

EV 구동모터 유냉용 오일쿨러의 열전달 핀 설계 변수에 대한 성능 특성 연구

이 준 용¹⁾ · 허 형 석^{*1)} · 홍 성 목²⁾ · 정 기 석²⁾

한국자동차연구원¹⁾ · (주)해송엔지니어링²⁾

A Study on the Performance Characteristics of Heat Transfer Fin Design Variables of Oil Cooler for Oil-cooled EV Traction Motor

Junyong Lee¹⁾ · Hyungseok Heo^{*1)} · Sungmok Hong²⁾ · Giseok Jeong²⁾

Korea Automotive Technology Institute, 303 Pungse-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 31214, Rep. of Korea¹⁾
Haesong Engineering Co., 48, Judeongnonggong-gil, Judeok-eup, Chungju-si, Chungcheongbuk-do, 27462, Rep. of Korea²⁾

Key words : Electric vehicle(전기차), Traction motor(구동모터), Oil-cooled(유냉식), Oil cooler(오일쿨러)
Computational fluid dynamics(전산유체역학)

* 허형석, E-mail: hsheo@katech.re.kr

전기차용 구동모터(traction motor)의 작동 온도가 상승하면 절연체의 절연 성능과 영구자석의 자력이 감소하여 전기적 효율이 크게 저하된다. 구동모터의 냉각은 기존의 공랭식 냉각 방식에서 냉각 효율 향상을 위해 비열이 큰 냉각수를 사용하는 수냉식으로 변경되었다. 그러나 수냉식은 통전 특성으로 인해 모터 내측 유로 구성이 어렵고 균일한 온도 관리가 힘들기 때문에 유냉식으로 적용하기 위한 연구가 최근 진행되고 있다.

개발 대상 전기차 구동모터의 고정자 냉각은 냉각수를 이용하며, 내측 회전자는 오일펌프를 활용한 강제 순환식 유냉 방식을 적용하고 있다. 따라서 개발 구동모터의 냉각은 모듈화된 소형 유냉 시스템과 수냉 라인을 동시 적용하며, 기존의 냉각수를 이용한 냉각 시스템에서 유냉을 위한 오일펌프와 오일쿨러, 리저버 탱크가 추가된다. 여기서 오일쿨러는 고온의 오일을 냉각수와 열교환하여 냉각시키는 역할을 한다.

현재 상용 오일쿨러 벤치품은 Layered 타입 알루미늄 열교환기로 냉각수 측은 뎀플(dimble) 구조이며 오일 측에는 다수의 핀이 일정 간격으로 오프셋(off-set)되어 장착된 구조이다. 오프셋 핀의 구조는 Fig. 1과 같이 핀의 길이 방향으로 Off-set length, 길이와 직교하는 방향으로 Fin pitch, 높이 방향으로 Fin height의 3가지의 주요 설계 변수가 있다. 개발 오일쿨러는 Frame 타입으로 Layered 타입보다 구조 강도 측면에서는 유리하지만 프레임의 두께로 인한 핀 장착 면적이 감소된다. 따라서 설계안의 핀 접수면적(오일 접촉 면적)은 프레임 두께로 인해 벤치품에 비해 32.6% 작다. 내부 장착 핀의 Off-set length에 대한 성능 특성 비교를 위해 Fin height와 Fin pitch를 3.0 mm으로 고정하고, Off-set length를 1.0 mm에서 2.5 mm까지 0.5 mm 간격으로 4개의 모델을 설정하였으며 벤치품까지 총 5개 모델에 대한 비교를 진행하였다. 벤치품의 Fin height는 설계안과 동일한 3.0 mm이고, Fin pitch는 3.3 mm, Off-set length는 1.0 mm이다. 모든 모델의 냉각수 측 뎀플 형상은 동일하며 해석에서는 냉각수 측과 오일 측 각 1단만 반영하였다. CFD 전산유체해석을 통해 각 모델에 대한 방열 성능, 오일 압력 손실, 냉각수 압력 손실의 성능 특성을 비교 분석하였다.

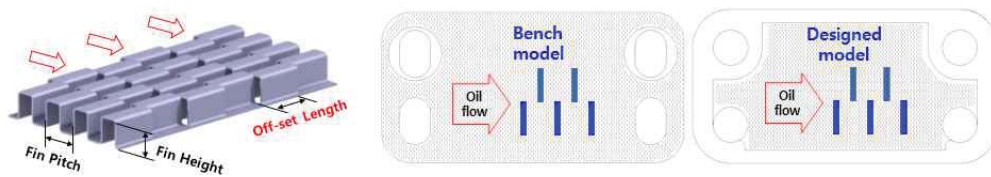


Fig. 1 Structure of off-set fin and numerical analysis models

자동변속기용 SP3 오일과 물-에틸렌글리콜이 5:5의 비율로 혼합된 냉각수의 물성은 온도에 따른 함수식을 사용하였으며, 오일 측 입구 온도는 120℃, 냉각수 측 입구 온도는 75℃이다. 오일과 냉각수의 설계 유량은 각각 14 L/min, 10 L/min 이며, 오일 유량에 따른 성능 특성을 비교하였다.

Off-set length 변수에 따른 해석 결과, 설계 작동 조건에서 오일 측 단면의 속도분포를 나타낸 Fig. 2와 같이 Off-set length의 길이가 1.0 mm에서 2.0 mm로 점차 길어질수록 열전달 성능은 증가한다. 그러나 길이 2.5 mm 모델에서는 성능이 감소하였다. 결과적으로 핀의 길이가 일정 길이까지 길어질수록 핀의 길이방향 사이의 유속이 빨라져 열전달 성능이 높아지는 경향을 보이지만 일정 길이 이상이 되면 완전발달 유동이 이루어지기 전에 유동 방향의 다음 핀으로 되돌아오는 맴돌이 현상이 발생한다. 이러한 현상으로 인해 국부적으로 유속이 감소되어 열전달 성능이 저하된다. Fin pitch 대비 Off-set length의 비율, 즉 Ol/Fp 가 증가할수록 유동 저항은 증가하지만 유속이 증가하여 열전달 성능이 증가한다. Off-set length에 비해 Fin pitch가 일정 비율 이하라면 Back flow로 인해 저속구간이 넓어지기 때문에 열전달 성능에 악영향을 미친다.

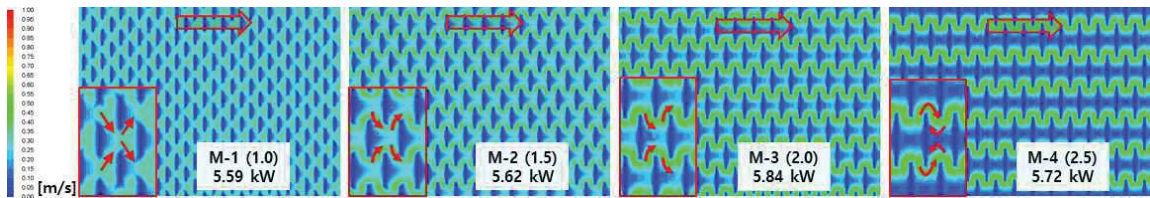


Fig. 2 Velocity distribution of oil cooler designed model(Off-set length)

벤치폼과 Off-set length에 따른 설계 모델의 오일과 냉각수 유량에 따른 성능 특성 해석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 설계 모델의 Off-set length가 1.0 mm에서 2.5 mm로 증가함에 따라 설계점에서 오일의 압력 손실은 29.7 kPa에서 45.3 kPa으로 52.5% 상승하는데 비해서 방열량은 5.59 kW에서 최대 5.84 kW로 4.4% 증가한다. 따라서 방열량 상승의 효과보다 압력 손실이 더 크기 때문에 Off-set length는 짧게 할수록 유리할 것으로 판단된다. 동일 조건에서 벤치폼의 방열량은 7.18 kW, 오일 압력 손실은 28.3 kPa으로, 벤치폼은 개발품에 비해 방열량은 높으면서 오일 압력 손실이 작게 나타났으며 동일한 외곽 사이즈에서 Layered와 Frame 타입의 구조적 특성에서 발생하는 접수면적의 차이가 성능에 큰 영향을 나타냈다. 오일과 냉각수의 시스템 압력과 구조적 장착 환경에 따른 요구 강도를 고려하여 후행 연구에서의 오일쿨러의 타입 선정에 반영해야 할 것으로 판단된다.

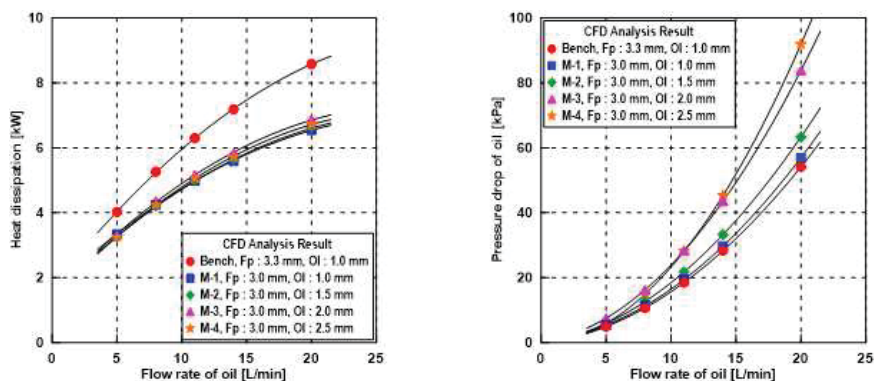


Fig. 3 Numerical analysis result of oil cooler

본 연구는 산업통상자원부의 지원으로 수행한 월드클래스플러스사업(과제번호: P0017153)의 일환으로 진행되었으며 연구를 지원하여 주신 관계 기관에 감사드립니다.