

3kW급 옥외형 태양광 인버터의 효율개선을 위한 냉각시스템 연구

김민석* · 박의종** · 김용재*** · 오보석****

A Study on Cooling System for Efficiency Improvements of 3kW Outdoor Type Photovoltaic Inverter

Min-Seok Kim* · Eui-Jong Park** · Yong-Jae Kim*** · Bo-Seok Oh****

요 약

최근 태양광 발전 산업에서 가격매입제도가 도입되면서 주목받고 있는 태양광 인버터는 대부분 개방형 통풍구조로 인해 기후변화에 유연하게 대응하지 못하고 설치환경에 따라 이상동작이 발생하여 효율 및 수명이 감소하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하고자 외부환경에 영향을 받지 않도록 밀폐형 구조를 사용하고 계절별 온도에 따른 변화에 쉽게 대응하도록 새로운 냉각시스템을 부착한 친환경 태양광 인버터를 개발하고자 한다. 또한 냉각시스템의 소비전력을 최소화 하기위해 인버터 내부에 부착한 냉각시스템의 최적 구간을 도출하고 사용 냉각장치의 개수를 결정하여 인버터 효율을 향상시키고자한다.

ABSTRACT

Recently, photovoltaic inverter is received attention in photovoltaic with introduction of feed-in tariff. However, this inverter has problems such as inability to respond flexible at climate change due to its opening, and decrease of efficiency and lifetime due to its abnormal operation. To solve the problem, we desire to develop the eco-inverter which has a temperature control to respond easily on the change of temperature, and use the sealed structure not to affect the environment. In addition, we derive the optimal position of cooling system which is placed inside of inverter to minimize the power consumption, and proposed the effective measure to improve the efficient of inverter by deciding the number of cooling system.

키워드

Photovoltaic Inverter, Cooling System, Temperature Control Device, Thermolement, Thermal Analysis
태양광 인버터, 냉각 시스템, 온도 제어 장치, 열전 소자, 열 해석

1. 서 론

전 세계적으로 경제성장 및 인구 증가로 인해 에너지 소비가 지속적인 증가추세를 나타내면서 화석에너지

지 사용에 따른 지구온난화 등의 환경문제가 꾸준히 대두되고 있다[1-2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 국가적으로는 에너지를 절약할 수 있고 소비자는 에너지 소비 비용을 절감할 수 있는 효율이 좋은 기기를

* 조선대학교 전기공학과(therqwer@naver.com)

** 조선대학교 전기공학과(puj1988@hanmail.net)

*** 교신저자 : 조선대학교 전기공학과(Kimyj21@chosun.ac.kr)

**** 이류산업 부설연구소(jiunoh@hanmail.net)

접수일자 : 2014. 03. 03

심사(수정)일자 : 2014. 04. 21

게재확정일자 : 2014. 05. 15

보급하기 위한 노력이 계속되고 있다. 이에 에너지 소비의 절감 및 에너지 사용의 효율성을 증대시키기 위한 방안으로 인버터의 수요가 점진적으로 상승하고 있다.

최근 태양광 발전 산업에서 가격매입제도가 도입되면서 크게 주목받고 있는 태양광 인버터는 그 자체로 효율이 높지만 고온에서는 민감하게 반응하며, 특히 태양광 발전 시스템은 태양이 강하게 내리쬐는 낮 시간과 여름철에 사용이 집중되기 때문에 태양광 인버터는 강한 열로 인해 수명 및 효율이 급감하게 된다 [3-4]. 이러한 온도관리 시스템의 일환으로 개방형 통풍구를 사용한 태양광 인버터가 제작되고 있지만 이와 같은 개방 구조는 염분, 고습도, 수적, 빙설 등 외부환경에 따라 이상동작의 발생 확률이 증가하게 된다. 태양광 인버터는 매년 태양광 발전 산업이 발전하면서 태양광 인버터의 산업도 크게 발전하고 있지만 이러한 환경 조건에 의해 상당한 에너지 손실이 발생하므로 이에 대한 대책 마련이 시급하다.

따라서 본 논문에서는 사용 환경에 따른 이상동작을 방지하고자 밀폐형 구조를 채택하고 태양광 인버터의 외함에 열전소자를 부착한 냉각시스템을 사용하여 온도조건에 구애받지 않는 친환경 태양광 인버터를 제안하고자한다. 또한 냉각시스템의 소비전력을 최소화 하기위해 태양광 인버터 내부에 부착한 새로운 냉각시스템의 최적 구간 도출 및 냉각장치의 사용 개수를 결정하여 인버터의 효율을 향상시키고자 한다.

II. 열전소자 이론

일반적으로 열전소자는 그림 1과 같이 두 개의 세라믹 Plate와 그 사이의 P-type 및 N-type 소자로 이루어지며 반도체 소자들은 전기적으로는 직렬, 열적으로는 병렬의 특성을 나타낸다. N-type 소자에 (+)방향 직류전류가 흐르면 P-type 부분에서 N-type 부분으로 전자들이 이동하며 Cold side는 열을 흡수하면서 온도가 감소한다. 흡수한 열은 소자의 Hot side 부분으로 이동하여 온도상승을 방지할 수 있는 Heat sink 및 주위로 방출되게 된다.

열전소자의 흡열량 Q_c , 발열량 Q_h , 소모전력 P의 관계는 다음과 같다.

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

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

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

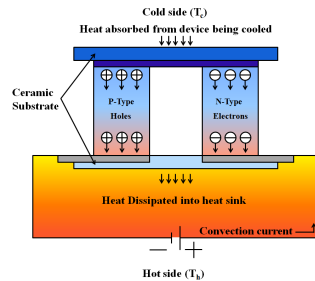


그림 1. 일반적인 단층모듈의 전기적 연결
Fig. 1 General electrical connection of single story module

식 (1), (2)의 첫 번째 항은 펠티어 효과에 의한 흡열량 및 발열량을 나타내고 두 번째 항은 전류의 흐름으로 인한 Joule열 효과를 나타내며, 셋째 항은 열전소자 작동 시 고온부 T_h 와 저온부 T_c 의 온도차에 의하여 열이 역으로 전도되는 것을 나타낸다. 식 (3)에서 열전소자에 걸리는 전압은 저항과 Seebeck효과에 의한 전압강하의 합으로 표시되고, 일정전압을 걸어 전력을 공급할 경우 점점온도차가 증가할수록 상대적으로 전류량이 감소하게 된다. 이러한 열전 이론을 바탕으로 태양광 인버터의 냉각장치에 열전소자를 접목하여 계절에 따른 온도 변화에 대응할 수 있도록 친환경 태양광 인버터를 열 유동 해석프로그램을 통해 모델링 하고자한다.

III. 태양광인버터의 외함 구성 및 냉각방식에 따른 특성해석

3.1. 태양광 인버터의 외함 구성

태양광 인버터는 모듈로부터 입력되는 직류전력을 계통의 연계송전이 가능한 교류전력으로 변환하는 전력변환 장치이다[5-6]. 그림 2는 기존에 사용하고 있는 3kW급 옥외형 태양광 인버터의 내부구조이다. 옥

외형 태양광 인버터는 에너지 소비를 절감하거나 에너지 효율성을 증대시킬 수 있는 장점이 있지만 계절별 온도의 변화에 따라 인버터의 손실이 발생하는 문제점을 가지게 된다. 이에 온도변화에 가장 많이 영향을 미치는 IGBT, Capacitors 등의 주요 발열소자를 중심으로 온도 및 기구적 풍량 분포를 파악하여 효과적인 방열구조의 도출이 필요하다. 따라서 그림 3과 같이 기존의 옥외형 태양광 인버터에 외함을 구성하고 측면에 냉각시스템을 부착하고자 한다. 이를 통해 계절에 따른 온도 조건에 구애받지 않으면서 냉각시스템을 통해 항상 효율을 일정하게 유지하고자 한다. 온도제어장치가 부착된 외함의 제원은 표 1과 같다.

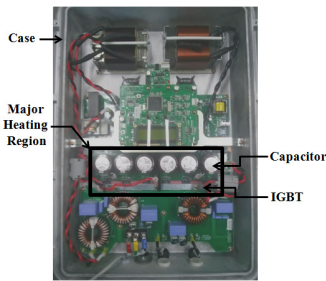


그림 2. 3kW급 옥외형 태양광 인버터의 내부구조
Fig. 2 The internal structure of 3kW photovoltaic inverter system

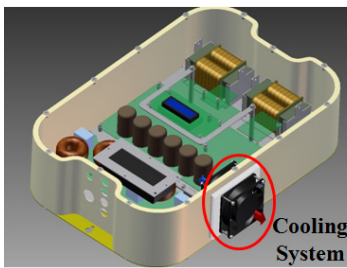


그림 3. 냉각시스템을 부착한 외함구조
Fig. 3 Case structure attached cooling system

3.2. 해석조건

태양광 인버터의 열유동 성능을 파악하기 위해 Ansys Design-Modeler를 사용하여 3D 모델을 구성하였다. 해석 영역은 외함과 주위공기와의 열전달을 고려하기 위해 외함을 포함하는 영역으로 선정하였고 경계조건은 표 2와 같이 설정하였다. 해석격자는 격자의 생성시간 및 품질을 높이고자 육면체 비정렬 격자

(Hexa Unstructured Mesh)를 사용하여 Element수는 421,449, Node수는 433,508로 하여 해석을 수행하였다.

표 1. 태양광 인버터 외함 및 냉각시스템의 제원
Table 1. Specification of photovoltaic inverter case and cooling system

	Items	Value
Case	Size	390×140×30 [mm]
	Flow Rate	30 [cfm]
Fan	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. 경계조건
Table 2. Boundary condition

Ambient Temperature	60 [°C]
Gravity Acceleration	-9.80665 [m/s ²]
Flow Regime	Turbulent
Time Variation	Transient
Ambient Fluid	Air

3.3. 태양광 인버터의 냉각방식에 따른 특성해석

태양광 인버터는 냉각방식에 따라 냉각효과가 다르므로 밀폐형, 개방형 구조로 나누어 냉각효과에 대한 열 해석을 수행하였다[7]. 해석조건은 효율이 가장 많이 감소하는 여름철이라 가정하고 내부온도는 70°C, 열전소자 흡열부 온도는 20°C, Flow rate는 30cfm, Head pressure는 10N/m²로 하였다. 그림 4는 밀폐형 구조와 개방형 구조의 냉각효과를 비교한 그래프로 총 100s 동안 온도의 변화를 과도해석을 통해 수행하였다. 개방형 구조와 밀폐형 구조는 60°C까지 비슷한 냉각효과를 가지지만 45°C 이하로 냉각될수록 밀폐형 구조가 개방형 구조에 비해 냉각효과가 뛰어난 것을 알 수 있었다. 또한 개방형 구조의 태양광 인버터를 옥외에 설치 할 경우 염분, 고습도, 수적, 빙설 등 사용 환경에 따른 이상동작 발생으로 수명이 감소하는 문제점이 발생하게 된다. 이러한 내용을 기반으로 먼지와

같은 분체의 침입이 없고 전 방향에서 분사되는 물방울의 차단이 가능한 IP65 이상의 보호등급을 나타낼 수 있는 밀폐형 구조의 적용이 필요하다.

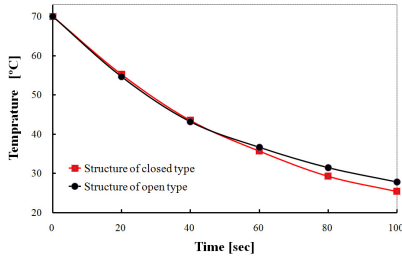


그림 4. 냉각방식에 따른 온도 특성
Fig. 4 Thermal characteristic by cooling method

IV. 태양광 인버터의 냉각 Fan 위치 선정 및 개수에 따른 특성해석

4.1. 태양광 인버터의 냉각 Fan 위치 선정

태양광 인버터는 계절별 온도 변화에 따라 강한 열의 작용으로 인해 효율이 급격하게 감소하게 된다. 이에 가장 큰 영향을 미치는 요소인 IGBT, Capacitors 등의 발열소자를 중심으로 주요 발열영역을 지정하고 온도 및 기구적 풍량 분포를 확인하였다. 또한 그림 5와 같이 Z축 방향으로 냉각시스템을 외함 측면에 부착하여 위치 및 개수를 조절할 수 있게 변수를 설정하였고 분석이 필요한 발열 영역을 선정하여 태양광 인버터 외함의 온도 분포를 확인하였다.

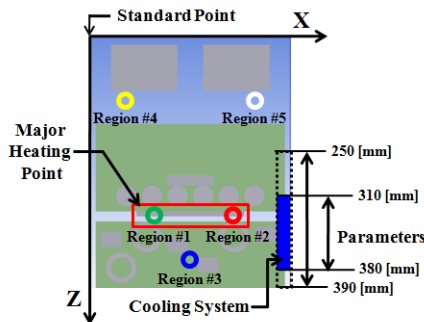
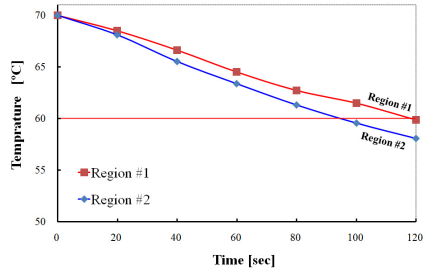


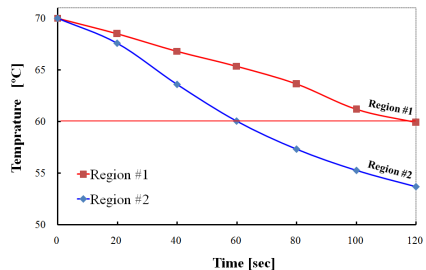
그림 5. 냉각 Fan의 위치에 따른 변수 선정 및 주요 발열영역
Fig. 5 Major heating region and selection parameters by location of cooling fan

4.2. Single Side Fan(SSF)의 냉각효과 최적 구간 선정

열전소자를 부착한 냉각 Fan의 위치는 냉각 Fan의 정중앙을 기준으로 하였을 때 Z축 방향으로 310mm-380mm까지 변수를 설정하여 해석을 수행하였다. 해석조건은 태양광 인버터의 효율이 가장 많이 감소하는 여름철이라 하고 냉각효과에 대한 적정 예상기준 온도는 평균 60°C로 가정하였다. 또한 태양광 인버터의 내부온도는 70°C, 열전소자 흡열부 온도는 20°C로 하였다. 이 중 120s의 과도해석 시간동안 60°C 이하로 냉각효과를 보인 모델은 SSF-350mm, SSF-360mm 모델이었고 나머지 모델은 냉각 Fan과 근접한 Region #2에서만 60°C 이하의 냉각효과를 나타내었다. 그림 6은 SSF-350mm, SSF-360mm 모델의 주요 발열 영역에 대한 온도그래프를 나타내었다.



(a) Thermal graph of SSF-350 model



(b) Thermal graph of SSF-360 model

그림 6. SSF-350과 SSF-360의 주요 발열영역에 따른 온도특성

Fig. 6 Thermal characteristic by major heating region of SSF-350 and SSF-360

그림 6(a)의 SSF-350mm 모델은 Region #1, Region #2가 전반적으로 고루 냉각되는 반면 그림 6(b)

의 SSF-360mm 모델은 Region #1, Region #2 둘다 냉각효과에 대한 적정 예상기준온도에 도달하였지만 냉각 수준의 격차가 크게 나타나게 된다. 이는 태양광 인버터 내부에 배치된 소자의 영향으로 인해 공기 흐름에 왜곡이 발생하여 Region #2의 한부분에만 집중적으로 냉각이 이루어진 것을 확인하였다. 이러한 SSF-360mm의 국부적인 냉각 방식은 소자의 수명 저하와 밀접한 관계가 있으므로 주변소자의 위치에 대한 고려가 필요하며 SSF-350mm가 주요 발열영역을 냉각 시키는데 더 효과적이라 사료된다.

4.3. 태양광 인버터의 소비전력 최소화를 위한 냉각시스템 사용 개수 선정

Double Side Fan(이하 DSF)의 해석을 위해 열전 소자를 부착한 냉각 Fan의 위치는 Z축 방향으로 250mm-390mm까지 변수를 설정하였다. 나머지 해석 조건은 SSF와 동일하게 설정하여 해석을 수행하였다. 120s의 시간 동안 과도해석을 수행한 결과 적정 예상 기준온도인 60°C 이하로 냉각효과를 보인 모델은 SDF-330mm이었고 나머지 모델은 태양광 인버터의 내부에 설치되어 있는 소자들의 영향으로 인해 냉각에 대한 효율성이 감소함을 확인하였다.

새로운 냉각시스템을 부착한 태양광 인버터의 적용에 적합성을 판별하고자 앞서 제시한 SSF-350mm과 SDF-330mm의 냉각효과를 비교하였다. 그림 7과 같이 SSF-350mm는 주요 발열영역의 소자를 집중 냉각할 경우 충분한 냉각효과를 보이고 있고, SDF-330mm는 그림 8과 같이 발열영역 전체가 60°C 이하로 냉각되어 내함 전체의 냉각효과가 우수하다. 하지만 주요 발열영역의 소자만 냉각하는 경우에는 SSF-350mm와 SDF-330mm는 비슷한 냉각효과를 나타냄을 알 수 있다. 또한 SDF-330mm는 한 부분만 집중적으로 냉각되는 현상을 보이고 있어 이는 소자의 수명저하에 영향을 미치게 됨을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 냉각 Fan에 열전소자를 부착한 냉각시스템을 이용하여 온도에 따른 효율감소를 개선할 수 있는 친환경 태양광 인버터를 제안하였다.

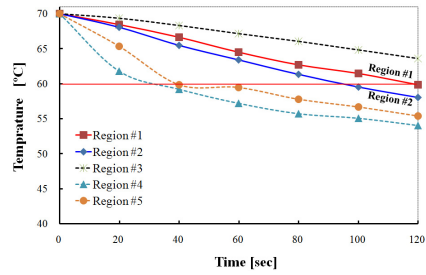


그림 7. SSF-350의 발열영역에 따른 온도특성
Fig. 7 Thermal characteristic by heating region of SSF-350

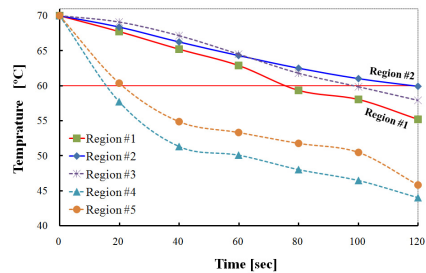


그림 8. SDF-330의 발열영역에 따른 온도특성
Fig. 8 Thermal characteristic by heating region of SDF-330

외함을 구성하기에 앞서 인버터 외함의 냉각방식에 따른 특성을 확인하고자 밀폐형, 개방형 둘로 나누어 비교분석하였다. 그 결과 염분, 고습도, 수직, 빙설 등 사용 환경에 의한 이상동작 발생으로 수명이 감소하는 문제점을 해결할 수 있고 개방형 구조에 비해 냉각효과가 우수한 밀폐형 구조로 선정하였다. 또한 냉각장치의 소비전력을 최소화하기 위해 냉각 Fan의 사용 개수 및 적정 위치에 대한 해석을 수행하였다. 열유동해석 프로그램을 사용하여 120s 동안 과도해석을 수행한 결과 SSF-350mm, SDF-330mm일 때 적정 예상기준온도인 60°C 이하의 냉각효과를 나타냈다. 태양광 인버터 전체를 냉각할 경우 냉각시스템이 두 개인 SDF-330mm가 SSF-350mm에 비해 냉각 효과가 우수하고 태양광 인버터 효율 감소의 주원인인 주요 발열영역의 소자를 집중적으로 냉각할 경우 냉각 효과는 서로 비슷한 양상을 나타낸다. 하지만 SDF-330mm는 한 부분에 집중적으로 냉각되어 소자의 수명저하에 밀접한 영향을 미치고, 두 개의 냉각시스템

을 사용해야 하므로 소비전력 및 제작비용이 상승하게 된다. 따라서 한 개의 냉각시스템만 사용하였을 때 효율 감소에 주원인인 주요 발열영역에 대한 소자의 집중적인 냉각효과가 충분함을 확인하였고 냉각 Fan의 정중앙을 기준으로 하였을 때 Z축 방향으로 350mm인 구간에서 냉각효과가 가장 우수함을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연협력 기술개발사업(산학연협력 기술개발사업(연구마을), 과제번호 : C0119950)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

[1] Y. Ko, "The consideration 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] 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.

[3] C.-S. Kown, "Maximum efficiency point tracking algorithm for improving efficiency of photovoltaic power generating system," Master's Thesis, *Hanbat University*, 2012.

[4] J.-H. Kim, B.-G. Yu, J.-H. So, K.-O. Lee, and G.-J. Yu, "A study of korean efficiency of PV PCS," *J. of the Korea Solar Energy Society*, vol. 29, no. 2, 2009, pp. 356-360.

[5] Y.-J. Kim, Y.-C. Bae, and K.-H. Kim, "The design of protection circuit of invert of driver for motor control," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, 2013, pp. 172-174.

[6] 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.

[7] C. Mock, S. Ryoo, S. Kim, S. Ann, J. Jun, C. Hong, S. Na, and K. Kim, "A comparative evaluation between computaional 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 석사과정

※ 관심분야 : 전기기기, 모터 설계 및 해석



박익중(Eui-Jong Park)

2013년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2013년~현재 조선대학교 대학원 전기공학과 석사과정

※ 관심분야 : 모터 설계 및 해석



김용재(Yong-Jae Kim)

1996년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2003년 일본 무사시공업대학 대학원 공학연구과 전기공학 졸업(공학석사)

2006년 일본 무사시공업대학 대학원공학연구과 전기공학 졸업(공학박사)

2007년~현재 조선대학교 전기공학과 부교수

※ 관심분야 : 전기기기 설계 및 해석



오보석(Bo-Seok Oh)

1994년 조선대학교 정밀기계공학과 졸업(공학사)

1996년 조선대학교 대학원 기계설계공학과 졸업(공학석사)

2013년~현재 이루산업 부설연구소 연구소장

※ 관심분야 : 전기, 전자기기

