

계통연계형 태양광 인버터의 냉각장치 위치에 따른 주요발열부 온도특성 해석

김민석* · 김용재**

Temperature Characteristics Analysis of Major Heating Region According to Cooling Device
Location of Grid-Connected Photovoltaic Inverter

Min-Seok Kim* · Yong-Jae Kim**

요약

무한정한 발전자원과 무공해성 등의 장점을 가진 태양광 발전 시스템은 직류전력을 생산하기 때문에 계통의 연계송전이 가능한 교류전력으로 변환시켜주기 위해서는 태양광 인버터의 사용이 필요하다. 외부에 옥외형 구조로 노출되어 설치되는 소용량의 태양광 인버터는 태양이 강하게 내리쬐는 낮 시간 및 여름철과 같이 외부 환경의 온도가 상승함에 따라 에너지 손실이 발생하고 효율이 감소하게 된다. 태양광 발전 산업의 범위가 확대됨에 따라 태양광 인버터 또한, 상당한 에너지 손실 문제를 야기하므로 이에 따른 대책이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 온도조건에 구애받지 않도록 태양광 인버터 외함에 열전소자를 부착한 냉각장치를 설치하고 냉각효과의 극대화를 위해 두 개의 냉각장치를 사용하여 위치 조절에 따른 냉각효과를 비교분석하고자 한다.

ABSTRACT

To combine to the power transmission, photovoltaic inverter is demanded, because the photovoltaic system is generated direct current power. However, photovoltaic inverter is sensitive to high temperature. In the temperature rising such as at noon and on summer, efficiency of machine is decreased due to the loss increment. Because this problem causes national energy loss according to the expanding the photovoltaic industry, countermeasure is demanded. There, in this paper, we installed a cooling system using a thermoelement regardless of the temperature. Also, we analyze the cooling effect according to the position of two fans which improve the effect maximize.

키워드

Photovoltaic Inverter, Cooling Device, Thermoelement, Thermo-Fluid Analysis
태양광 인버터, 냉각장치, 열전소자, 열 유동 해석

1. 서론

최근 개발도상국의 경제 성장 및 지구촌의 인구 증가로 인해 에너지 소비가 지속적으로 증가함에 따라

지구촌은 비 재생자원 고갈 및 재생자원 훼손 등의 자원문제와 지구온난화와 같은 환경문제에 직면해 있다 [1]. 이에 국내·외에서는 대체에너지 개발에 대한 노력이 계속되고 있으며, 무공해성, 타 에너지로의 변환

* 조선대학교 전기공학과(therqwer@naver.com)

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

접수일자 : 2014. 06. 21

심사(수정)일자 : 2014. 07. 02

게재확정일자 : 2014. 07. 18

용이성, 전송의 편의성 등 다양한 장점을 가진 전기에너지가 이러한 문제를 해결하기 위한 핵심 에너지원으로 주목 받고 있다.

전기를 생산하는 시스템 중 태양광 발전 시스템은 반영구적으로 사용이 가능하고 환경오염이 없기 때문에 다방면에서 사용되고 있으나 우리가 상용으로 사용하고 있는 전기는 교류이므로 직류 전기를 생산하는 태양광 발전에는 직류를 교류로 변환해 주는 태양광 인버터가 필요로 하게 된다.

태양광 발전 시스템은 주로 태양이 강하게 내리쬐는 낮 시간과 여름철에 사용이 집중되어 직류전력을 생산한다[2-3]. 하지만 계통의 연계가 가능하도록 직류전력을 교류전력으로 변환시켜주는 태양광 인버터는 소용량의 경우 외부에 옥외형 구조로 설치해야 하므로 강한 열에 노출되어 효율이 급격하게 감소하는 문제점이 발생하게 된다.

매년 태양광 발전 산업이 성장하면서 태양광 인버터 산업도 크게 발전하고 있지만 이러한 외부환경에 따른 관리가 제대로 이루어지지 않아 상당한 에너지 낭비가 발생하므로 이에 대한 대책이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 태양광 인버터의 계절별 온도에 따른 에너지 손실 문제를 해결하기 위해 태양광 인버터 외함에 열전소자를 부착한 냉각장치를 설치하고자 한다. 또한 냉각효과를 극대화하기 위해 두 개의 냉각장치를 사용하여 위치 조절에 따른 냉각효과를 비교분석하고자 한다.

II. 관련 이론

냉각장치를 부착한 인버터 외함의 열 유동 해석을 위해 상용 CFD 프로그램을 사용하였다. 냉각장치의 주요 구성요소는 열전소자와 냉각 Fan으로 열전소자 해석을 위해 식 (1), (2), (3)이 사용되었다. 난류 유동 해석을 위해서는 식 (5), (6)과 같이 Zero Equation 난류 모델이 사용되었다.

2.1. 열전소자

식 (1), (2)의 첫 번째 항은 펠티어 효과에 의한 흡열량을 나타내고, 두 번째 항은 전류의 흐름으로 인한 Jole열 효과를 나타내며, 세 번째 항은 열전소자가 등

작 시 고온부 T_h 와 저온부 T_c 의 온도차에 의해 열이 역으로 전도되는 현상을 나타낸다. 또한 식 (3)은 발열량과 흡열량의 차인 열전소자의 소모 전력을 나타낸다[4-5].

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

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

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

2.2. 난류 방정식

해석모델의 열 유동 해석 시 냉각 Fan을 이용한 강제 대류이기 때문에 난류조건을 고려해야하며, Zero Equation 난류모델인 난류 점성 계수를 계산한 다음의 관계를 사용한다[6].

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

$$\text{where } S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}, S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (6)$$

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

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

III. 냉각장치를 부착한 태양광 인버터의 외함 구성 및 해석모델

3.1. 냉각장치를 부착한 태양광 인버터의 외함

본 연구에서는 고온에 민감한 태양광 인버터의 온도 상승에 따른 에너지 손실을 저감하기 위해 그림 1과 같이 3kW급 태양광 인버터에 냉각장치를 설치하였다. 냉각장치는 열전소자에 냉각 Fan과 Heat sink를 부착하여 구성하였고, 보호 등급은 IP 65이상으로 밀폐형 구조를 채택하여 외부환경에 의한 이상동작으로 수명이 감소하는 문제를 해결하였다. 냉각장치 및 태양광 인버터 외함의 제원은 표 1에 나타내었다.

3.2. 해석모델

태양광 인버터 외함의 열 유동 해석을 위해 Ansys Design Modeler를 사용하여 3D모델을 구성하였다[7]. 3D 모델의 단순화 작업을 통해 불필요한 격자 수 및 해석시간을 단축하였고, Element 수는 421,449, Node 수는 433,508로 하였다. 해석 영역은 외함을 포함하는 전 영역에서 태양광 인버터의 주요 발열 소자인 IGBT, Capacitor가 포함된 영역을 중심으로 주요 발열 구간을 선정하였고, 경계 조건은 표 2와 같이 설정하였다.

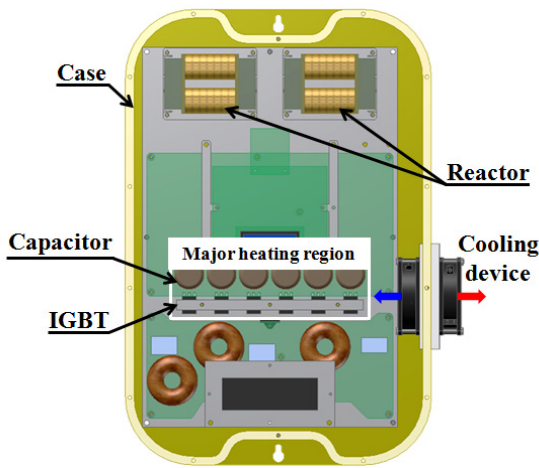


그림 1. 냉각장치를 부착한 태양광 인버터
Fig. 1 Photovoltaic inverter attached cooling device

표 1. 냉각장치 및 태양광 인버터 외함의 제원
Table 1. Specification of photovoltaic inverter case and cooling device

	Items	Value
Case	Size	390×140×30[mm]
Fan	Flow rate	30[cfm]
	Head pressure	10[N/m ²]
	Voltage	12[V]
	Size	80×80[mm]
Thermo element	Maximum current	8.5[A]
	Maximum vlotage	15.7[V]
	Size	40×40[mm]
	Hit sink size	80×80[mm]

표 2. 경계 조건
Table 2. Boundary condition

Gravity Acceleration	-9.80665 [m/s ²]
Flow Regime	Turbulent
Time Variation	Transient
Ambient Fluid	Air

IV. 냉각장치의 위치에 따른 냉각효과 특성해석

태양광 인버터는 직류전력을 교류전력으로 변환하여 주는 장치로 기기 자체의 효율이 높다. 하지만 태양이 강하게 내리쬐는 낮 시간 및 여름철에 상승하는 온도로 인해 그림 2와 같이 50[°C] 이상으로 온도가 상승하게 되면 효율이 급격히 감소하는 문제점이 발생한다. 이에 효율이 감소하기 시작하는 50[°C] 지점을 본 연구에서는 적정 냉각기준온도라 가정하였다. 또한 태양광 인버터 효율 감소에 큰 영향을 미치는 소자를 중심으로 주요발열구간을 지정하였고, 과도해석을 통해 온도 그래프를 확인하였다.

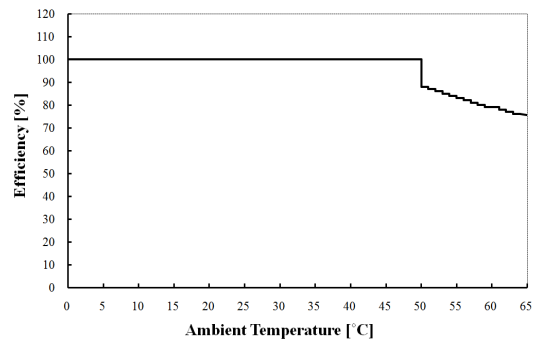


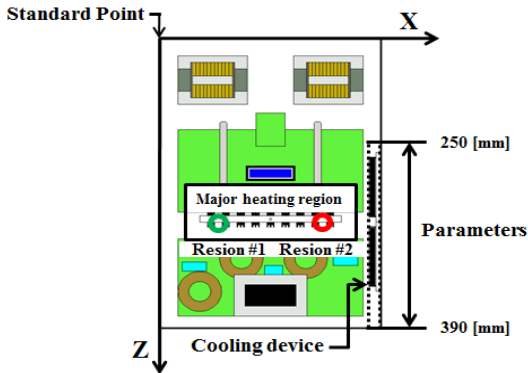
그림 2. 태양광 인버터의 온도에 따른 효율 특성
Fig. 2 Efficiency characteristics according to temperature of photovoltaic inverter

4.1. 두 개의 냉각장치 설치에 따른 변수설정

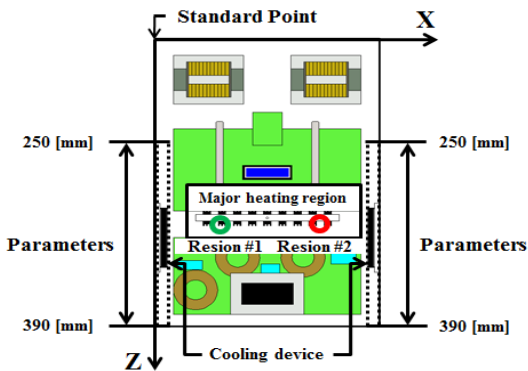
그림 3 (a)는 Side Double Fan(SDF)방식으로 냉각장치를 설치한 태양광 인버터 외함을 나타내었고, 그림 3 (b)는 Opposite Side Fan(OSF)방식으로 냉각장치를 설치한 태양광 인버터의 외함을 나타내었다.

열전소자를 부착한 냉각장치의 위치는 냉각 Fan의

정중앙을 기준으로 하였을 때 Z축 방향으로 250[mm]-390[mm]까지 변수를 설정하여 해석을 수행하였다. 해석조건은 태양광 인버터의 효율이 가장 많이 감소하는 여름철이라 가정하고, 내부온도는 70[°C], 열전소자의 흡열부 온도는 20[°C], Flow rate는 30[cfm], Head pressure는 10[N/m²]로 하였다.



(a) Selection parameters of SDF



(b) Selection parameters of OSF

그림 3. SDF와 OSF의 변수설정

Fig. 3 Selection parameters of SDF and OSF

4.2 Side Double Fan의 냉각효과 특성해석

주요 발열 영역인 Region #1과 Region #2가 본 연구의 적정 냉각기준온도인 50[°C]이하로 가장 먼저 냉각된 모델은 SDF-330[mm]로 최종 냉각 소요 시간은 430s이고, 나머지 모델의 최종 냉각 소요 시간은 480s 이후에 도달함을 확인하였다.

그림 4에 SDF-330[mm]의 주요발열구간에 대한

온도 특성 그래프를 나타내었다. SDF-330[mm]의 온도 특성 그래프를 보면 Region #1의 적정 냉각기준온도에 도달시간은 280s이고, Region #2의 적정 냉각기준온도 도달시간은 430s이다. 또한 최종 냉각 시간인 430s 지점에서 Region #1과 Region #2를 비교하였을 때 4[°C]정도의 온도 차이가 발생함을 알 수 있다. 이는 태양광 인버터 내부에 배치된 소자의 영향으로 냉각 Fan에서 발생하는 공기의 흐름이 왜곡되어 한 영역에서만 집중적으로 냉각이 이루어진 것으로 사료된다. 이러한 SDF-330[mm]에서 Region #1 한 영역의 집중적인 냉각방식은 소자의 수명 저하에 밀접한 연관이 있으므로 태양광 인버터 내부에 배치된 소자의 위치에 대한 고려가 필요하다.

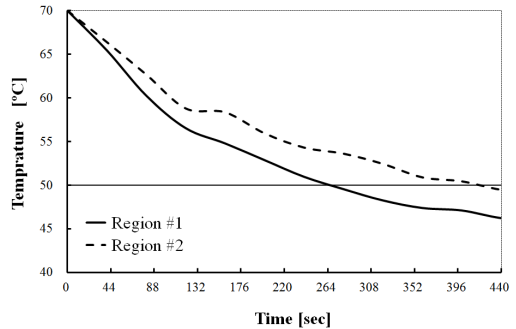


그림 4. SDF-330[mm]의 주요발열구간에 대한 온도 특성

Fig. 4 Temperature characteristic by major heating region of SDF-330[mm]

4.3 Opposite Side Fan의 냉각효과 특성해석

한 면에 두 개의 냉각 Fan을 설치한 SDF 방식과 달리 주요발열영역을 중심으로 서로 마주보게 냉각 Fan을 설치한 OSF 방식의 냉각효과 특성을 과도해석을 통해 확인하였다. OSF의 Region #1과 Region #2가 적정 냉각기준온도인 50[°C]이하로 가장 먼저 냉각지점에 도달한 모델은 OSF-360[mm]로 나타났다. OSF-360[mm]가 적정 냉각기준온도에 도달하는데 소요된 시간은 125s이고, 나머지 모델이 냉각에 소요된 시간은 135s 이후로 나타났다.

그림 5는 OSF-360[mm]의 주요발열구간에 대한 온도 특성 그래프를 나타내었다. Region #1과 Region #2의 두 영역은 SDF-330[mm]에 비해 균일하게 냉각

되었고, 최종 냉각소요시간은 3.5배 이상 단축됨을 알 수 있었다. 이러한 주요발열구간을 중심으로 서로 마주보게 설치한 OSF-360[mm]는 SDF-330[mm]에 비해 균일하게 냉각되어 소자의 수명 및 효율을 보존할 수 있고, 빠른 냉각속도로 인해 냉각장치에 발생하는 소비전력을 절감할 수 있어 태양광 인버터 외함을 냉각시키는데 유리하리라 사료된다.

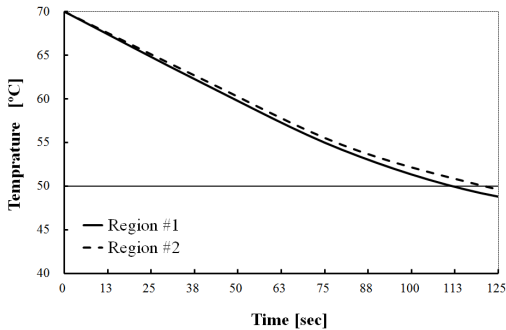


그림 5. OSF-360[mm]의 주요발열구간에 대한 온도 특성

Fig. 5 Temperature characteristic by major heating region of OSF-360[mm]

V. 결론

본 논문에서는 외부환경의 온도 상승에 따라 발생하는 태양광 인버터의 에너지 손실을 저감하고자 태양광 인버터의 외함에 열전소자를 부착한 냉각장치를 설치하였다. 냉각효과의 극대화를 위해 두 개의 냉각장치를 사용하였고, 보호등급은 IP 65이상을 채택하여 염분, 고습도, 수적 등 사용 환경에 의한 이상동작을 방지할 수 있는 밀폐형 구조를 채택하였다.

냉각장치 두 개의 위치 조절에 따른 냉각효과를 확인하기 위해 태양광 인버터 외함의 한 면에 두 개의 냉각장치를 설치한 Side Double Fan(SDF) 방식과 주요발열구간을 중심으로 서로 마주보게 냉각장치를 설치한 Opposite Side Fan(OSF) 방식으로 나누어서 냉각효과를 비교분석하였다. 해석 조건은 태양광 인버터의 효율이 가장 많이 감소하는 여름철이라 가정하였고 과도해석을 수행하였다. 본 연구에서 적정 냉각기 준온도로 선정된 50[°C]에 가장 먼저 냉각된 모델을

확인한 결과, SDF방식에서는 430s로 SDF-330[mm]가 가장 먼저 냉각되었고, OSF방식에서는 125s로 OSF-360[mm]가 가장 먼저 냉각됨을 확인하였다.

하지만, SDF-330[mm]는 OSF-360[mm]에 비해 3.5배 이상의 냉각 시간이 소요되었다. 또한 SDF-330[mm]의 최종 냉각 소요 시간인 430s에서 Region #1과 Region #2를 비교 시 4[°C] 이상의 온도 차이가 발생함을 알 수 있었다. 이러한 Region #1이 집중적으로 냉각되는 방식은 지속적인 온도차이로 인해 소자의 수명 저하와 밀접한 연관이 있다고 판단하였다. OSF-360[mm]의 냉각효과는 SDF-330[mm]에 비해 균일하게 냉각되어 주요발열소자의 수명 및 효율을 보존할 수 있고, 3.5배 이상 빠른 냉각속도로 두 개의 냉각장치에서 발생하는 소비전력을 절감할 수 있으리라 사료된다.

따라서 태양광 인버터에 두 개의 냉각장치를 설치할 경우 주요발열구간을 중심으로 서로 마주보게 설치한 OSF-360[mm]의 냉각효과가 태양광 인버터 외함의 한 면에 두 개의 냉각장치를 설치한 SDF-330[mm]의 냉각효과보다 뛰어난 것을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 2014년도 한국전자통신학회 봄철 종합학술대회 우수논문입니다.

이 논문은 2014학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

References

- [1] J.-J. Choi, C.-G. Hwang, and C.-J. Moon, "Development of evaluation model for the Korean new & renewable energy policies : focusing on RPS & FIT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 9, 2013, pp. 1333-1342.
- [2] H.-C. Kim, "Development of a stand-alone solar street light controller integrated," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 6, 2014, pp. 641-647.

- [3] K.-W. Park, K.-J. Ban, S.-H. Song, and E.-K. Kim, "Cloud-based intelligent management system for photovoltaic power plants," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 3, 2012, pp. 591-596.
- [4] S.-Y. Yoo, C.-P. Hong, and W.-S. Shim, "A Study on the performance of thermoelectric module and thermoelectric cooling system," *J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, vol. 16, no. 1, 2004, pp. 62-70.
- [5] J.-S. Choi, J.-S. Ko, and D.-H. Chung, "Cooling system development of BIPV module using thermoelectron," *The Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 57, no. 9, 2008, pp. 1555-1562.
- [6] 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.
- [7] S. Kim, C. Hong, J. Park, S. Lee, and S. Ryoo, "The optimal design of heat sink for 4kW photovoltaic inverter by using thermal and fluid simulation," *J. of Korea Society for Computational Fluids Engineering*, vol. 2013, no. 5, 2013, pp. 248-254.

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