

회유로 구조를 갖는 전력변환 시스템 방열판 설계

송성근, 최진호, 김도형**, 장미금, 김대경
전자부품연구원, 조선대학교 광응용공학과*

Fin Patterns For Heat Sinks in Water Cooling Loops of Power Converter System

Sung Geun Song, Jin Ho Choi, Do Hyoung Kim*, Mi Geum Jang, Dae Kyong Kim
Korea Electronics Technology Institute, Dept. of Photonic Engineering Chosun University*

ABSTRACT

본 논문에서는 풍력발전용 전력변환기 내부 소자의 방열에 사용되는 수냉식 방열판의 관 형상을 제안한다. 최근 대용량 전력변환기는 소형화 및 효율성이 중요시 되고 있으며, 이에 따라 기구의 안정적이고 장기적인 운영을 위한 수냉식 방열설계가 필수적이라 할 수 있다. 수냉식 방열판은 다수의 원형관으로 구성되며, 이 원형관의 형상은 방열판의 열전달 성능에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서 본 논문에서는 열전달 촉진을 위한 방열판의 관 형상들을 모델링하고 열해석 시뮬레이션을 진행하여 모델링된 방열판들의 방열특성을 비교/분석하였다.

1. 서 론

최근의 신재생에너지 분야에서는 파워 스택의 수명이 중요시 되고 있고, 특히 풍력발전의 경우 고장으로 인한 수리비용 증가로 전력변환기에 대한 장기간 보장을 진행하고 있는 추세이며, 전력변환기에서 가장 높은 열원은 IGBT 모듈에서 발생하는 열을 스택의 냉각시스템에서 얼마나 효율적으로 잡아낼 수 있느냐가 구동에 큰 영향을 미친다. 이에 따라 IGBT 모듈이 설치되는 방열판의 설계는 매우 중요한 부분이며 해석을 위해 IGBT의 사양 및 손실에 따른 발열량에 대해 확실하게 정리되어야 한다. 일반적인 전력반도체 소자의 최대 접합온도는 약 125°C~150°C로 이 이상의 온도가 상승하는 경우 소자가 소손될 우려가 있으므로 열해석을 통한 방열판 설계는 파워스택을 설계하는데 있어 매우 중요한 부분을 차지한다.^[1] 방열판 냉각방식 선정에 대해 수냉식은 높은 발열을 대처할 수 있는 방열능력을 갖추고 동시에 기구 자체의 부피도 공랭식에 비해 현저하게 줄일 수 있기 때문에 풍력발전용 전력변환기와 같이 공간적 제약이 있는 경우에 주로 사용되고 있다. 하지만 수냉식의 경우 여러 환경적 변수 뿐 아니라 단순 방열판의 관로 크기 및 형태, 구조에 따라 방열능력이 큰 폭으로 변화하게 되며, 이에 따라 방열판을 설계하고 제작하기 전 시뮬레이션을 통한 데이터 확보 및 여러 모델링들과의 비교·검토는 필수적이다.^[3]

2. 방열판 설계 및 실험

2.1 이론적 배경

열역학은 열량의 내역에 대해서는 아무런 내용을 말하지 않지만 열전달은 구체적인 방법을 통해서 열량을 시스템 파라미터나 운전 변수와 연관시켜 열전달과 온도 차의 관계를 나타내

며 계수(유속, 난류여부, 방열구조, 열전달촉진 여부, 배플 등 내부유동 안내 유무)의 형태로 구체적인 설계 변수와 연관시킨다. 열역학과 열전달은 열 시스템에 대한 해석을 하는 데 없어서는 안 될 중요한 도구로서, 열역학이 열을 세부 내역에 대한 구분 없이 통째로 변수로 보고 에너지 보존을 만족시키는 기본적인 역할을 한다면 열전달은 열이 시스템 사양이나 운영 파라미터와 구체적으로 어떤 관계를 갖는지를 나타낸다. 열전달 계산에서 아래와 같은 식이 기본으로 사용된다.^[1]

$$Q = m \times C_p \times \Delta t$$

Q = 전달된 열량 (kJ 또는 kcal)

m = 제품의 질량 (kg)

Cp = 제품의 비열 (kJ/kg°C)

Δt = 제품의 온도상승(최종온도 - 초기온도)

위 식은 열전달율에 가열하거나 냉각시킬 때 필요한 열량을 계산하기 위한 식이며 다음은 필요한 열량을 전달하기 위한 전 열면적의 계산식을 나타낸다.^[2]

$$Q = \frac{U \times A \times \Delta t}{1,000} \text{ kW}$$

Q = 필요한 열량 (kW)

U = 총괄 열전달계수 (W/m²°C)

A = 전열면적 (m²)

Δt = 물(증기)과 제품의 평균 온도차 (°C)

대부분의 응용에 사용되는 파워모듈은 열 문제를 가지고 있으며, 냉각을 시키기 위해 별도의 냉각 장치가 있다. 그 중에 하나는 방열판을 이용한 수냉, 공냉 방식이다. 선택 방법은 열 성능, 무게, 비용, 신뢰성 및 제조 가능성 등 고려하여 절충해야 한다. 대용량 IGBT 모듈들은 대개 2,000[W] 이상의 많은 폐열을 발생시키며, 이러한 파워모듈들을 실용적으로 냉각시킬 수 있는 방법은 공랭 및 수랭식이 있다. 공랭식은 고출력에 대비 부피가 상당히 커지므로 소형화와 효율성에서 크게 미치지 못하고 있으며, 수랭식에서 물은 공기의 열전도율이 20배나 되고 비열도 공기의 4배에 달하여 소형화 구조에서 필수적인 냉각방식이다. 파워 모듈 냉각을 최적화하기 위한 파워모듈에 냉각판으로 대체하는 것이다. 열이 냉각판면으로 전달되고, 냉각판은 냉매(물)에 의해 대류성 열전달로 냉각된다. 대류성 열전달 식은 다음과 같이 표현된다.^[4]

$$R_{th} = (T_w - T_f)/q = \frac{1}{h \times A}$$

$$q = hA(T_w - T_f)$$

R_{th} = 방열판의 열저항

q = 열전달(W)
 h = 대류성 열전달계수
 A = 냉각재와 접촉해 있는 냉각판의 표면적
 T_w = 냉각판의 면의 온도
 T_f = 유동 스트림의 유체 온도

T_w 는 IGBT 모듈로부터 구성요소들을 지나 냉각판 면으로 전달되는 열에 의해 결정되고, T_f 는 냉각 시스템의 다양한 파라미터들에 의해 결정된다. 보다 효율적인 전도성 열 경로는 T_w 를 높여 주고 냉각재에 대한 대류성 냉각 성능을 높여 주는 것이다. 그러나 수랭식에서는 h 의 값은 어떤 냉각판을 지정하든 관계없이 비슷한 결과를 도출한다. 결과로 표면적 A 가 수랭식 냉각판이 임의의 주어진 T_w 에서 얼마나 결과가 좋은지 주된 요소임을 알 수 있다.

2.2 방열판 구조설계 및 시뮬레이션

유로 원형관 안쪽에 원형상을 추가하여 제작하였다. 본 실험에서 제작하고자 하는 방열판은 풍력발전 인버터의 IGBT 소자용 방열판으로 소자가 3개 사용되며 이를 위해 방열판의 크기는 139mm×1040mm×30mm(t)로 제한하고 관로의 크기는 $\phi 15$ 로 적용하였다.



그림 1. 흰유로 구조를 갖는 방열판

방열판의 재질은 알루미늄 60계열로, 밀도는 2700kg/m³, 전도도가 500W/m·°K이며, IGBT 모듈의 접합면에서 열전달 상수 값이 1W/m²인 알루미늄을 사용하였다. 시뮬레이션은 모델링한 방열판의 방열능력을 흰구조와 흰이 없는 구조와의 비교하는데 목적이 있으므로 타 조건을 고정하고 냉각수의 유량에 따른 온도변화에 대한 성능분석을 수행 하였다. 열원은 IGBT모듈 소모하는 열량을 계산하여 방열판 위에 균등하게 입력하고 냉각수유입온도는 30°C와 자체 주위온도는 20°C로 고정하여 시뮬레이션을 하였다.

3. 시뮬레이션 및 온도실험 결과

3.1 시뮬레이션 결과

표 1 흰관과 원형관 시뮬레이션 결과

형상	흰관	원형관
표면온도	47°C	76°C
관 온도	35°C	38°C
관 속도	0.35m/s	0.8m/s
유량	0.1kg/s	0.2kg/s

그림 2는 관내부의 외란 점도를 시뮬레이션 한 결과로 외란의 점도가 낮을수록 관내 외란이 많아 열교환이 많이 될 수 있는 조건이 됨을 알 수 있다.

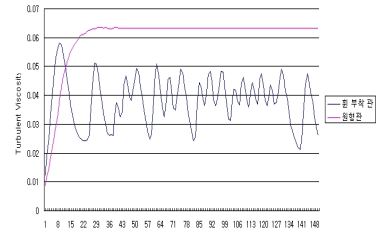


그림 2. 관 내부 외란 점도 특성

3.2 온도 실험 결과

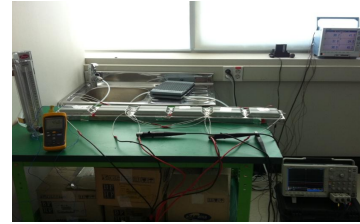


그림 3. 흰관 방열판 온도 실험

다음과 같이 IGBT모듈용 방열판을 제작하여 유량 및 열량의 조건을 시뮬레이션과 같은 조건으로 온도 측정 하였다. 온도 측정 포인트는 방열판 첫 번째 부분과 중간 부분 그리고 끝부분에 측 하였다.

표 2 시뮬레이션 결과와 온도 실험 측정 값 비교

	시뮬레이션 값	실험 값
평균 표면 온도	47°C	45°C
관온도	35°C	32°C
관속도	0.35 m/s	0.32 m/s
유량	0.1 kg/s	0.11 kg/s

4. 결론

흰관과 원형관의 시뮬레이션을 진행한 결과 흰관이 원형관에 비해 열교환율이 높으며, 유로 선정에 있어 관 구조가 방열판의 방열능력에 큰 영향을 미친다는 사실을 확인 할 수 있었다. 또한 흰관 방열판의 시뮬레이션 값과 실제 온도 측정 값의 비교로 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 실제 제작 방열판이 구동하고자 하는 파워스택의 운전에 적합하다는 결론을 얻을 수 있었다.

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

참고문헌

- [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] Fundamentals of COMOSMFloworks, Structural Research and Analysis Corporation, 2002, pp.182 208
- [4] Roache, P.J., Fundamentals of Computation Fluid Dynamics, Hermosa Publishers, Albuquerque, NM 1998
- [5] Valenzuela, J., Jasinski, T., and Sheikh, Z., "Liquid Cooling for high Power Electronics Technology," "Power Electronics Technology," February 2005,pp.50 56