

전기자동차용 인버터의 부품수명에 대한연구

The Study on Parts Life of the Inverter for Electric Vehicles

이재신*, 전범수*, 김형택*, 김웅회*

Jae-shin Lee*, Bum-su Jun*, Hyoung-taek Kim*, Ung-hoe Kim*

*LSIS Co., LTD.

Abstract

현재 EV의 수명보증 시간이 해외의 경우 15년, 15만마일로 되어 있어 수명 보증에 대한 부분이 큰 이슈가 되고 있다. 오랜시간 인버터의 품질을 보증하기 위해서는 부품들의 수명에 대한 연구가 이루어져야 한다. 특히 수명에 관련된 부분 중 캐패시터의 영향이 가장 크게 좌우가 된다. 이러한 이유로 고전압 입력은 수명이 긴 필름 캐패시터를 사용하고 있지만, 제어회로 및 드라이버 회로에서 전해 캐패시터를 사용하고 있기 때문에 온도에 대해 부품의 수명이 크게 좌우가 된다. 이러한 부분을 해결하기 위해서는 인버터의 방열에 대한 부분과 회로 설계시 부품온도 상승을 억제하는 설계를 진행하여야 한다. 또한 자동차용 인버터의 구동조건 정의가 중요하며, 연속 운전시 수명을 자동차에 보증되는 기간으로의 변환이 필요하다.

본 논문에서는 부품온도 시험을 위한 시험 기준을 확립하고, 인버터의 부품온도 측정 소자 선정법, 캐패시터의 수명계산을 통해 인버터의 품질 보증을 위한 방안을 제시한다.

1. 서론

현재 전세계적으로 전기자동차(EV)에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, 일본, 미국 및 유럽의 자동차 메이커에서는 전기자동차를 양산 차량을 판매하고 있다. 하지만 국내에서는 현대기아자동차에서 시범용 차량을 개발하여 시험운행 중에 있으며, 양산 개발용 자동차를 출시하기 위한 노력을 기울이고 있다.

현재 EV에 적용되는 부품중 인버터의 경우 수명에 대해 해외의 경우보다 낮게 되어 있으며, 해외의 경우 15년 15만 마일로 규정되어 있다. 하지만 부품별로 차등을 주어 그 수명을 적용하고 있으며, 소모가 빨리되는 부품인 배터리를 제외한 주요부품에 대해서는 15년 15만 마일을 보증하기 위한 노력을 진행중에 있다.

인버터에서 수명을 보증하기 위해서는 Automotive 소자의 적용 뿐만 아니라 짧은 수명의 소자를 파악하여 개선하는 노력이 필요하다. 특히 전원에 사용되는 전해 캐패시터의 경우 온도 및 사용전압에 따라 그 수명이 좌우가 되어 인버터의 수명에 큰 영향을 준다. 이러한 전해 캐패시터를 대신할 소자로 필름 캐패시터를 적용하려는 시도를 하고 있지만 용량의 문제로 인해 아직까지 현실성이 떨어지고 있다. 따라서 인버터의 수명보증을 위한 설계 시 전해 캐패시터의 용량 및 전압정격을 크게 적용하여 사용하는 것이 필요하며, 실제 제품의 온도를 낮추는 설계를 병행으로 진행되어야 한다.

본 논문에서는 인버터의 주요 부분의 온도측정 결과와 측정결과에 따른 캐패시터의 수명계산을 통해 인버터 시스템의 수명보증에 대한 방안을 제안하였다.

2. 본론

2.1 주요소자 온도스펙.

표1. 인버터의 주요소자 온도 스펙

No.	부품명칭	동작온도범위	비고
1	IGBT(V상)	-40~150	
2	스너버 V상	-40~105	
3	U5(DSP)	-40~125	
4	SCP19	-40~125	
5	SCP11	-40~125	
6	CP36	-40~125	
7	CP4	-40~125	
8	Film Cap	-40~105	
9	SCP10	-40~125	
10	CP28	-40~125	

위에 표1에서 대부분의 소자가 -40~125도의 온도범위를 가지고 있으며, 필름콘덴서의 경우 -40~105도의 동작 범위를 가지고 있기 때문에 내부온도가 상승될 경우 소자의 보증이 힘들게 되고 인버터의 수명이 저하가 된다.

현재 인버터의 경우 15년 15만 마일을 보증하기 위해 노력하고 있지만 기준에 대한 마련이 되어있지 않아 규정하기가 쉽지가 않은 것이 현실이다. 본 논문에서는 수명을 보증하기 위해서 부품 온도시험 기준에 따라 배터리의 용량을 가지고 최대보장수명을 기준으로 실험에 대한 데이터를 확보하였다. 따라서 보증에 따른 수명계산은 정격 20Kw 용량의 모터를 사용하고 20kW/h의 배터리를 사용할 경우 1회 충전 후 정격으로 운전시 최대 1시간의 운전을 할 수 있다. 이때 주행거리는 대략 100km를 주행할 수 있으며 이것을 기준으로 15년 보증시 33만 마일 보증이 가능하기 때문에 보증기간이 만족이 되면 주행거리 보증에 대한 신뢰성은 확보가 된다.

인버터의 경우 10개의 포인트를 측정하였고 인버터 수명에 영향을 미치는 소자 중 필름 캐패시터와 전해 캐패시터의 온도를 측정하고 수명을 계산하여 인버터의 최소 보장수명을 계산한다.

2.2 필름 캐패시터와 전해 캐패시터의 수명계산법.

2.2.1 전해 캐패시터 수명계산.

전해 캐패시터의 수명계산법은 일반적으로

$$\text{수명} = T_s * K^{((T_p - T_e)/10)} \quad (1)$$

여기서, T_s : 제품보증시간.
 K : 온도가속계수.
 T_p : 제품의 최대온도.
 T_e : 제품의 사용온도.

로 계산된다.

2.2.2 필름 캐패시터 수명계산.

필름 캐패시터의 수명계산법은

$$T_s/T_f = (V_2/V_1)^{(n*2((T_2 - T_1)/9.36))} \quad (2)$$

여기서, T_s : 제품의 예측수명.
 T_f : 제품의 보증수명.
 V_1 : 동작전압.
 V_2 : 제품의 전압스펙.
 n : 과전압지수.
 T_1 : 동작온도.
 T_2 : 제품의 온도스펙.

로 계산된다.

2.3 실험결과.

실험에 사용한 시료는 그림1과 같다. 3상 병렬 제어형 구조로 되어 있으며, 최대 100kW급의 용량의 모터 구동이 가능하다.

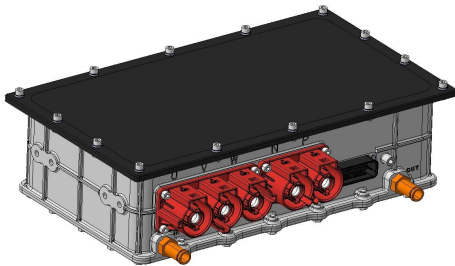


그림.1 전기자동차용 인버터.

EV용 인버터의 부품온도를 위한 시험조건은 아래의 표와 같이 표현이 된다.

표.2 부품온도측정을 위한 사양

구분	항목	사양
1	모터용량	정격 20kW
2	배터리용량	20kWh(SOC25%)
3	시료시험시간	2시간
4	측정시간	모터용량/배터리용량
5	계측장비	Yokogawa MV2000

부품온도 측정을 위해 제품의 배터리의 용량과 정격 출력과의 관계를 확인 후 부품온도 측정을 위한 기준을 정해야 된다. 하지만 부품온도의 기준 설정 시 온도포화가 되지 않을 경우 배터리의 소모시간을 고려하여 선정한다. 위에 사양에서 보는 것과 같이 시스템의 구동시간은 $(20kWh * 0.75) / 20kW = 0.75h(45분)$ 이 된다.

본 논문에는 1회 충전 시 구동시간을 1시간으로 정의를 하였고, 온도측정은 시료의 포화를 확인하기 위해 2시간 동안 운전 데이터를 확인하였다.

표2의 조건으로 동작하였을 때 실험결과는 그림 3과 같이 나타난다.

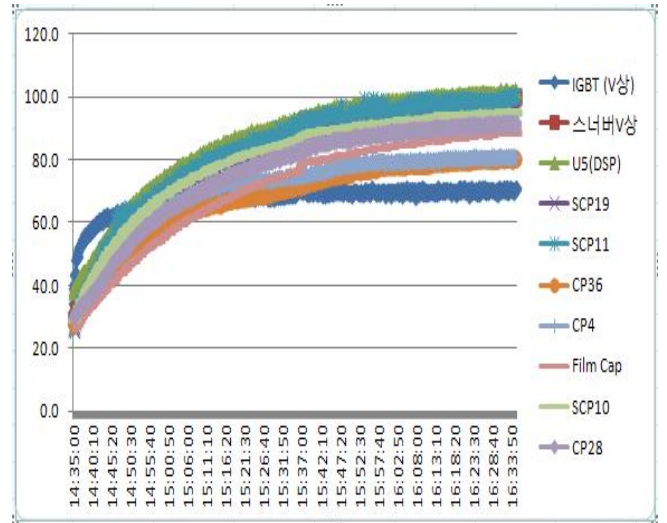


그림.3 부품온도 실험결과

실험결과 SCP11(전해 캐패시터)소자와 V상 스너버(필름 캐패시터)가 최고온도로 확인되었고, 수명계산은 1시간값이 아닌 2시간 값으로 진행하였다. 실험결과에 따른 온도를 식(1)과 식(2)에 조건을 대입하여 수명을 계산하면

$$\begin{aligned} \text{SCP11 수명} &= 5000 * 2^{((125 - 100.6)/10)} \\ &= 3.10\text{년} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{V상 스너버} &= 2000 * (850/350)^{3.38 * 2((105 - 99.9)/9.36)} \\ &= 6.0(\text{년}) \end{aligned}$$

이 된다.

위에 계산된 값은 연속운전시간에 대한 계산결과이므로 1일 1시간의 운행으로 이루어진다면 수명시간에 24를 곱하여 계산하면 보증시간이 된다. SCP11은 3.10년이 나왔고, 수명으로 계산하면 우리가 원하는 보증인 15년 이상 보증이 된다. 또한 V상 스너버 역시 같은 조건으로 계산된 값을 적용하면 6.0년이 나오며 전해 캐패시터와 동일하게 15년 이상의 수명 보증이 가능하다.

3. 결론

EV 인버터의 수명보증을 위한 시스템 분석을 위해 수명에 영향을 미치는 소자를 분류하여 실험을 통해 소자의 수명보증을 위한 시험방법의 결정 및 수명계산을 통해 인버터의 보증시간을 검증하였다. 모든 부품에 대한 부분이 아닌 일부 소자를 통해 검증하였기 때문에 차후 실제 차량에서의 결과를 확인할 필요가 있다. 또한 일반적인 수명계산법을 적용하여 실제조건과 상이한 부분은 실차 검증 후 개선이 필요하다.

Reference

- [1] 윤중락, 김영광, 이석원, 이현용, “전력전자용 급속충전 필름 커패시터 설계 및 신뢰성 평가”, J. KIEEME, Vol. 24, No. 5., pp. 381-386, May 2011.
- [2] T. I. Propokowice and A. R. Vaskas, ECOM Report, No. 90705-F (1969).
- [3] J. Zhao and F. Liu, Microelectron. Reliab., 47, 434(2007).