

전기차 초급속충전기 전력변환모듈의 발열특성 분석을 통한 공랭식 냉각시스템 개선

조태석¹, 조목량², 최현지³, 김서진³, 하지수^{3*}

¹대영채비(주), ²경북대학교 RIS대학교육혁신본부, ³계명대학교 기계공학전공

Improvement of Air Cooling System through Analysis of Heat Generation Characteristics of Power Transducer Module in Electric Vehicle Hyper Charger

Tae-Seok Cho¹, Mok-Ryang Cho², Hyeon-Ji Choi³, Seo-Jin Kim³, Ji-Soo Ha^{3*}
¹Chaevi

²RIS University Education Innovation Headquarters, Kyungpook University

³Department of Mechanical Engineering, Keimyung University

요약 전 세계적으로 심각한 기후변화에 대응하기 위하여 화석연료 사용을 줄이고 친환경 에너지로의 전환이 급속도로 진행되면서 전기차 보급이 확대되고 있다. 전기차의 동력성과 배터리 용량이 향상됨과 동시에 전기차 충전기의 충전전력 또한 향상될 전망이다. 충전기 충전전력은 전력변환모듈을 적층하여 향상될 수 있으나 발열이 발생하여 충전기 내부의 열관리가 중요해진다. 충전 안정성 확보를 위하여 전력변환모듈의 온도를 허용 온도 이하로 유지하게 하는 냉각시스템 설계에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 전기차 초급속충전기의 전력변환모듈의 발열 특성 분석을 위해 모듈 냉각팬의 유량과 모듈의 온도를 측정하여 전산해석에 활용하였으며 냉각팬 용량과 가이드베인의 각도에 따른 냉각시스템의 효율을 분석하였다. 춘/추계, 하계, 동계의 계절별 대기 온도에 따른 발열 특성을 분석하였고 하계에서 작동 중단 온도를 상회하는 것을 확인하여 하계 조건으로 냉각 성능 향상을 위한 연구를 진행하였다. 냉각팬 유량은 10%와 20%로 증가할수록 냉각 성능이 기존 대비 각각 4.45%, 15.82% 향상되었으며 입구 덕트 가이드베인 각도는 35°일 때 냉각 성능 향상비 9.06%로 가장 큰 향상비를 나타내었다.

Abstract The global response to combat the severe climate change crisis involves a swift transition from fossil fuels and the significant adoption of eco-friendly energy sources. As electric vehicles (EVs) gain popularity, their power and battery capacity are improving, and there is a growing need to enhance the EV charger charging power. On the other hand, an increase in charging power generates heat, necessitating effective thermal management within the chargers for safety. This study measured the module cooling fan flow rates and temperatures to determine the heat characteristics of power conversion modules in rapid-charging EV chargers. The cooling system efficiency was also evaluated based on fan capacity and guide vane angles. This research considered seasonal temperature variations and identified overheating during summer, prompting further study to improve cooling under these conditions. Increasing the fan flow rate by 10% and 20% led to 4.45% and 15.82% improvements in the cooling performance, respectively, compared to the baseline, with the best enhancement of 9.06% observed at a 35° inlet duct guide vane angle.

Keywords : Cooling-System, EV-Charger, Electric-Vehicle, Fan, Guide-Vane

본 성과물은 2023년도 대구광역시 지역혁신중심 대학연구활동 지원사업의 지원을 받아 수행된 자료임.

*Corresponding Author : Ji-Soo Ha(Keimyung University)

email: jisooaha@kmu.ac.kr

Received November 8, 2023

Revised December 6, 2023

Accepted December 8, 2023

Published December 31, 2023

1. 서론

전 세계적으로 심각한 기후변화에 대응하기 위하여 화석연료 사용량을 줄이고 친환경 에너지로의 전환이 급속도로 진행되고 있다. [1,2] 이에 따라 전기차 보급이 확대되었으며 점차 높은 동력성능과 대용량 배터리를 적용하고 있다. [3] 동시에 충전기 충전전력도 200kW~400kW까지 상향될 것이다. 충전기 출력 향상을 위해 AC/DC와 DC/DC 전력변환모듈을 적용하고 있으며, 초고속 충전기(Hyper Charger, 이하 HPC)의 전력변환모듈은 전기 에너지를 다른 형태로 변환하는 중요한 부품이다. 그러나 작동 중에 발열되며 충전용량 증가에 따라 고전압 고전류에 의해 고온의 열이 발생하게 된다. 이로 인해 초고속 충전기의 충전 안정성 향상을 위해 전력변환모듈에서 발생하는 열관리의 중요성이 대두된다.[4]

전자장비의 발열을 해결하기 위한 냉각방식으로는 열전달 형태와 냉각매체의 종류에 따라 전도냉각, 자연대류 냉각, 강제대류 냉각, 액체냉각, 상변화이용 냉각으로 나누어진다. 그중에서 강제대류 냉각은 별도의 냉각수나 오일이 필요하지 않아 경제적으로 이점이 있고 유지보수 및 관리에 편리하다. 그리고 기기 자체에 직접적인 손상을 발생시킬 가능성이 낮으므로 안정적인 운영이 가능하다. 하지만 액체냉각에 비해 냉각성능이 낮은 편이다.

전기차 급속충전기의 냉각방식은 공랭식과 수랭식을 적용한다. 야외에 설치되는 급속충전기의 특성상 수랭식 냉각시스템은 동파, 유지보수의 문제가 발생한다. 따라서 현재 대부분의 급속충전기는 공랭방식의 냉각시스템을 선정하여 적용하고 있다. [5,6] 전력변환모듈에서 MOSFET을 개선하여 충전 효율을 높였으며 실리콘 카바이드 MOSFET(SiC-MOSFET: Silicon Carbide MOSFET, 이하 SiC-MOSFET)을 도입하여 전기차의 주행 거리를 늘리고 에너지 소비를 낮추어 효율성을 높였다. 절연형 컨버터인 MOSFET은 SiC-MOSFET은 열전도율 및 항복 전압이 높아 유사한 크기의 실리콘 MOSFET(Si-MOSFET: Silicon MOSFET) 보다 높은 전류, 전압을 처리할 수 있으며 더 높은 효율을 가진다. SiC-MOSFET은 고효율·고전력 인버터에 적합하지만 게이트 구동기 및 발열에 관한 설계문제가 발생하고 있다. 또한 충전시간 단축을 위하여 충전기의 출력을 향상시키고 있으며 이에 따라 충전기 전력변환부 모듈의 개수가 증가하고 있다. 전력변환모듈의 개수와 용량의 증가로 인하여 충전기 및 전력변환기의 발열이 증가하고 있다. [7] 전력변환모듈을 안정적으로 구동시키고 충전 안전성을 확보하기 위하여

전력변환모듈의 온도를 허용온도 이하에서 유지 되도록 냉각시스템을 설계해야 한다. 외부기온이 높은 하계에 전기차 충전이 집중될 경우 기준온도를 상회하게 되며 이는 안정적인 충전을 어렵게 만든다. 결과적으로 급속 충전기는 외기 유입 온도에 대한 의존성이 높기 때문에 외기 유입 온도 조건을 반영하여 HPC의 전력변환모듈의 발열특성과 공랭식 냉각시스템을 분석하고 문제점을 해결하여 충전 안정성 증대가 필요하다.

본 연구는 전기차 초고속충전기 전력변환모듈의 발열 특성 분석을 통한 공랭식 냉각시스템 개선에 관한 연구로 전력변환모듈의 발열 특성을 분석하기 위해 실험을 통해 전력변환모듈의 온도 데이터를 취득하였으며 냉각팬의 유량을 측정하여 이를 전산해석에 활용하였다. 냉각시스템을 개선하기 위해 냉각팬의 용량에 따른 전력변환모듈의 평균온도 변화를 분석하였으며 가이드베인의 각도에 따라 냉각시스템의 효율을 분석하고 최적의 공랭식 냉각설계 조건을 도출하였다.

2. 초고속충전기 전력변환기

2.1 전기차 초고속충전기

본 논문은 전기차 초고속충전기 전력변환모듈의 발열 특성을 분석하고 공랭식 냉각시스템을 분석하였다.

2.2 발열특성 분석

전력변환모듈의 발열특성 분석을 위하여 열화상 장비 및 열전대를 이용한 온도 측정을 실시하였다. 측정 장비로는 K-type 열전대, DAQ, 열화상 카메라, 접촉식 온도계가 사용되었으며 측정 시의 대기 온도는 18.9 ℃이다. 전력변환기 가동 시 입·출구부 모듈 표면, 출구부 덕트 및 전력변환모듈의 측면 표면의 열화상 온도 데이터를 측정하여 Fig. 1에 나타내었다. 전력변환기에서의 주요 발열은 전력변환모듈의 위치에서 발생하였다. 전력변환기에서 전력변환모듈을 분리하여 온도를 측정하였을 때는 표면의 평균 온도가 29.9 ℃로 나타났다.

전력변환기의 중앙에 위치한 전력변환모듈의 표면에서 총 10개 지점에 K-type 열전대를 설치하였다. K-type 열전대는 비드 와이어 서모커플(Beaded Wire Thermocouple)을 이용하여 온도 측정을 하였으며, 가동 시 전력변환모듈의 표면 온도 데이터를 측정하였으며 평균 온도 결과를 아래 Fig. 2에 나타내었다.

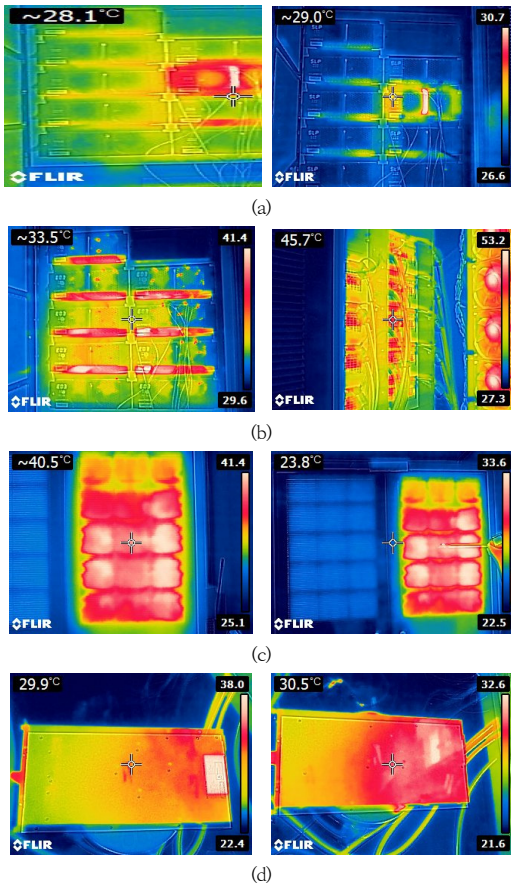


Fig. 1. The results of measuring thermal infrared temperature data

- (a) Surface of the inlet section of the module
- (b) Surface of the outlet section of the module
- (c) Outlet duct
- (d) Surface of the power conversion module

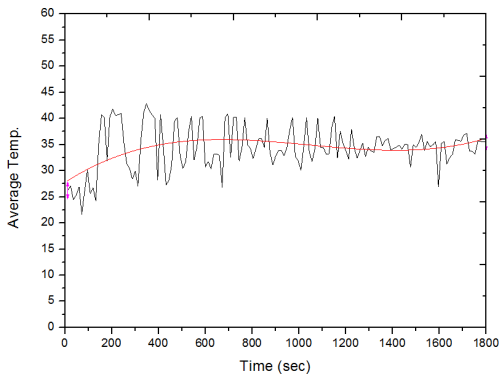


Fig. 2. The results of measuring temperature data on the surface of the power conversion module

최초 26.1 °C에서 가동 후 150초 후 온도가 약 40 °C까지 상승하였으며 냉각팬이 가동됨에 따라 온도가 유지되었다. 그리고 최종적으로 모듈의 표면 온도는 36.2 °C에 수렴하였다.

고전력·고전압의 전력변환장치 특성상 온도 데이터에 노이즈가 포함되어 있지만, 열화상 온도 데이터 결과와 비교하였을 때 큰 오차를 보이지 않았다.

2.3 냉각시스템 분석을 위한 냉각팬 유속 측정

해당 전력변환기는 공랭식 냉각시스템을 적용하였으며, 모듈 냉각팬과 H/W 냉각팬을 통해 냉각된다. 전력 변환모듈은 총 10개로 구성되며 모듈 당 2개의 냉각팬이 부착되어 있어 총 20개의 모듈 냉각팬이 있다. 출구부에는 15개의 H/W 냉각팬이 설치되어있다.

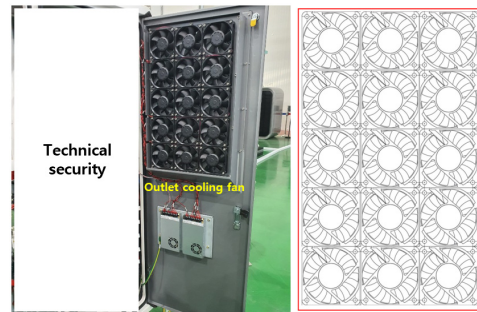


Fig. 3. Cooling fan at the outlet of the EV charger

Table 1. The results of measuring the airflow of the cooling fan at the outlet section of the EV charger

Outlet velocity (m/s)						Measuring point
6.10	6.13	5.98	6.13	6.25	6.82	
6.52	6.14	5.92	5.25	6.41	6.52	
6.15	5.28	5.33	5.13	5.71	5.85	
5.75	5.91	5.46	5.89	4.51	5.98	
2.63	4.21	5.97	6.83	5.66	5.61	
3.82	4.25	4.98	5.22	4.11	4.46	
4.36	5.11	4.72	5.78	4.96	5.91	
3.98	4.19	4.29	5.31	5.01	5.27	
4.12	4.03	5.96	6.87	5.73	4.33	
Average velocity (m/s)						5.35
Average temperature (°C)						40.5

전력변환기 냉각시스템의 전산해석에 필요한 경계조건 설정을 위해 냉각팬의 유속을 측정하였다. 전력변환기의 냉각팬은 아래 Fig. 3와 같이 배출팬을 설치하여 내부의 공기를 배출시키는 방식으로 적용되어 있다. 따라서 각 입·출구부에서 유속을 측정하였다. 측정 장비로는 TSI 디지털 열선유속계가 사용되었으며 측정 시의 대기 온도는 18.9 °C이다. 전력변환기 냉각팬 유속 측정 결과를 아래 Table 1에 나타내었다. 출구부 냉각팬의 평균 유속은 5.35 m/s이고 배출되는 내부 공기의 평균 온도는 40.5 °C이다.

3. 발열 특성 및 냉각시스템 분석

3.1 전산해석 전처리 및 경계조건

3.1.1 형상 및 격자

전력변환기의 냉각시스템을 분석하고 냉각시스템 향상방안의 효과를 파악하기 위하여 전산해석을 하였다. 전산해석에 사용된 전력변환기의 형상은 Fig. 4와 같으며 ANSYS Space Claim으로 구현하였다. 해당 모델의 상세 설명은 Table 2에 나타내었다. 모듈 냉각팬과 출구팬은 해당 면적에 대해 Velocity Condition으로 입력하기 위하여 면적으로 구현하였다. 충전기 내부 발열체인 모듈은 해당 영역 전체를 발열 영역으로 모델링하였다. 열·유동해석의 수렴성을 고려하여 해석에 불필요한 부분을 단순화하여 모델링을 실시하였다.

격자는 ANSYS Meshing을 사용하여 생성하였으며 해석에 사용된 격자는 총 54,756,988개이다.

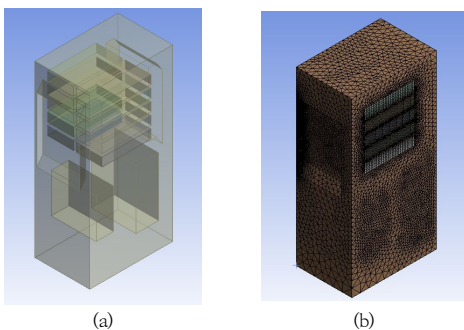


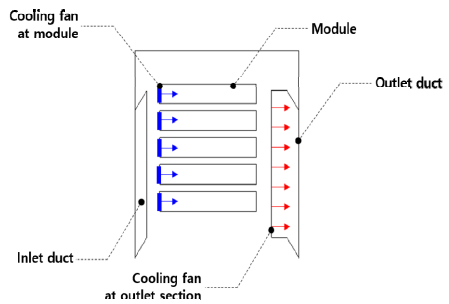


Fig. 4. Modeling geometry and generated mesh of EV charger
(a) Modeling geometry (b) Mesh

Table 2. The detailed explanation of modeling of EV charger

Category	Cooling fan at power conversion module	Cooling fan at outlet section	Power conversion module
Quantity	20	15	10
Specification	-	-	284×84×460
		-	



3.1.2 경계조건

기존 전력변환기의 냉각특성 및 내부 유동장 분석을 위하여 CFD를 사용하였으며 이를 위한 경계조건을 Table 3에 나타내었다.

Table 3.1. Boundary conditions of the cooling fan

Category		Module cooling fan	Cooling fan at outlet section
Cooling fan	Applied conditions	Massflow inlet	Massflow outlet
	Fan flow rate (m³/s)	2.44	6.09

Table 3.2. Boundary conditions of the module

Boundary condition		
Module	Applied conditions	Source term
	Heat generation per module (J)	1,421

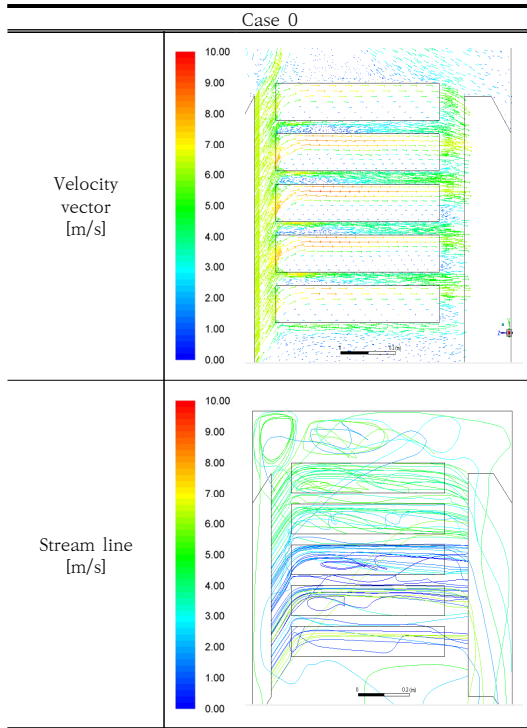
ANSYS Fluent 18ver를 이용하여 해석을 진행하였으며 해석 모델로는 k-w Two Equation Model과 Energy equation을 사용하였으며 정상상태 해석을 실시하였다.

3.2 기존 전력변환기 냉각시스템 분석

3.2.1 유동 특성 분석

냉각시스템 향상방안의 효과를 파악하기 위하여 기존의 전력변환기 내부의 유동 특성을 분석하였으며 결과를 아래 Table 4에 나타내었다. 이는 Case 0로, 이후 향상 효과 비교에 대한 기준으로 선정하였다.

Table 4. The results of internal flow analysis



전력변환기 입구 덕트의 각도에 의해 유동이 전력변환 모듈의 상부에 편향되며 하부에는 유동이 상부에 비해 적게 흘러감을 확인할 수 있다.

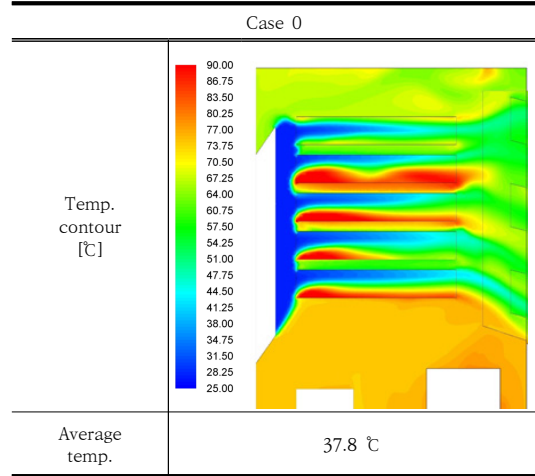
3.2.2 발열 특성 분석

전력변환모듈의 발열 특성과 기존 냉각시스템의 성능 파악을 위하여 CFD 분석을 실시하였으며, 이 결과를 Table 5에 나타내었다.

온도 측정 실험과 동일한 초기 조건에서 분석하였다. 전력변환기의 입구 덕트의 각도로 인하여 전력변환모듈의 하부 온도가 상대적으로 높으며 내부에서 발열이 발생한 후 전력변환모듈의 평균 온도는 37.8 °C임을 확인하였다. 이는 온도 측정 실험의 결과인 36.2 °C와 약 1.6

°C 차이가 나며 오차율은 약 4.2 %로 나타나 유효한 해석 결과임을 확인하였다.

Table 5. The analysis results of heat generation



3.2.3 계절별 발열 특성 분석

기존 전력변환기의 냉각시스템은 여름철 기온이 상승함에 따라 높은 온도의 외기가 전력변환기 내부로 유입되어 작동 중단 온도 55 °C 이상으로 상회할 가능성이 있다. 이에 따라 계절별 발열 특성을 분석하였다.

춘/추계, 하계, 동계의 대기 온도에 따른 발열 특성을 분석하기 위하여 Table 6과 같이 경계조건을 설정하였으며 결과는 Table 7에 나타내었다.

상대적으로 유입 외기 온도가 높지 않은 춘/추계, 동계 조건에서의 전력변환모듈의 온도는 최대 29.9 °C이며 55 °C 이상의 고온부가 존재하지 않는다. 반면 유입 외기 온도가 35 °C인 하계의 경우, 전력변환모듈의 평균 온도는 약 56.8 °C이며 모듈의 작동 중단 온도인 55 °C를 상회한다. 따라서 전력변환기 냉각 성능을 10 % 이상 향상하여 작동 중단 온도 이하로 유지되도록 개선할 필요가 있다고 판단하였다.

Table 6. Boundary conditions of seasonal outdoor air temperature

Category	Air inflow temperature (°C)
Spring/Autumn	10.0
Summer	35.0
Winter	-10.0

Table 7.1. The analysis results of EV charger heating characteristics based on outdoor air inflow temperature (Spring/Autumn)

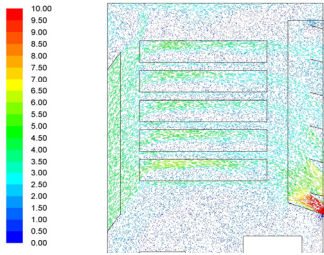
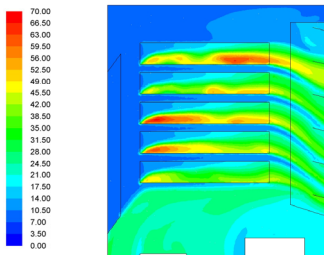
Category	Spring/Autumn (Air inflow temperature : 10.0 ℃)
Velocity vector [m/s]	
Temp. contour [℃]	
Average temp.	29.9 ℃

Table 7.2. The analysis results of EV charger heating characteristics based on outdoor air inflow temperature (Summer)

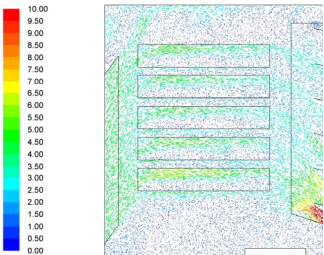
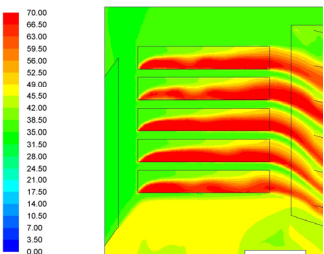
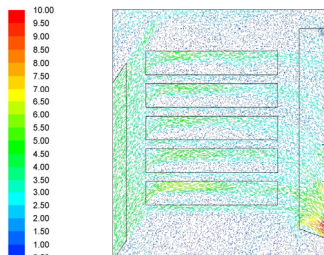
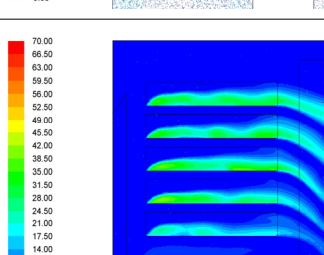
Category	Summer (Air inflow temperature : 35.0 ℃)
Velocity vector [m/s]	
Temp. contour [℃]	
Average temp.	56.8 ℃

Table 7.3. The analysis results of EV charger heating characteristics based on outdoor air inflow temperature (Winter)

Category	Winter (Air inflow temperature : -10.0 ℃)
Velocity vector [m/s]	
Temp. contour [℃]	
Average temp.	6.98 ℃

3.3 냉각 성능 향상방안 분석

전력변환기 냉각시스템 냉각 성능을 10 % 이상 향상시키기 위한 방안으로 냉각팬 유량 증대와 입구 덕트의 가이드베인 설치를 고안하여 다음과 같이 냉각 성능을 분석하였다.

3.3.1 냉각팬 유량에 따른 분석 결과

냉각팬 변경에 대한 방안은 별도의 설계 변경이 필요 없으므로 효과적이고 경제적인 방안이다. 냉각팬의 용량에 따른 향상 효과를 분석하기 위하여 아래 Table 8과 같이 Case 1-1과 Case 1-2로 구분하여 냉각팬 유량을 설정하였다. 전력변환모듈의 온도가 55 ℃가 넘는 하계 조건을 기준으로 냉각팬의 유량을 10 %, 20 %로 증가시켜 분석하였으며 결과를 아래 Table 9에 나타내었다. 냉각 성능 향상비는 절대온도로 환산하여 계산하였다.

냉각팬 유량 10 %, 20 % 증가 시 각각의 경우에 대한 전력변환모듈의 온도는 55 ℃를 상회하지 않으며, 냉각팬 유량 20 % 증가의 경우에는 기존 냉각시스템의 냉각 성능에 비해 냉각 성능이 2.75 % 향상되었다.

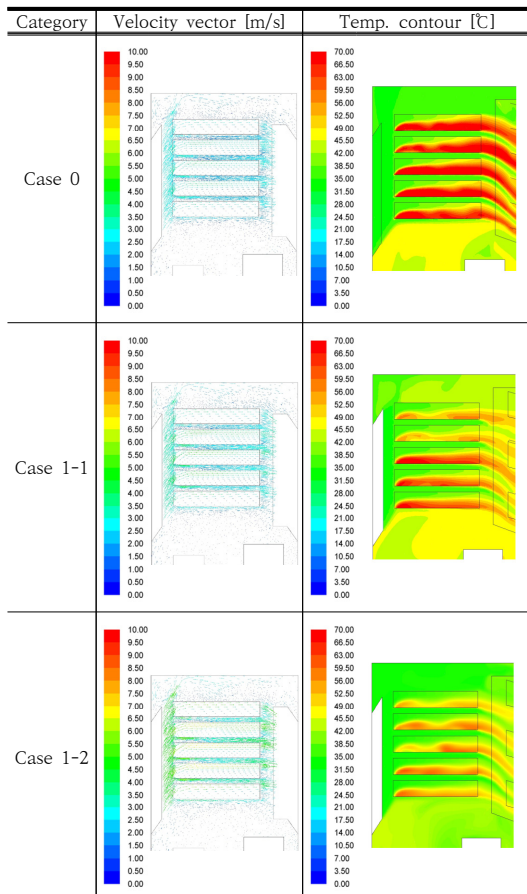
Table 8. Case differentiation for cooling characteristic analysis based on cooling fan flow rate

Category	Cooling fan flow rate (m³/s)	Note
Case 0	6.09	Original cooling fan
Case 1-1	6.69	10 % increase
Case 1-2	7.31	20 % increase

Table 9.1. The analysis results of cooling characteristic analysis based on cooling fan flow rate (Average temperature and status of goal achievement)

Category	Average temperature [°C]	Average temperature change compared to the original [°C]	Status of achievement (below 55 °C)	Improvement ratio of cooling performance [%]
Case 0	56.8	-	-	-
Case 1-1	54.3	-2.53	○	4.45
Case 1-2	47.9	-8.99	○	15.8

Table 9.2. The results of cooling characteristic analysis based on cooling fan flow rate (Velocity vector and temperature contour)



3.3.2 가이드베인 각도에 따른 분석 결과

앞서 진행한 발열 특성 분석 결과에서, 전력변환기 입구 덕트의 각도로 인하여 전력변환모듈의 하부 온도가 상대적으로 높은 것을 확인하였다. 그리하여 입구 덕트에 가이드베인을 설치하여 외기 유입이 전력변환모듈로 원활하게 공급되고자 하였으며, 다음과 같이 가이드베인 각도에 따른 냉각 성능을 최적의 각도를 선정하고자 하였다.

가이드베인 각도는 Table 10와 같이 35°, 45°, 55°, 65°로 선정하여 이에 따른 냉각 성능을 분석하였으며 결과는 Table 11에 나타내었다. 가이드베인 각도 35°의 경우, 냉각 성능 향상비 9.06 %로 목표 냉각 성능 향상비 10 %에 가장 근접한 향상비를 나타내었다.

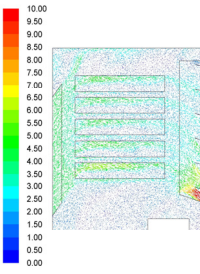
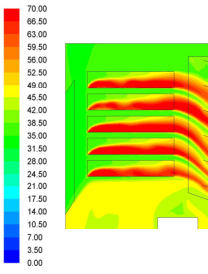
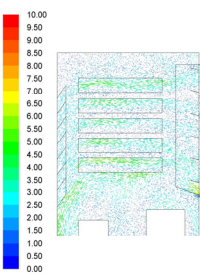
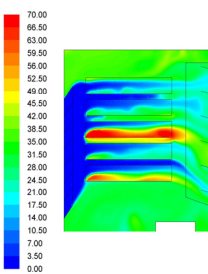
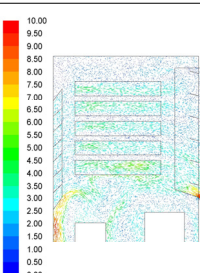
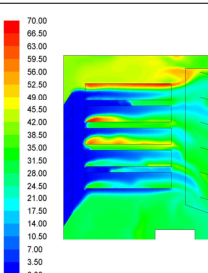
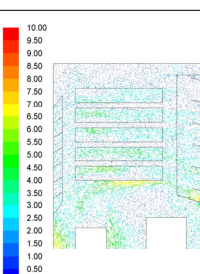
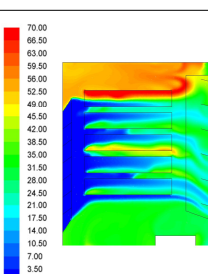
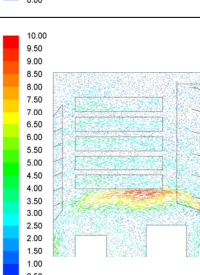
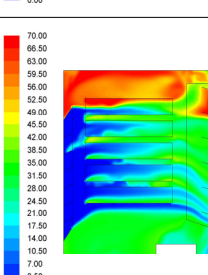
Table 10. Case differentiation for heating characteristics analysis based on guide vane angle

Category	Guide vane angle (°)	Cooling fan flow rate (m³/s)	Modeling of guide vane
Case 0	-	6.09 (Original)	
Case 2-1	35		
Case 2-2	45		
Case 2-3	55		
Case 2-4	65		

Table 11.1. The analysis results of cooling characteristic analysis based on guide vane angle (Average temperature and status of goal achievement)

Category	Average temperature [°C]	Average temperature change compared to the original [°C]	Status of achievement (below 55 °C)	Improvement ratio of cooling performance [%]
Case 0	56.8	-	-	-
Case 2-1	51.7	-5.15	○	9.06
Case 2-2	54.4	-2.41	○	4.24
Case 2-3	54.8	-2.01	○	3.54
Case 2-4	59.2	+2.35	×	4.13

Table 11.2. The results of cooling characteristic analysis based on guide vane angle (Velocity vector and temperature contour)

Category	Velocity vector [m/s]	Temp. contour [°C]
Case 0		
Case 2-1		
Case 2-2		
Case 2-3		
Case 2-4		

4. 결론

본 논문에서는 냉각팬의 유량과 가이드베인 각도에 따른 냉각 성능을 분석하였다. 발열 특성 분석을 위한 데이터로 전력변환모듈의 온도 및 냉각팬 유량을 측정하였다. 계절에 따른 대기 온도 변화에 따라하게 조건에서 작동 중단 온도를 초과하는 것을 확인하였다. 하계 조건에서 냉각팬 유량이 증가할수록 냉각 성능이 기존 대비 15.82%까지 향상되었다. 가이드베인 각도 변화에 대해서는 35°일 때 9.06%로 가장 큰 향상비가 나타났다.

References

- [1] W. G. Shin, "Trends in Electric Vehicle Charging Infrastructure Technology", *The Journal of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol.27, No.2, pp.28-35, 2022.
- [2] Y. G. Hong, "Trends in Development of Fast Charger Technology", *KIPE MAGAZINE*, Vol.22, No.5, pp.36-42, 2017.
- [3] K. J. Park, "Current Status and Technology trends of Electric Vehicle Charging Infrastructure", *The Journal of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol.24, No.5, pp.28-35, 2019.
- [4] Y. S. Son, J. Y. Shin, "Heat Transfer Characteristics of Electronic Components in Horizontal Channel According to Various Cooling Methods", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol.32, No.6, pp.854-861, 2008.
- [5] S. R. Cho, *Power Loss Analysis and Cooling System Verification by Applying SiC Power Semiconductor for High-efficiency and Down Sizing of Drive System for Electric Vehicle*, Master's thesis, Gachon University, Seongnam, Korea, 2022.
- [6] I. S. Jung, "Overview of Electric Vehicle Charger Power Conversion Device", *KIPE MAGAZINE*, Vol.26, No.3, pp.64-67, 2021.
- [7] C. W. Han, *Thermo-fluid Simulation Model with T-Q Characteristic Curve for the Thermal Design of the IGBT Module in the Power Conditioning System*, Ph.D dissertation, University of Seoul, Seoul, Korea, 2016.

조 태 석(Tae-Seok Cho)

[정회원]



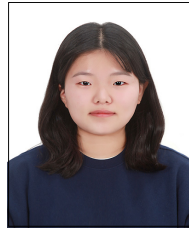
- 2008년 8월 : 경북대학교 일반대학원 기계공학과 (기계공학석사)
- 2019년 7월 ~ 현재 : 대영채비(주) 수석연구원

<관심분야>

공기역학, 유체역학

김 서 진(Seo-Jin Kim)

[준회원]



- 2020년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계공학전공 (학사과정)

<관심분야>

열·유체역학, 전산유체역학

조 목 량(Kil-Dong Hong)

[정회원]



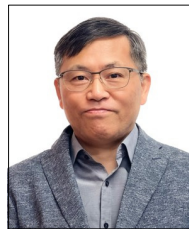
- 2017년 8월 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (기계공학석사)
- 2022년 2월 : 계명대학교 일반대학원 기계공학 (기계공학박사)
- 2021년 10월 ~ 2022년 5월 : 계명대학교 초빙조교수
- 2022년 9월 ~ 현재 : 경북대학교 RIS대학교육혁신본부 계약교수

<관심분야>

전산열유체, 유동가시화, 냉각시스템, 환기시스템

하 지 수(Ji-Soo Ha)

[정회원]



- 1985년 2월 : 한국과학기술원 (공학석사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 2007년 2월 : 현대중공업(주) 산업기술연구소 수석연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계공학전공 교수

<관심분야>

열·유체역학, 전산유체역학

최 현 지(Hyeon-Ji Choi)

[준회원]



- 2023년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (석사과정)

<관심분야>

열·유체역학, 전산유체역학, 냉각시스템