

전투차량 발전기용 전압조정기 내열성 향상을 위한 고장분석 연구

류정민*, 이용준, 손권일
국방기술품질원

A Study on the Fault Analysis of the Voltage Controller for the Combat Vehicle Generator

Jeong-Min Ryu*, Yong-Jun Lee, Kwonil Son
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 연구에서는 전투차량 발전기에 적용된 전압조정기에 대하여 야전 운용간 발생한 고장현상의 근본원인을 도출하고, 이를 해소하기 위한 개선방안을 수립하고자 하였다. 전압조정기의 고장품 분해점검을 포함한 고온 운용시험, 온도 포화시험 등의 장비점검과 시험분석을 수행한 결과, 전압조정기 내부에 그을음이나 저항소자의 크랙현상 등 열에 의한 손상을 확인할 수 있었고 고온 운용환경에서 전압조정기의 내부온도가 외부온도 대비 비교적 높게 측정된 것을 확인할 수 있었다. 또한, 시험을 통해 확인한 최대온도 측정치를 저항소자의 사양에 적용한 결과, 온도상승에 따른 저항 값의 물리적인 변화에 의해 전력마진이 불충분할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이로부터 고장현상이 내부 발열과 불충분한 내열성에 기인한 것으로 추정할 수 있었으며, 최소한의 설계변경으로 내열성을 충분히 향상시킬 수 있는 최적의 개선방안을 도출하고자 하였다. 개선방안은 회로변경을 통해 소비전력을 감소시키면서 전력마진을 충분히 확보하는 방안과 내부 전자소자에 열적인 영향성을 감소시킬 수 있는 구조변경 방안을 수립하였다. 이에 대한 검증은 기존 전압조정기와 개선방안이 적용된 전압조정기에 대해 고온운용 비교시험을 수행하여 측정된 결과를 바탕으로 내열성 개선여부를 확인하고자 하였다. 결과적으로, 동일한 고온조건에서 설계변경을 통해 개선된 전압조정기의 내부 측정온도가 기존 대비 크게 감소한 것을 보임으로써 전압조정기의 내열성이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

Abstract In this study, we investigated the cause of a voltage controller failure that occurred in the operation of a combat vehicle and attempted to establish a solution for the failure. The failure in the voltage controller was found to be related to thermal resistance, which could be identified by disassembly analysis and a high temperature operation test. Especially, in the disassembly analysis, there was damage caused by high temperature such as soot on the molding material and cracking of the resistors. In addition, in the high temperature operation test, the test results show that the internal temperature of the voltage controller was relatively higher than the external temperature. This means that the voltage controller failure could be attributed to the excessive heat and insufficient thermal resistance. In order to improve the thermal resistance of the voltage controller, several designs with changing circuits and structures were devised. Improvement of thermal resistance was verified by measuring reduction of internal temperatures in the high temperature comparison test.

Keywords : Voltage Controller, Thermal Resistance, Combat Vehicle, Voltage Control, Temperature Resistance

*Corresponding Author : Jeong-Min Ryu(Defense Agency for Technology and Quality)
email: jmryu@dtaq.re.kr

Received September 10, 2019
Accepted November 1, 2019

Revised October 4, 2019
Published November 30, 2019

1. 서론

전압조정기는 발전기와 전기적으로 연결되어 엔진 동력에 의해 생성되는 발전전력을 일정한 크기의 전압으로 출력시켜 차량 전기장치로 전달하는 역할을 수행한다[1]. 다양한 장비의 출력전압 제어 용도로도 범용적으로 활용될 수 있는 장치이지만, 본 연구에서 대상으로 하는 전압조정기는 궤도형 전투차량에 적용되는 장치로서 고마력의 엔진 동력에 의해 생성되는 발전전력을 제어하는 장치이다. 차량 전방의 엔진실 내부에 위치한 발전기 상부에 장착되어, 높은 마력의 엔진에서 전달되는 회전동력으로부터 발전기가 발전전력을 발생시키고 전압조정기는 과도하게 발생하는 전압을 특정전압으로 감소시키거나 증폭시키는 역할을 한다.

이와 같은 전압조정기는 전압을 제어하는 방식에 따라 크게 아날로그 전압조정기와 디지털 전압조정기로 구분할 수 있다[2]. 아날로그 방식의 전압조정기는 출력전압 비교회로와 신호 증폭회로 등의 아날로그 회로를 통해 전압을 제어하는 반면, 디지털 전압조정기는 마이크로컨트롤러에 집적된 PI제어, PID제어 등의 전자식 제어 알고리즘에 따라 전압을 제어한다. 디지털 전압조정기는 전력분배의 효율화 및 최적화를 위해 선박플랜트나 발전설비 등에 적용되고 있으며, 전력분산을 위한 제어 알고리즘에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 추세이다[3]. 아날로그 전압조정기의 경우 빠른 반응성이나 높은 내구성 보장할 수 있기 때문에 일반 민수차량이나 전투차량의 발전기에 적용되고 있다. 전압조정기는 본 연구와 같은 고장탐구 관점에서의 연구보다는 고장진단 시스템 개발[4]과 적용 부품에 따른 성능비교[5]와 같은 연구가 이루어지고 있는 추세이다.

일반차량과 전투차량에 대하여 전압조정기와 같은 전자장비의 내·외부 환경적 차이점을 보이자면, 먼저 일반차량에서는 차량 정면의 그릴구조의 환풍구를 통해 전달되는 공기로 엔진실 내부의 열을 순환시킨다. 반면, 궤도형 전투차량의 경우 외부의 적으로부터 피탄을 방지해야 하기 때문에 정면은 장갑판을 장착하여 밀폐시키고 상부측에 환풍구를 장착시키는 열 순환설계가 이루어져야 한다. 이에 일반차량에 비해 전투차량은 엔진실 내부온도가 다소 높게 형성되어, 전투차량 엔진실 내부에 장착되는 전자장비는 설계적으로 충분한 내열성을 보장할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한, 사격장비와 궤도장치와 등의 일반차량에서는 필요로 하지 않는 확연히 다른 구조물에 의해 사격충격이나 궤도진동과 같은 상이한 외부

환경의 영향을 받을 뿐만 아니라, 일상적인 도로의 주행 환경보다 가혹한 야전환경에 적합하도록 혹한기나 혹서기, 산악지형 등에 높은 내구성을 보장하여야 한다[6]. 이와 같은 내·외부 환경측면에서의 내열성이나 내구성은 회로설계 단계에서 충분히 고려된 후 환경시험을 거쳐 일반적인 수준의 품질을 보장할 수 있게 되지만, 공정과 생산로트에 따라 결정되는 소재, 부품 단위에서의 품질 다양성과 연동장비와의 상호관계, 운용자의 장비 운용방법, 시시각각 변하는 운용환경 등에 따라 동일품목일지라도 개별적으로 각각의 품질이 달라질 수 있다[7].

만약 전압조정기의 고장이 발생할 경우 차량에 공급되는 전력이 차단되어 차량 운용불가로 상태로 전투공백이 생기거나 안전사고가 발생할 수 있다. 실제로 야전 전투 차량 운용간 전원공급이 원활하지 못하는 상황이 다수 발생하였고, 다행히 인명피해와 차량손상은 없었지만 전압조정기의 고장으로 차량 운용이 불가해졌다. 이와 같은 전압조정기의 고장현상에 대하여 약 10년간의 고장이력을 분석한 결과, 제작업체 A/S 접수이력 기준 연평균 약 1대 정도의 고장이 발생하였음을 확인할 수 있었다. 또한, 대부분이 제작일 기준 약 1년이 지난 시점 이후에 고장이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 고장발생 대수가 다발적이지 않으면서 고장시점이 1년간의 정상동작 이후 발생한 것으로 보아, 고장 발생확률이 일정하고 고장시점에 대략적인 주기성이 있음을 확인할 수 있었다. 이로부터 특정한 고장인자가 지속적으로 작용하여 고장이 발생하였음을 추정할 수 있었다.

실제 대부분의 고장현상은 전압조정기 내부의 전자소자를 손상시킨 것으로, 장비 분해점검 결과로 미루어보아 환경적인 요소가 크게 작용한 것을 확인할 수 있었다. 이에 대해 본 연구에서는 환경적 요인으로 인한 전압조정기의 고장발생 가능성을 감소시키고 품질수준을 균형적으로 보장하기 위해 고장 장비를 분석하여 근본원인에 대한 해결책을 모색하고자 하였다. 고장시료에 대하여 상세 분석을 수행하여 고장 추정요인을 선정하였고, 고온시험과 온도포화시험을 통해 고장발생 메커니즘을 확인하였다. 또한, 구조물 개선방안과 내부회로 개선방안을 도출하여 개선방안 적용 전 후에 해당하는 전압조정기에 대해 고온운용 비교시험을 수행하였고, 측정된 최대온도의 차이를 확인함으로써 개선방안의 효과성을 검증하였다.

2. 고장현상 원인분석



Fig. 1. The appearance of voltage controller

2.1 전압조정기 구조 및 특징

전압조정기는 발전기에 장착되어 전압을 제어하는 장치로서, 전압제어 시 발생하는 열을 방출시키기 위해 구조적으로 Fig. 1과 같이 전면 상부에 방열판이 위치해 있다. 내부에는 Fig. 2(a)에서 보인바와 같이 규사와 혼합된 에폭시 성형화합물이 고체화된 상태로 채워져 밀폐되어 있다. 여기서 규사는 내부에서 발산되는 열을 외부로 방출시키는 역할을 하면서 외부 충격이 가해질 때 힘을 분산시키는 역할을 한다. 에폭시 성형화합물이 채워진 하우징 하부측면에는 Fig. 2(b)와 같은 회로카드가 위치해 있으며, 발전기 전력을 제어하는 전기적 기능을 수행한다. 이 과정 중에 전기에너지를 열에너지로 전환하는 물리적 에너지 변환에 따라 열을 발산할 수밖에 없는 특성을 지니게 된다.

특히, 전압조정기가 탑재되는 전투차량의 엔진실은 밀폐구조로 설계되어 내부가 엔진열에 의해 약 100℃ 정도까지 상승할 수 있다. 따라서 전압조정기는 열을 내부에서 외부로 방출하면서도 동시에 외부에서 내부로 열을 전달받는 위치에 장착되어 열적인 측면에서 영향을 덜 받는 구조설계가 필요하다. 회로설계 측면에 있어서 온도에 영향을 받는 각종 전자부품의 전력마진을 고려하면, 전압조정기는 기능적인 면에서 전기적인 제어를 충분히 가능케 하여야 할 뿐만 아니라 열에 의한 영향성을 최소화시키는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다.



Fig. 2. The inside structure of the voltage controller
(a) Molding structure (b) The circuit board



Fig. 3. The results of the functional failure tests
(a) The measurement of the zener diode (b) The measurement of the resistor

2.2 고장품 분해결과

전압조정기의 고장현상을 상세 확인하기 위해 고장품 2대를 대상으로 몰딩체를 제거한 후 내부를 살펴보았다. 전압조정기 내부에는 Fig. 3과 같이 제너 다이오드와 저항소자가 각각 회로개방(Open Line) 상태로 전기적인 기능을 상실한 것을 확인할 수 있다. 또한, 고장소자를 정상부품으로 대체하여 정상작동이 가능한 것을 확인함으로써, 고장부품이 다이오드와 저항소자임을 명확히 식별할 수 있었다.

저항소자의 고장은 회로도상 저항값 56Ω을 지닌 R21과 120Ω을 지닌 R22가 Fig. 4(a)에서 보인 바와 같이 물리적으로 크랙이 발생하여 전기적인 기능을 상실한 것으로 확인되었다. 고장현상이 발생하기 전 차량이 비교적 장기간 운용 가능하였다는 점과 Fig. 4.(b)와 같이 저항소자 주변부에 그을음이 발생할 정도로 과열이 발생하였던 것으로 미루어 보아, 저항소자의 크랙은 발전기 회전수 변동에 따라 과열과 냉각이 반복되어 내구적인 파손이 발생한 것으로 추정할 수 있었다.

세부검토를 위해 회로설계 측면에서 주요소자의 전력마진을 분석하였다. 전력마진 분석을 위한 참고사항으로,

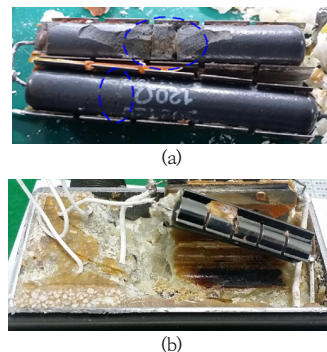


Fig. 4. The inside appearance of the failed voltage controller
(a) The crack of the resistor (b) The soot area around resistor

Fig. 4를 보면 저항소자 주변에 금속재질의 방열클립이 정착되어 있다. 방열클립은 저항소자의 허용전력을 약 2배 정도로 높이기 위해 적용된 부품이며, 저항소자와 결합하여 저항소자에서 발산되는 열을 전압조정기 하우징으로 전달하는 역할을 한다. 저항소자 R21, R22에 방열클립 적용하면 제작사 저항사양에 따라 상온 25℃에서 약 22W의 허용전력을 지닌다. R21과 R22의 소비전력은 회로도에 따라 각각 2.3W와 14.3W로 산출되므로, 상온에서의 허용전력 22W와 소비전력을 비교하면 R22의 전력마진이 7.7W로 R21의 전력마진 19.7W에 비해 비교적 여유치가 적은 것을 확인할 수 있었다.

추가적으로, 상온 25℃보다 더 높은 온도에서의 전력마진을 분석하고자 온도에 따른 허용전력을 살펴보았다. 저항소자의 온도 T에 따른 허용전력 P(T)는 제작사 저항사양을 기준으로 Eq. (1)과 같다.

$$P(T) = -\frac{P_0(25)}{325}(T - 350) \quad (1)$$

Where, $P_0(25)$ denotes the maximum power when the temperature is 25 ℃, i.e., 22W.

수식(1)을 통해 저항소자 R22의 소비전력과 허용전력이 같아지는 지점인 전력마진이 0이 되는 온도조건을 산출하면 약 138.7℃이다. 만약 전압조정기의 내부 방열이 충분하지 못하여 138.7℃ 보다 높은 온도에서 운용될 경우, 소비전력이 허용전력을 초과할 수 있게 된다. 이와 마찬가지로 제너다이오드도 발열소자인 저항소자에 의해 열이 전달되어 물리적인 특성변화가 발생하였거나 저항소손에 의해 과전류가 발생되어 소자 단위에서의 고장이 발생 가능함을 추정할 수 있었다.

따라서 전압조정기의 내부 그을음 및 크랙 발생, 저항 소비전력 여유치 부족 등을 고려하였을 때, 전압조정기의 고장현상은 저항소자 과다발열에 의한 내열성 초과와 전자소자 물리적 특성변동에 따른 과전류 발생에 기인한 것으로 추정할 수 있었다.

2.3 고장 추정원인 검증

전압조정기의 고장현상이 환경적인 측면에서 고온특성에 의한 고장으로 추정됨에 따라, 발열정도를 확인하기 위해 전압조정기 내부 주요부품에 온도센서를 부착한 후 고온 운용시험을 통해 내부온도를 측정하였다. 고온챔버의 온도는 107℃로 설정하여 가혹한 수준의 전투차량 엔진실 내부 고온환경을 모사하였고, 주요 부품인 트랜지스터 1종, 제너다이오드 1종, 저항소자 2종에 온도센서를 부착하였다. 온도 측정은 고온챔버 운용시점인 0초부터

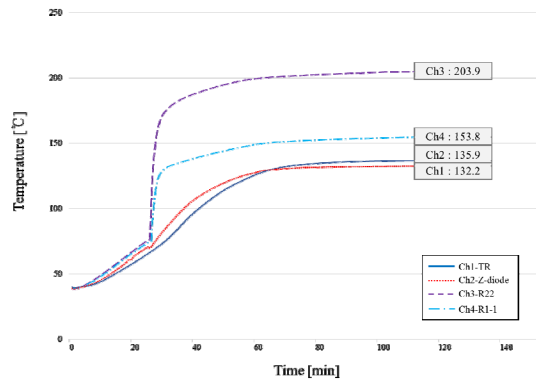


Fig. 5. The result of temperature measurement for the components of the voltage controller

시작하여 챔버온도가 107℃로 유지되는 약 24분 시점에 발전기를 구동하여 고온운용간의 센서 측정데이터를 획득하였다.

주요 부품별 온도를 측정한 결과, Fig. 5와 같이 크랙이 발생한 부품과 동일한 저항소자 R22의 표면에서 포화온도를 기준으로 최대 약 203.9℃의 과다발열이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 최대 발열온도 203.9℃는 최소 발열온도 132.3℃의 154%로 온도 차이에 따라 내부 열확산이 발생 가능한 수준임을 확인할 수 있었다. 또한, 설계 이론치상의 전력마진이 0이 되는 온도인 138.7℃ 이상의 온도가 측정됨에 따라 온도상승에 의해 이론적으로 고장발생의 여지가 있는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 저항소자의 내부발열을 최소화시키고 전력마진을 확보하기 위한 회로 설계개선이 필요한 것을 확인할 수 있었다.

추가적으로, 저항소자에서 발생한 그을음과 크랙현상의 원인이 과다발열에 의한 것으로 추정됨에 따라 이를 검증하기 위해 온도포화시험을 수행하였다. 온도포화시험은 방열설계가 되어 있지 않은 구조물에 저항 R21과 R22를 직렬로 연결하고, 규사를 적용한 후 물당치리 하여 실제 전압조정기의 구조보다 열이 쉽게 전달될 수 있는 가혹한 조건의 구조물에 고온시험을 수행하는 환경을 구성하였다. 시험방법은 전투차량 발전기의 ON-OFF과정을 모사한 것으로, 저항소자의 온도변화에 따른 물리적인 변형을 확인할 수 있도록 구성하였다. 우선 구조물을 고온챔버 내부에 고정시키고 열을 인가하여 외기온도인 챔버온도를 107℃로 맞춘 후, 기존 전압조정기의 정상 입력조건과 동일한 전압을 인가하여 저항 R21과 R22의 온도가 포화될 때까지의 온도를 측정하였다. 저항 R21과 R22의 온도가 포화된 후에는 전원 인가를 중지시키고

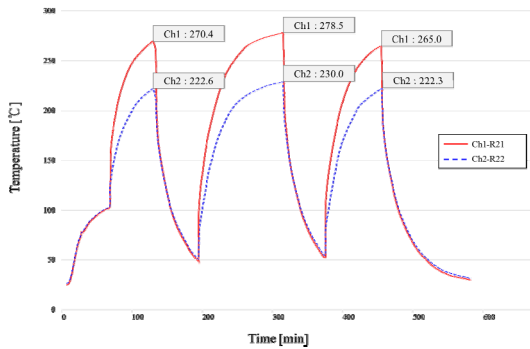


Fig. 6. The results of the temperature saturation test

고온챔버를 개방하여 전압조정기의 내부온도를 약 50도 까지 하강시키는 과정으로 저항소자의 온도 포화와 냉각을 3회 반복하였다.

온도포화시험을 수행하는 동안 측정된 온도는 Fig. 6과 같다. 저항 R21과 R22의 최대 포화온도 측정값이 각각 230.0°C, 278.5°C로, 실제 전압조정기의 최대 발열온도보다 약 74.6°C 높게 측정된 것을 확인할 수 있다. 또한, 일반적인 운용조건과 달리 비교적 높은 온도와 열화 조건을 인가하면서 시험을 수행한 결과 Fig. 7과 같이 저항소자의 표면에 크랙이 발생한 것을 확인할 수 있었다.

결과적으로, Table 1에서 나타난 바와 같이 내부온도 측정을 통해 저항소자에 과다한 발열이 발생하는 것을 확인하였으며, 고열에 의해 저항소자에 물리적인 손상이 발생할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이로부터 시험에서 인가한 열화조건이 실제 전압조정기의 전자소자에 유사하게 인가될 경우 저항소자에 물리적인 변형을 일으킴으로써 회로 전반에 고장을 발생시키는 원인요소로 작용할 수 있음을 확인할 수 있었다.



Fig. 7. The crack of the resistor occurred in temperature saturation test

Table 1. Verification results for the failure mode of the voltage controller

Failure Mode	Estimated Factor	Verification Method	Result
The soot of the molding material	Excessive heat	Temperature measurement	Excessive heat was measured (Max. 203.9°C)
The crack of the resistor	Thermal damage	Temperature saturation test	Crack was shown

Table 2. Design model for electronic and thermal improvement of the voltage controller

Object	Radiation of heat	Power margin	Thermal diffusion	
Design Improvement	Increase of the silica sand	Paralleling the resistor circuit	Add rivets to the housing	Location changes of electronic components

3. 설계개선 및 검증

전압조정기의 고장현상을 해소시키기 위해서는 일반적으로 회로 재설계를 통해 개선하는 것이 바람직할 수 있다. 하지만, 개선방안 수립에 제한요소로 작용하는 회로 재설계에 기인한 또 다른 문제발생의 가능성과 설계 및 생산에 요구되는 비용 등이 고려되어야 하는바, 최소한의 변경으로 방열효과를 최대한 이끌어내는 방향으로 개선하고자 하였다.

3.1 설계개선

전압조정기의 개선방안은 표 2와 같이 크게 4개의 설계적인 변경방안으로서 몰딩부와 회로도도의 변경, 리벳부 추가와 전자소자의 위치변경을 통해 설계 구조적으로 고온에 의한 영향성을 감소시키고 전력마진을 확보하고자 하였다.

우선 몰딩부 변경에 대해서는 열 방출에 가장 큰 영향을 미치는 내부 몰딩부에 대하여 구성 혼합물질의 양을 증대시키고자 하였다. 몰딩부는 특정 입자크기를 지니는 규사를 에폭시 성형화합물에 혼합하여 고체화시킨 물질로서, Fig. 8에서 보인 바와 같이 규사량을 기존대비 약 380g증대시켰다. 이는 빈 공간을 고체형 물질로 채우는 방안으로써, 열 확산경로를 확장하여 열이 하우징까지 효과적으로 전달될 수 있도록 개선하고자 하였다.

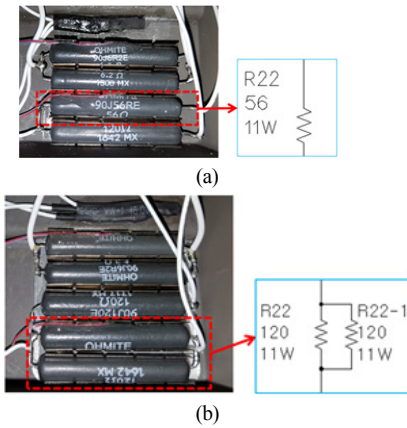


Fig. 8. The circuit comparison for the electronic resistor connection
(a) The original circuit (b) the improved circuit

이 외에도, 전압조정기 고온시험간 203.9℃의 가장 높은 온도를 보인 저항소자 R22의 발열량 개선을 위해 Fig. 9와 같이 저항연결회로를 직렬에서 병렬로 변경하였다. 이는 저항 R21과 동일한 스펙의 120Ω, 11W 저항소자를 병렬로 연결시켜 전력을 분산시키고 전력마진을 증대시키는 방안으로서, 회로변경을 통해 저항에서 발생하는 열을 근본적으로 감소시키고자 하였다. 또한, 세 번째 개선방안으로 Fig. 10과 같이 저항소자의 방열클립과 하우징을 연결시킬 수 있는 리벳을 추가하여, 저항소자에서 발산되는 열을 전압조정기 외부로 더욱 방출시킬 수 있도록 개선하고자 하였다.

네 번째 개선방안은 Fig. 11과 같이 열에 영향을 받을 수 있는 전자소자의 납땜위치를 회로기판 뒷면으로 이동시켜 저항소자로부터 발산되는 열이 회로기판을 거쳐 간접적으로 전달될 수 있도록 개선하고자 하였다.

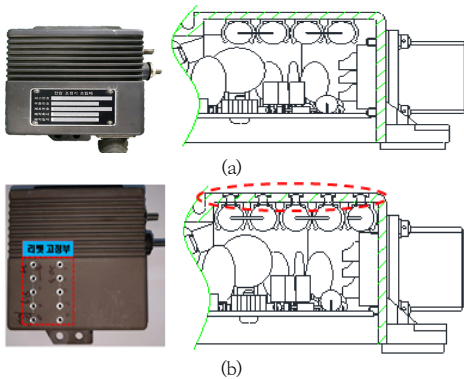


Fig. 9. The structure changes of physical resistor connections
(a) The original structure (b) The improved structure

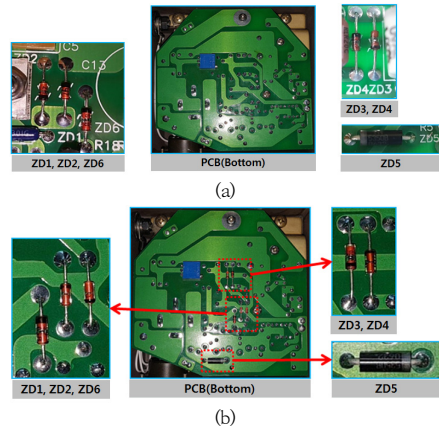


Fig. 10. The location changes of the electronic components
(a) The original circuit board (b) The improved circuit board

3.2 개선방안 검증

기준에 수행한 내부온도 측정시험과 동일조건으로 개선방안이 전부 적용된 전압조정기에 고온시험을 수행하여 내부온도 측정결과를 비교하고자 하였다. 동일조건은 외기 107℃에서 발전기를 일정 회전수로 구동한 상태에서 트랜지스터, 다이오드, 저항R22, R1-1에 온도센서를 부착하고 고온운용 상태에서의 온도를 측정하는 시험환경으로서, 시험결과 내부온도는 Fig. 12와 같이 측정되었다.

개선방안이 적용된 전압조정기의 내부 발열온도는 Table 3에서 보인 바와 같이 최대 발열온도가 159.8℃로 개선 전 대비 최대 약 50.1℃의 온도가 감소하는 효과를 보였다. 이 외에도 다른 소자에서도 약 7~8℃의 온도가 감소하는 효과를 보였다. 이로부터 동일한 외기조건에서 기존 대비 개선 후의 내부온도가 더욱 낮게 측정된 것이 확인됨에 따라, 개선방안을 적용함으로써 전압조정기의 내열성이 크게 향상되었음을 검증할 수 있었다.

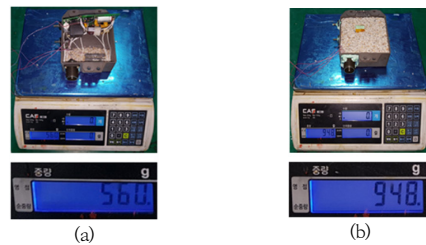


Fig. 11. The weight comparison of the voltage controller
(a) The original structure (b) The improved structure

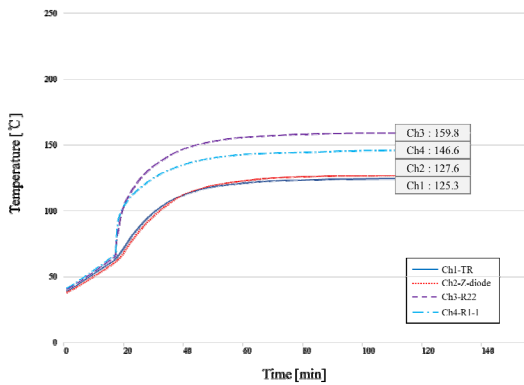


Fig. 12. The results of the inside temperature measurement of the improved voltage controller

Table 3. The comparison result of the temperature measurement tests for the original structure and the improved structure of the voltage controller

Channel name	Sensor Location	Temp. of original structure	Temp. of improved structure	The amount of temp. reduction
Ch1	TR	132.3°C	125.3°C	-7.0°C
Ch2	Z-diode	135.9°C	127.6°C	-8.3°C
Ch3	Resister R22	209.9°C	159.8°C	-50.1°C
Ch4	Resister R1-1	153.8°C	146.6°C	-7.2°C

4. 결론

본 연구에서는 전투차량 야전용공간 발생하는 전압조정기의 고장현상에 대하여, 고장분석을 통해 원인을 밝혀내고 개선방안을 수립 및 검증하여 전압조정기의 품질을 개선하고자 하였다.

전압조정기의 고장원인은 내부 저항소자의 발열에 기인한 것으로, 내부온도 측정시험과 온도포화시험을 통해 저항소자에서 발생하는 열이 전력마진을 충족시킬 수 있는 온도를 초과할 뿐만 아니라 과도한 열이 발생할 경우 물리적인 고장이 유발될 수 있음을 확인할 수 있었다.

이에 따라 전압조정기의 내열성 개선을 위해 물당부를 변경시키고 저항소자의 연결회로를 변경하는 등 개선방안을 도출하였고, 내부온도 측정시험을 통해 개선 전과 후의 측정결과를 비교하여 효과성을 검증하였다. 결과적으로, 개선방안이 적용된 전압조정기는 개선 전 대비 동일한 외기조건에서 최대 약 50.1°C가 감소한 온도가 측정됨에 따라 개선방안의 효과성을 입증할 수 있었다.

References

- [1] S. H. Kim, H. S. Kim, "A study on the improvement of voltage regulator and electronic control unit for vehicle", *Journal of institute of control robotics and systems*, Vol.7, No.11, pp.912-917, Nov. 2001.
- [2] J. S. Lee, K. G. Yun, J. S. Kim, "A study on the development of digital AVR for ship and offshore", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol.40, No.1, pp.39-44, Jun. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2016.40.1.39>
- [3] H. K. Lee, S. H. Kim, H. S. Kim, G. R. Kim, G. H. Kim, "Control techniques for improving response of the AVR", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 11, pp. 2534-2539, Sept. 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.11.2534>
- [4] X. Zhang, H. Uliyar, L. Farfan-Ramos, Y. Zhang, M. Salman, "Fault diagnosis of automotive electric power generation and storage systems," *2010 IEEE International Conference on Control Applications*, IEEE, Yokohama, Japan, pp. 719-724, Sept. 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CCA.2010.5611179>
- [5] H. J. Ahn, K. S. Shim, Y. C. Lim, J. H. Choi, S. J. Park, and E. S. Kim, "A study on the power generation performance evaluation of the alternator for the vehicle", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 28, no. 6, pp. 21-29, Jun. 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2014.28.6.021>
- [6] H. J. Yoon, Y. W. Nam, K. S. Park, "A study on reliability improvement of BLDC motor for combat vehicle in high temperature environment", *The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol.17, No.5, pp.97-102, Oct. 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14775/ksmp.2018.17.5.097>
- [7] Y. J. Lee, J. M. Ryu, K. I. Son, S. B. Song, S. B. Kim, and W. J. Park, "A study on the reliability growth of multiple launch rocket system using accelerated life testing", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.22, No.2, pp. 241-248, Apr. 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2019.22.2.241>

류 정 민(Jeong-Min Ryu)

[정회원]



- 2011년 2월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 (공학사)
- 2014년 8월 : 광주과학기술원 (공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

신호처리, 무선통신, 시험평가

이 용 준(Yong-Jun Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학 (공학석사)
- 2014년 2월 : 부산대학교 첨단정밀공학(공학박사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

고장분석, 신뢰성, 시험평가

손 권 일(Kwonil Son)

[정회원]



- 1998년 2월 : 아주대학교 전기전자공학부 (공학사)
- 2003년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

계측제어, 로보틱스