

# 전력 역변환장치 주요발열부의 열 저감 시스템 변위에 따른 냉각 특성해석

김민석\* · 김용재\*\*

Analysis of Cooling Characteristics according to Heating Reduction System Displacement of Major Heating Region on Power Inverter

Min-Seok Kim\* · Yong-Jae Kim\*\*

## 요 약

신재생에너지용 발전 시스템은 모듈, 직류 전력을 교류 전력으로 변환시키는 전력 역변환장치, 전력흐름을 제어하고 계통 연계를 담당하는 제어장치로 구성된다. 이러한 시스템은 일사량이 많은 여름철 및 낮 시간에 가장 많은 직류전력을 생산하지만 계통의 연계를 위해 필수적인 전력 역변환장치는 특정 온도 이상으로 상승하면 효율이 급격히 감소하게 된다. 따라서 열전소자를 부착한 열 저감 시스템을 제안하고 가장 발열이 심한 구간을 선정하여 사용개수 및 위치에 따른 온도 특성 해석을 통해 최적 모델을 도출하고자 한다.

## ABSTRACT

Power system for renewable energy is composed of module, transform DC power into AC power inverter, control power flow and device for a charge of the grid-connected. Power system for renewable energy produce the most DC power, when this system is much insolation in summer and daytime. But if the certain temperature rises above, the essential grid-connected power inverter is take a nose dive. There, in this paper, we propose an improved reduction of heating system. In addition, selection of the most serious heat region and through analysis of temperature characteristics according to location and distance derive the optimal model.

## 키워드

Power Inverter, Heating Reduction System, Thermo-Element, Thermo-Fluid Analysis  
전력 역변환장치, 열 저감 시스템, 열전 소자, 열 유동 해석

## 1. 서 론

전 세계적으로 지구는 개발도상국의 경제 성장 및 지구촌의 인구 증가로 인해 에너지 소비량이 지속적으로 증가하고 있고 화석에너지 고갈과 같은 자원문제와 지구 온난화와 같은 환경문제가 지구촌 곳곳에

서 가시화되고 있다[1-3]. 이러한 문제를 해결하기 위해 국·내외에서는 대체에너지의 필요성과 중요성이 가중되고 있으며 타 에너지로의 변환 및 전송의 용이성, 편리성 등 다양한 장점을 가진 전기에너지가 차세대 대체에너지원으로 주목받고 있다. 전기에너지를 생산하는 시스템 중 태양광 발전 시스템은 태양전지, 축

\* 조선대학교 전기공학과(therqwer@naver.com)

\*\* 교신저자(corresponding author) : 조선대학교 전기공학과(kimyj21@chosun.ac.kr)

접수일자 : 2014. 11. 11

심사(수정)일자 : 2015. 01. 16

게재 확정일자 : 2015. 02. 09

전지, 전력 역변환장치로 구성되어 있고 일사량이 많은 여름철 및 낮 시간에 태양 빛을 직접 전기에너지로 변환하여 직류 전력을 생산한다.

하지만 우리나라의 경우 교류 전력을 상용으로 사용하기 때문에 태양광 발전 시스템의 직류 전력을 교류 전력으로 변환시켜주기 위한 전력 역변환장치를 사용해야 한다[4]. 이러한 전력 역변환장치는 태양광 발전 시스템에 반드시 필요한 장치이지만 일사량이 많은 여름철 및 낮 시간에 가장 효율이 감소하는 문제점이 발생하게 되고 이러한 외부환경에 따른 효율 감소는 기기의 수명 및 효율 저하에 밀접한 영향을 미치게 된다[5].

이에 전력 역변환장치의 발열에 의한 수명 및 효율 저하 문제를 개선하기 위해 주로 개방 형태의 열 저장 구조가 사용되고 있지만 이는 수적, 빙설 등 외부 환경에 따른 기기의 이상동작 및 안전 등 또 다른 문제로 연결되므로 전력 역변환 장치는 보호등급이 IP 65 이상의 밀폐형 구조로 선정한다.

따라서 본 연구에서는 전력 역변환 장치에서 주요 발열 소자를 중심으로 주요 발열 구간을 선정하고 열 저장 시스템에 열전소자를 적용하여 전력 역변환 장치 상부에 설치하고자 한다. 또한 전력 역변환장치의 상부에 열 저장 시스템 설치에 따른 사용개수 및 위치 변화에 대한 열 저장 온도특성을 비교분석하고자 한다.

## II. 관련 이론

열전소자는 그림 1과 같이 세라믹기판과 납 그리고 N형, P형 소자로 구성되어 있고, 전기적으로 직렬, 열적으로 병렬 특성을 나타낸다. 이에 N-type 소자에 (+)방향 직류전류가 흐르면 P-type 부분에서 N-type 부분으로 전자들이 이동하며 Cold side는 열을 흡수 하면서 온도가 감소한다. 열전 회로에 전류를 흘리게 되면 한 접합면에는 흡열반응이 나타나고 다른 접합면에는 발열반응이 발생한다. 이러한 열전소자의 흡열 및 발열은 전류 방향에 따라 전환이 가능하고 전류량에 따라 양을 조절할 수 있어 냉각 시스템에 적용 시 유연하게 냉각효과를 향상시킬 수 있다.

흡열량 및 발열량은 온도 및 소자의 전류와 전압에

대한 식으로 표현할 수 있으며, 식 (1), (2), (3)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (1), (2)의 우변 첫 항은 Peltier효과에 의한 흡열량, 두 번째 항은 Joule효과로 인한 발열량, 세 번째 항은  $\Delta T$ 에 의한 전도열량을 나타낸다. 또한 열전 소자의 소모 전력은 식 (3)과 같이 나타낸다[6].

이러한 열전 소자의 원리를 이용하여 전력 역변환 장치가 계절에 따른 온도 변화에 유연하게 대응할 수 있도록 열 유동 해석 프로그램을 통해 열 저장 시스템을 모델링 하고자 한다.

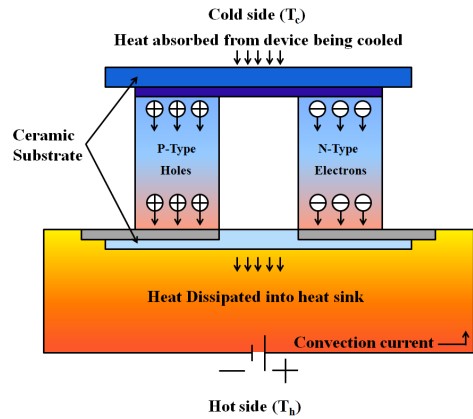


그림 1. 일반적인 열전 소자의 전기적 연결  
Fig. 1 General electrical connection of thermo-element

$$Q_c = \alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - K(T_h - T_c) \quad (1)$$

$$Q_h = \alpha T_h I + \frac{1}{2} I^2 R - K(T_h - T_c) \quad (2)$$

$$P = Q_h - Q_c = \alpha I(T_h - T_c) + I^2 R \quad (3)$$

## III. 열 저장 시스템의 해석 및 조건

### 3.1. 열 저장 시스템

전력 역변환장치는 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 주는 장치이다. 하지만 일사량이 많은 낮 시간 및 여름철 온도에 민감하게 반응하는데 그림 2와 같

이 기기의 온도가 50 [°C]이상 상승하면 효율이 급격하게 감소하는 문제점이 발생함을 알 수 있다.

따라서 전력 역변환장치의 효율이 감소하기 시작하는 50 [°C]를 적정 냉각 기준온도라 가정하고, 50 [°C] 까지의 열 저감을 본 연구의 기준으로 삼는다. 우리는 전력 역변환장치의 효율 감소를 문제를 해결하기 위해 그림 3과 같이 열전소자에 Fan과 Heat sink를 부착하여 열 저감 시스템의 냉각 장치를 구성하였고 제원은 표 1에 나타내었다.

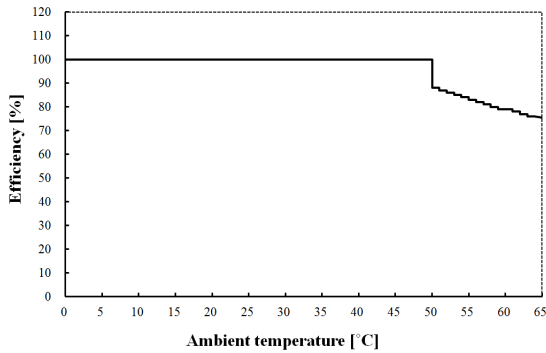


그림 2. 역변환 장치의 온도 변화에 따른 효율  
Fig. 2 The efficiency according to temperature of power inverter

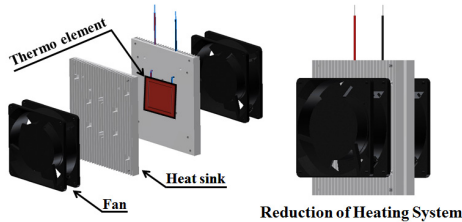


그림 3. 열 저감 시스템의 냉각 장치  
Fig. 3 Cooling device of heating reduction system

표 1. 열 저감 시스템의 제원  
Table 1. Specification of heating reduction system

Items		Value
Fan	Flow rate	30 [cfm*]
	Head pressure	10 [N/m <sup>2</sup> ]
	Voltage	12 [V]
	Size	80×80 [mm]
Thermo element	Maximum current	8.5 [A]

Maximum voltage	15.7 [V]
Size	40×40 [mm]
Hit sink size	80×100 [mm]

\* cfm: cubic feet per minute

### 3.2. 열 저감 시스템의 모델링 및 해석

전력 역변환장치의 열 유동 해석을 위해 그림 4와 같이 3D모델을 구성 및 단순화 하여 불필요한 격자 수 및 해석시간을 단축시켰다.

해석영역은 외함과 주위 공기와의 열 전달을 고려하기 위해 외함 전체를 포함하는 영역으로 설정 하였다. 또한 전력 역변환장치 효율에 가장 많이 영향을 미치는 발열소자인 IGBT, Capacitor가 포함된 영역을 중심으로 주요 발열영역을 선정하였고 온도특성 그래프를 비교분석 하였다.

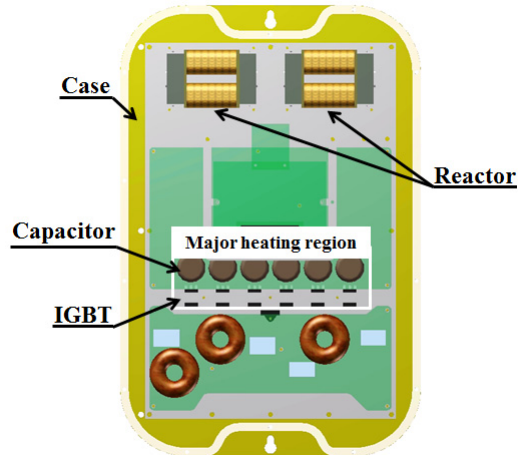


그림 4. 역변환 장치의 주요 발열 영역  
Fig. 4 Major heating region of power inverter

해석모델은 열 유동 해석을 위해 표 2와 같이 경계 조건을 설정하였고, 해석 시 전력 역변환 장치 발열소자의 열을 저감시키기 위해 Fan을 이용하여 강제 대류 시켜야 하므로 Zero Equation 난류모델을 사용하고 식 (4)의 난류 점성 계수를 계산 후 다음의 식 (5)에서 식 (6)과 같이 난류조건을 고려하였다[7].

표 2. 경계 조건  
Table 2. Boundary condition

Gravity acceleration	-9.80665 [m/s <sup>2</sup> ]
Flow regime	Turbulent
Time variation	Transient
Ambient fluid	Air

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) = \nabla \cdot (k \nabla T) + S_h \quad (4)$$

$$\mu_t = \rho l_m^2 S \quad (5)$$

$$l_m = \min(\kappa d, 0.09 d_{\max}) \quad (6)$$

(von Karman constant :  $\kappa = 0.419$ )

where  $S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}, S_{ij} = \frac{1}{2}(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j})$

#### IV. 열 저감 시스템의 사용개수 및 위치에 따른 주요 발열구간 온도특성

##### 4.1. Top Single Fan(TSF)의 온도 특성 해석

전력 역변환 장치는 온도 변화에 민감하여 기기 자체의 온도가 50 [°C] 이상이 되면 효율이 급격히 감소하게 된다. 따라서 열 저감 시스템의 해석조건은 일사량이 가장 많은 낮 시간 및 여름철이라 가정한다. 전력 역변환장치 Case의 내부온도는 70 [°C], 열전소자의 흡열부 온도는 20 [°C], Flow rate는 30 [cfm], Head pressure는 10 [N/m<sup>2</sup>]로 하였다.

또한 그림 5와 같이 기준점으로부터 X축은 전력 역변환장치의 정중앙에 열 저감 시스템을 배치하고, Z축 방향으로 210 [mm] - 400 [mm]까지 변수를 설정하여 주요발열영역에서의 온도 특성을 비교 분석하였다. 해석 모델 중 전력 역변환장치의 주요발열영역에서 적정 냉각 기준온도인 50 [°C]에 가장 단시간에 열 저감을 나타낸 TSF의 위치는 285 [mm]로 나타났다. 이 때 열 저감 소요시간은 280 [s]로 그림 6과 같다. 또한 TSF의 다른 위치에서도 Region #1, Region #2가 일정하게 냉각되어 285 [mm]일 때 그래프와 비

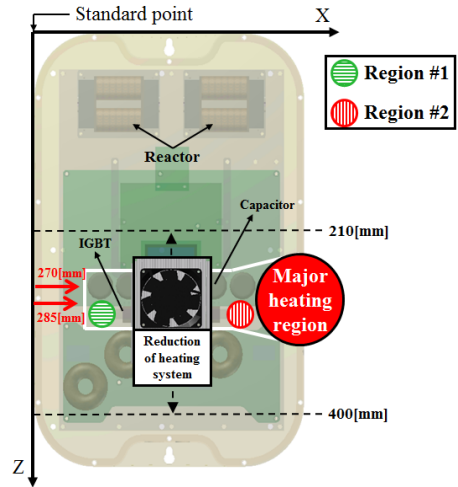


그림 5. TSF의 변수 설정  
Fig. 5 Selection parameters of TSF

슷한 형상을 보였다. 하지만 열 저감에 필요한 소요시간은 400 [s] 이상으로 나타났다.

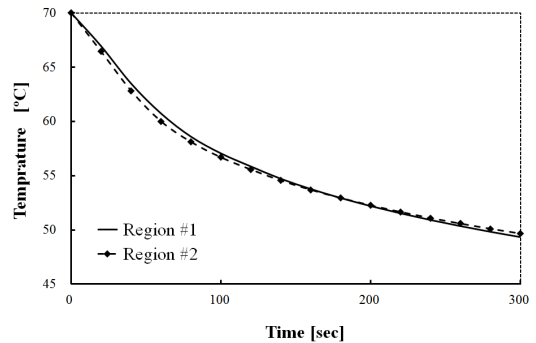


그림 6. 주요발열영역에서 TSF-285 [mm]의 온도 특성  
Fig. 6 Temperature characteristic of TSF-285 [mm] at major heating region

##### 4.2. Top Double Fan(TDF)의 온도 특성 해석

Fan의 사용개수에 따른 열 저감 온도 특성을 비교 분석하기 위해 전력 역변환장치 상부에 두 개의 열 저감 시스템을 사용하여 주요발열 구간에 따른 온도 특성을 분석하였다.

전력 역변환장치 상부에 두 개의 열 저감 시스템을 설치한 TDF도 TSF와 같이 일사량이 많은 낮 시간 및 여름철이라 가정하여 적정 냉각 기준온도를 50

[°C]라 선정하였고, 해석 조건도 TSF와 같게 설정하여 열 유동해석을 수행하였다. TDF의 변수 설정은 그림 7과 같이 기준점으로부터 X축은 전력 역변환장치의 정중앙에 두 개의 열 저감 시스템을 배치하고, Z축은 기준점으로부터 210 [mm] - 400 [mm]까지 열 유동 해석을 수행하였다.

해석 모델 중 적정 냉각 기준온도인 50 [°C]까지 단시간에 열 저감을 나타낸 TDF는 270 [mm]로 나타났다. 이때 열 저감 소요시간은 175 [s]로 그림 8과 같다. 또한 TDF의 다른 위치에서는 270 [mm]와 같이 Region #1, Region #2가 일정하게 냉각되는 현상을 보였고, 열을 저감하는데 걸린 시간은 210 [s] 이상의 시간이 소요되었다.

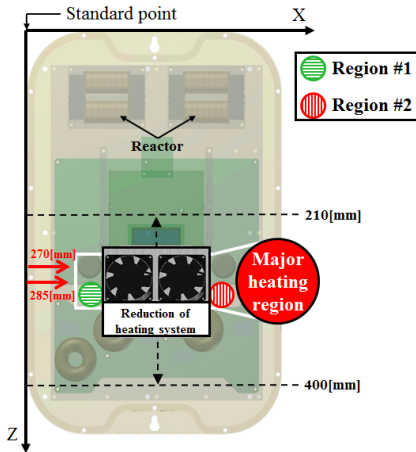


그림 7. TDF의 변수 설정  
Fig. 7 Selection parameters of TDF

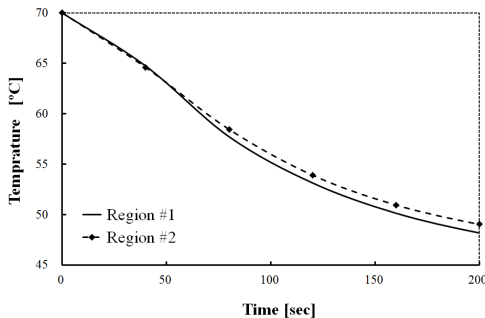


그림 8. 주요발열영역에서 TDF-270 [mm]의 온도 특성  
Fig. 8 Temperature characteristic of TDF-270 [mm] at major heating region

## V. 결론

본 논문에서는 전력 역변환장치의 외부환경으로 인한 열 손실 개선을 위해 열전소자가 적용된 열 저감 시스템을 제안하였다. 역변환 장치 Case의 상부에 열 저감 시스템을 설치하여 주요발열영역에서의 온도특성을 비교분석하였다. 또한 온도특성을 비교하기 위해 전력 역변환장치 상부에 열 저감 시스템의 사용 개수에 따라 한 개일 때 TSF, 두 개일 때 TDF로 나누어 열 유동해석을 수행하였다.

그 결과, 전력 역변환장치의 효율이 감소하는 적정 냉각 기준온도인 50 [°C]에 가장 단시간에 열 저감을 나타낸 모델은 TSF가 285 [mm]일 때 280 [s], TDF는 270 [mm]일 때 175 [s]로 나타났고, TSF-285 [mm], TDF-270 [mm]는 Region #1, Region #2가 일정하게 냉각됨을 알 수 있었다. 이는 열 저감 시스템으로 주요발열영역을 냉각 시 전력 역변환장치 내부에 배치된 소자의 영향을 받지 않아 전반적으로 일정하게 냉각되는 것이라 판단된다.

또한 TSF와 TDF의 열 저감 성능을 비교하면 전력 역변환장치 Case 상부에 열 저감 시스템을 설치 시 TSF-285 [mm]는 280 [s], TDF-270 [mm]는 175 [s]로 TDF가 1.6배 정도 열 저감 속도가 빠름을 알 수 있다. 하지만 TSF에 비해 TDF는 두 개의 열 저감 시스템을 사용하여 소비 전력이 두 배로 소모되고 열 저감 시스템 구동을 위한 부대시설 및 재료비용까지 고려하였을 경우 전력 역변환장치 상부에 열 저감 시스템을 설치 시 TSF가 TDF보다 경제적으로 유리할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2014년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

## References

- [1] Y. Ko, "The consideration for the trend of photovoltaic system and its application to the smart grid," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 1, 2011, pp. 305-308.

- [2] H. Kim, "Development of a stand-alone solar street light controller integrated," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 5, 2014, pp. 641-647.
- [3] J. Ko, E. Jeon, B. Cho, and S. Hong, "Photovoltaic system for the efficient management and performance analysis of MCU implementation," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 1, 2011, pp. 409-411.
- [4] S. Jung, I. C, and J. Choi, "Modeling and analysis of the buck converter in photovoltaic power conditioning system," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 7, 2013, pp. 1039-1048.
- [5] C. Kown, "Maximum efficiency point tracking algorithm for improving efficiency of photovoltaic power generating system," Master's Thesis, *Hanbat University*, 2012.
- [6] K. Kim, "Development of cooling/warming system using thermoelectric device," *J. of Institute of Internet, Broadcastin and Communication*, vol. 9, no. 3, 2009, pp. 131-136.
- [7] C. Mock, S. Ryoo, S. Kim, S. Ann, J. Jun, C. Hong, S. Na, and K. Kim, "A comparative evaluation between computational and experimental heat fluid dynamics for 1.5 MVA high voltage inverter system," *J. of Korea Society for Computational Fluids Engineering*, vol. 2012, no. 5, 2012, pp. 87-92.

저자 소개



**김민석(Min-Seok Kim)**

2014년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)

2014년~현재 조선대학교 대학원 전기공학과 재학(석사과정)

※ 관심분야 : 전기기기, 모터 설계 및 해석



**김용재(Yong-Jae Kim)**

1996년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)

2003년 일본 무사시 공업대학 대학원 공학연구과 전기공학 졸업(공학석사)

2006년 일본 무사시 공업대학 대학원공학연구과 전기공학 졸업(공학박사)

2007년~현재 조선대학교 전기공학과 부교수

※ 관심분야 : 전기기기 설계 및 해석