

가속수명시험을 통한 전류센서의 수명 예측

김재민, 최성순, 마병진, 이관훈, 송병석
전자부품연구원 신뢰성연구센터

Lifetime estimation for current sensor by accelerated life test

Je-Min Kim, Sung-Soon Choi, Byung-Jin Ma, Kwan-Hun Lee and Byeong-Suk Song
Reliability Technology Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI)

Abstract : Hall-type current sensors have been widely used in many fields such as elevator and train system. To estimate lifetime of hall-type current sensors, an accelerated life test with real-time monitoring system simultaneously was designed and performed in high temperature environment with three different temperatures. From the experimental results, activation energy was about 0.9 eV, and acceleration factor was about 450 based on Arrhenius model. As a results, B₁₀ lifetime of hall-type current sensor is estimated to be 65,460 hours.

Key Words : Current sensor, Hall effect, Acceleration factor, Accelerated life test, B₁₀ lifetime

1. 서론

Hall-type 전류센서는 Hall effect에 의해 도선 주위에 발생하는 전계의 세기를 측정하여 도선에 흐르는 전류량을 측정하는 부품이다. CT(Current Transformer) 방식보다 선형성이 우수하고 AC 및 DC 측정도 가능한 장점 때문에, 엘리베이터, 철도 등 실생활에 매우 밀접한 제품에 적용되어 사용되고 있다.

최근 유망시장으로 떠오르는 하이브리드카 인버터, 전가자동차, 태양광 설비 등에 전류센서의 중요성이 커져가고 있다. 이에 따라 적용되는 전류센서의 기술적 요구가 소형, 고정밀도 등 특성중심에서, 가혹한 환경에도 특성을 유지할 수 있는 신뢰성중심으로 더욱 증대되고 있다. 그러나 현재 국내에서 사용되는 전류센서의 수명과 관련된 자료나 시험이 시행되지 않아 이에 대응하기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Hall-type 전류센서에 대한 가속수명시험을 설계하고 시행하면서, 실시간 측정을 통해 고장시간으로부터 가속계수를 구하여 정상상태에서의 전류센서의 수명 예측에 대한 연구를 하였다.

2. 가속수명시험 설계 및 실험

가속수명시험은 제품의 수명에 영향이 큰 특정 조건을 정상 조건보다 높게 설정하여 실험함으로써 보다 짧은 시간안에 수명을 예측할 수 있는 시험방법이다. 먼저, 전류센서의 수명에 영향을 미치는 조건을 확인하고자 실제 고장품과 정상품을 비교, 분석하였다. 그 결과, 온도에 의해 전류센서의 출력값이 변화됨을 확인하였다. 또한 고장품의 에폭시를 제거한 상태에서 다시 측정하였더니 그림 1과 같이 정상출력을 나타내었다. 이런 결과로부터 Failure mechanism은 전자화로 보호용 에폭시가 고온에 의해 특성변화를 일으킨 것으로 파악되었고, 가속스트레스는 온도임이 확인되었다.

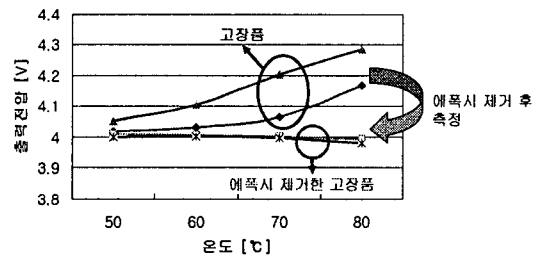


그림 1. 고장품의 에폭시 제거 전·후의 출력값

온도에 의한 가속수명모델은 다음과 같은 아레니우스 관계식(Arrhenius's relationship)을 적용하여 모델링하였다.

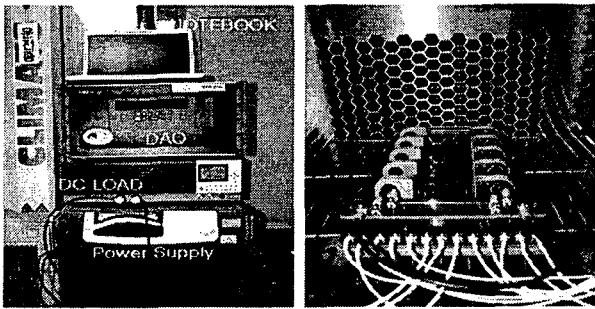
$$\tau = Aexp(E_a/kT)$$

여기서 τ 는 수명, T는 절대온도[K], k는 Boltzman 상수 (8.617×10^{-5} eV/K), E_a 는 활성화에너지(Activation energy[eV])를 나타낸다. 가속계수(AF:Acceleration Factor)를 구하기 위한 활성화에너지를 계산하기 위해 표 1과 같이 3가지 온도조건의 가속수명시험을 설계하였다.

표 1. 가속수명시험 조건.

시험항목	시험조건	판정기준	시료수
고온 동작 시험	60°C, 300시간	시험 전·후 출력전압의 변화량 이 ±0.2V 이내	20
	75°C, 300시간		20
	85°C, 300시간		20

정확한 고장시간을 알기 위해 실시간 측정 시스템을 그림 2와 같이 구성하여 10시간마다 전류센서의 출력전압을 측정하면서 가속수명시험을 실행하였다.



(1) 실시간 측정 장비 (2) 챔버에 설치된 측정지그

그림 2. 가속수명시험용 실시간 측정 장비 및 지그 구성.

3. 결과 및 고찰

가속수명시험 결과 고장이 1~2개 발생하였다. 그러나 통계적으로 수명을 분석하기 위해서는 다수의 고장시간이 구해져야 한다. 이를 위해 실시간 측정 결과를 분석해 보면 그림 3과 같이 출력전압이 시간에 따라 선형적으로 변화됨을 관찰할 수 있다.

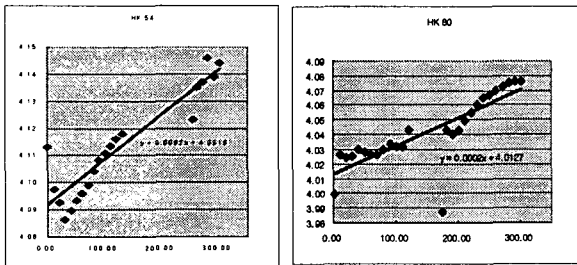


그림 3. 가속수명시험 중의 출력전압 변화.

위의 결과로부터 회귀분석을 통해 추정고장시간을 계산할 수 있다. 추정고장시간은 표 2와 같다. 추정고장시간의 보다 정확한 통계분석을 위해 각 시험 조건별로 20개 위 샘플 중 추정고장시간이 가장 빠른 것과 가장 느린 것은 제외하였다.

표 2. 가속수명시험 조건별 추정고장시간.

60℃, 85%R.H.		75℃, 90%R.H.		85℃, 85%R.H.	
921	4,656	178	1,151	71	750
1,113	9,020	183	1,503	236	760
1,114	9,536	395	1,584	275	767
1,902	19,336	510	1,935	366	882
2,118	21,520	651	2,390	568	1,150
2,654	25,727	746	2,564	573	1,190
3,007	35,282	862	4,455	583	2,176
3,780	35,966	1,054	6,036	659	2,497
4,486	111,904	1,120	10,592	683	3,166

추정고장시간으로부터 수명분포의 적합성을 검증하기 위해 ReliaSoft사의 ALTA 7.0을 사용하였다. 그 결과 대수 정규분포가 수명분포로서 적합함을 확인하였고, 가속수명

시험조건별 고장시간으로부터 확률지 타점을 수행한 결과 그림 4와 같은 결과를 얻었다.

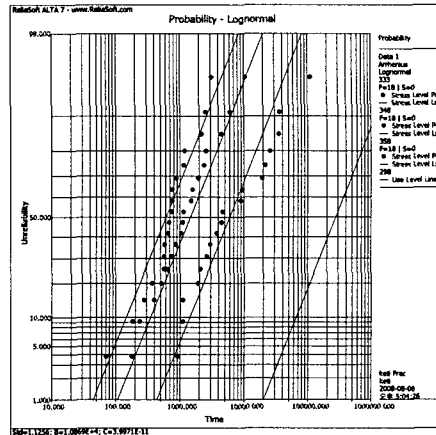


그림 4. 전류센서에 대한 시험조건별 확률지 타점 결과.

가속함수로 설정한 아레니우스 관계식으로부터 가속계수(AF)를 산출하면 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$AF = \frac{\tau_u}{\tau_a} = \exp\left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_a}\right)\right]$$

여기서 τ_u 는 정상사용조건에서의 평균수명[h], τ_a 는 가속조건 수명[h], T_u 는 정상사용온도[K], T_a 는 가속조건온도[K], k 는 Boltzman 상수(8.617×10^{-5} eV/K), E_a 는 활성화에너지[eV]를 나타낸다. 활성화에너지는 가속수명시험결과로부터 약 0.9eV로 계산되었다. 위의 식에 정상사용조건 25℃(298K), 가속온도 85℃(358K)를 대입하면 가속계수가 약 450으로 계산된다. 이로부터 정상사용조건(25℃)시 신뢰수준 90%에서 B_{10} 수명이 65,460시간으로 예측되었다.

4. 결론

본 연구에서는 Hall-type 전류센서에 대한 가속수명시험을 설계하고 시행하면서, 실시간 측정을 통해 고장시간으로부터 가속계수를 구하여 정상상태에서의 전류센서의 수명에 대한 연구를 하였다. 그 결과 정상사용조건(25℃)시 신뢰수준 90%에서 B_{10} 수명이 65,460시간으로 예측되었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부에서 시행한 부품-소재신뢰성기반 기술확산사업의 지원결과입니다.

참고 문헌

[1] KS C IEC 62005-2, “광섬유연결소자 및 수동광부품의 신뢰성-제2부:일정한 온도, 습도 조건에서의 가속 노화 시험에 의한 정량적 평가”, 2002