

양면 냉각 파워모듈의 직간접 냉각방식에 따른 열적 특성 분석

한창우*† · 신동민* · 이형순**

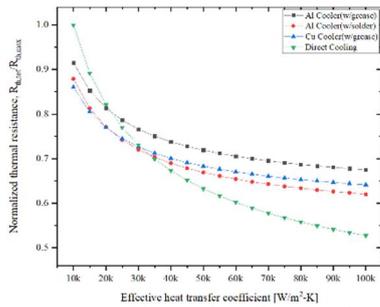
*현대자동차 R&D 본부, **중앙대학교 기계공학부

Analysis of thermal characteristics in the double-sided cooled power module with direct and indirect liquid cooling

Chang Woo Han*†, Dong Min Shin* and Hyoung Soon Lee**

* R&D Division, Hyundai Motor Company,

** School of Mechanical Engineering, Chung Ang Univ.



Graphical Abstract Thermal resistance in the double-sided cooled power module with different effective heat transfer coefficients

1. 서 론

글로벌 자동차 시장에서 친환경 전동차가 차지하는 비중이 증가되며, 모빌리티의 고도화로 전동화가 촉진될 것으로 예상된다. 전동차의 e-파워트레인에서 인버터는 고출력화, 소형화, 다기능화가 동시에 요구되며, 인버터의 핵심부품인 파워모듈은 다양한 구동조건과 내구환경 하에서도 안정적으로 작동하기 위해 열관리가 필수적이다.

파워모듈과 같은 열원은 단면 또는 양면, 공기 또는 물, 단상 또는 다상, 직접 또는 간접 냉각과 같이 다양한 방식으로 열관리가 이루어진다. 냉각 방식은 파워모듈 내 다중 적층 구조에서의 열확산(Thermal spreading), 파워모듈과 냉각기 간 접촉 열저항, 냉각기 판재(Baseplate)에서의 열확산과 흰에서의 대류 열전달 간 상호 영향성을 고려하여 선정되어야 한다.

본 연구에서는 양면 냉각 파워모듈에서 직간접 냉각방식과 대류 열전달 성능에 따른 열적 특성을 분석하였다.

2. 연구방법

냉각방식과 대류 열전달 성능이 파워모듈의 열적 특성에 미치는 영향은 표 1의 조건에 따라 비교하였고, 파워모듈, 열계면물질, 냉각기를 포함한 열저항($R_{th,tot}/R_{th,max}$)으로 냉각성능을 평가하였다.

† Presenting Author, cwchan@hyundai.com

Table 1 Design parameters

Cooling type	Material of cooler	TIM	HTC [W/m ² -K]
Indirect	Al	Grease	10~100k
Indirect	Al	Solder	10~100k
Indirect	Cu	Grease	10~100k
Direct	-	-	10~100k

대류열전달계수(HTC)와 전도 열해석 모델을 사용하여 열저항을 예측하였고, 열확산 효과를 반영하기 위해 해석 모델은 파워모듈, 열계면물질, 냉각기 판재로 구성하였다.

3. 결과 및 토론

그림 요약에 따르면 간접 냉각방식에서 구리 냉각기는 접촉 열저항이 있더라도 높은 열확산 효과와 흰 성능으로 인해 냉각성능이 우수하다. 하지만 알루미늄 냉각기를 사용하더라도 열계면물질의 성능이 향상되면 파워모듈 내 열확산 효과가 개선되어 구리 냉각기보다 열저항을 낮출 수 있다.

직접 냉각방식은 접촉 열저항 뿐만 아니라 냉각기 판재의 열확산 효과도 사라져 낮은 HTC 구간에서 열저항이 높게 나타난다. 반면, 높은 HTC 구간에서는 파워모듈 내 열확산 효과가 극대화되어 우수한 냉각성능을 보인다. 단, 파워모듈 표면적을 늘려 대류열전달 효과를 높이는데 한계가 있으므로 제트 유동, 상변화 열전달과 같이 높은 HTC를 구현해야만 낮은 열저항을 구현할 수 있다.

직간접 냉각방식에서 대류 열전달 성능 외에 열확산 효과도 주요한 설계인자로 추정된다.

4. 결 론

파워모듈의 냉각성능은 냉각방식과 대류 열전달 성능에 따라 열적 손익분기점(Thermal break-even point)과 같은 교차점이 존재하고 이 지점은 파워모듈이나 냉각기 판재에서 열확산 효과에 따라 달라진다.