling system components



[Fig. 11] Cooling capacity with vehicle velocity section at Case 4 (A/C ON)

Fig. 8(d)는 여름철 혹서 환경 조건에서 에어컨 OFF 및 ON인 경우 주행조건에 따른 냉각수 및 냉매 온도 변화를 나타낸다. 에어컨을 구동하였을 경우 냉매 온도는 최대 79.03 °C까지 상승하였으며 이로 인하여 라디에이터 출구 측 냉각수 온도는 에어컨 구동 전 보다 최대 18.26 °C 상승하였다. 이러한 결과는 에어컨 구동 시 냉매 온도가 라디에이터 방열량에 미치는 영향이 크므로 개선된 제어로직 개발 시 필수적으로 고려해야 될 사항이다. 여름철 혹서 조건에서는 높은 외기온도에 의해 다른 조건보다 EWP 구동이 빈번하였다. Fig. 9는 Case 4에서 시간에 따른 EWP 및 라디에이터 팬 구동상태를 나타낸다.

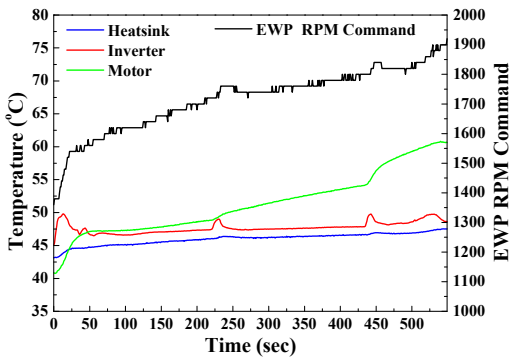
EWP는 134초, 354초, 534초, 581초, 622초에서 순간적으로 구동되었으며, 2번째 주행실험 구간의 1026초부터 주행 종료 시까지 연속 구동하였다. 또한 라디에이터 팬은 냉각시스템의 제어 로직과 상관없이 FATC 구동지령에 의하여 893초부터 1단, 1165초부터 2단으로 구동되었다.

Fig. 8에서 봄철(가을철) 환경 조건의 경우 EWP가 일시적으로 구동되었고 여름철 혹서 조건에서는 EWP의 연속 구동 빈도 및 RPM 값이 상승하였다. 이는 외기온도가 낮은 경우 외부 환경에 의하여 냉각시스템의 냉각수 온도가 크게 낮아지므로 냉각수가 순환하지 않아도 전자장비의 발열을 충분히 흡수 가능하기 때문이다. 또한 EWP가 구동하지 않은 실험의 경우 인버터 입구 온도가 크게 증가하였는데 이는 실험 대상 차량의 냉각시스템 구성상의 문제로 냉각수가 순환하지 않아 Fig. 10과 같이 모터 상부에 위치한 인버터에서 발생한 열이 구간 내 정체되어 인버터가 연속 작동할수록 냉각수가 흡수한 열량이 누적되었기 때문이라 판단된다.

Fig. 11은 Case 4의 에어컨 ON인 경우 주행조건에 따른 각 구간별 냉각수의 평균 냉각용량을 나타내었다. 냉각수의 평균 냉각용량으로부터 냉각시스템의 각 구간에서 흡열 및 방열 특성을 분석하였다. 인버터의 방열량은 처음 가속구간에서 249.90 W를 나타내었고 주행조건에 따라 방열량은 감속 및 정속 주행 시 감소하고 가속 구간에서 증가하는 경향을 나타내었다. 모터의 경우 초기 가속구간에서 냉각수의 평균 냉각용량은 -992.01 W로 모터를 흡열하였다. 이는 에어컨 구동할 경우 냉각수 온도가 모터 소자 온도보다 높아져 오히려 냉각수의 열을 흡수했기 때문이다. 이후 주행조건에서는 모터 구동에 따른 모터 소자 방열량 증가로 인하여 냉각용량이 급격히 증가하였다. 또한 냉각시스템의 각 구간의 냉각수 냉각용량 분석을 통하여 인버터 및 모터 입·출구 이외의 배관에서 흡열 또는 방열이 일어나고 있음을 확인하였다. 라디에이터 출구-EWP 입구 구간 및 모터 출구-라디에이터 입구 구간의 배관은 방열 특성을 나타내고 있다. 특히 모터 출구-라디에이터 입구 구간은 평균 -399.53 W의 큰 방열 특성을 가지는데 이는 구간 사이에 장착되어 있는 OBC가 방열매체로서 작용되었기 때문이다. 또한, 이 두 구간은 냉각 시스템의 좌/우측면에 위치하고 있어 외부 유입공기의 영향을 많이 받는 것으로 파악된다. 반면 냉각시스템의 인버터 출구-모터 입구 구간의 경우 냉각수의 평균 냉각용량은 219.76 W로 배관이 흡열 특성을

나타낸다. 이는 배관이 고발열 전자 장비인 인버터 및 모터에서 발생하는 열로 인하여 배관 주위온도가 증가되었기 때문이다. 이러한 배관의 흡열 및 방열 특성은 주행환경의 부하 증가 시 냉각시스템의 성능에 미치는 영향이 증가할 것으로 예상되므로 개선된 제어로직 개발 시 고려할 필요가 있다.

3.2 기존 전기자동차 냉각 제어 로직 유효성 분석



[Fig. 12] Temperatures of heatsink, inverter and motor and EWP RPM commands with time at driving section of Case 4 (A/C ON)

Fig. 12는 Case 4의 에어컨 ON인 경우에서 주행시간에 따른 EWP 구동 지령값 및 이때의 제어 기준 온도인 인버터 소자, 히트 싱크 및 모터 소자 온도를 나타내었다. 실험 대상 전기자동차의 인버터 소자 및 모터 소자의 기준 온도는 각각 90 °C, 170 °C이며, 제어 로직에는 히트싱크 온도도 추가로 고려되어 있다. 결론적으로 Fig. 12에서 인버터 소자, 모터 소자, 히트싱크의 최대온도는 각각 49.8 °C, 60.8 °C, 47.5 °C으로 기준 온도보다 크게 낮은 온도임에도 다단제어에 의해 EWP가 평균 1717 RPM으로 구동되고 있다. 기존 전기자동차 냉각 제어 로직은 전자장비의 소자온도를 기준으로 제어하고 있어 전자장비의 안정적인 구동면에서 효과적이라고 할 수 있지만, 필요 이상의 냉각시스템 구동은 전기자동차의 연비와 직결되는 문제이므로 주행 시 전자장비의 소자온도가 적정 기준온도 내에 근접하도록 유지하여 최소한의 소비전력을 사용하는 냉각 제어 로직으로의 개선이 필요하다. 이를 위해서는 전자장비의 소자온도를 이용한 요구 냉각용량이 분석되어야 하며 냉각시스템에 영향을 줄 수 있는 외

기온도, 차량속도, 냉매온도 등의 영향도를 고려한 이론적 계산이 수반된 새로운 냉각 제어 알고리즘의 개발이 필요하다.

4. 결론

본 연구는 전기자동차용 고발열 전자장비를 최적으로 냉각 제어하는 알고리즘을 개발하기 위하여 기존의 전기자동차 냉각 제어 로직이 적용된 준중형 전기자동차 전자장비 냉각시스템의 계절 및 부하별 냉각수 냉각용량 및 기존의 전기자동차 냉각 제어 로직의 타당성 분석을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 외기온도가 낮은 경우 외부 환경에 의하여 냉각시스템의 냉각수온도가 크게 낮아져 냉각수가 순환하지 않아도 전자장비의 발열을 충분히 흡열하였다.
2. 혹서조건에서 에어컨을 구동 시 냉매 온도는 최대 79.03 °C까지 상승하였으며 이로 인하여 라디에이터 출구 측 냉각수 온도는 에어컨 구동 전 보다 최대 18.26 °C 상승하였다.
3. 냉각시스템의 각 구간의 냉각수 냉각용량 분석을 통하여 인버터 및 모터 입·출구 이외의 배관에서 흡열 또는 방열현상이 발생하였다.
4. 기존의 전기자동차를 위한 냉각 제어 로직은 필요 이상으로 냉각시스템을 구동하여 냉각시스템의 소비전력을 증가시키므로 기존의 전기자동차 냉각 제어 로직의 효율을 개선하기 위하여 외기온도, 차량속도, 냉매온도를 고려한 새로운 냉각 제어 알고리즘의 개발이 필요하다.

References

- [1] K. H. Kim, B. S. Han, Y. B. Yang, KEIT PD Issue report, pp. 61-83, Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, 2012.
- [2] J. P. Won, H. S. Lee, "The Need to Develop Thermal Management System Technologies of Electric Driven Vehicles (EV, PHEV, FCEV)", Auto Journal, Vol. 33, No. 12, pp. 22-28, 2011.
- [3] M. Y. Lee, "Thermal Management of the Motor/Battery System for Electric Driven Vehicles (VTMS)", Auto Journal, Vol. 33, No. 12, pp. 36-41, 2011.

[4] J. H. Lee, M. J. Ha, K. Seo, Y. J. Park, "Thermaml Analysis of Electric Vehicle Motor Using CFD", Proceedings of the KSME 2010 fall annual Conference, pp. 2711-2714, 2010.

[5] H. S. Song, "A Study on the Modeling and Efficient Operating Condition of the Liquid-cooled Battery System for RE-EVs", Doctor Thesis, Korea University, 2013.

[6] J. W. Choi, "Development of a Thermal Management System Model and a Capacity Fade Model for Li-ion Batteries in Electric Vehicles", Master Thesis, Seoul National University, 2013.

[7] B. Pfeifer, C. Ghiu, "Industry Developments : EV Battery Thermal Management", Qpedia, 2013, <http://www.coolingzone.com>, July 2013.

[8] G. M. Kim, B. G. Woo, C. H. Kang, S. J. Cho, Y. D. Yun, T. W. Chun, "A Study of the Cooling Effect for a Water-cooled Heat Structure of the Electric Vehicle Inverter System", Journal of The Korean Institute of Power Electronics, Vol. 15, No. 1, pp. 27-34, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.6113/TKPE.2010.15.1.27>

[9] G. M. Kim, B. G. Woo, Y. H. Lee, C. H. Kang, T. W. Chun, K. Y. Cho, "Water Cooling Pipe Structure for Heat-Dissipation of HEV Inverter System", Journal of The Korean Institute of Power Electronics, pp. 343-344, 2010.

[10] J. M. Lee, J. Y. Lee, R. K. Park, S. G. Chang, K. S. Choi, "Power Conversion Unit for Hybrid Electric Vehicles", Journal of The Korean Institute of Power Electronics, Vol. 13, No. 6, pp. 420-429, 2008.

[11] S. J. Park, "Simulation on thermal management system in hybrid and electric vehicle", SAREK Journal, Vol. 42, No. 10, pp. 48-57, 2013.

[12] Y. H. Kim, H. D. Lee, K. H. Yoo, "Development of Cooling System for 100kW Electric Power Train Applied to Fuelcell Vehicle", Journal of The Korean Institute of Power Electronics, pp. 428-430, 2008.

[13] H. S. Lee, J. P. Won, C. W. Cho, M. Y. Lee, Y. C. Jung, Y. C. Kim, "An Experimental Study on Interactional Performance Characteristics of Stack Cooling System according to Thermal Management System Operations", Journal of The Korean Society of Automotive Engineers, pp. 2939-2944, 2011.

[14] H. S. Lee, C. W. Cho, J. P. Won, M. Y. Lee, "Performance Characteristics of the Thermal Management System for Passenger Hydrogen Fuel Cell Vehicle" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 3, pp. 986-993, 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.3.986>

[15] S. Klein, G. Nellis, "THERMODYNAMICS", pp.168-170, 2012.

서 재 형(Jae-Hyeong Seo)

[정회원]



- 2008년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 (공학박사과정)

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 열/물질 전달, 나노유체

김 대 완(Dae-Wan Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 (공학박사과정)

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 신재생에너지, 자성유체

정 태 영(Tae-Young Chung)

[정회원]



- 2002년 2월 : 국민대학교 자동차공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 국민대학교 자동차공학과 (공학석사)
- 2004년 5월 ~ 현재 : 현대자동차 책임연구원

<관심분야>

환경차, 모터제어, Fail-Safe

정 태 희(Tae-Hee Jung)

[정회원]



- 2006년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과/전자공학과 (공학사)
- 2006년 2월 ~ 현재 : 현대자동차연구원

<관심분야>

환경차, 모터제어, Fail-Safe

이 무 연(Moo-Yeon Lee)

[정회원]



- 2010년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학박사)
- 2011년 1월 : 고려대학교 기계공학과 (연구교수)
- 2011년 2월 ~ 2012년 8월 : 자동차부품연구원 선임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 전동식 히트펌프, 신재생에너지 변환 시스템, 열/물질전달, 연료전지, 나노유체, 자성유체