

<응용논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2016.40.2.119>

ISSN 1226-4881(Print)
2288-5324(Online)

열원의 대칭 배열에 따른 압출형 히트싱크의 방열성능 연구

구민예* · 신헌충** · 이교우**†

*전북대학교 기계설계공학부, **한국탄소융합기술원 국제탄소연구소

Effects of Symmetrically Arranged Heat Sources on the Heat Release Performance of Extruded-Type Heat Sinks

Min Ye Ku*, Hon Chung Shin** and Gyo Woo Lee**†

* Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk Nat'l Univ.

** International Carbon R&D center, Korea Institute of Carbon Convergence Technology

(Received July 16, 2015 ; Revised October 12, 2015 ; Accepted December 6, 2015)

Key Words: Heat Sink(히트싱크), Forced Convection(강제대류), Heat Transfer(열전달), Performance Evaluation(성능평가), Symmetrically Arranged(대칭 배열된)

초록: 본 연구는 실험적인 방법과 열유동 해석 방법을 사용하여 대용량 압출형 히트싱크의 방열성능에 미치는 열원 대칭배열의 영향을 고찰하고, 이를 바탕으로 제조원가가 낮은 고효율의 히트싱크를 제안하고자 한다. 실험결과를 통해서 유사한 유효 유동단면적을 가지는 경우에 히트싱크의 전열면적이 방열성능에 큰 영향을 줌을 확인할 수 있었으며, 히트싱크의 양면 모두를 이용하는 방열이 훨씬 효과적인 방열이 가능함을 알 수 있었다. 또한, 대칭으로 열원을 배치한 경우가 비대칭 배치보다 효율적으로 방열됨을 알 수 있었다. 해석연구의 결과를 통해서 실험결과와 정성적으로는 유사한 경향을 확인할 수 있었으며, 실험연구에서 확인하지 못한 질량유량별 및 투입열량별 추이, 단면과 양면 사용의 정량적 비교 등이 가능하였다.

Abstract: In this study we investigated the effects of symmetrically arranged heat sources on the heat release performances of extruded-type heat sinks through experiments and thermal fluid simulations. Also, based on the results we suggested a high-efficiency and cost-effective heat sink for a solar inverter cooling system. In this parametric study, the temperatures between heaters on the base plate and the heat release rates were investigated with respect to the arrangements of heat sources and amounts of heat input. Based on the results we believe that the use of both sides of the heat sink is the preferred method for releasing the heat from the heat source to the ambient environment rather than the use of a single side of the heat sink. Also from the results, it is believed that the symmetric arrangement of the heat sources is recommended to achieve a higher rate of heat transfer. From the results of the thermal fluid simulation, it was possible to confirm the qualitative agreement with the experimental results. Finally, quantitative comparison with respect to mass flow rates, heat inputs, and arrangements of the heat source was also performed.

1. 서론

태양광 인버터는 태양전지 등에서 발생된 직류 전기를 부하나 전력계통에 공급하기 전에 교류 전기로 전환하는 변환장치이다.⁽¹⁾ 인버터는 직류-

교류 변환을 담당하는 절연 게이트 양극성 트랜지스터(insulated-gate bipolar transistors, IGBTs), 다수의 전기전자 부품 및 제어장치, 그리고 방열 시스템으로 구성되어 있다. IGBT는 높은 변환 속도를 가지는 전력 반도체이며 인버터에 필수적인 요소이다. IGBT에서의 직교류 변환에 따른 전력 손실은 열로 나타나고 장치 내부나 소자의 접점

† Corresponding Author, gwlee@jbnu.ac.kr

온도 등을 증가시킨다. 이 열은 IGBT의 특성 저하 및 수명을 단축시킬 수 있다. 때문에, 인버터 내부에서 발생하는 열을 인버터 외부로 방출하는 것은 인버터의 성능 및 수명에 직접적으로 영향을 끼치는 중요한 문제이다.^(2~3) 따라서 오늘날 전력반도체는 효율적이고 신뢰할 수 있는 방열시스템이 반드시 필요하다. 방열 문제는 인버터에서 열원에 해당하는 IGBT가 히트싱크(heat sink)와 같은 방열시스템과 함께 구성되는 이유이다.

히트싱크와 관련된 많은 열공학적 연구가 진행되어왔지만, 대부분의 연구는 PV(photovoltaic) 모듈이나 태양열 집열기의 온도 평가에 집중되었으며, 소수의 제한적인 연구에서 인버터의 온도나 신뢰성에 대한 논의를 진행하였다.⁽⁴⁾ 1996년 Shaukatullah 등⁽⁵⁾은 얇은 막대 형태의 핀(pin) 형상의 핀(fin)을 가지는 전자부품용 히트싱크를 저속 유동 분위기에서 최적 성능을 내도록 설계하여 최적화 한 실험결과를 제시하고, 열저항 측면에서 결과를 고찰하였다. 유갑종 등⁽⁶⁾은 엇갈리게 배치된 스트립(strip) 핀 히트싱크와 판(plate)형 핀을 가지는 히트싱크의 방열성능을 공기유량에 따른 열전달 특성 조사를 통해서 고찰하였다. 이정환 등⁽⁷⁾은 실험과 해석연구를 이용하여 히트싱크를 통한 전자통신 시스템의 방열을 연구하였다. 2007년 Yang 등⁽⁸⁾은 다양한 핀의 형상에 따른 히트싱크의 방열을 조사하였다. 판(plate), 슬릿(slot) 및 루버(louver) 형상의 핀을 가지는 히트싱크가 대상이었으며, 저속 유동영역에서 핀 간격의 영향을 실험적으로 조사하였다. 한편, 팁 클리어런스(tip clearance)와 바이패스 유동이 판형 핀을 갖는 히트싱크의 방열에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하기도 하였다.⁽⁹⁾ 2013년 Schultz⁽¹⁰⁾는 열원인 전력반도체와 히트싱크 사이의 접촉 및 계면 물질에 대한 연구를 진행하기도 하였다. 그밖에 관련업체의 자료⁽¹¹⁾를 통해서 적절한 히트싱크의 분류 혹은 종류 구분, 부착 방법, 강제대류 방향 등의 다양한 요소에 대한 히트싱크 선택 가이드를 제공받을 수도 있다.

따로 제작된 핀(fin)과 베이스 판(base plate)의 조립을 통해 완성될 수 있는 압입형(swaged-type) 히트싱크와 비교할 때 베이스와 핀이 일체형인 압출형(extruded-type) 히트싱크는 열저항이 작으므로 보다 양호한 열전달 특성을 보일 수 있다. 뿐만 아니라 제작단가 측면에서도 강점을 가질

수 있기 때문에 압출형 히트싱크는 전자부품의 방열을 비롯한 다양한 형태의 중소형 방열시스템에서 사용되고 있다. 하지만 본 연구의 대상인 태양광 인버터와 같은 대형 히트싱크를 압출형으로 제작하는 경우에는 다수의 핀에 의한 큰 전열면적으로 인해서 매우 큰 압출 압력과 설비의 대형화가 요구된다. 따라서 압출 방식 히트싱크는 많은 장점에도 불구하고 압출할 수 있는 히트싱크 크기의 제약이 수반될 수 있다.

본 연구에서는 압출형 제작 방식과 열원의 양면 배치를 이용하여 제조원가가 저렴하면서 방열 성능은 우수한 고효율 히트싱크의 설계 가능성을 확인하고자 한다. 인버터 내의 배선 구조의 어려움으로 인해 히트싱크의 단면만을 활용하고 또한 크기 문제로 인해 압출형을 택하지 못하고 압입형 히트싱크를 사용하는 기존의 방식 대신 압출형 히트싱크를 사용하고 대칭 혹은 비대칭으로 히트싱크의 양면에 배열된 열원을 조합하여 고효율 방열을 달성하고자 하였다. 사용된 각각의 히트싱크에 대한 방열율과 히트싱크 베이스 상의 기준위치의 온도 등을 측정하고 평가하였다. 또한 실험결과를 보완하기 위하여 상용 열유동 해석 프로그램을 통하여 히트싱크 양면 사용과 열원의 대칭배열의 장점을 확인하였다.

2. 실험 및 열유동 해석

2.1 실험방법 및 내용

먼저 Fig. 1에서 본 연구의 대상인 히트싱크의 실험장치의 개념을 설명하고자 한다. 그림은 각각 위와 옆에서 장치를 본 개략도이고, 아래의 그림은 각 부분에서의 단면을 나타내고 있다. 그림과 같이 히트싱크 상부에 위치하는 열원은 인버터 내부의 전력반도체를 모사하기 위해 대체한 것이다. 상하부 베이스 사이와 핀으로 구성된 히트싱크 내부로 팬(DC axial fan 6314/2TDHHP, ebmpapst)을 통한 강제대류가 지나가면서 열원에 의해 가열된 베이스와 핀에서 열을 전달받는 상황이다. 히트싱크를 통한 열전달량은 히트싱크를 통과하는 공기의 질량유량과 히트싱크 전후단의 공기의 온도차에 의해 결정된다. 본 연구에서는 팬을 통한 공기유동이므로 히트싱크 규격이 달라짐에 따라 전후의 입력손실 변화로 인해 공기의 질량유량은 다소 차이가 발생할 수 있으며, 이는 히트싱크의 단면적에서 베이스와 핀의 단면적을

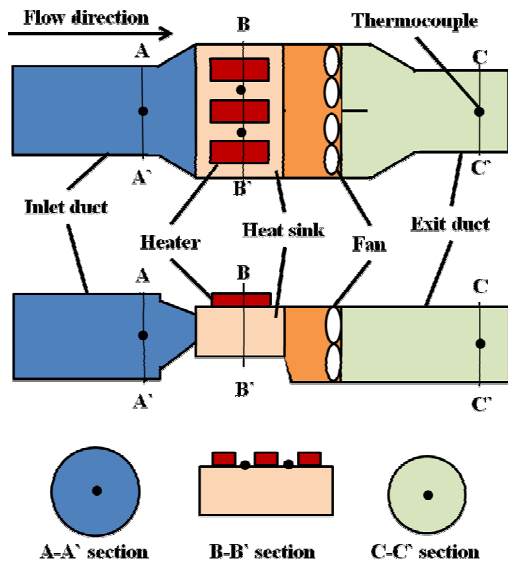


Fig. 1 Schematics of upper, side and section view of experimental setup

제외하고 유동이 흘러갈 수 있는 빈 공간인 유효 유동단면적과 관계된다.⁽¹²⁾

인버터 생산업체에서 현재 일반적으로 주력 생산하는 중대형 태양광 인버터는 350 kW 규모이며, 여기에는 히트싱크 1개와 팬 2개 및 IGBT 3개 등으로 구성된 PEBB(power electronic building block)이 2개 혹은 3개가 병렬로 설치되어 있으며(stack), 각각의 PEBB은 사용되는 IGBT의 변환용량에 따라 약 120 - 180 kW의 전력변환을 담당한다. 본 연구에서는 인버터 생산업체인 K사에서 사용하고 있는 D사의 압입형 히트싱크의 실물 규격을 사용하고자 하는데, 유동이 통과하는 전면부 폭 400 mm, 길이 325 mm, 높이(핀 높이 및 상하 베이스 두께 포함) 100 mm의 규격이다.

기존의 방열시스템은 인버터 내부의 복잡한 배선과 구조 등으로 인하여 인버터의 한쪽 면만을 사용하고 있다. 본 연구에서는 Fig. 1의 그림과 같은 기존 히트싱크의 사용방식에 대비하여 히트싱크 상하면에 모두 열원을 배치하여 방열하는 히트싱크의 배열방식을 제안하고 검증하고자 한다. 양면 배열이 대칭인 경우와 비대칭인 경우도 비교하여 효과적인 방열을 확인하고자 하였다.

열원인 IGBT 발열을 모사하기 위해 60×140×20 mm³(가로×세로×높이)의 알루미늄 블록에 발열체를 삽입하여 열원으로 사용하며, 블록의 위치는 히트싱크에 위치하는 IGBT의 위치와 동일하게 설치하였으며, 열전도성 그리스를 도포하여 히트

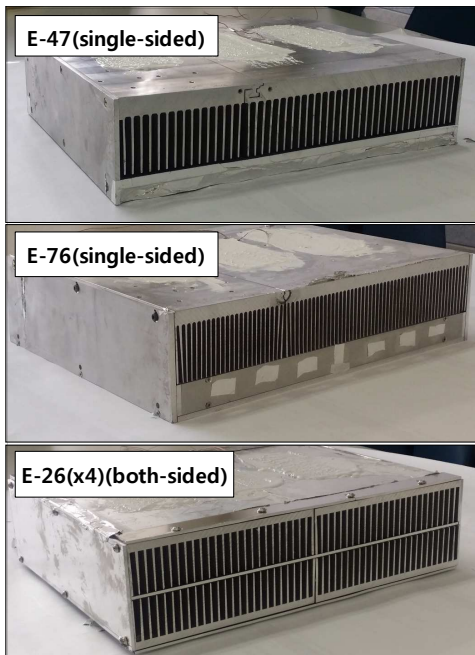
싱크와의 접촉을 용이하게 하였다. 온도 측정을 위한 열전대는 T형 열전대(TG-T-36-500, Omega Co.)를 제작하고 보정하여 사용하였으며, 히트싱크 전후의 공기온도와 히트싱크 베이스 상부 기준온도(열원 사이의 중간 부분)를 측정하였다.

또한, 열선 유속계를 입구 덕트에서 약 800 mm 떨어진 위치에 설치하여 히트싱크를 통과하는 공기의 질량유량을 측정하였다. 측정된 공기의 유속을 덕트 단면에 대한 평균유속으로 사용하기 위해 환산비를 이용하여 계산하였다. 덕트는 충분히 매끄러운 관이고 유속 측정부에서의 공기 유동은 충분히 발달했으며 측정된 유속은 최대 유속으로 가정하였다. 측정된 최대 유속과 평균유속의 환산비는 유동의 레이놀즈 수(Re 수)에 따라 달라지며, 이 환산비를 이용하여 최대 유속을 덕트 단면에 대한 평균유속으로 환산해 줄 수 있다.⁽¹³⁾ 환산된 평균유속을 이용하여 각 히트싱크를 통과하는 공기의 질량유량을 계산하였다. 레이놀즈수는 히트싱크 종류에 따라 평균 유속에 대하여 약 $6.8 \sim 11.1 \times 10^4$ 정도의 값으로 계산되었다. 평균유속을 계산하기 위하여 사용된 환산비는 0.837 ~ 0.843 범위였다.^(12,13) 일반적으로, 난류 덕트 유동에서 완전히 발달된(fully developed) 유동이 되기 위해서는 덕트 길이와 직경의 비(L/D)가 20 이상이어야 한다고 알려져 있다.⁽¹³⁾ 하지만 본 실험의 경우, 입구 덕트 길이를 길게 하면 하류에 위치한 유도 팬(induced fan)의 압력손실이 증가되어 질량유량의 현저한 감소를 예상할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실험실이라는 한정된 공간과 압력손실을 고려한 덕트 길이 및 직경을 생각하여 장치를 구성하였다.

Fig. 2에 본 연구의 실험에 사용한 세 종류의 히트싱크의 사진을 보여주고 있으며, Table 1에 각각의 규격 및 특징을 명시하여 나타냈다. E-47, E-76, E-26(×4)으로 명명된 세 히트싱크는 모두 압출형이며, 각각 47, 76, 26개의 핀을 가지는 경우이다. 47핀과 76핀은 단면만을 사용하는 경우이며 상부에 열원이 부착된다. 26개의 핀을 가지는 E-26 히트싱크는 사진에서 보는 바와 같이 4개의 히트싱크가 조합되어 하나를 구성하는 형태이며 열원은 상하 양면 모두에 배치된다. E-47과 E76의 경우에는 하부 베이스와는 직접 연결되지 아니한 상태이며 따라서 상부에만 열원을 배치할 수 밖에 없는 기존의 압출형 히트싱크의 구조이

Table 1 Specifications of heat sinks for experiment

| Name of Heat Sink | Dimensions of Heat Sinks(Unit:mm) | | |
|--|-----------------------------------|-------|----------|
| | E-47 | E-76 | E-26(x4) |
| Width(W) | 402 | 402 | 202 |
| Length(L) | 325 | 325 | 325 |
| Height(H) | 100 | 100 | 50 |
| No. of Heat Sink Used | 1 | 1 | 4 |
| No. of Fins | 47 | 76 | 26 |
| Length of Fin | 55.0 | 55.0 | 42.5 |
| Thickness of Fin | 2.0 | 1.5 | 2.0 |
| Fin Spacing | 8.7 | 5.4 | 8.0 |
| Upper Base Thickness | 18.5 | 12.0 | 7.5 |
| Lower Base Thickness | 26.5 | 33.0 | 7.5 |
| Heat Transfer Area (m ²) | 1.825 | 2.903 | 3.094 |
| Effective Cross-sectional Area of Flow (m ²) | 0.017 | 0.016 | 0.026 |

**Fig. 2** Photos of the three heat sinks investigated in this experiments 0.44 kg/s

다. 이에 대비하여 E-26 히트싱크는 이러한 단면 활용 히트싱크 4개를 대칭으로 마주보도록 배치한 형태이다. 히트싱크의 방열 특성에 주요한 인자인 전열면적과 유효단면적은 Table 1에 명시하였는데, E-76과 E-26(x4) 히트싱크는 전열면적 측면에서는 유사했지만 유효 유동단면적은 E-26(x4) 히트싱크가 훨씬 큰 값으로 조사되었다. 이는 압

출방식으로 제작하는 경우에 압출압력 과다로 인해 핀의 길이나 수량이 제한되기 때문에 발생하는 문제이다. E-26(x4) 히트싱크의 경우에는 작은 히트싱크를 대칭배열 함으로서 이러한 제약을 해결함과 동시에 제조원가 절감이 가능할 수 있다.

히트싱크의 단면 사용과 양면 사용을 비교하는 실험에서는 1,710 W (570 W×3개 혹은 285 W×6개)와 3,420 W (1,140 W×3개 혹은 570 W×6개)를 투입열량으로 사용하였으며, 양면 사용 히트싱크에서 열원 배치의 영향을 확인하기 위한 실험에서는 비대칭 배치는 2,850 W (570 W×5개), 대칭 배치는 3,000 W (500 W×6개)를 사용하였다.

방열성능을 평가하는 지표로는 열원을 통해 투입되는 열량 대비 히트싱크를 통한 방열량을 측정하여 평가하였다. 방열량은 히트싱크의 공기유량 및 전후단의 온도 차이를 통해서 다음 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 식에서 아래첨자는 공기를 나타내고 \dot{Q} 는 방열량, \dot{m} 은 공기의 질량유량, C_p 는 공기의 비열, ΔT 는 히트싱크 전후단의 공기 온도 차이를 나타낸다.⁽¹⁴⁾ 또 다른 성능지표로는 히트싱크 베이스 위의 열원 사이의 온도를 측정할 수 있다. 이는 열원인 IGBT의 온도를 직접 모니터링 할 수 없기에 실제 시스템 운용에서 활용되는 기준온도로서 통상적으로 70~80 °C 이하로 관리되어야 한다.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{air} \times C_{p,air} \times \Delta T_{air} \quad (1)$$

2.2 열유동 해석 방법 및 내용

앞서 언급한 것과 같이 서로 다른 세 히트싱크에 대한 방열성능 실험 결과만으로 히트싱크 양면 사용의 영향을 정량적으로 논하기에 부족하다고 판단하여, 상용 열유동 해석 프로그램(Fluent)를 사용하여 정량적인 비교를 시도하였다. Fig. 3은 해석에서 적용한 히트싱크 단면/양면 사용과 열원 배치 대칭/비대칭을 도식화하여 나타낸 것이다. 해석을 시도한 히트싱크에 관한 규격과 특징은 Table 2에 나타냈다. 외형 규격은 실험과 동일하며, 전열면적은 E-26(x4) 히트싱크보다 크고(약 13%) 유효 유동단면적은 작다(약 27%). 외기 온도는 20 °C로 설정하였으며, 표준 $k-\epsilon$ 난류모델을 사용하였다. 히트싱크를 통과하는 공기유량은 0.11, 0.22,의 세 경우에 대하여 해석하였으며, 히트싱크 단면/양면 사용을 비교하는 계산에서는 1,950 W (650 W×3개 혹은 325 W×6개)와 3,900 W (1,300 W×3개 혹은 650 W×6개)를 투입열량으

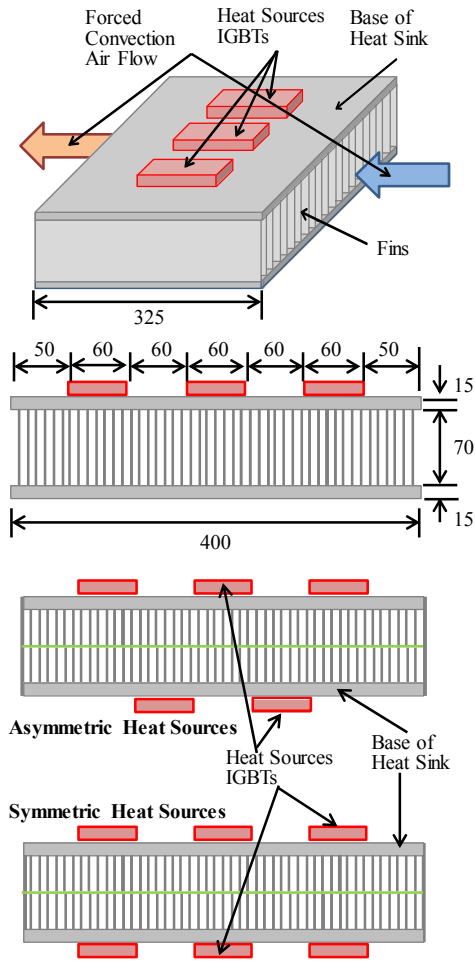


Fig. 3 Schematics of a heat release through the heat sink and several cases of heat source arrangement

로 사용하였으며, 양면 사용 히트싱크에서 열원 대칭 배치의 영향을 확인하기 위한 계산에서는 3,250 W (비대칭 열원 배치는 650 W×5개, 대칭 열원 배치는 542 W×6개)를 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 결과 및 고찰

Fig. 4에서는 두 가지 투입열량에 대한 세 히트싱크의 베이스 기준온도(Fig. 4-(a))와 방열률(Fig. 4-(b)) 결과를 보여주고 있다. E-47 히트싱크의 경우, 두 투입열량 1,710 W와 3,420 W에 대하여 각각 공기의 질량유량은 0.275 kg/s과 0.263 kg/s으로 측정되었다. E-76 히트싱크의 경우에는 각각 0.242 kg/s와 0.240 kg/s으로 측정되었다. 마지막으로 E-26(×4) 히트싱크는 두 투입열량에 대하여 각각 0.394 kg/s와 0.386 kg/s으로 측정되었다.

Table 2 Specification of a heat sink for simulation

| Dimension of Heat Sink Used for Simulation (Unit:mm) | | | |
|--|------|---|-------|
| Width(W) | 400 | Thickness of Fin | 1.5 |
| Length(L) | 325 | Fin Spacing | 5.3 |
| Height(H) | 100 | Upper Base Thickness | 15.0 |
| No. of Heat Sink Used | 1 | Lower Base Thickness | 15.0 |
| No. of Fins | 74 | Heat Transfer Area(m ²) | 3.507 |
| Length of Fin | 70.0 | Effective Cross-sectional Area of Flow(m ²) | 0.019 |

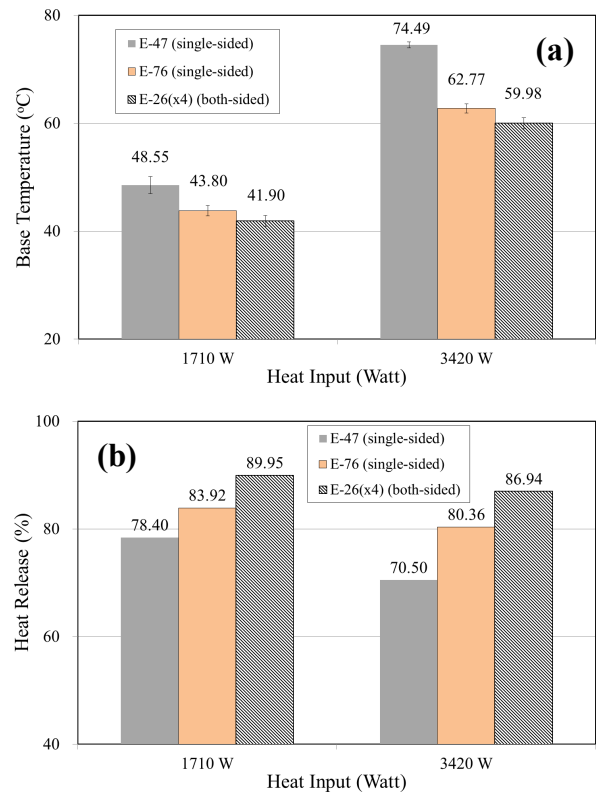


Fig. 4 Measured base temperatures and heat release rates of the single- and both-side used heat sinks with two heat inputs

먼저, 투입열량이 1,710 W인 경우를 보면, Table 1을 참조하여 예상할 수 있는 것처럼 단면 사용의 경우에 전열면적이 훨씬 큰 E-76 히트싱크가 E-47 히트싱크에 비해 베이스 온도는 4.7 °C 가량 낮고, 방열률은 5% 이상 높음을 볼 수 있다. 전열면적이 유사한 E-76과 E-26(×4)에 대하여 각각 단면과 양면에 열원을 배치한 경우를 살펴보면, 양면을 모두 사용한 E-26(×4) 히트싱크가 단면만을 사용한 E-76 히트싱크에 비해 베이스

온도는 1.9 °C 낮고, 방열률은 6% 가량 높음을 확인할 수 있다. 투입열량이 2 배인 3,420 W인 경우에는, 이러한 경향을 더욱 명확하게 확인할 수 있다. E-76 히트싱크가 E-47 히트싱크에 비해 베이스 온도는 11.7 °C 가량 낮고, 방열률은 9.8% 이상 높음을 볼 수 있다. 또한, 양면을 모두 사용한 E-26(×4) 히트싱크가 단면만을 사용한 E-76 히트싱크에 비해 베이스 온도는 2.8 °C 낮고, 방열률은 6.5% 이상 높음을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통해서 유사한 유동단면적을 가지는 경우 히트싱크의 전열면적이 방열성능에 큰 영향을 줌을 확인할 수 있었으며, 양면 모두를 이용하는 방열이 효과적인 방열이 가능함을 알 수 있었다.

Fig. 4의 결과에서 E-26(×4) 히트싱크의 양면 사용은 Fig. 3의 우측 아래와 같이 열원이 상하 베이스에 대칭형으로 배치된 경우를 의미한다. Fig. 5의 결과는 E-26(×4) 양면 사용의 경우에서 동일한 투입열량에 대하여 열원을 대칭과 비대칭으로 구분하여 어느 것이 더 효율적으로 방열하는지를 알아보려고 하는 것이다. Fig. 3의 아래

두 그림의 배치상태에 대해 비교하는 실험내용이다. 당초 설계와는 약간씩 발열량이 달리 제작된 카트리지 히터의 용량으로 인해 히터 5개와 6개의 열량 합은 각각 2,850 W와 3,000 W로 측정되었다. 결과에서, 적은 투입열량임에도 불구하고 비대칭인 경우가 베이스 기준온도가 3.1 °C 가량 높았으며 방열률은 7% 이상 낮게 측정되었다. 대칭으로 열원을 배치한 경우가 효율적으로 방열됨을 알 수 있었다. 이는 보다 넓은 전열면적을 효과적으로 방열에 이용한 결과로 판단된다.

3.2 열유동 해석 결과 및 고찰

히트싱크의 형상 변화에 따른 팬 공기유량의 변화를 고려해야 했던 실험과는 달리 해석연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 공기유량을 0.11, 0.22, 0.44 kg/s의 세 경우로 고정하고 결과를 도출하였다. Fig. 6은 투입열량 1,950 W에서 히트싱크의 단면 및 양면 사용에 대하여 이상의 세 공기유량에 대한 베이스 기준온도와 열원부의 온도(최고온도)를 나타내고 있다. 동일한 히트싱크에

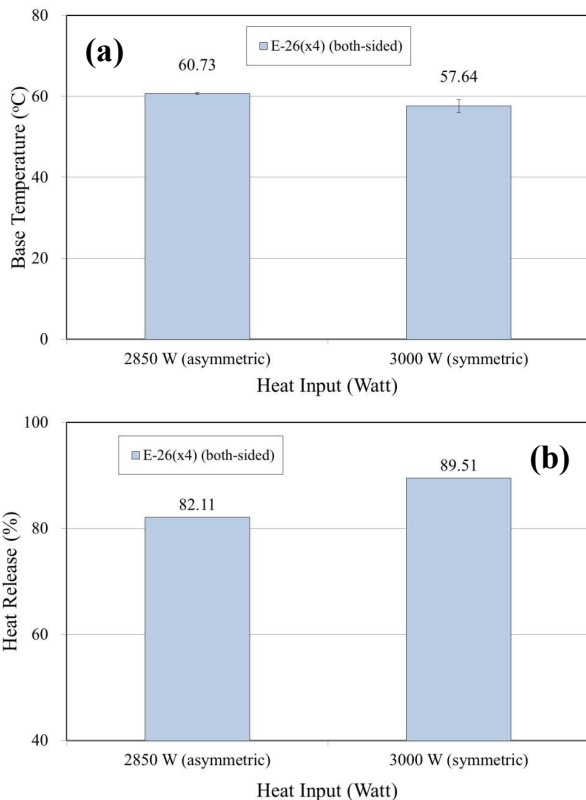


Fig. 5 Measured base temperatures and heat release rates of the both-side used heat sinks having asymmetrically- and symmetrically-arranged heat sources

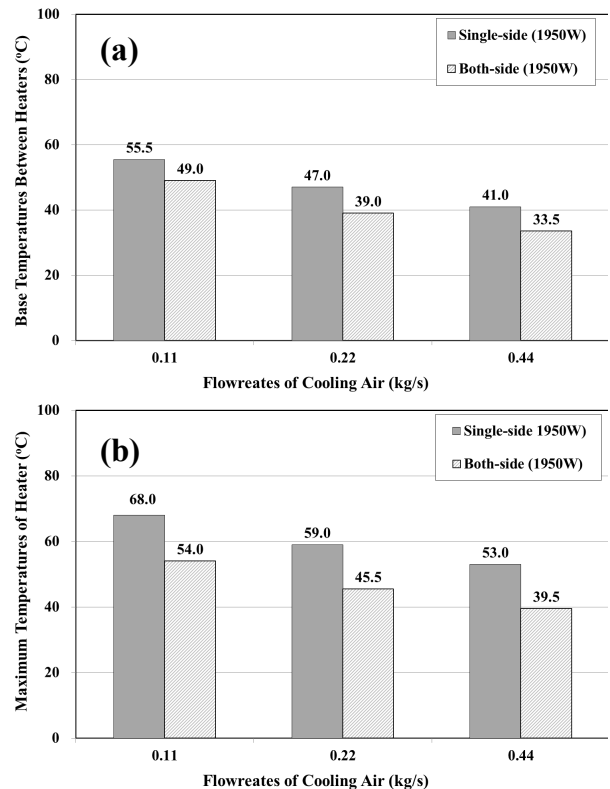


Fig. 6 Simulation results of base and maximum temperatures of the single- and both-side used heat sinks with air flowrates (1950W heat input)

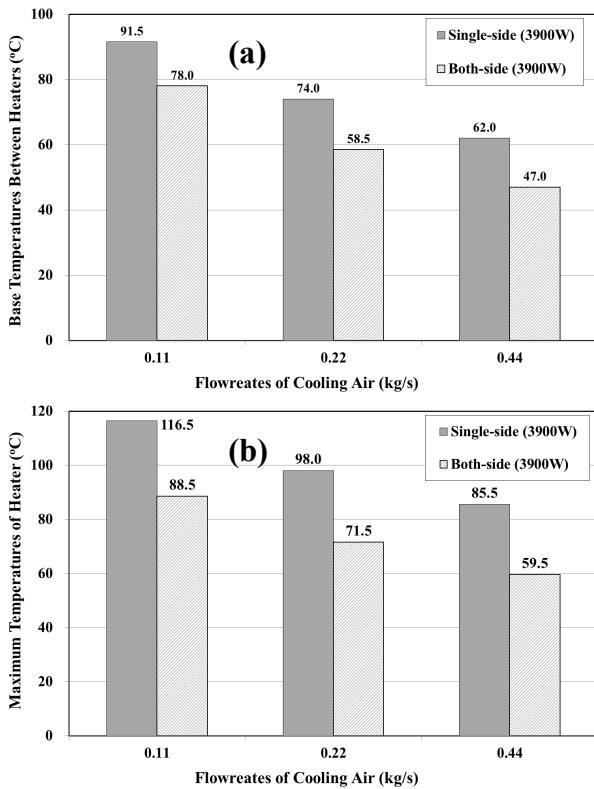


Fig. 7 Simulation results of base and maximum temperatures of the single- and both-side used heat sinks with air flowrates (3900W heat input)

대하여 공기유량이 증가하면서 방열량이 증가하여 온도는 낮아지며, 단면 사용보다 양면을 모두 이용하여 방열하는 경우에 기준온도는 6.5~8.0°C, 열원부의 최고온도는 13.5~14.0 °C 더 낮게 계산되었다. Fig. 7은 투입열량 3,900 W에서 히트싱크의 단면 및 양면 사용에 대하여 베이스 기준온도와 열원부의 온도(최고온도)를 나타내고 있다. Fig. 6의 1,950 W 투입열량일 때보다 더 심화된 경향을 보이는데, 단면 사용보다 양면을 모두 이용하여 방열하는 경우에 기준온도는 13.5~15.5 °C, 열원부의 최고온도는 26.0~28.0 °C 더 낮게 계산되어 방열이 개선되었음을 알 수 있었다.

실험에서 확인한 대칭 열원 배열의 방열증대 효과를 해석으로 확인하기 위하여 Fig. 3의 아래와 같이 5개(비대칭)와 6개(대칭)의 열원 배치를 적용하여 해석을 시도하였으며 결과를 Fig. 8에 나타냈다. 총 투입열량은 3,250 W였다. 대칭으로 열원을 배치한 경우에 비대칭 배치보다 열원 사이의 기준 위치에서의 온도는 3.0~5.0 °C, 열원부(최고) 온도는 6.0~7.0 °C 가량 낮게 계산되어

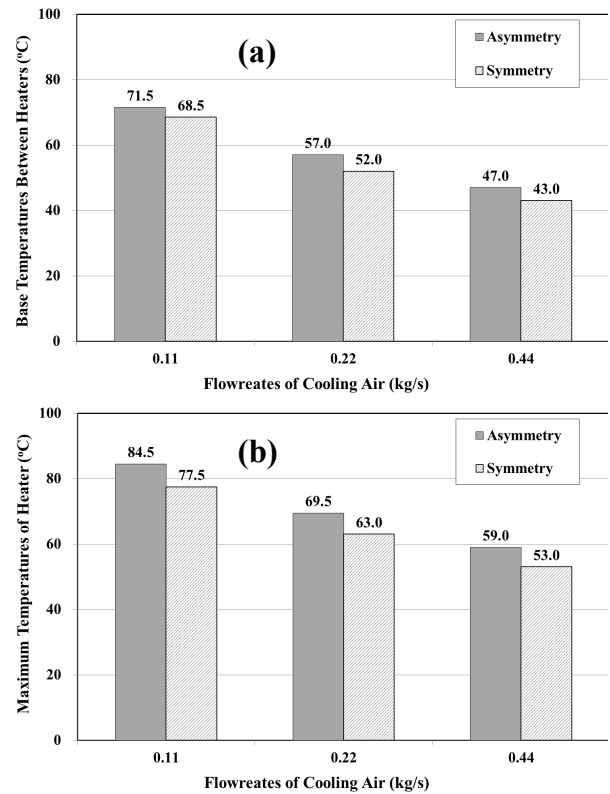


Fig. 8 Simulation results of base and maximum temperatures of the heat sinks with asymmetrically- and symmetrically-arranged heat sources with air flowrates (3,250W heat input)

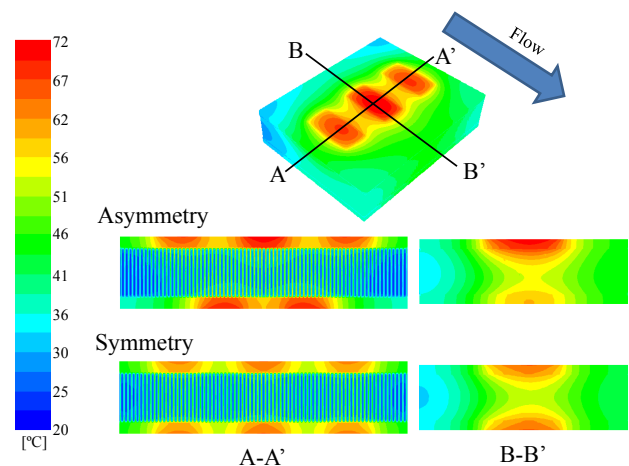


Fig. 9 Temperature contours of central sections and center fins in the heat sink simulations for the cases of asymmetry and symmetry heat sources

보다 효과적이 방열이 가능함을 알 수 있었다. 이러한 경향의 이유는 히트싱크 폭과 길이 방향의 중앙부에 대한 단면의 온도분포를 보여주는 Fig. 9에 보인 핀의 단면 온도분포를 통해서 알 수 있는데, 동일한 투입열량에 대하여 여섯 개의

대칭 배열 열원 경우가 전열면적을 고르게 활용하여 효과적으로 방열하고 있음을 볼 수 있다.

이상의 해석결과는 히트싱크의 형상, 투입열량이나 유량조건 등에서 실험과 차이가 있어서 실험결과와는 정량적으로 다소 차이를 보이지만, 정성적으로는 유사한 경향을 확인할 수 있었으며 실험연구에 확인하지 못한 질량유량별 및 투입열량별 추이, 단면과 양면 사용의 정량적 비교 등이 가능하도록 도움을 받을 수 있었다.

4. 요약

실험결과를 통해서 유사한 유효 유동단면적을 가지는 경우에 히트싱크의 전열면적이 방열 성능에 큰 영향을 줌을 확인할 수 있었으며, 히트싱크의 양면 모두를 이용하는 방열이 훨씬 효과적인 방열이 가능함을 알 수 있었다. 또한, 대칭으로 열원을 배치한 경우가 보다 효율적으로 방열됨을 알 수 있었다.

해석연구를 통해서도 실험연구와 정성적으로는 유사한 경향을 확인할 수 있었으며, 실험연구에 확인하지 못한 질량유량별 및 투입열량별 추이, 단면과 양면 사용의 정량적 비교가 가능하였다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0009109).

참고문헌 (References)

- (1) Chou, W., 2008, "Choose Your IGBTs Correctly for Solar Inverter Applications," *Power Electronic Technology*, August, pp. 20~23.
- (2) Oh, K. S., 2001, IGBT Basics 1 Fairchild Semiconductor (Application Note 9016), p. 15.
- (3) Han, M., Lee, S.-D., Hong, C., Yang C.-S. and Kim, K.-S., 2007, "Development of Water-Cooled Heat Sink for High-Power IGBT Inverter," *The 7th Int. Conf. on Power Elec.*, pp. 295~299.
- (4) Sorensen, N. R., Thomas, E. V., Quintana. M. A., Barkaszi, S., Rosenthal, A., Zhang, Z. and Kurtz, S., 2012, "Thermal Study of Inverter Components," *IEEE Photovoltaic Specialists Conf.* (June 3-8, Austin, Texas), NREL/CP-5200-55509.
- (5) Shaukatullah, H., Storr, W. R., Hansen, B. J. and Gaynes, M. A., 1996, "Design and Optimization of Pin Fin Heat Sinks for Low Velocity Applications," *IEEE Trans. on Comp., Pack. Manufac. Tech.-Part A*, Vol. 19, No. 4, pp. 486~494.
- (6) Riu, K.-J., Park, C.-W., Kim, H.-W. and Jang, C.-S., 2005, "Cooling Characteristics of a Strip Fin Heat Sink," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 29, No. 1, pp. 16~26.
- (7) Lee, J.-H., Kim, J.-M., Chun, J.-H., Bae, C.-H. and Suh, M.-W., 2007, "Development of Thermal Design Program for an Electronic Telecommunication System Using Heat Sink," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 31, No. 3, pp. 256~263.
- (8) Yang, K.-S., Chiang, C.-M., Lin, Y.-T., Chien, K.-H. and Wang, C.-C., 2007, "On the Heat Transfer Characteristics of Heat Sinks: Influence of Fin Spacing at Low Reynolds Number Region," *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 50, pp. 2667~2674.
- (9) Kim, J. W., Kim, S. H. and Kim, J., 2010, "Thermal Optimization of a Straight Fin Heat Sink with Bypass Flow," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 34, No. 2, pp. 179~184.
- (10) Schulz, M., 2013, "Improved Thermal Transfer for Power Modules," Article Power Electronics Europe 03/2013.
- (11) Application Note AND9016/D (ON Semiconductor[®]), 2015, "Heat Sink Selection Guide for Thermally Enhanced S08-FL," Feb., 2015-Rev.1, pp. 1~7.
- (12) Kim, J. H. and Lee, G. W. 2013, "Performance Evaluation of Swaged- and Extruded-type Heat Sinks Used in Inverter for Solar Power Generation," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 37 No. 10, pp. 933~940.
- (13) White, F. M., 2003, "Fluid Mechanics," 5th ed., McGraw-Hill.
- (14) Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L. and Lavine, A. S., 2006, "Introduction to Heat Transfer," 5th ed., John Wiley and Sons.