

일반 및 군용 차량용 인버터 가속수명시험법 제안*

장인혁¹ · 김정호¹ · 형재필¹ · 임홍우¹ · 최연옥^{2†}

¹한국기계전기전자시험연구원, ²조선대학교 전기공학과

Proposal of Accelerated Life Test Method of Inverter for General and Military Vehicles *

In-Hyeok Jang¹ · Jeong-Ho Kim¹ · Jae-Pil Hyung¹ · Hong-Woo Lim¹ · Youn-Ok Choi^{2†}

¹Korea Testing Certification

²Electrical Engineering Department, Chosun University

Purpose: In this paper, we propose a test method for evaluating the life time of the inverter which is one of the main internal configuration systems in order to evaluate the life time of the power supply for the vehicle.

Methods: The performance and failure criteria required for the development of the accelerated life test method were established and the Taguchi method was used to derive the stress factors affecting performance and reliability.

Results: The major stress of the product degradation were considered to be high temperature.

Conclusion: The acceleration factor was estimated through a two-level high temperature test and a test methods was designed to guarantee the accelerated life time of the inverter.

Keywords: Power Supply, Inverter, Life Test, Vehicles

1. 서론

최근 차량 내에서 사용되는 전기장치의 종류가 다양해짐에 따라 전원장치의 수요가 증가하고 있으며, 이는 국내뿐만 아니라 해외에서도 증가하고 있는 추세이다[1]. 또한 차량용 전원공급장치 시장의 경우 전 기자동차, 무인자동차 시스템의 필수 요건으로 앞으로의 성장가능성이 기대되는 산업이다[2]. 이렇듯 차량용 전원공급 장치의 수요가 증가한 만큼 소비자들은 고성능 및 높은 내구성 및 신뢰성을 요구함과 동시에 제품의 수명 역시 많은 관심을 갖게 되었다. 하지

만 기존의 IEC 30721-3-5, MIL STD 810G, GMW 3172 등의 차량용 시험기준만으로는 수명을 평가하기가 어려우며, 그 외에도 차량용 전원장치의 수명평가에 대한 자료가 많이 부족한 상태이다[3]. 또한 차량용 전원장치는 내부 컨버터모듈(DC전원 공급), 인버터 모듈(AC 전원공급), MCU 모듈(시스템 제어) 등으로 이루어진 시스템 구조로써 수명을 평가하기 위해서는 먼저 컨버터, 인버터 MCU 모듈 각각의 수명평가가 이루어진 후 전체적인 전원장치의 수명평가가 가능하다는 어려움이 있다[4].

따라서 본 논문에서는 차량용 전원장치의 수명평가를

† 교신저자, yochoi@chosun.ac.kr

2017년 5월 24일 접수; 2017년 6월 16일 수정본 접수; 2017년 6월 19일 게재 확정.

위해 먼저 내부 주요 구성 시스템 중 하나인 인버터의 수명을 평가하는 가속수명시험법을 제안하였다. 가속수명시험법 개발을 위해 필요한 성능 및 고장 판정기준을 수립하였고, 성능 및 신뢰성에 영향을 주는 스트레스 인자를 도출하기 위해 다구치 분석법을 활용하였다. 열화의 주요 스트레스 인자를 고온으로 보고 2단계 수준의 시험을 통해 열화를 추정하였고, 제품의 가속수명을 보증하기 위한 시험계획을 수립하였다.

2. 가속수명시험 설정 절차

2.1 시험모델 선정

시험을 위해 사용된 제품은 실제 일반 및 군용차량 등에 탑재되는 정격입력 12Vdc, 출력전압 220Vac, 500W급, 추정수명 60,000(B5)시간인 차량용 전원장치의 인버터 제품을 대상으로 시험하였다.

2.2 열화영향성 확인

<Table 1>은 실제 군용차량 제조회사인 S社에서 제공한 데이터를 나타낸 것으로 군용차량의 열화 및 고장의 주요요인은 온도, 습도, 부하동작 등의 문제로 파악되고 있다.

Table 1 Major failure factors

Major Failure Phenomenon	Major failure mode
No operating	Temperature, Humidity
Output change	Humidity, Continuous operation
Etc.	-

Table 2 Environmental durability test conditions

No.	Temperature (°C)	Relative humidity(%)	Load	Test time(h)
1	60	70	Load	600
2	60	90	No load	600
3	90	70	Load	600
4	90	90	No load	600

가속 시험을 설정하기 전 환경내구성을 확인하기 위하여 다구치 분석법에 의해 설계한 부하동작, 온도, 습도 시험을 통해 열화 영향성을 확인하였다. 환경시험은 <Table 2>와 같이 600시간을 <Fig 1>과 같이 실시하였다.

시험결과 <Table 3>과 같이 인버터의 출력전력의 변화를 확인하였고 그 결과 <Table 4>와 같이 부하동작, 온도, 습도 순으로 제품의 열화에 영향을 주는 것을 확인하였다.



< 60°C, 70%R. H, No load >



< 60°C, 90%R. H, Load >



< 90°C, 70%R. H, Load >



< 90°C, 90% R. H, No load >

Fig. 1 Pictures of the environmental durability test

Table 3 Inverter output change

No.	Temperature (°C)	Relative humidity(%)	Load	Test time(h)	
				0 h(w)	600 h(w)
1	60	70	No load	533.315	542.43
2	60	90	Load	502.650	500.6734
3	90	70	Load	505.741	503.790
4	90	90	No load	534.775	546.98

Table 4 Response table to Average

Level	Temperature (°C)	Relative humidity(%)	Load	Average main effect plot
1	519.8	521.3	539.4	
2	522.8	521.3	503.2	
Delta	3.1	0.0	36.2	
Ranking	2	3	1	

2.3 정상 사용 조건 기준 온도 결정

정상 사용 조건의 기준 온도는 <Fig. 2>와 같이 정상동작 상태에서의 외관 온도 측정을 통해 결정하였다. 인버터 내부에 3개의 온도 센서를 설치하여 정격 입력 및 부하를 인가한 상태로 온도 상승 값을 측정하였다. 온도가 충분히 안정될 때까지 시험을 진행하여 정상 사용 조건에서의 동작 온도를 결정하였다. 측정결과 인버터의 정상 사용 조건의 온도는 약 43°C임을 확

인 할 수 있었다.

2.4 고장 시간 예측

시험의 온도조건은 제품의 90°C 이상의 온도상승에 대한 Protection 기능이 있음을 참고하여 90°C 조건이 넘지 않는 범위 내의 가속검증을 위해 <Table 5>와 같이 70°C, 85°C 두 가지 조건에서 각 3개의 시료로 설계하였다. 열화모델은 Exponential 열화로 가정하였다.

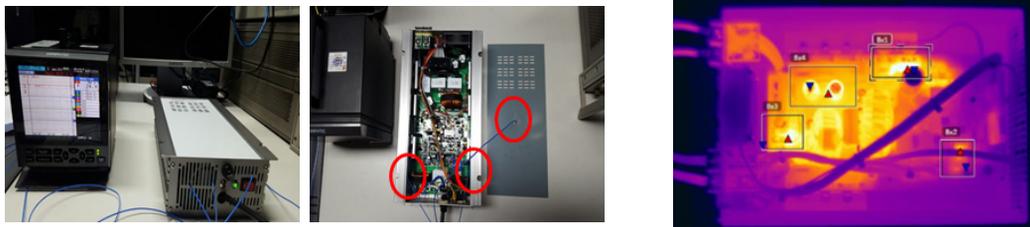


Fig. 2 Inverter operating temperature measurement

Table 5 Test condition

Item	Test Items	Test methods	Criteria
Accelerated life test	High temperature operation test	(1) (70 ± 2) °C (2) (85 ± 2) °C (3) Rated input / load	Within ±10% of initial efficiency

3. 시험 및 결과

3.1 열화추정

<Table 6>과 70℃, <Table 7>은 85℃의 조건에서 부하 ON/OFF(30분 ON/10분 OFF)시험을 1,050시간 진행한 결과를 나타낸 것이다. 시험결과 두 온도 조건에서 고장이 발생하지 않았으므로 Weibull 등의 소프트웨어를 통해 고장 시간을 추정하였다. 열화모델은 <Table 8>(70℃), <Table 9>(85℃)와 같이 가속모형의 모수와 스트레스 수준과의 Exponential 열화로 가정하고, 고장 판정 기준은 초기 효율 대비 ±10% 이상의 변화치가 발생하는 것으로 설정하였다.

Table 6 Test result(70℃)

Test condition	No.	Measurement time(h)	Efficiency (%)	Change relative to initial
70℃	1	Initial value	66.75511	100.0
		150	66.39097	100.5
		300	66.39574	100.5
		450	65.2751	102.3
		600	64.81814	103.0
		750	65.01057	102.7
		900	64.61188	103.3
		1,050	64.50784	103.5
	2	Initial value	62.85598	100.0
		150	62.93985	99.9
		300	62.96825	99.8
		450	61.92306	101.5
		600	61.94479	101.5
		750	61.92194	101.5
		900	62.92432	99.9
		1,050	62.80437	100.1
	3	Initial value	64.08917	100.0
		150	63.88226	100.3
		300	64.50031	99.4
		450	63.27512	101.3
		600	62.72402	102.2
		750	62.76631	102.1
		900	63.83572	100.4
		1,050	63.89463	100.3

3.2 가속성 검증

인버터의 70℃, 85℃ 조건에서의 고장 시간에 따른 가속성이 성립하는지 여부를 MIMITAB 소프트웨어를 이용하여 검증하였다. 수명은 Weibull 분포를 따른다고 가정하고, 동일 형상 및 척도모수에 대한 검증을 실시하는 방법으로 검증을 실시하였다. 가속성이 성립하기 위해서는 70℃, 85℃에서 Weibull 분포의 형상모수 사이에 $\beta_{70\text{도}} = \beta_{85\text{도}}$ 이고, $\eta_{70\text{도}} \neq \eta_{85\text{도}}$ 이어야 하여야 하며, 동일 형상모수, 동일 척도모수에 대한 검증 결과 P값이 각각 0.417과 0.001로 유의수준 5%로 β 가 서로 같고, η 는 서로 다르다고 할 수 있다. 즉, <Table 10>과 <Fig. 3>과 같이 가속성이 성립한다고 볼 수 있다.

Table 7 Test result(85℃)

Test condition	No.	Measurement time(h)	Efficiency (%)	Change relative to initial
85℃	4	Initial value	69.115	100.0
		150	68.351	101.1
		300	67.634	102.2
		450	67.355	102.6
		600	66.448	104.0
		750	66.437	104.0
		900	64.508	107.1
		1,050	64.606	107.0
	5	Initial value	65.810	100.0
		150	65.749	100.1
		300	66.293	99.3
		450	65.602	100.3
		600	65.177	101.0
		750	65.146	101.0
		900	64.234	102.5
		1,050	64.256	102.4
	6	Initial value	65.449	100.0
		150	64.260	101.9
		300	64.600	101.3
		450	63.268	103.4
		600	63.378	103.3
		750	63.593	102.9
		900	62.121	105.4
		1,050	62.495	104.7

Table 8 Failure time estimation(70°C)

Subset ID	Time to F or S	Stage F or S
1	2,647.477	F
2	18,059.04	F
3	10,134.96	F

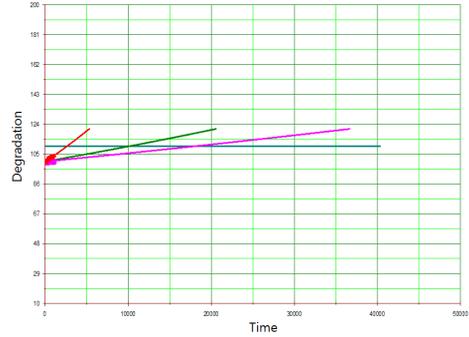


Table 9 Failure time estimation(85°C)

Subset ID	Time to F or S	Stage F or S
1	1,455.782	F
2	3,729.993	F
3	2,103.381	F

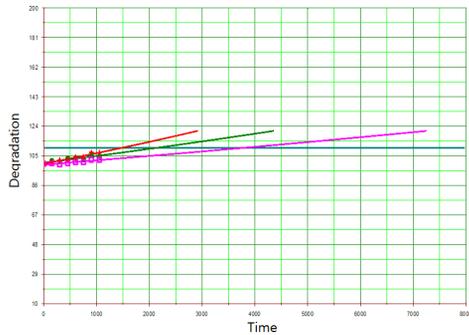


Table 10 Acceleration Verification

Item	Chi-square	Degree of freedom(DF)	P value
Equal Shape and Scale Parameters	14.5912	2	0.001
Same shape parameter	0.659206	1	0.417
Same scaling parameter	10.8791	1	0.001

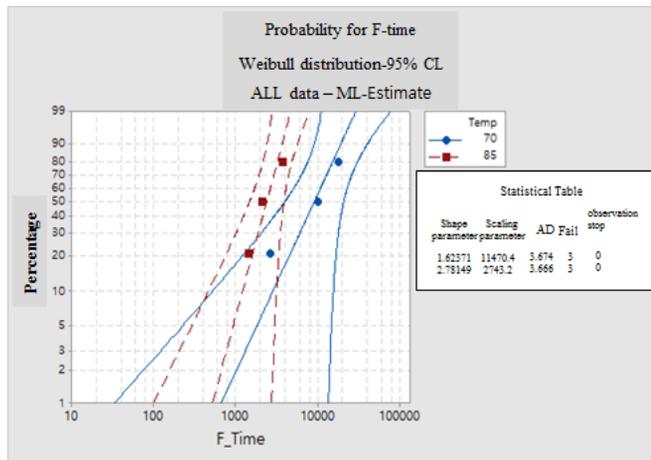


Fig. 3 Probability plot for failure-time

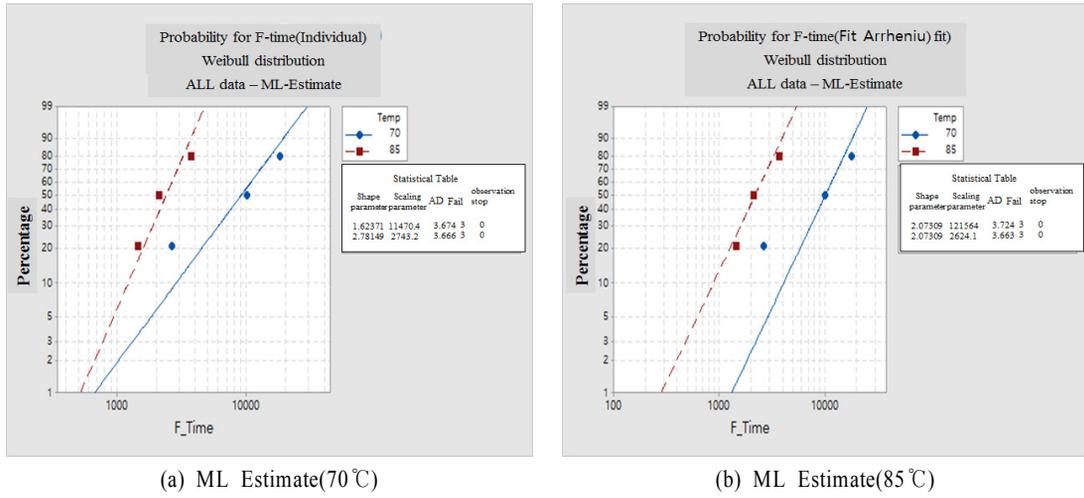


Fig. 4 Lifetime estimation graph

Table 11 Lifetime estimation

95.0 % Regular CI					
percentage(%)	Temperature(°C)	Percentile	Standard error	Lower limit	maximum
5	20	1,492,981	2,899,088	33,203.2	67,131,739
5	30	363,250	580,389	15,855.6	8,322,007
5	43	66,108.3	79,272.9	6,303.03	693,367
5	50	27,956.3	28,254.3	3,856.62	202,653
5	60	8,704.85	6,821.05	1,873.99	40,434.9

상기 70°C와 85°C의 고장 시간을 활용하여 B5 수명을 <Fig. 4>와 같이 추정하였고, 정상상태 조건인 43°C에서의 차량용 인버터 수명은 <Table 11>과 같이 66,108.3시간으로 확인되었다.

4. 결론

본 논문에서는 차량용 전원장치의 수명평가를 위해 먼저 내부 주요 구성 시스템 중 하나인 인버터의 수명을 평가를 위해 시중에 일반 및 군용차량 등에 탑재되는 전원장치의 인버터 제품을 대상으로 가속수명시험을 설정하여 수명을 산출하는 방법을 제안하였다. 인버터 제품의 열화 요인분석을 위해 필요한 성능 및 고장 판정기준을 수립하였고, 성능 및 신뢰성에 영향을 주는 스트레스 인자를 도출하기 위해 다구치 분석법을 활용하여 분석하였다. 그 결과 열화의 주요

스트레스 인자를 고온으로 보고 70°C, 85°C의 2단계 수준의 1,050시간의 고온 시험을 수행하였다. 하지만 시험결과 제품의 고장이 발생하지 않아 Weibull 등의 소프트웨어를 통해 고장 시간을 추정하였다. 열화 모델은 Exponential 열화로 가정하고, 고장 판정 기준은 초기 효율 대비 ±10% 이상의 변화치가 발생하는 것으로 설정하였다. 가속성 검정은 MIMITAB 소프트웨어를 이용하여 동일 형상 및 척도모수에 대한 검정을 실시하는 방법으로 검정을 실시하여 가속성이 성립됨을 확인하였다. 인버터의 수명은 70°C와 85°C의 고온 시험을 통해 추정된 고장 시간을 활용하여 정상상태 조건인 43°C에서의 B5 수명을 추정하였다.

본 논문에서는 차량용 전원장치의 주요 구성중 하나인 인버터모듈에 대한 가속수명시험법 개발에 필요한 성능 및 고장 판정기준을 수립하였고, 성능 및 신뢰성에 영향을 주는 스트레스 인자를 도출하기 위해 다구치 분석법을 활용하였다. 열화의 주요 스

트레스 인자를 고온으로 보고 2단계 수준의 시험을 통해 열화를 추정하였고, 제품의 가속수명을 보증하기 위한 시험계획을 수립하였다. 하지만 시험시간의 부족으로 열화경향성 분석 및 고장 원인의 파악이 부족하기 때문에 추후 장시간의 시험 추가를 통해 고장 원인 및 열화경향에 대한 데이터를 보강할 예정이다.

References

- [1] Gerke, T. and Petsch, C. (2006). "Analysis of Vehicle Power Supply Systems Using System Simulation". SAE Special Publications(SAE SP), Vol. 2030, pp. 103-111.
- [2] Zhang, Z. Q. and Yan, G. f. (2013). "Design of a power supply module for electric vehicle charging station". Chinese Journal of power sources, Vol. 37, No. 2. pp. 263-265.
- [3] Omar, N. *et al.* (2010). "Power and life enhancement of battery-electrical double layer capacitor for hybrid electric and charge-depleting plug-in vehicle applications". Electrochimica acta, Vol. 55, No. 25, pp. 7524-7531.
- [4] Lee, S. M. and Kim, N. (2016). "A Study on Reliability Test of Super-Capacitor for Electric Railway Regenerative Energy Storage System". Journal of Applied Reliability, Vol. 16, No. 3, pp. 238-244.