

# 풍력발전용 전력변환기의 방열을 위한 수냉식 배관 최적 설계

최진호, 오승열, 최정식, 양승학\*, 김대경  
전자부품연구원, 호남대학교 전기공학과\*

## Water Cooling Pipe Optimal design for Heat-Dissipation of wind power converter system

Jin Ho Choi, Seung Yeol Oh, Jung Sik Choi, Seung Hak Yang\*, Dae Kyong Kim  
Korea Electronics Technology Institute, Electrical Engineering Honam University\*

### ABSTRACT

대용량 전력변환기에서 대부분의 열은 IGBT 소자에서 발생한다. 따라서 소자의 방열을 위한 방열시스템은 전력변환기의 구동 뿐 아니라 각 장치들에 대한 소형, 경량화의 추세에 있어서도 중요한 부분을 차지한다. 본 논문에서는 소자의 냉각을 위해 수냉식 방법을 선정하였으며, 배관 구조에 따른 방열판의 방열특성을 비교하여 최적의 배관 구조를 가진 수냉식 방열판을 제안하였다.

### 1. 서 론

전력전자용 분야에서는 다이오드뿐만 아니라 IGBT도 중요한 스위칭 소자로 사용된다. 이들 반도체 소자가 동작하면서 정상상태나 과도상태에서 손실이 발생하면 반도체를 가열하게 되며, 스위칭의 충손실에 더해지게 된다. 전력변환용 소자에 많은 열이 발생하면 전력변환용 소자의 열 저항이 증가하여 소자의 기능저하가 된다. 일반적인 소자의 접합온도는 약 125°C~150°C이며 운전은 70°C~90°C사이에서 안정적인 동작을 한다.<sup>[3]</sup> 냉각 방식 중 공랭식 구조는 간단하고 유지보수가 적게 들지만 시스템이 대용량으로 사용할 때는 방열판의 사이즈가 커지고 방열 능력이 포화되기 때문에 수냉식 설계가 필수적이다.<sup>[1]</sup>

## 2. 방열판 설계 및 시뮬레이션

### 2.1 방열판의 구조선정

제작하고자 하는 방열판은 풍력발전 인버터의 IGBT 소자용 방열판으로 각 2kW급의 소자가 3개 사용되며 방열판의 크기는 3개의 IGBT 모듈을 사용하기 위해 490mm×290mm×35mm (t)로 제한하고 관로의 크기는 Ø15, Ø5로 적용하였다. 시뮬레이션을 위한 방열판의 모델링은 그림1과 같이 관로의 구조를 변경하여 진행하였다.<sup>[4]</sup> 각 방열판의 관로 구조는 하나의 관로로 냉각수가 유동하는 직렬방식과 하나의 냉각수 입구에서 6개의 관로로 냉각수가 고루 분산되고 이후 다시 하나의 관로로 냉각수가 빠져나가는 멀티 열거형 방식을 적용하였으며, 멀티열거형의 경우 관로가 15mm와 5mm인 두 개의 모델링을 진행하였다. 수로의 제작은 알루미늄 원판을 이용하여 수로 형상을 설계하여 건드릴로 형상을 가공하는 형태로 복잡한 형상은 가공이 어렵다는 단점은 있으나, 냉각수 고압 순환이 가능하여 방열특성이 우수하고, 누수가 없으며, 제작비가 절감 되는 장점을 가지고 있다.

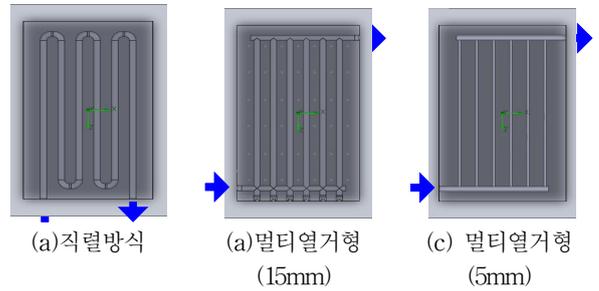


그림 1 방열판 시뮬레이션용 3D 도면

### 2.2 시뮬레이션 환경 및 변수 설정

본 논문에서는 솔리드웍스 기반의 CosmosFloworks 프로그램을 사용하여 수냉식 방열판의 열해석 시뮬레이션을 진행하였다. 방열판의 재질은 알루미늄 60계열이며, 밀도는 2700kg/m<sup>3</sup>, 전도도가 500W/m·°K이며, IGBT 모듈의 접합면에서 열전달 상수값이 1W/m<sup>2</sup>인 알루미늄을 사용하였다. 수로 구조에 대한 열교환 특성을 해석하고, 발열원인 IGBT모듈을 고정하여 발열 전력 2kW급 IGBT모듈 3개를 균일하게 발열 된다는 가정하에 설정하였다. 열원을 부여하여 방열특성과 임의의 위치에 대한 온도 및 물 입구와 출구에 대한 온도에 편차에 대한 방열특성을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션은 유량에 따른 온도 변화 및 방열능력을 파악하기 위해 유량만을 변수로 설정하였으며, 이외의 조건들은 아래 표와 같이 고정시켜 진행하였다.<sup>[5]</sup>

표 1 시뮬레이션 조건

Fluid Temperature	30°C
Ambient Temperature	20°C
Solid Temperature	20°C
Solid Material	AL 60계열
Power Dissipation	8000W

### 3. 시뮬레이션 결과 비교

방열판의 구조선정과 해석환경의 설정에 따라 각 해석을 진행하였다. 아래 그림과 표에서는 해석 결과 방열판 표면 온도 분포 및 냉각수의 온도흐름을 보여준다.

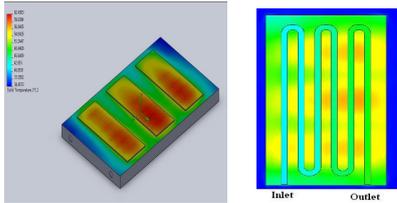


그림 2 직렬형 방열판 표면온도 및 냉각수 온도흐름

표 2 직렬형 방열판 시뮬레이션 결과

inlet Mass Flow(kg/s)	Averaged Value(°C)	Minimum Value(°C)	Maximum Value(°C)
0.1	48.39	34.46	62.44
0.2	42.43	32.55	54.25
0.3	40.13	31.11	53.76

시뮬레이션 결과 직렬형의 경우 온도분포에서 안정적인 결과를 보였으나 냉각수의 이송 중 냉각수 자체의 온도가 상승하기 때문에 outlet 부근에서 온도가 상승하는 현상이 나타났다.

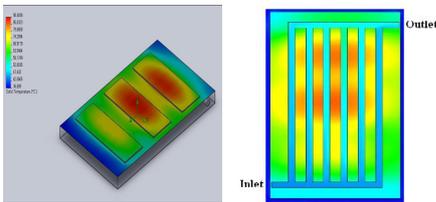


그림 3 멀티열거형(15mm) 방열판 표면온도 및 냉각수 온도흐름

표 3 멀티열거형(15mm) 방열판 시뮬레이션 결과

inlet Mass Flow(kg/s)	Averaged Value(°C)	Minimum Value(°C)	Maximum Value(°C)
0.1	64.66	36.69	90.40
0.2	55.70	33.61	81.09
0.3	53.63	32.24	79.32

멀티열거형(15mm) 방열판은 냉각수의 유입 관로가 가까울수록 압력 강하로 인한 유입 유량에 대비한 유량이 들어가지 못하게 되면서 냉각수가 유입관로에서 가장 먼 관로에 편중되고 가까운 관로에는 냉각수의 유입이 적어 온도가 집중되는 현상이 나타났다.

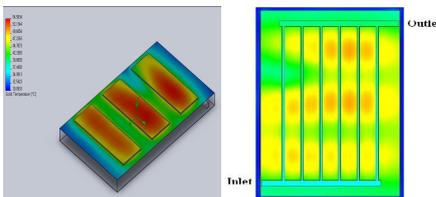


그림 4 멀티열거형 방열판 표면온도 및 냉각수 온도흐름

표 4 멀티열거형 방열판 시뮬레이션 결과

inlet Mass Flow(kg/s)	Averaged Value(°C)	Minimum Value(°C)	Maximum Value(°C)
0.1	51.86	36.47	68.01
0.2	42.72	30.09	54.58
0.3	39.41	26.61	52.00

내부관로가 5mm인 멀티열거형방식의 경우 15mm 관로를 가지는 멀티열거형에 비해 냉각수가 균일하게 유입되어 온도분포가 안정적으로 나타났으나, 유속이 느려짐에 따라 생기는 온

도편차가 직렬방식에 비해 조금 높은 현상을 보였다. 모델링별 평균온도는 동일 유량에서 멀티열거형(15mm)의 평균온도가 현저하게 높게 나왔으며, 직렬방식과 멀티열거형(5mm)은 유량별 온도 및 온도 상승률이 거의 같게 나올 수 있다.

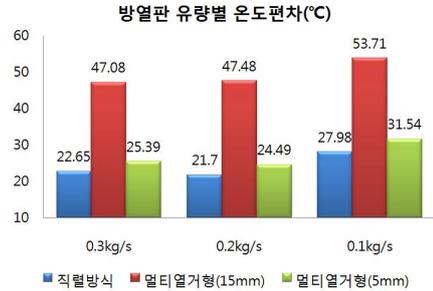


그림 5 유량에 따른 방열판 온도편차 비교

온도편차의 경우 직렬방식<멀티열거형(5mm)<멀티열거형(15mm)의 순으로 직렬방식이 편차가 가장 적게 나왔으나 이 역시 멀티열거형(5mm)과 거의 차이가 나지 않았음을 확인할 수 있다. 멀티열거형(15mm) 방열판의 경우 온도편차가 평균 4~7°C 이상 나왔으며, 이렇게 온도편차가 크다는 것은 열이 한쪽으로 쏠리거나 집중된다고 볼 수 있기 때문에 방열능력이 떨어진다는 것을 의미한다.

#### 4. 결론

이와 같이 각 방열판의 시뮬레이션 결과의 비교를 통해 동일 상황에서 유속을 변화시켰을 때 방열능력은 직렬방식과 멀티열거형(5mm)이 우수하다는 결론을 얻을 수 있었으나 직렬방식의 경우 유속이 느려지면 느려질수록 outlet 부근에 열이 치우칠 가능성이 크며, 이것은 냉각기의 용량 및 장시간 구동·유지에는 불리하다고 볼 수 있다. 이에 반해 멀티열거형의 경우 냉각수가 거의 같은 온도로 각각의 관로에 진입하기 때문에 이러한 문제에서 자유로울 수 있으며, 내부관로를 5mm로 줄인 멀티열거형의 시뮬레이션 결과와 같이 관로의 직경이나 형태의 변형을 통한 온도집중 현상 및 냉각수 유입 문제를 해결한다면 직렬방식보다 효율적으로 개선될 수 있다고 사료된다. 차후 수로 내부의 유동을 난류화 하여 온도의 특성을 고려하며, 외부 강제 공랭식 방법도 병행하여 최적의 조건을 찾는 것도 좋은 사례라고 판단된다.

본 논문은 호남광역경제권 선도산업 육성사업의 “MW급 풍력 발전기용 전력변환기 스택개발지원”과제의 지원으로 연구되었음

#### 참고 문헌

- [1] F.P Incropera, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 3rd Edition
- [2] M.Necati ozisik, "Heat Transfer a Basic Approach". Mcgraw Hill, 1981
- [3] A.F.MILLS, "Basic Heat & Mass Transfer" 2nd Edition, 2003
- [4] "CATIAV5 ver.5.11" S.S Lee, Y.J Hwang, H.J Kim, 2004, pp. 99~178
- [5] "SolidWorks 2009 Bible" Matt Lombard, 2009, pp. 350~580