

시험환경에 따른 전력변환장치의 신뢰성 분석 및 검토

임중웅, 윤춘기, 안윤영*, 임용배**, 최규하
전국대학교, 전자통신연구원*, 전기안전연구원**

Reliability Analysis of Power Conversion System by Test Environments

Jong ung Lim, Chun gi Yoon, Yoon Young An*, Yong Bae Lim**, Gyu Ha Choe
Konkuk Univ., ETRI*, KESCO**

ABSTRACT

Power conversion system comes with a twenty year warranty commonly. Life test requires a long time. The life of power conversion system that especially sensitive to temperature can be expected within a short time by using Arrhenius technique with worst stress condition than actual working condition.

This paper researches reliability analysis and environment test of power conversion system.

1. 서 론

에너지의 이용으로 현대의 인류생활은 윤택하며 눈부시게 발전을 거듭했다. 주요 에너지원으로 화석연료 사용으로 이산화탄소의 배출량은 매년 0.7%씩 증가하고 있으며, 2013년 5월 이산화탄소의 농도는 400ppm(1989년 350ppm)을 넘어서고 있다. 이에 따라 2007년도부터 세계 188개국에서는 북극과 남극의 빙하가 녹지 않는 350ppm까지 이산화탄소의 농도를 내려야 하는 기후변화방지 캠페인을 진행하고 있다. 지구 온난화의 주요 요인인 이산화탄소의 배출 증가는 지구의 평균온도를 지난 100년간 0.74도 상승하였으며, 한국의 경우 100년간 1.5도씨가 상승하여 점점 고온, 다습한 아열대화 되어가고 있다^[1].

급격하게 변화하는 기후 환경에 따라 기존에 설계된 전력변환장치(PCS : Power Conversion System)의 경우 많은 문제가 발생될 것으로 예상되어진다. 대부분의 설비들이 전기로 작동되는 곧 전화(Electrification)의 진행이 매우 신속히 이루어지고 있으며 전반적으로 에너지원 또한 전기에 의존하고 있는 상황으로 전기환경 역시 많은 변화가 예고되고 있다.

따라서 본 연구에서는 환경 변화를 고려한 전력변환장치의 신뢰성 분석과 함께 이에 필요한 시험방법에 대해 검토하고자 한다.

2. 신뢰성 분석

신뢰성이란 부품, 제품, 시스템이 주어진 조건(사용, 환경)에서 고장없이 일정기간동안 최초의 품질 및 성능을 유지하는 특성을 말한다. 신뢰성의 척도로 평균고장시간(MTTF : Mean Time To Failure)을 사용하며, 평균고장시간과 고장율의 관계는 식 (1)을 통해 알 수 있다. 고장율(λ)은 한시간당 어느 정도 고장이 발생하는지를 나타낸다.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} (1/h) \quad (1)$$

전력변환장치에서 고장이 발생할 수 있는 부품은 인덕터, 커패시터, 트랜스, 스위치, 필터 등을 들 수 있으며 이 소자들의 고장율은 대략 1 ~ 10Fit정도이다. 고장율이 1Fit(10^9)일 경우 1시간당 0.000000001개가 고장난다는 의미로 시장에 10억개가 출하되었다면 1시간당 1개가 고장나는 의미로 해석할 수 있다.

2.1 고장율 곡선

어떤 제품이 정상적인 공정으로 만들어질 경우, 대부분의 제품은 사용시간이 경과함에 따라 고장율이 증가하는 형태를 보인다. 그림 1은 사용시간(t)과 고장발생 빈도(λ)의 관계를 도시한 곡선으로 설비의 고장율 변화를 보여주며 그 모양이 욕조를 닮았다고 하여 'Bathtub Curve'로 불린다.

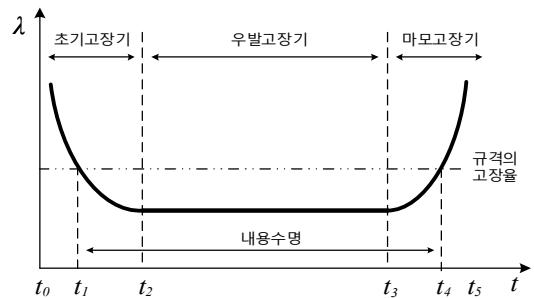


그림 1. 제품의 고장율 곡선
Fig. 1. Failure rate curve of product.

2.2 고장율 곡선의 구간별 곡선설명

구간별 상세설명은 다음과 같다.

- ① 초기 고장기($t_0 \sim t_1$)
제품의 잘못된 설계 및 공정에서의 결함, 재료의 결함 등 제품이 출시되기 시작하면서 발생하는 기간
- ② 우발 고장기($t_2 \sim t_3$)
초기 고장이 끝난 후 우발적인 원인에 의해 고장이 발생하는 경우가 많고, 고장율이 가장 낮고 안정한 기간
- ③ 마모 고장기($t_3 \sim t_5$)
제품 고유의 수명이 도래한 시기로 마모정도, 열화에 의한 고장이 발생하며 예방보전을 통해 고장율을 낮춰 내용수명을 연장할지 코스트를 고려하여 결정하는 기간

3. 시험법의 종류 및 개요

3.1 아레니우스 경험 법칙

일반적으로 온도에 의한 가속법은 아레니우스의 경험법칙에 따른다. 가속온도를 T_a , 정상온도를 T_n , 반감온도를 θ_r 이라 할 경우 가속계수 AL 은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$AL = 2^{\frac{T_a - T_n}{\theta_r}} \quad (2)$$

식 (2)는 정상온도 T_n 에 대하여 반감온도 θ_r 만큼 온도가 상승하면 수명이 반으로 된다고 볼 수 있다. 일반적으로 10°C 법칙이 유명하다. 전해 커패시터의 전해액 증발은 온도에 대해 가속성을 가지고 있다. 온도가 상승하면서 전해액이 열화되는데 이때 누설전류량도 커지게 되어, 온도가 10°C 상승할 때마다 전도도가 2배씩 커지며, 수명은 반으로 줄어든다. 일반적으로 커패시터의 반감온도는 10°C, 칩 레지스터의 반감온도는 5.56°C로 알려져 있다^[2].

3.2 가속시험법

가속시험법은 제품의 사용, 환경조건을 실제의 조건보다 가혹하게 하여 짧은 시간에 수명을 예측하는 방법으로 온도, 습도, 싸이클 등 가속계수(AL : Accelerate)를 구하고, 이를 바탕으로 가속조건에서 획득한 수명데이터에 반영하여 정상조건에서 수명평가를 한다.

3.3 환경시험

환경시험은 제품이 시장에서 맞게 될 환경을 출하전에 공장에서 미리 예측하여 인공적으로 환경을 만들어 비교적 단시간에 그 적응성을 판정하기 위하여 실시한다. 시장에 출하된 제품은 시간이 경과함으로써 여러 가지 환경에 접하기 때문에 IEC 60068 환경시험규격에서는 고온, 저온, 습도, 진동, 싸이클 등 시험항목을 규정하고 있다^[3].

3.3.1 내열성 시험(IEC-60068-2-2)

내열성 시험은 고온 환경에서 해당 제품이 정상적으로 동작하는지 확인하는 시험으로 표 1에서 규정한 온도와 지속시간을 직접 선택하여 환경시험을 진행한다. 일반적으로 전력변환장치의 동작온도는 20°C ~ 65°C이므로 표 1에서 65°C를 선택하여 실험을 진행한다.

3.3.2 온도 싸이클 변화시험(IEC 60068-2-38)

온도 싸이클 시험은 저온(10°C)과 고온(65°C)의 환경을 주기적으로 변화하여 시스템의 성능을 가속화하여 평가하는 방법이다. 가속도 증가를 유도한다는 점에서 다른 환경시험과는 다른 의미를 지니고 있다.

4. 실험 결과 및 검토

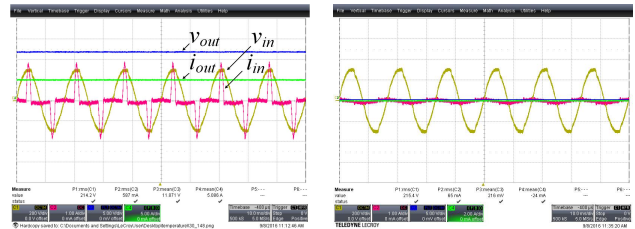
그림 2는 100W, 12V의 정격을 갖는 SMPS를 대상으로 환경 시험(내열성 시험)을 적용했을 때 결과파형을 나타낸다. 실험에 사용한 SMPS의 동작온도 범위는 10°C ~ 70°C를 가지고 있다. 내열성 시험 조건에서 100°C, 2시간을 적용했을 때 SMPS의 동작에 이상이 없었기 때문에, 본 논문에서는 가혹한 조건을

표 1. 온도 및 지속시간

Table 1. Temperature and Time duration.

온도			지속시간
30°C	70°C	315°C	2시간
35°C	85°C	400°C	16시간
40°C	100°C	500°C	72시간
45°C	125°C	630°C	96시간
50°C	155°C	800°C	168시간
55°C	175°C	1,000°C	240시간
60°C	200°C		336시간
65°C	250°C		1,000시간

적용하여 실험 조건으로 125°C, 2시간을 적용하였다. 그림 2(a)는 내열성 시험을 적용 전 정상동작파형을, 그림 2(b)는 내열성 시험 적용 후 동작이 멈춘 파형을 나타낸다. 125°C, 2시간 조건에서 부하 70%일 경우 21분, 부하 100%일 경우 17분만에 동작이 각각 멈추었다. 이는 SMPS를 포함한 전력변환장치가 온도에 민감한 장치로 볼 수 있고, 지속적인 온도 상승으로 전력변환장치의 새로운 설계법이 필요할 것으로 사료된다.



(a) 정상파형

(b) 동작 정지 파형

그림 2. SMPS 동작파형

Fig. 2. Operation of SMPS.

5. 결론

본 논문에서는 향후 기후환경의 변화에 따른 전력변환장치의 신뢰성을 분석하기 위한 방법들을 분석하고 이에 대한 개선방안을 연구하였다. 아열대기후로 변화되는 상황에서 이러한 기후 변화에 대한 고려는 전력변환 설계시 중요한 요소로 고민해야 할 시점에 와있다고 본다.

추후 계통연계형 태양광 인버터 등 프로슈머설비를 대상으로 가속시험법을 적용하고, 전력변환장치의 개선된 설계 및 시험법에 대한 보완방안 등의 제시를 위한 연구가 필요하다고 본다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20162220200010)

참고문헌

- [1] <http://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature>
- [2] Dirk Hirschmann, Dietmar Tissen, Stefan Schroder, Rik W. De Doncker, "Reliability Prediction for Inverters in Hybrid Electrical Vehicles," IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 6, pp. 2511-2517, Nov. 2007.
- [3] International Electrotechnical Commission, International Standard IEC 60068, 2007.