

2MVA 수냉형 PCU 설계 및 성능검증

김상현, 임창진, 한종희, 김윤현, 김광섭
(주)포스코ICT

Design and Performance Evaluation for the 2MVA Water-Cooled PCU

Sang Hyun Kim, Chang jin Lim, Jong Hee Han, Yun hyun Kim, Kwang Seob Kim
POSCO ICT

ABSTRACT

본 논문에서는 신재생에너지의 에너지 백업용으로 사용되어 지는 2MVA BESS(Battery Energy Storage System)의 수냉형 PCU(Power Conditioning Unit)을 설계하고 3D 모델링 및 열해석을 통해 열적 안정성을 확인하고 이를 실험으로서 검증한다.

1. 서론

최근 풍력 발전 및 태양광 발전과 같은 신재생에너지의 활용이 늘어나면서 이의 전력을 안정적으로 공급하기 위한 BESS의 개발 및 응용이 증가하고 있으며, 이에 따른 중, 대용량의 전력변환기의 개발 또한 활발히 이루어지고 있다.

에너지 백업용으로 사용되는 Megawatt급의 BESS의 대용량 전력변환장치는 스위칭 소자 손실이 커서 순간적으로 빠른 냉각 설계와 지속적으로 안정적인 냉각 시스템이 필요하다. 또한 신재생에너지를 이용한 발전 단지는 해양 또는 산간지역 같이 주변이 열악한 환경에 설치되는 경우가 대부분이므로 이의 전력변환장치는 밀폐형으로 제작되어지고 있어 외부와의 밀폐 설계가 가능한 수냉형 전력변환 장치의 개발이 요구되어진다.

2. 2MVA 수냉형 PCU 설계

2.1 2MVA 수냉형 PCS 구성 및 PCU 사양

본 논문에서의 PCS는 출력변동이 심한 풍력발전시스템 및 신재생 발전시스템에 연계하여 에너지를 배터리에 저장하거나 저장된 에너지를 계통에 공급하는 시스템이다. 2MVA 수냉형 PCS는 그림 1과 2에서와 같이 PCU(Power Conversion Unit)와 변압기 그리고 스위치기어로 구성되어있다. PCU는 1MVA 전력모듈(power module)와 LCL 필터의 2병렬구조로 되어있고 냉각시스템을 포함하며, 각각의 1MVA 전력모듈은 용량, 전압, 전류의 사양을 고려하여 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 모듈을 4병렬로 구성하여 사용하였다. 그림 1은 2MVA PCS의 구성도이고, 그림 2는 제작된 PCU의 모습이며, 표 1은 그 사양이다.

표 1 2MVA 수냉형 PCU 사양

항목	사양	비고
정격용량	2000[kVA]	
DC	전압범위	720[V]
	전류범위	2880[A]
AC	전압범위	350[V]
	전류범위	3450[A]
스위칭 주파수	4[kHz]	
냉각방식	수냉식	

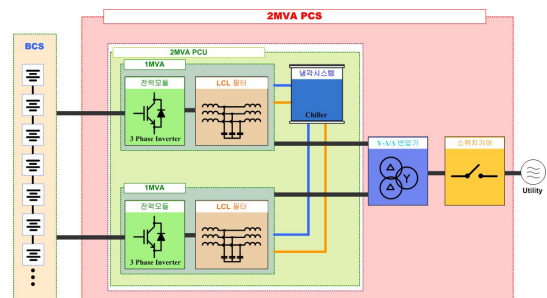


그림 1 2MVA 수냉형 PCS 구성도



그림 2 제작된 2MVA 수냉형 PCU 모습외형

2.2 2MVA 수냉형 PCU 방열설계

본 시스템에서는 Infineon사의 FF1000R17E4 IGBT모듈을 사용하였으며, 최대 손실 조건(100% 부하, IGBT junction 온도 150℃)에서의 IGBT의 손실 2432[W]를 기준으로 방열설계를 하였다. 계산되어진 IGBT 모듈의 손실에서의 식 (1)로부터 계산되어진 냉각에 필요한 냉각수의 최소 유량은 3.8l/min이다.

$$\text{최소유량} [l/min] = \frac{Q[kcal/h]}{60[\text{min}/h] \cdot c[kcal/kg \cdot ^\circ C] \cdot \Delta T[^\circ C]} \quad (1)$$

IGBT모듈의 수냉형 방열판은 위의 과정을 통해 계산된 최소유량 조건과 히트싱크 온도와 IGBT모듈 케이스 온도로부터 얻어지는 최대 열저항(Rth_hc) 조건을 동시에 만족하여야 한다. IGBT 모듈의 Junction 온도 125℃를 기준으로 한 히트싱크의 최대 열저항은 16℃/W이다. 그림 3은 본 시스템에서 사용된 히트싱크(Ferraz H1018976A)의 특성곡선으로서 4lpm이상의 유량이 인가

되었을 때 9°C/W이하의 열저항 특성을 보이며, 최소유량 조건과 최대 열저항 조건을 동시에 만족한다.

$$R_{th_hc} = \frac{T_h - T_c}{P_{loss_module}} \quad (2)$$

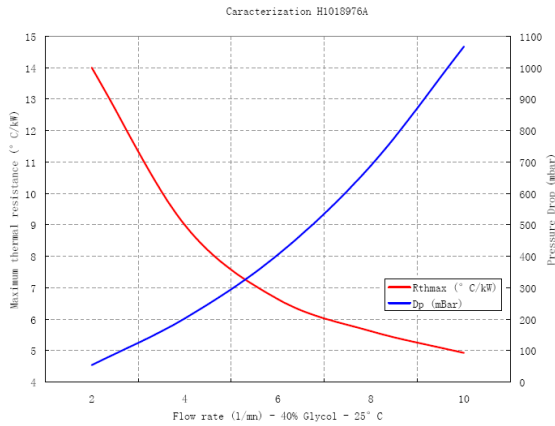


그림 3 수냉형 히트싱트(Ferraz H1018976A)의 특성곡선

2.2.1 열해석 시뮬레이션

IGBT모듈의 관리온도는 설계된 냉각시스템, 수냉형 방열판 그리고 구동 조건에 따라 달라지며, 특히 수냉형 PCU와 같이 밀폐형식으로 제작될 경우 방열설계 및 냉각시스템의 구동 조건은 더욱 중요 시 되어야 한다. 따라서 시스템을 제작하기 전에 시뮬레이션을 통한 열적 설계 검증은 반드시 선행되어야 한다^[1]. 본 과정에서는 ANSYS ICEPAK 툴(Tool)이 사용되어, 시스템 구동조건에서 전력모듈의 열 해석을 진행하였다. 시뮬레이션을 위해 그림 4와 같이 본 시스템의 한 상의 전력모듈과 냉각 배관을 3D로 모델링을 수행하였다.

시뮬레이션에서 IGBT모듈의 냉각수 Inlet온도를 50°C로 진행하였으며, 냉각수에는 부동액 에틸렌 글리콜(ethylene glycol)을 40%을 혼합하였다. 시뮬레이션은 IGBT모듈의 최대 손실 조건에서 진행되었고, 12개의 IGBT와 12개의 다이오드로 구성되어 있는 IGBT모듈을 현실적으로 모델링하였으며, IGBT모듈의 발열량은 IGBT 166W, 다이오드 36.74W이다.

해석 결과 모델링된 4병렬 IGBT의 방열판에는 냉각수가 고르게 분포되어 공급되었으며, 그림 5에서의 결과에서 볼 수 있듯이 수냉형 방열판 출구부분에서 IGBT모듈의 온도는 106°C로 최대값을 보인다. 이는 설계 기준치인 125°C보다 낮은 값으로 열적으로 매우 안정된 범위이며, 본 시뮬레이션 과정을 통해 방열 설계의 타당성이 검증되었다. 또한 IGBT의 손실로 인하여 발열량이 누적되어 냉각수의 온도가 상승되어 9°C 정도 증가되어 배출되는 것을 확인할 수 있었다.

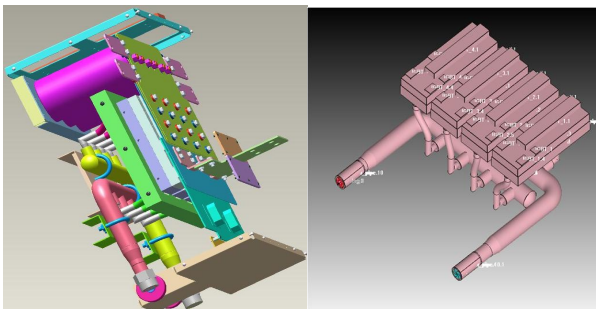


그림 4 열해석을 위한 전력모듈 3D 모델링

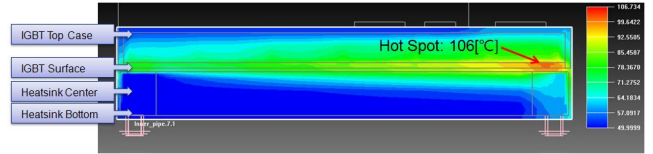


그림 5 #1 IGBT모듈의 열해석 결과 (냉각수 Inlet온도 기준 50°C)

2.3 수냉형 PCS 성능 검증

본 시스템의 방열 성능 검증을 위해 부하 시험 중에 냉각수의 유량 및 유입온도에 따른 IGBT모듈의 NTC온도를 계측하여 시스템의 열적 안정성을 판단하였다. 부하시험에서는 0.3mH의 리액터 부하가 사용되었으며, 냉각수 기준온도 25°C에서 80%, 100%부하에서 진행되었고, 냉각수의 유량은 1한 개의 히트싱크에 유입되는 유량, 10lpm과 4lpm을 기준으로 실시하였다.

2.3.1 시험 결과

그림 6의 시험 결과에서는 80%, 100% 부하에서의 1MVA PCU IGBT모듈의 NTC 온도를 보여 주고 있으며, MARK 2에서 80%에서 100%로 부하를 증가시켰을 때, IGBT모듈의 손실량 증가로 인하여 NTC의 온도가 상승되는 것을 확인할 수 있다. 또한 MARK 3에서 냉각수의 유량을 10lpm에서 4lpm으로 감소시켰을 때, NTC의 온도가 상승하는 것을 확인하였다. 100% 부하, 냉각수 유량 4lpm의 조건이 본 시스템에서의 최대 발열 조건이고 NTC온도는 IGBT모듈의 손실로 인하여 기준온도 25°C 대비 12°C의 온도 편차를 보이고 있지만 이는 Case 관리온도 75°C에 비하면 매우 안정적인 범위이다. 본 실험을 통해 수냉시스템 설계의 적절성이 증명되었으며, 제작된 PCU의 열적 안정성도 또한 확인되었다.

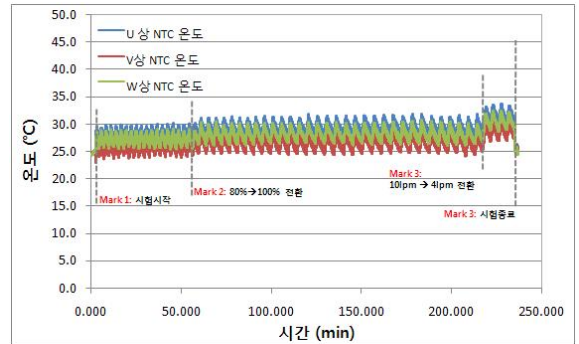


그림 6 부하를 및 냉각수 유량에 따른 IGBT NTC온도 결과

3. 결론

본 논문에서는 2MVA급 BESS에 적용되는 수냉형 PCS의 전력모듈을 설계하였고, 이의 적절함을 확인하기 위해 ANSYS ICEPAK을 이용하여 열설계를 수행하였다. 또한 부하시험을 통한 IGBT모듈의 NTC온도 계측을 통해 시스템의 열적 안정성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] 김경만, 우병국, 강찬호, 조상준, 윤영득, 전태원, "수냉식 대용량 인버터의 방열구조에 따른 냉각효과에 대한 연구", 전력전자학회 2010년도 추계학술대회 논문집, pp. 343 344, 2008.