

산업용 인버터에 사용되는 압입식 및 압출식 히트싱크의 방열 성능 평가

김정현¹, 구민예¹, 이교우^{1*}

¹전북대학교 기계설계공학부 (친환경기계부품설계연구센터)

Evaluation of Heat Release Performance of Swaged- and Extruded-type Heat Sink Used in Industrial Inverter

Jung Hyun Kim¹, Min Ye Ku¹ and Gyo Woo Lee^{1*}

¹Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University

요약 본 실험에서는 산업용 발전 설비에 사용되는 인버터 내부의 압입형과 압출형 두 종류 히트싱크의 방열 성능을 평가하였다. 실험에 사용된 압입형 히트싱크는 62개의 핀을 가지고 있고, 압출형은 38개의 핀을 가지고 있으며 두 히트싱크의 외형의 크기는 같다. 반면 압출형 히트싱크는 핀의 표면에 반경 1mm의 곡률을 주어 전열면적을 압입형과 같게 하였다. 결과적으로 압입형과 압출형 히트싱크는 전체 입력열량에 대해 각각 70.7%, 63.8%를 방열하였다. 입력열량 중 나머지는 자연대류 및 복사를 통해 외부로 방열되었다. 압출형 히트싱크는 단순히 핀의 개수로 보면 압입형 히트싱크보다 40% 감소했지만, 방열량은 6.9% 만 감소하였다. 이는 표면 곡률을 통한 유효 전열면적의 증가와 압출형 히트싱크의 상대적으로 우수한 전열특성의 효과로 판단하였다.

Abstract In this experiment, we investigated the performance of two types of heat sink, swaged- and extruded-type, used in the inverter of industrial electricity generator. The swaged-type heat sink has 62 fins, and the extruded-type has 38 fins having the same dimension as that of the swaged-type. But the extruded-type heat sink maintains the same heat transfer area by the laterally waved surface which has 1 mm in radius. As a result, the swaged- and extruded-type heat sinks released 70.7% and 63.8% of the heat incoming to the heat sink, respectively. The other incoming heat were naturally convected and radiated to the ambient. In spite of 40% decrease in number of fins, the heat release performance of the extruded-type heat sink was lowered only 6.9% than that of the swaged-type. We believe that, this shows the increment of effective heat transfer area by the laterally waved surface of fins and the better heat transfer property of the extruded-type heat sink.

Key Words : Heat Sink, Forced Convection, Inverter, Performance Evaluation, Heat Transfer

1. 서론

태양광, 풍력, 조력 등의 다양한 에너지를 우리가 사용할 수 있는 전기에너지로 전환시키기 위해서는 발전설비가 필요하다. 특히 태양광 발전설비 내에는 인버터가 있는데, 태양전지에서 발생하는 직류를 우리가 사용하는 교류로 변환시켜주는 중요한 역할을 하는 장치이다. 인버터 내부에는 IGBT(insulated gate bipolar transistor)라고

불리는 고효율 및 고속의 전력 시스템에 필수적으로 사용되는 대표적인 전력 반도체가 들어있다. IGBT는 작동함에 따라 전력손실이 발생하게 되는데 이 중 대부분은 열로 변환된다. 이 때 발생하는 열은 칩(chip) 내에서 접점의 온도를 높여 소자의 성능을 저하시키고 수명을 단축시킨다. 이런 온도상승에 의한 IGBT의 성능 단축을 해결하기 위해 온도를 허용치 이하로 유지해 줄 방열시스템은 반드시 필요하며 또한 매우 중요하다.[1]

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업(No. C0027543)의 연구수행으로 인한 결과물임.

*Corresponding Author : Gyo Woo Lee (Chonbuk National University)

Tel: +82-63-270-3997 email: gwlee@jbnu.ac.kr

Received October 19, 2012 Revised January 10, 2013

Accepted February 6, 2013

인버터의 방열시스템에 대해 기존의 많은 연구자들이 연구를 수행하였다. Kim 등 [2]은 이론적 해석과 실험을 통하여 열분산기(heat spreader)와 히트싱크(heat sink)를 갖는 고집광 태양전지 모듈의 방열시스템을 개발하고 자연대류 히트싱크의 열 성능을 예측할 수 있는 관계식을 제시하였다. Kim 등 [3]은 다양한 형상을 갖는 히트싱크를 강제대류와 자연대류 조건에서 실험하여 열저항 특성을 연구하였다. Jeon 등 [4]은 터널 형태의 공랭식 히트싱크를 이용해 직렬로 배열된 발열체의 방열실험을 실시하여 발열체의 온도상승 인자에 대한 영향을 규명하고 도출한 실험관계식으로 방열시스템 설계의 예를 제시하였다. Lee [5]는 시뮬레이션과 실험을 병행하여 400 kW급 IGBT 인버터용 방열시스템 설계법을 제시하고 시뮬레이션 결과와 실험 결과가 10%의 오차 범위 내에서 일치함을 검증하였다. Lee [6]는 열부하에 따른 핀(fin)의 개수에 변화를 줄 때 압력손실 및 전열면적 변화에 따른 최적화 설계를 연구하였다. Ko 등 [7]은 차량에 사용되는 LED(light emitting diode) 전조등의 팬(fan)과 히트싱크가 사용된 방열시스템 성능을 시뮬레이션을 사용하여 해석하고 팬의 위치나 히트싱크의 면적 변화 등을 통한 최적화 설계가 필요하다는 결론을 내렸다. Shaukatullah 등 [8]은 같은 크기의 핀에 변화를 준 히트싱크의 방열 성능을 실험하여 단위 부피당 표면적과 핀 형상에 의하여 히트싱크의 성능이 결정된다고 보고하였다. Riu 등 [9]은 기존의 평판형 히트싱크와 스트립핀(strip fin) 히트싱크를 자신들이 고안한 엇갈린 배열 스트립핀 히트싱크와 같이 방열성능을 평가하여 기존의 것들보다 우수한 성능을 내는 것을 밝혔다.

일반적으로 히트싱크는 핀과 상부 또는 하부 판이 일체형으로 구성되는 압출형(extruded-type)이 주로 사용된다. 하지만 방열시스템의 규모가 커서 히트싱크의 크기가 커지면 제작설비나 단가 등의 현실적인 제약으로 인해 핀과 상하부 판을 따로 제작하여 결합하는 압입형(swaged-type) 히트싱크가 사용되기도 한다. 압입형은 일체형 구조인 압출형에 비해서 핀과 상하부 판 사이의 열저항이 더 크므로 열전달 특성이 상대적으로 좋지 못하지만, 생산단가 등의 측면에서 경쟁력을 가질 수 있다.

본 실험에서는 발전설비 인버터 방열시스템에 사용되는 압입식 및 압출식 히트싱크의 방열성능을 평가하고자 하였다. 실험대상인 두 히트싱크의 차이점은 압입식과 압출식으로 각각 제작되었다는 것과 동일한 크기인 핀의 개수가 각각 62개와 38개라는 점이다. 핀의 개수가 작은 압출식의 경우에는 핀의 표면에 반경 1 mm의 굴곡을 주어 산술적으로 압입식과 동일한 전열면적을 유지하였다.

2. 실험방법 및 내용

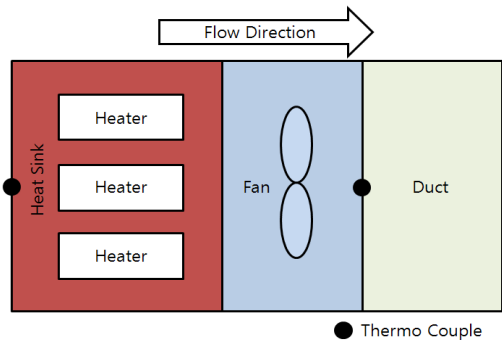
2.1 실험 장치

아래의 Fig. 1은 본 연구에 사용한 실험 장치의 전체적인 개략도(top view)이다. 그림의 좌측부터 히트싱크, 팬, 덕트(duct)로 구성이 되어있으며, 그밖에 온도 및 압력, 유속 등의 정보를 모으고 저장하는 데이터 수집부 등으로 구분된다.

히트싱크 위의 세 개의 히터(heater)는 가로 126mm 세로 126mm의 세라믹 재질로서 각각 538.2 W의 정적 소비전력을 가진다. 이는 일반적으로 인버터 내에 위치하는 전력반도체 IGBT를 모사한 것으로 열원의 역할을 한다. 히터의 위치는 그림에서 팬과 히트싱크가 결합되어 있는 부분을 기준으로 53 mm 떨어진 가운데에 하나를 설치 후 좌우로 간격을 5 mm로 하여 3 개를 설치하였다.

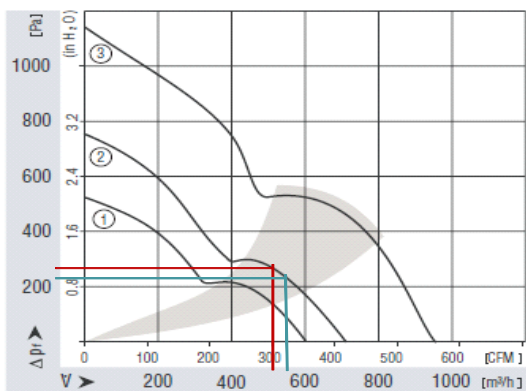
방열을 위한 공기는 흡입식 팬을 이용하여 실내의 공기가 히트싱크로부터 들어와 덕트를 통해 외부로 흘러나가게 하였다. 그림의 검은 점은 열전대(thermocouple)를 위치시킨 곳이며 히트싱크 입구의 정중앙과 팬 바로 뒤의 중앙에 고정하였다. 팬 뒤 쪽으로의 덕트부는 주름이 잡힌 관으로 연결되어 팬을 통해 배출되는 공기를 창밖으로 빼내 공기가 막히지 않고 외부로 나갈 수 있게 하였다.

온도측정에 사용한 열전대는 T형(TG-T-36-500, Omega) 열전대를 보정하여 사용하였다. 온도의 측정 및 모니터링을 위한 데이터 수집 장비로는 Advantech사의 USB-4718 모듈을 이용하였다.



[Fig. 1] A schematic of the experimental setup

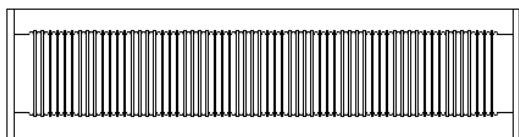
실내공기를 히트싱크로 유인하는 팬은 최대 유량 710 m³/hr인 E사의 모델인데, 팬 제조사의 보정 그래프(Fig. 2의 ②번)와 팬 전후의 압력차 측정을 통해서 구해진 팬 유량은, 핀의 수가 62개인 압입식 히트싱크는 517 m³/hr 이고, 핀의 수가 38개라서 압력손실이 상대적으로 적은 압출식 히트싱크는 541 m³/hr이다.



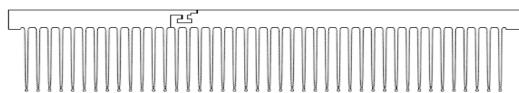
[Fig. 2] Performance curve of the fan used in this experiment (No. ②)

압입식과 압출식 히트싱크의 형상은 Fig. 3과 같으며 재질은 알루미늄(AL6061)이고 자세한 사항은 Table 1에 나타나 있다. Fig. 3(a)의 압입식 히트싱크는 상판과 하판에 판형 핀을 끼우는 방식으로 제작되었다. Fig. 3(b)의 압출식 히트싱크는 상판과 핀이 일체형인 압출식으로 제작되었다. 압출식 히트싱크는 압입식 히트싱크에 비해 핀의 개수를 줄이고 핀 표면에 반지름 1 mm의 곡률을 주어 표면적을 증가시켰다. 기하학적 형상에 따른 산술적인 전열면적은 압입식과 압출식 히트싱크가 각각 2.58 m²과 2.62 m²으로 거의 같다고 할 수 있다.

압출식 히트싱크의 경우 두 부분으로 되어 있는데 이는 압출식 제작방법의 한계 때문이다. 압출식으로 제작시 알루미늄을 뒤에서 압력을 주어 금형 틀을 지나가게 하는데 핀의 개수가 많아짐에 따라 압력도 증가하기 때문에 핀 수의 한계가 있다. 이러한 이유로 압출식 히트싱크의 경우 Fig. 3 (b)와 같이 두 부분으로 제작되어 조립되었다.



(a) Swaged-type heat sink



(b) Extruded-type heat sink

[Fig. 3] Schematic diagram of swaged- and extruded-type heat sink

[Table 1] Specifications of swaged- and extruded -type heat sink

	Swaged type	Extruded type
Length	325 mm	325 mm
Width	410 mm	410 mm
Height	100 mm	100 mm
Number of fins	62	38
Fin spacing	6 mm	11 mm
Thickness of fin	1 mm	2 mm ~ 3 mm
Height of fin	65 mm	65 mm
Surface area	2.58 m ²	2.62 m ²

2.2 실험 방법

본 실험에서는 팬을 이용한 강제대류를 통해 히트싱크를 냉각시켰다. 히트싱크의 방열성능은 열원으로부터 전달되는 열량과 자연대류 또는 강제대류를 통해 히트싱크 내부로 유동되는 유체와 히트싱크의 상호 열 교환량의 비교를 통해 알 수 있다. 팬을 통한 공기 유량 및 히터의 발열량은 고정하고, 두 종류의 히트싱크의 방열성능을 비교 평가하였다.

열원으로 사용된 히터 3개의 총 1614.6 W의 열량을 히트싱크에 입력 열량으로 주었다. 모든 히트싱크의 입출구 온도는 팬과 덕트, 히터를 가동시켜 방열시스템의 구동과 동시에 측정하였다. 온도 측정 시간은 10초에 한 번씩 측정하였으며 총 2400초까지 측정하였다. 1200초 이후를 정상상태로 판단하여 그 이후부터 측정된 히트싱크의 입출구 평균 온도차를 이용하여 전열량을 계산하였고 계산식은 식 (1) [10]을 사용하였다.

$$\dot{Q}_{air} = \dot{m}_{air} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

히트싱크 방열성능의 평가는 열원으로부터 입력되는 열량과 히트싱크를 통해 빠져나가는 열량의 비율을 통해 성능을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압입식 히트싱크

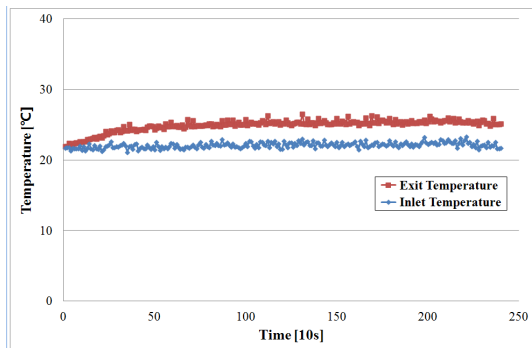
Fig. 4는 측정된 온도 중 하나의 그래프인데, 히트싱크 입출구의 평균온도 측정에 사용된 1200초 이후의 상태가 정상상태에 충분히 도달했음을 알 수 있다. Fig. 5는 압입식 히트싱크의 입출구 온도와 온도차를 그린 그래프이다. 히트싱크 입구의 평균온도는 22.12 °C, 표준편차는 0.60 °C이고 출구 평균온도는 25.42 °C, 표준편차는 0.65 °C이다. 히트싱크 입출구의 평균 온도차는 3.30 °C, 표준편차

는 0.05 °C로 입구온도 변화에 대해 출구온도도 같이 변하여 입출구 온도 차이는 크게 변동 없이 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

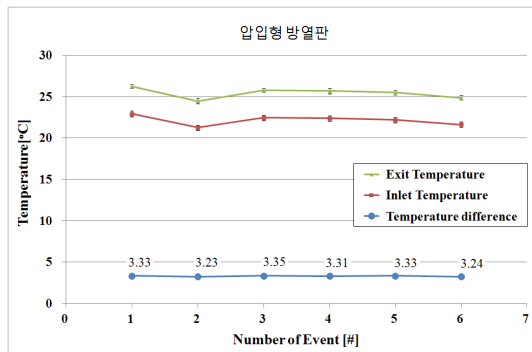
Fig. 5에서의 온도차를 식 (1)을 이용하여 공기와의 전열량을 계산한 것이 Fig. 6이며 계산된 평균 전열량은 1141.7 W, 표준편차는 17.17 W이다. 측정된 온도가 균일하기에 계산된 전열량 또한 편차가 매우 작은 균일한 결과를 보임을 알 수 있다.

압입식 히트싱크의 냉각성을 평가하기 위해 히터를 통해 투입되는 열량을 100으로 보고, 히트싱크를 통해 방열되는 열량과 그 밖의 손실(히트싱크 주변으로의 대류 및 복사 열손실)을 비율로 표시한 것이 Fig. 7이다.

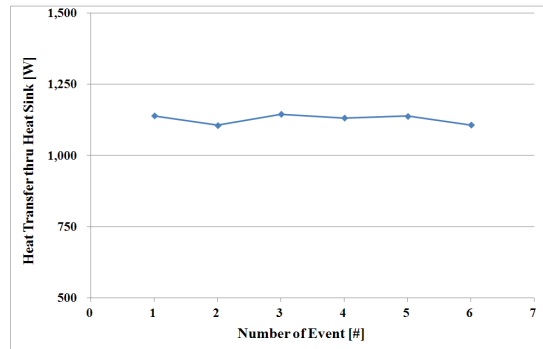
히트싱크를 통해 방열되는 열량은 공급된 열량의 평균 70.7 %로 약 71 % 열량이 히트싱크를 통해 방열된다. 나머지 약 29 %의 열량은 히트싱크의 상판과 옆판 및 히터 자체의 표면 등에서 대류 및 복사 열전달을 통해 주변으로 빠져나간다.



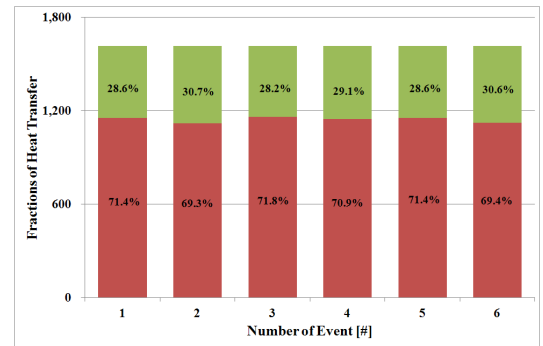
[Fig. 4] Inlet and exit temperatures of heat sink with time



[Fig. 5] Averaged temperatures and the temperature differences between inlet and exit of the swaged-type heat sink



[Fig. 6] Heat release through the swaged-type heat sink



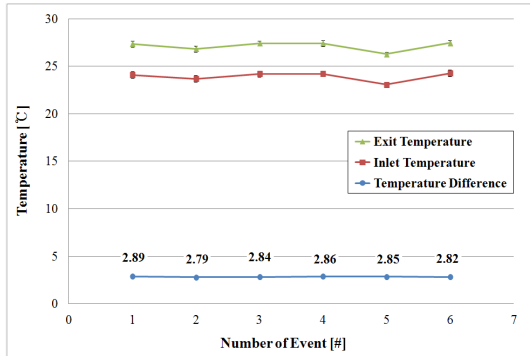
[Fig. 7] Fractions of heat release through the swaged-type heat sink

3.2 압출식 히트싱크

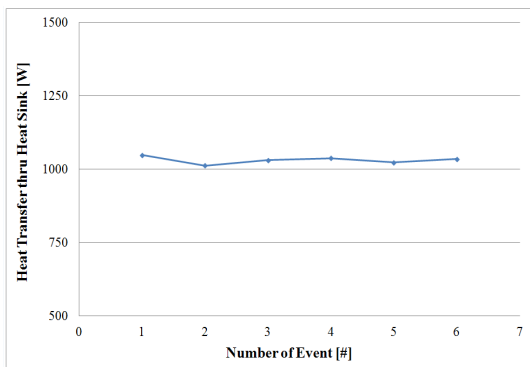
압출식 히트싱크의 입출구 온도 및 온도 차이를 Fig. 8에서 확인할 수 있다. 히트싱크 입구의 평균온도는 23.91 °C, 표준편차는 0.47°C이고 출구의 평균온도는 26.75 °C, 표준편차는 0.48 °C이다. 입출구 평균 온도차는 2.84 °C, 표준편차는 0.03 °C로 평균 온도차는 압입식 히트싱크에 비해 다소 낮게 측정되었다.

압입식 히트싱크와 마찬가지로 공기와 압출식 히트싱크 사이의 전열량을 계산하여 Fig. 9에 나타내었다. 히트싱크에서 공기로의 전열 양을 볼 수 있으며 온도차가 압입식 히트싱크에 비해 작은 만큼 전열양도 작아 평균 전열량은 1030.3 W이지만 표준편차는 측정된 온도차의 값들이 균일한 만큼 12.6 W이다. 압입식 히트싱크의 성능 평가를 했던 방법과 동일한 방법으로 입력되는 1614.6 W에 대해 히트싱크를 통해 방열되는 열량의 비율을 Fig. 10에 나타냈다. 히트싱크를 통해 방열되는 방열량의 평균은 63.8 %로 약 64 %의 열량이 히트싱크를 통해서 방열되는 것을 알 수 있다. 나머지 약 36 %의 열량은 압입

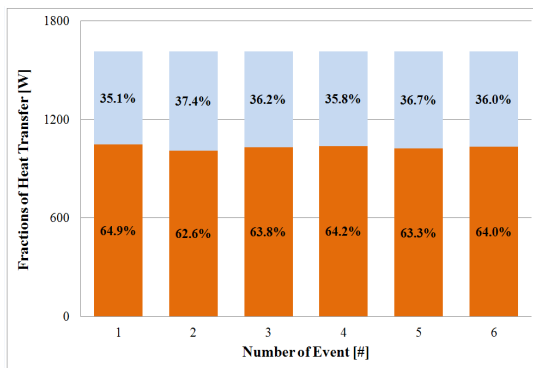
식 히트싱크와 마찬가지로 자연대류 및 복사에 의해 주변으로 방열된다.



[Fig. 8] Averaged temperatures and the temperature differences between inlet and exit of the extruded-type heat sink



[Fig. 9] Heat release through the extruded-type heat sink



[Fig. 10] Fractions of heat release through the extruded-type heat sink

4. 결론 및 향후계획

본 실험에서는 발전설비 인버터 방열시스템에 사용되는 압입식 및 압출식의 히트싱크의 방열성능을 평가하고자 하였다. 두 히트싱크의 차이점은 압입식과 압출식으로 각각 제작되었다는 것과 동일한 크기인 핀의 개수가 각각 62개와 38개라는 점이다. 핀의 개수가 작은 압출식의 경우에는 핀의 표면에 반경 1 mm의 굴곡을 주어 산술적으로 압입식과 동일한 전열면적을 유지하였다.

결과적으로, 실험에 사용한 압입식과 압출식 히트싱크는 열원으로부터의 투입열량 중에서 각각 70.7%와 63.8%를 방열하였으며, 나머지는 히트싱크 주변으로 자연대류 및 복사로 방열하였다. 단순히 핀의 개수만을 기준으로 보면 압출식의 경우가 전열면적은 40% 정도 감소하였지만 방열성능은 6.9% 감소하는데 그쳤다.

이는 표면 굴곡이 유효전열면적 증대에 부분적으로 반영되었고 압입식에 비해 열저항이 적어 우수한 전열성능을 갖는 압출식 히트싱크의 특성이 반영된 것으로 판단된다.

본 실험에서 비교한 압입식 히트싱크와 압출식 히트싱크는 핀의 형상이나 개수가 동일하지 않고 제작 방식도 달라 핀의 열전달 특성 및 전열면적이 다르다. 이로 인하여 두 가지 변수에 대한 효과가 혼합적으로 나타났으며 독립적으로 측정되지 않았다. 향후 연구에서는 핀의 형상과 개수 등의 개별 변수들에 대한 영향을 독립적으로 측정하여 그 효과를 명확히 파악하고자 한다.

References

- [1] E. Santi, A. Caiafa, X. Kang, J. L. Hudgins, P. R. Palmer, D. Goodwine, and A. Monti, "Temperature Effects on Trench-Gate Punch-Through IGBTs," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 40, No. 2, pp. 472-482, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TIA.2004.824513>
- [2] T. H. Kim, K. H. Do, B. I. Choi, Y. S. Han, and M. B. Kim, "Development of a Cooling System for a Concentrating Photovoltaic Module," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 35, No. 6, pp. 551-560, 2011.
- [3] J. H. Kim, J. H. Yun, and C. S. Lee, "An Experimental Study on the Thermal Resistance Characteristics for Various Types of Heat Sinks," *SAREK*, Vol. 14, No. 8, pp. 676-682, 2002.
- [4] C. S. Jeon, Y. K. Kim, J. Y. Lee, and S. H. Song, "Cooling of an In-line Array of Heat Sources with

Air-Cooled Heat Sinks," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 2, No. 2, pp. 229~234, 1998.

- [5] J. W. Lee, "Design of a Heat Dissipation System for the 400kW IGBT Inverter," *The Trans. of the KIPE*, Vol. 9, No. 4, pp. 350~355, 2004.
- [6] S. Lee, "Optimum Design and Selection of Heat Sinks," *IEEE Trans. Components, Packaging and Manufacturing Technology-Part A*, Vol. 18, No. 4, pp. 812~817, 1995. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/95.477468>
- [7] M. S. Ko, J. H. Lee, S. J. Oh, H. S. Cho, and T. B. Seo, "Cooling Performance of LED Head Lamp with Heat Sink and Cooling Fan," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 33, No. 12, pp. 947~951, 2009.
- [8] H. Shaukatullah, W. R. Storr, B. J. Hansen, and M. A. Gaynes, "Design and Optimization of Pin Fin Heat Sinks for Low Velocity Applications," *IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology-Part A*, Vol. 19, No. 4, pp. 486~494, 1996. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/95.554929>
- [9] K. J. Riu, C. W. Park, H. W. Kim, and C. S. Jang, "Cooling Characteristics of a Strip Fin Heat Sink," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 29, No. 1, pp. 16~26, 2005.
- [10] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, "Introduction to Heat Transfer," 5th ed., John Wiley and Sons, 2006.

김 정 현(Jung Hyun Kim) [준회원]



- 2013년 2월 : 전북대학교 기계설계공학부 (기계공학 학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계설계공학부 (석사과정)

<관심분야>
열공학, 열전달

구 민 예(Min Ye Ku) [준회원]



- 2012년 2월 : 전북대학교 기계시스템공학부 (기계공학 학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계설계공학부 (석사과정)

<관심분야>
나노복합재료 제조 및 물성측정

이 교 우(Gyo Woo Lee) [정회원]



- 1994년 2월 : KAIST 항공우주공학과 (항공우주공학 석사)
- 2004년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (기계공학 박사)
- 1994년 3월 ~ 2005년 2월 : KIST 연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계설계공학부 부교수

<관심분야>
나노물질 합성 및 응용, 열공학, 연소공학, 나노복합재료