

# 팬싱크의 입구 봉쇄에 따른 유동 및 냉각 특성에 관한 연구

이 경 용\* · 최 영 석\* · 윤 재 호\*

## A Study on the Flow and Cooling Characteristics with the Inlet Blockage of a Fan-Sink

Kyoung-Yong Lee\*, Young-Seok Choi\*, Jae-Ho Yun\*

**Key Words** : Fan-Sink(팬싱크), Heat Sink(히트싱크), Axial Fan(축류팬), Operating Condition(운전상태), Thermal Performance(열성능), Inlet Blockage(입구봉쇄)

### ABSTRACT

In this study, the flow and thermal performance of the heat sink and fan-sink were experimentally studied to predict the operating condition of the fan-sink. The experiments of the flow and thermal resistance of the heat sink with various inlet blockage, which were occurred by the shapes of the axial fans, were conducted for the proof of the effects of the inlet blockages. The greater the inlet blockage of the heat sink, the higher the pressure drop and lower the thermal resistance of the heat sink will be. The operating point of the fan-sink was predicted by the pressure drop curve with the inlet blockage, which was corresponded to the selected fan and the fan performance curve, and verified by the performance test of the fan-sink. The predicted operating point of the fan-sink had good agreement with the result of the performance test of the fan-sink within 0.7% of the volume flow rates. Measured thermal resistance of the fan-sink was equivalent to that of the heat sink with the same inlet blockage of the fan-sink. It was shown that the heat transfer characteristics of the heat sink were influenced by the flow interaction between the selected fan and the heat sink. To improve the thermal resistance of the heat sink, it is necessary to consider appropriate flow patterns of the fan outlet entering into the heat sink.

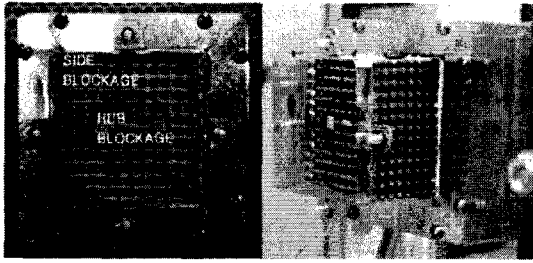
### 1. 서 론

팬싱크(fan-sink)는 팬(fan)과 히트싱크(heat sink)가 결합된 대표적인 강제대류 냉각방식으로써 우수한 내구성, 단순한 구조 및 저렴한 제작비로 인하여 컴퓨터 및 전자기기의 냉각에 널리 사용되고 있다. 일반적으로 팬싱크의 열효율을 증가시키기 위하여 팬 자체의 성능을 개선하거나 또는 히트싱크 자체의 열효율을 증대시키는 개별적인 연구가 적용되어 왔으며, 최근에

와서는 축류팬(axial fan)을 적용하는 시스템과 축류팬 사이의 상호관계까지 고려하는 연구가 수행중이다.

조진수<sup>(1)</sup> 등은 기존의 팬싱크 냉각 시스템의 성능 개선의 방법으로 마이크로 팬(micro fan)의 후류 유동을 분석하여 유동저항 감소와 유량 증가를 위한 히트싱크를 설계하는 연구를 수행하였다. S.C. Lin<sup>(2)</sup> 등은 팬싱크를 컴퓨터에 장착하는 경우, 케이스 및 다른 구조물로 인하여 팬싱크의 팬 입구부에 발생하는 봉쇄(blockage)의 거리에 따라 팬싱크의 유동, 소음 및 열 성능을 측정하여 분석하였다. 이경용<sup>(3)</sup> 등은 팬싱크에서

\* 한국생산기술연구원 에너지시스템팀  
E-mail : yschoi@kitech.re.kr



(a) front view (b) side view  
Fig. 1 Photograph of heat sink

팬의 구조에 따라 발생하는 히트싱크의 입구봉쇄(inlet blockage)를 변화시키며 히트싱크의 유동특성 변화를 알아보았으며, 입구봉쇄에 따른 압력강하 및 팬 성능 곡선을 통해 팬싱크의 운전점을 예측하였고 실험결과와 비교하였다. 또한 팬싱크의 수치해석을 통해 히트싱크에 축류팬이 체결되었을 경우의 내부 유동장을 분석하였다.

본 연구의 목적은 팬싱크에 적용되는 축류팬의 구조로 인하여 발생하는 히트싱크의 입구봉쇄에 따라 히트싱크의 유동 및 열성능을 측정하고, 정확한 팬싱크의 운전점 유량과 열저항(thermal resistance, R)을 결정하는 것이다. 히트싱크의 유동 및 열성능을 측정하기 위해 소형 송풍기 성능시험장치(fan tester)에 히트싱크를 장착하여 유량 변화에 따른 압력강하 실험을 수행하였고, 히트싱크의 밑면에 발열원(heater)을 부착하여 유량 변화에 따른 온도변화를 측정하였다. 또한 히트싱크의 규격에 맞는 팬을 장착하여 팬싱크 냉각장치를 구현하여 유동 및 열성능을 측정하였고, 히트싱크의 유동 및 열성능 실험결과로부터 도출된 예측결과와 비교하였다.

## 2. 히트싱크의 유동 및 열성능 실험

### 2.1. 실험장비 및 방법

본 연구에서는 소형 송풍기 성능시험장치<sup>(3)</sup>를 사용하여 히트싱크의 압력강하 및 열저항을 측정하였다. Fig. 1은 팬테스터의 측정부에 부착된 히트싱크의 정면(a) 및 측면(b) 형상이다. 본 연구에 사용된 히트싱크는 유로가 형성된 Al 판재를 적층하고 브레이징(brazing) 기법으로 접합하여 제작된 적층형 히트싱크(layered heat sink)로써 규격은 50(W)×50(D)×32(L)mm이다. 입구봉쇄에 따른 유동특

성을 알아보기 위해 히트싱크의 입구부에 축류팬을 체결하였을 경우 발생하는 허브(hub) 및 측면(side)봉쇄 효과를 모사한 형상을 Fig. 1(a)에 나타내었다. 축류팬의 쉬라우드 케이스(shroud case)에 해당하는 측면봉쇄(Bside)는 히트싱크의 입구면적을 기준으로 선정된 축류팬의 쉬라우드 케이스와 동일한 크기로 제작하였으며 히트싱크 입구면적의 29.1%에 해당된다. 축류팬의 허브로 인한 봉쇄는 지름이 각각  $\Phi 15.4(B1)$ ,  $19.4(B2)$ ,  $22.6(B3)$ ,  $26.2(B4)$  및  $29.9(B5)$ mm가 되도록 제작하여 측면봉쇄를 포함한 입구봉쇄량이  $B1=36.6$ ,  $B2=40.9$ ,  $B3=45.2$ ,  $B4=50.7$  및  $B5=57.2\%$ 이 되도록 히트싱크 입구부에 설치하였다.

히트싱크의 열성능 측정을 위해 히트싱크의 밑면에 필름형 저항식 히터가 부착된 구리판( $50 \times 50 \times 2$ mm)을 설치하고 Fig. 1(b)와 같이 구리판과 발열체의 열손실을 최소화하기 위해 석고와 미네랄울(mineral wool)로 단열시켰다. 공기 입출구 온도, 히트싱크 표면온도 및 발열체 표면온도를 측정하기 위하여  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 의 정밀도를 갖는 T형 열전대(copper-constantan)를 사용하였으며, 발열체의 구리판 위에 5개, 히트싱크의 입출구부에 각각 1개 및 히트싱크 표면에 3개를 설치하였다. 발열체에 입력되는 발열량은 디지털 전력공급기(Unicom, UP1202)를 사용하여 설정하였으며 전력량, 전압 및 전류는 디지털 전력측정기(Yokogawa, WT210)로 측정하였다. 측정된 온도는 데이터 취득장치 시스템(Yokogawa, DA100)을 이용하여 기록하였다.

히트싱크의 유동특성 실험은 보조 송풍기의 회전수를 증가시키며 다중 노즐의 차압을 통해 계산된 유량과 히트싱크의 출구 이후의 정압을 측정하였으며 유량 측정의 정확도를 높이기 위해 유량범위에 알맞은 노즐을 선택하였다. 히트싱크의 열성능 실험은 유동특성 실험과 동일한 입구봉쇄량에서 발열체로 공급되는 열량을 40W로 고정하고 각각의 유량에 따라 측정된 온도로부터 열저항을 계산하였다.

### 2.2. 실험결과 및 고찰

#### 2.2.1. 유동특성 실험

일반적으로 히트싱크의 유동 및 열성능 실험은 히트싱크로 균일한 유동이 유입되도록 실험장치를 구성한다.<sup>(4)</sup> 그러나 팬과 히트싱크가 체결된 상황에서는 히트싱크의 입구로 균일한 유동이 유입되는 결과와 다른

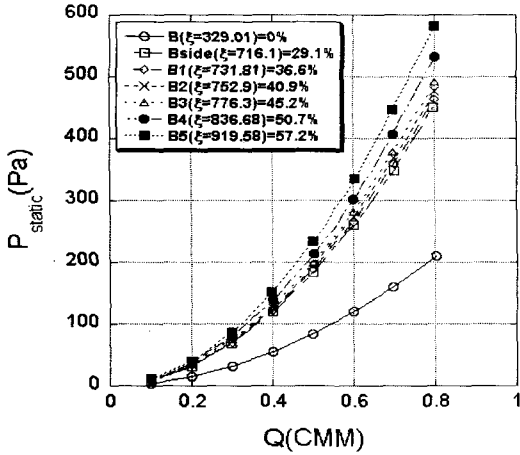


Fig. 2 Pressure drop and loss coefficient of heat sink

경향을 보이며 팬싱크의 유동성능을 분석하기 위해서는 팬에 의한 입구봉쇄를 고려한 히트싱크의 유동특성 분석이 우선되어야 한다.<sup>(3)</sup>

Fig. 2는 히트싱크의 유동특성 실험결과로써 각각의 입구봉쇄에서 히트싱크에 유입되는 유량 변화에 따른 압력강하를 나타내었다. 동일한 입구봉쇄에서 유량이 증가함에 따라 압력강하도 증가하는 경향을 확인할 수 있었으며, 특히 측면봉쇄에 해당되는 Bside의 경우는 입구봉쇄가 없는 경우에 비해 압력강하량이 동일 유량에서 현저히 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 유동특성을 정량적으로 분석하기 위해 유량(Q)증가에 따른 압력강하( $\Delta P$ )의 경향을 식(1)에서 정의한 손실계수(loss coefficient,  $\xi$ )로 나타내었다.

$$\Delta P = \xi Q^2 \quad (1)$$

각각의 입구봉쇄에 대한  $\xi$ 을 곡선적합(curve fitting)하면 식(2)와 같은 경향을 보이며, 동일 유량에서 입구봉쇄에 따른 압력강하는 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

$$\xi = 0.26747B^2 - 15.883B + 952.82 \quad (2)$$

여기서 B는 봉쇄량(%)이다.

Fig. 2 및 Fig. 3의 결과를 통해 히트싱크의 유동형태를 예측할 수 있다. 히트싱크의 입구부에 측면봉쇄가 발생되었을 경우, 입구봉쇄가 없는 경우에 비해 동일한 유량에서 압력강하량이 급격하게 증가하는 경향을 통해 본 연구에 사용된 적층형 히트싱크에서는 유

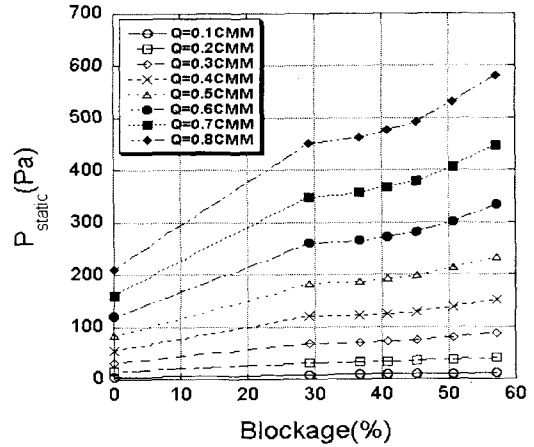


Fig. 3 Pressure drop of heat sink according to blockage

동저항이 상대적으로 적은 모서리 부분으로 유동이 집중된다는 것을 예측할 수가 있다. 또한 Fig. 3에서 측면봉쇄에 해당되는 Bside의 이후에 허브봉쇄의 증가에 따른 압력강하 형태를 통해 저유량보다 고유량에서 허브봉쇄가 히트싱크의 유동형태에 영향을 미친다는 예측이 가능하다. 그러나 입구봉쇄 실험의 경우 팬을 결합하였을 경우의 입구면적만을 고려하였을 뿐 축류팬의 출구 속도 성분은 고려되지 않아서 실제 팬싱크의 유동특성과 정확하게 일치한다고 할 수는 없다. 따라서 히트싱크의 유동특성 실험 분석을 통해 팬싱크 냉각장치를 구성하는 과정에서 팬의 구조로 인하여 발생하는 입구봉쇄를 고려하면 대략적인 팬싱크의 압력강하 예측이 가능하다고 판단된다.

## 2.2.2. 열성능 실험

강제대류 냉각장치에서 히트싱크의 열성능 실험은 히트싱크의 밑면에 발열체를 부착시키고, 히트싱크의 입구부에 팬이 장착되어 히트싱크로 공기를 공급시키는 효과를 모사하기 위해 유량측정이 가능한 풍동을 사용하여 특정한 유량에서 발열체의 온도 및 히트싱크 입구부의 온도를 측정한다.<sup>(4)</sup> 본 연구에서는 히트싱크의 입구봉쇄에 따른 열성능 변화를 알아보기 위해 유동특성 실험과 동일하게 입구봉쇄를 구현하여 열성능 실험을 수행하였고, 각각의 입구봉쇄에서 식(3)으로 정의한 열저항값을 유량변화에 따라 살펴본 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

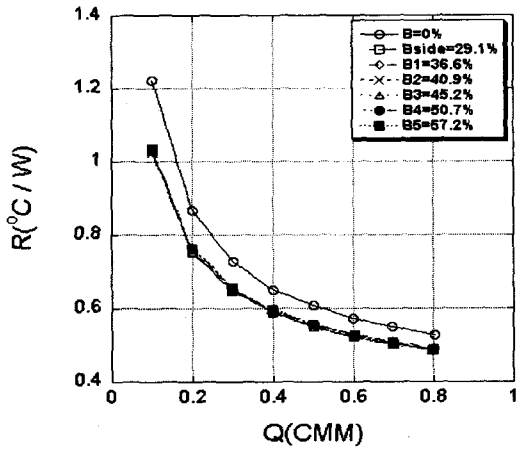


Fig. 4 Thermal resistance of heat sink

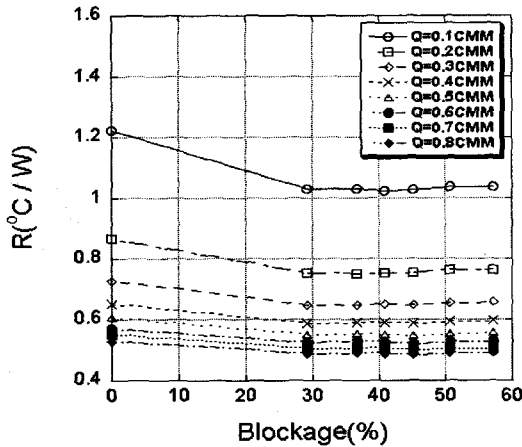


Fig. 5 Thermal resistance of heat sink according to blockage

$$Q_{\text{heat}} = \frac{1}{R} \Delta T \quad (3)$$

여기서  $Q_{\text{heat}}$ 는 히트싱크의 밑면에 부착된 발열체에 공급되는 전열량(W)이며,  $R$ 은 열저항,  $\Delta T$ 는 발열체의 온도와 히트싱크의 입구 온도 차이(°C)이다.

Fig. 4의 결과를 보면 유량이 증가함에 따라 열저항이 감소하는 경향은 입구봉쇄와 관련없이 모두 유사한 경향을 보이고 있으나, 동일유량에서 측면봉쇄가 발생하면 입구봉쇄가 없는 결과에 비해 상대적으로 열저항 값이 작게 측정되었다. 그러나 측면봉쇄 이후, 허브봉쇄가 증가함에 따른 열저항 값의 변화를 구분하기 어려워 동일 유량에서 입구봉쇄와 열저항의 비교를 Fig.

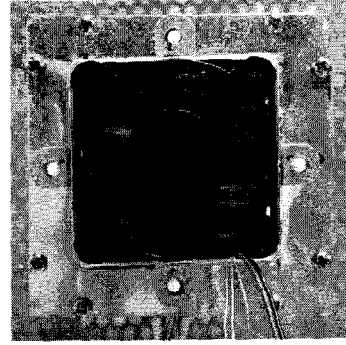


Fig. 6 Photograph of fan-sink

5에 나타내었다. 측면봉쇄에 의해 열저항 값이 감소하는 경향은 Fig. 4와 동일하게 관찰할 수 있었으나 측면봉쇄 이후에 허브봉쇄가 증가함에 따라 열저항 값이 거의 일정한 경향을 보이고 있다. 이것은 허브봉쇄에 따라 압력강하가 변화하는 히트싱크의 유동특성 실험 결과와 달리 열저항 실험에서는 허브봉쇄가 히트싱크의 열성능에 미치는 영향은 측면봉쇄에 비해 상대적으로 작다고 판단된다.

히트싱크의 유동 및 열성능 실험을 통해 입구봉쇄에 따른 유동특성과 열성능 변화를 알아보았다. 이러한 실험 결과는 향후 히트싱크의 열용량에 따라 적절한 팬을 선택하는데 있어 선택기준으로 활용 가능하며, 히트싱크의 설계 및 형상변경에 적용하여 히트싱크의 유동 및 열성능 개선에 반영되어야 한다고 판단된다.

### 3. 팬의 유동 및 열성능 실험

#### 3.1. 실험장비 및 방법

최근 수행되는 팬싱크 냉각시스템에 대한 연구는 팬과 히트싱크의 상호관계를 고려하여 히트싱크 및 팬의 형상을 변경하거나, 팬싱크의 작동환경등을 고려하여 손실로 발생될 수 있는 인자에 대한 분석이 주를 이루고 있다. 그러나 이러한 연구들은 특정한 팬을 사용하여 수행한 결과 위주로 서술하였기 때문에 다른 팬을 사용하였을 경우 동일하게 적용이 가능한가에 대한 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 일반적으로 팬을 체결하였을 경우 발생하는 현상을 파악하고 다른 종류의 팬을 적용하였을 경우 고려해야할 사항에 대한 정보를 획득하기 위해 히트싱크 및 팬의 개별적인 성능을 분석하였으며

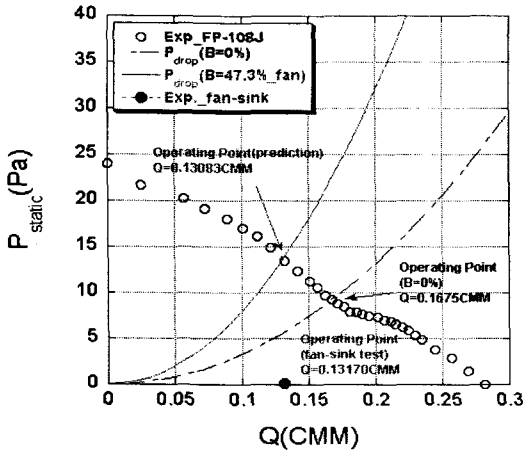


Fig. 7 Performance and system curve of fan and heat sink

검증을 위해 팬싱크에 관한 유동 및 열성능 실험을 수행하였다.

팬싱크의 유동 및 열성능 실험은 기존의 히트싱크와 동일한 실험장치를 사용하였고 히트싱크의 입구부에 팬을 체결하였으며 Fig. 6에 정면 형상을 나타내었다. 실험에 사용된 축류팬은 팬 성능시험 결과<sup>(3)</sup>를 포함하고 있는 모델이다. 팬싱크의 유동 및 열성능 실험은 팬싱크가 설치된 팬테스터의 유동측정 챔버 정압이 0(zero)이 되는 유량을 운전점이라 정의하고 유량과 열저항을 측정하였다.

### 3.2. 실험결과 및 고찰

Fig. 7에서 팬 성능곡선 및 히트싱크의 압력강하곡선을 통해 예측한 팬싱크의 운전점과 팬싱크의 실험결과와 비교하였다. 히트싱크의 압력강하곡선에서 입구봉쇄가 전혀 없는 결과(B=0%)를 통해 예측된 결과는 팬싱크 실험값 기준으로 약 27%의 차이를 보이고 있으나 팬에 의한 입구봉쇄를 고려한 결과(B=47.3%)는 약 0.7%의 오차를 보이고 있다. 결국 팬싱크의 운전점을 예측하는데 있어 팬에 의한 입구봉쇄를 고려하지 않았을 경우, 실제와 다른 운전점을 예측하게 되며 또한 열성능 실험에서도 유량에 따른 열저항을 표현하는 과정에서 오차가 발생할 가능성이 있다. 따라서 히트싱크를 설계하고 절절한 팬을 적용하는 과정에서 팬에 의한 히트싱크의 입구봉쇄에 대한 고려가 반드시 필요하다.

팬싱크의 열성능 실험 결과는 Fig. 8에 나타내었다.

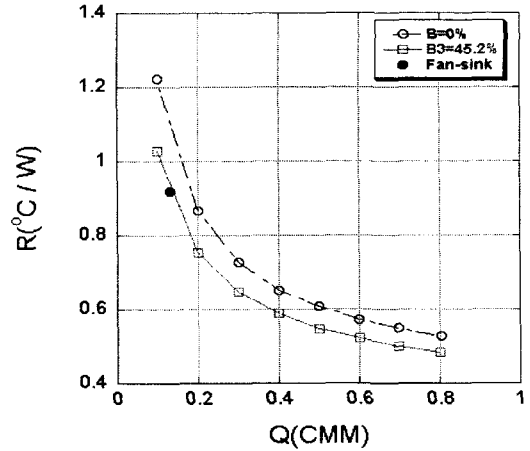


Fig. 8 Thermal resistance of heat sink and fan-sink

팬싱크의 유동특성 실험에서와 같이 입구봉쇄에 따른 열저항값의 변화를 알아보기 위하여 입구봉쇄를 고려하지 않은 열저항 결과와 팬의 입구봉쇄(47.3%)와 유사한 크기의 입구봉쇄(B3=45.2%)가 존재할 경우의 열저항 결과 및 팬싱크의 열저항 결과를 비교하였다. 팬싱크의 열저항값은 앞서 팬싱크의 유동특성 실험의 운전점 유량을 사용하여 나타내었다. 결과를 보면 히트싱크의 입구봉쇄량이 B3=45.2%인 열저항 결과와 팬싱크의 열저항 결과가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 비교를 통해 본 연구에서 팬싱크의 유동 및 열성능을 측정하기 위해 히트싱크의 입구봉쇄를 고려한 방법의 타당성을 검증할 수 있었으며 팬싱크의 정확한 성능 분석 및 개선에 활용이 가능하다고 판단된다. 특히 팬싱크의 열저항 측정에 있어서 팬싱크의 운전점을 정확하게 규명하지 못하면 측정된 열저항값을 실제와 다른 유량에 대한 열저항값으로 잘못 판단하는 오류가 발생할 수 있다. 또한 팬싱크의 운전점 유량 및 열저항은 팬싱크의 열용량과 관련이 있는 중요한 인자로서 팬싱크의 열용량을 제시하거나 열용량을 증대시키고자 할 경우 정확한 분석이 필수적이다.

### 3.3. 측면봉쇄에 따른 유동 및 열성능 실험

입구봉쇄에 따른 히트싱크의 유동 및 열성능 실험 결과에서 측면봉쇄가 발생되면 유동저항이 적은 히트싱크 모서리 부분의 유로가 차단되어 급격한 압력강하 및 열저항 감소를 확인할 수 있었다. 또한 동일한 측면봉쇄에서 허브봉쇄만 증가시켰을 경우에는 유동특성

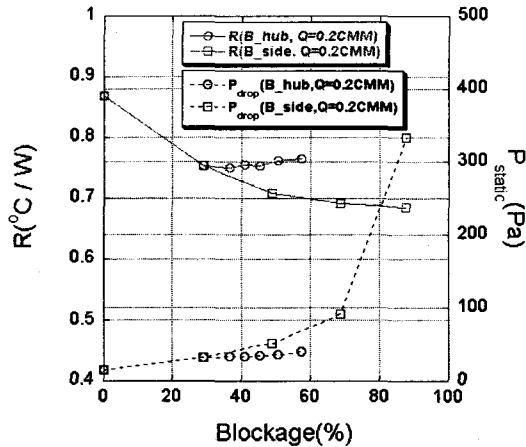


Fig. 9 Pressure drop and thermal resistance of heat sink

은 변화하나 열성능값은 거의 일정하였다. 본 연구에서는 측면봉쇄가 히트싱크의 유동 및 열성능에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 측면봉쇄를 48.7, 68.6 및 87.8%로 증가시켜 히트싱크의 유동 및 열성능 실험을 수행하였다.

Fig. 9는 측면봉쇄만 존재하는 경우(B\_side) 및 측면봉쇄와 허브봉쇄가 동시에 존재하는 경우(B\_hub)에 대해 유량이 0.2CMM일 때 압력강하와 열저항값을 입구봉쇄량에 따라 비교한 결과이다. 압력강하의 경향을 보면 팬의 측면봉쇄와 동일한 29.1% 이후에 허브봉쇄의 증가에 의한 압력강하량(B\_hub)에 비해 측면봉쇄의 증가에 따른 압력강하(B\_side)가 상대적으로 크게 나타났다. 열저항값에 대한 비교에서는 측면봉쇄가 증가함에 따라 열저항값이 감소하는 경향을 보이고 있다.

측면봉쇄에 따른 유동 및 열성능 실험결과를 통해 유동저항을 나타내는 압력강하 경향은 측면봉쇄량이 증가함에 따라 급격하게 증가하고, 열성능을 나타내는 열저항 경향은 측면봉쇄량이 증가함에 따라 감소한다는 결과를 얻었다. 그러나 측면봉쇄량이 48.7%의 경우에는 측면봉쇄와 허브봉쇄가 모두 존재하는 경우에 비해 압력강하량은 약 44%가 증가하였으며, 열저항은 약 6% 감소하였다. 동일한 입구봉쇄량으로 표현되지만 측면봉쇄만 존재하는 경우에는 유동저항이 강한 히트싱크의 중심부로 유동이 강제 집중되어 압력강하량은 매우 큰 폭으로 상승하는 경향을 보이거나 유로의 변화로 인한 열저항값의 감소폭은 매우 적다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 입구봉쇄의 종류와 봉쇄량을 적절히 조절함으로써 최적의 팬싱크 냉각장치의 구성

이 가능하리라 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 팬싱크에 적용되는 축류팬의 구조로 인하여 발생하는 히트싱크의 입구봉쇄에 따라 히트싱크의 유동 및 열성능을 측정하고, 정확한 팬싱크의 운전점 유량과 열저항을 결정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 팬싱크를 구성하고 있는 히트싱크는 적용되는 축류팬에 의한 입구봉쇄로 인하여 유동 및 열성능이 변화하며 봉쇄량에 따른 손실계수의 모델링을 통하여 특정 입구봉쇄에 대한 히트싱크의 유동특성 예측이 가능하다.

2) 입구봉쇄에 따른 히트싱크의 유동 및 열성능 결과를 통해 팬싱크의 운전점 유량 및 열저항을 정확하게 예측하는 것이 가능하며, 입구봉쇄 중에서 허브봉쇄 보다 측면봉쇄로 인한 유동장 및 열성능 변화가 크다.

#### 후기

본 연구는 국무총리산하 산업기술연구회가 지원하는 협동연구사업인 “차세대 냉각시스템 기술개발”의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) 조진수, 한승호, 한철희, 2002, “팬 후방 유동장을 고려한 팬싱크 설계에 관한 연구,” 대한기계학회 논문집 B권, 제26권, 제8호, pp.1055-1061
- (2) S.C. Lin and C.A. Chou, 2004, “Blockage effect of axial-flow fans applied on heat sink assembly,” Applied Thermal Engineering, Vol. 24, Iss. 16, pp.2375-2389
- (3) 이경용, 최영석, 윤재호, 2004, “팬싱크의 유동특성에 관한 실험 및 수치해석적 연구,” 한국유체공학 학술대회 논문집, pp.255-258
- (4) 김종하, 2004, “적층형 히트싱크의 열전달 특성에 관한 연구,” 한양대학교 박사학위논문, pp.1-106