

SiC MOSFET 및 리액터의 냉각 성능 확보를 위한 수냉 구조 설계 및 열유동 해석

송보선, 강덕훈, 한종희, 김왕래, 강호현, 김희중
LS ELECTRIC

CFD analysis and design of liquid cooling system for improving cooling-performance of SiC MOSFET and Reactor

Bo-Sun Song, Deok-Hun Kang, Jong-Hee Han, Wang-Rae Kim, Ho-Hyeon Kang,
Hee-jung Kim
LS ELECTRIC Co., LTD.

ABSTRACT

Global ESS/PCS 사업의 성장과 함께 제품의 경쟁이 심화되고 있다. 제품의 경쟁력을 강화시키고 북미 등 해외 신규 사업에 진입하기 위해서는 신규 인증을 만족하는 고효율 및 고밀도의 제품 개발이 필요하다.

이에, 본 연구에서는 고효율/고밀도에 대한 시장요구를 반영하여 SiC MOSFET에 Liquid cooling 방식을 적용한 PCS를 설계하였고, 열 유동 해석을 통해서 시스템 방열 성능에 대해 검증하였다.

1. 서론

ESS(Energy Storage System)는 불규칙적이고 단속적으로 생산되는 신재생 에너지에서 생산된 전력의 충방전을 통해 신재생 에너지의 출력을 안정시키는 시스템이다.

IRA를 통한 시장의 변화로 태양광/ESS 산업의 규모가 확대됨에 따라 글로벌 ESS 사업자들의 경쟁이 심화되고 있다. 이로 인하여, ESS 시장에서 생존하기 위해서는 제품의 차별화/표준화 및 가격 경쟁력에 대한 확보가 필요한 상황이다.

기존 PCS 제품은 IGBT 반도체에 heatsink를 이용한 Air cooling 시스템으로 냉각 성능을 확보하였다. 추가적으로 냉각 성능을 개선하기 위해 Fan 성능 증가, Heatsink Fin type 변경(press fit type → skived fin type)^[1], Heat-pipe(two-phase cooling system) 등의 아이디어가 있지만, 제품 소음 악화, 양산 원가 증가 등의 한계로 인해 성능 개선의 한계가 있다.

이에, 본 연구에서는 위와 같은 한계점을 개선하기 위해 SiC MOSFET에 Liquid cooling 시스템을 적용하여 제품 동작 소음이 없고, 에너지 밀도를 향상시키며 냉각 성능을 확보한 PCS 제품을 개발하였다. 그리고 시스템의 냉각 성능은 Ansys社. Icepak을 통한 열 유동해석으로 검증하였다.

2. Liquid cooling 구조 설계

그림 1은 전체적인 SiC MOSFET, Reactor 냉각 구조이다. 우측 배관을 통해 냉각수가 유입되어 SiC MOSFET과 Reactor를 냉각시킨 후, 좌측 배관을 통해 유출되는 구조로 설계되어 있다.

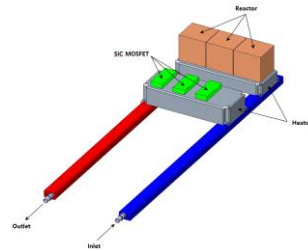


그림 1 SiC MOSFET, Reactor 냉각 구조
Fig. 1 Cooling structure of SiC MOSFET and Reactor

3. 열 유동 해석 전처리

3.1 구조 단순화

열 유동 해석을 진행하기 위해서는 우선 해석 모델의 CV(Control Volume)를 선정하고 구조 단순화 작업이 필요하다. 그림 2와 같이 열전달과 유동 흐름에 관여하지 않는 구조는 전부 제거하였다. 상기와 같은 단순화 작업이 없을 시, 해석 Mesh quality가 낮아지고, 해석 결과에 대한 신뢰성이 떨어지게 된다.

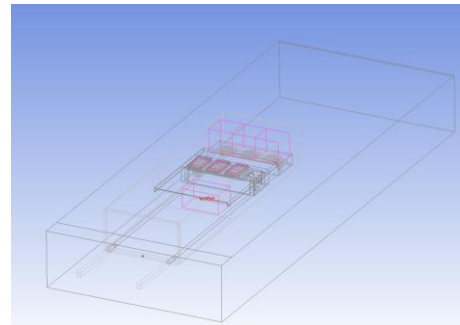


그림 2 PCS 구조 단순화
Fig. 2 Simplification of Power Conversion system

3.2 Mesh 작업

외함의 최대 치수는 1200mm이고, SiC MOSFET의 최소 치수는 85μm이다. 제품 내부의 scale 차이로 인해 mesh quality가 낮아질 수 있다. 상기와 같은 문제점을 개선하기 위해

Non-conformal mesh를 사용하여 mesh quality를 개선하였다. PCS 내부 주요 발열체 부품을 sub-assembly로 구성하여 fine하게 mesh조건을 구성하고, 주요 발열체 주변 부품은 rough하게 mesh조건을 구성하였다. 이에 대한 결과로 총 64,283,369개의 mesh가 형성되었다. Minimum volume $1.78 \times 10^{-13} \text{m}^3$, face alignment 0.046, skewness 2.19×10^{-6} 으로 Icepak의 mesh quality 기준(minimum volume 10^{-13} 이상, face alignment 0.05이상, skewness 0.02이상)을 만족하였다.

4. 열 유동 해석 결과

4.1 해석 조건

표 1과 같이 경계조건 PCS inlet 유속 1.6m/s, 냉각수 온도 30℃, 공간온도 40℃조건으로 발열조건 SiC MOSFET 2100W(700W/EA), Reactor 2200W(733W/EA) 조건으로 해석 진행하였다. 난류 모델은 realizable two equation을 사용했고, radiation모델은 D.O.모델을 사용하였다.

표 1 해석 입력 조건

Table 1 Boundary conditions

구분	Value
유속(m/s)	1.6
냉각수 온도(℃)	30
공간 온도(℃)	40
SiC MOSFET 발열(W)	2100
Reactor 발열(W)	2200

4.2 해석 결과

Liquid cooling 시스템을 적용한 PCS의 열 에너지의 전달은 PCS 외부로 방사되는 방사열량과 냉각수를 통한 수냉각량으로 구분할 수 있다.

PCS 외부로 방사되는 방사열량은 열 유동 해석 결과 309W로 확인하였고, Liquid cooling으로 방사되는 열량은 열용량 계산식인 $Q = c * m * \Delta T$ 을 이용하여 계산하였다. 표 2와 같이 수냉각량은 4435.3W로 확인하였다. PCS 냉각 시스템을 통해 냉각되는 전체 열량은 총 4744.3W로 기존 발열값인 4300W보다 높은 이유는 공간 온도가 냉각수 온도보다 높아, 주변에서 냉각수로 열 에너지가 전달되어 냉각수에 의해 냉각되는 열량이 높아진 것으로 확인된다.

SiC MOSFET의 최대 온도는 102.5℃, Reactor의 최대 온도는 144℃로 부품 관리 온도를 만족하는 것으로 확인하였다.

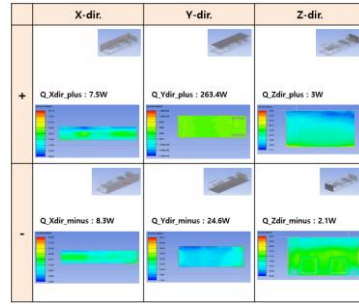
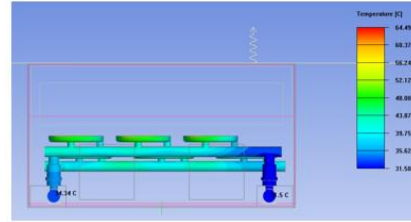


그림 3 PCS 외부 방사열량

Fig. 3 Radiant heat of Power Conversion System



✓ T_inlet : 31.5°C ✓ T_outlet : 34.34°C

그림 4 Inlet/outlet 냉각수 온도

Fig. 4 Coolant temperature of inlet and outlet port

표 2 수냉각량 계산

Table 2 Heat dissipation of coolant

구분	Value
Specific heat (J/kg*K)	3525
Mass flow rate (Kg/s)	0.44
T_inlet (℃)	31.5
T_outlet (℃)	34.34
Density (kg/m3)	1065
Area (m2)	0.00026
수냉각량 (W)	4435.3

5. 결론

본 논문은 고효율의 PCS설계를 위하여 SiC MOSFET에 liquid cooling system을 적용하였다. Liquid cooling system을 통해 PCS 내부 주요 발열체인 SiC MOSFET과 Reactor를 방열성능을 개선시켰고, 그 결과 SiC 최대 온도 102.5℃, 리액터 최대 온도 144℃로 나오는 것을 확인하였다. PCS 전력 손실은 외부로 309W(6.5%) 방사되고, 냉각수를 통해서 4435.3W(93.5%) 방사되는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 김정현, 구민예, 이교우 (2013). 산업용 인버터에 사용되는 압입식 및 압출식 히트싱크의 방열 성능 평가. 한국산학 기술학회 논문지, 14(2), 523-528