Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 17, No. 8 pp. 62-68, 2016

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.8.62
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

Feeder Cable Assembly의 가속수명시험법 개발

한현각
순천향대학교 나노화학공학과

Test methodology of acceleration life test on feeder cable assembly

Hyun Kak Han
Department of Chemical Engineering, Soonchunhyang University

요 약 Feeder cable assembly는 정보통신용 자동차부품이다 기능을 제대로 하지 않으면 자동차의 제어와 안전에 큰 문제가 발생한다. 가속수명시험은 시험시간을 단축할 목적으로 짧은 시간에 잠재적인 고장모드와 고장을 찾기 위하여 기속조건(스트레스, 스트레인, 온도 등)에서 실험을 실시하는 것이다. 고장원인은 부품의 품질과, 고장으로 유도하는 공정, 디자인에 의해 발생하는 결함이다. 열충격은 온도차에 의하여 부품의 열팽창 정도가 다른 것에 기인한다. 열충격시험은 부품이 급격한 온도차를 견디는 능력을 실험하는 것이다. 본 연구에서는 가속시험의 coffin-manson 식을 이용하여 정상조건(최고온도 80℃, 최저온도 －40℃)과 가속조건(최고온도 120℃, 최저온도 －60℃)을 이용하여 가속계수를 계산하여 2.25 값을 얻었다. 정상조건에서 1,000 사이클 실험이 가속조건에서 444 사이클 실험만하여도 됨을 알 수 있었다. Bx 수명 식을 이용하여 가속조건에서 시료가 5개, B0.04%.10years 조건에서 747 사이클 결과를 얻었다. 정상조건에서 1,000 사이클, 가속조건에서 747 사이클 실험한 feeder cable assembly 시료 5개를 각각 네크워크 분석기를 이용하여 성능시험을 실시하고, 와이블분포의 모수분포값을 비교한 결과 가속이 잘 되었음을 알 수 있었다. 동등한 신뢰도에서 가속실험을 통하여 시험시간을 1/4 정도 단축할 수 있었다.

Abstract The feeder cable assembly is an automotive part used for telecommunication. If it malfunctions, the control and safety of the automobile can be put at risk. ALT (Accelerated Life Testing) is a testing process for products in which they are subjected to conditions (stress, strain, temperatures, etc.) in excess of their normal service parameters in an attempt to uncover faults and potential modes of failure in a short amount of time. Failure is caused by defects in the design, process, quality, or application of the part, and these defects are the underlying causes of failure or which initiate a process leading to failure. Thermal shock occurs when a thermal gradient causes different parts of an object to expand by different amounts. Thermal shock testing is performed to determine the ability of parts and components to withstand sudden changes in temperature. In this research, the main causes of failure of the feeder cable assembly were snapping, shorting and electro-pressure resistance failure. Using the Coffin-Manson model for ALT, the normal conditions were from Tmax = 80℃ to Tmin = -40℃, the accelerated testing conditions were from Tmax = 120℃ to Tmin = -60℃, the AF (Acceleration Factor) was 2.25 and the testing time was reduced from 1,000 cycles to 444 cycles. Using the Bxlife test, the number of samples was 5, the required life was B0.04%.10years, in the acceleration condition, 747 cycles were obtained. After the thermal shock test under different conditions, the feeder cable assembly was examined by a network analyzer and compared with the Weibull distribution modulus parameter. The results obtained showed good results in acceleration life test mode. For the same reliability rate, the testing time was decreased by a quarter using ALT.

Keywords : Acceleration life test, Failure cause, Feeder cable assembly, Reliability, Thermal shock test

*Corresponding Author : Hyun Kak Han(Soonchunhyang University)
Tel: +82-10-5453-5357 email: chemhan@sch.ac.kr
Received July 8, 2016 Revised (1st July 15, 2016, 2nd July 20, 2016)
Accepted August 11, 2016 Published August 31, 2016

1. 서론

1.1 Feeder cable assembly

Feeder cable assembly는 자동차에서 외부로부터 정보를 주고받으면서 편의시스템에 중요한 전장부품이다.

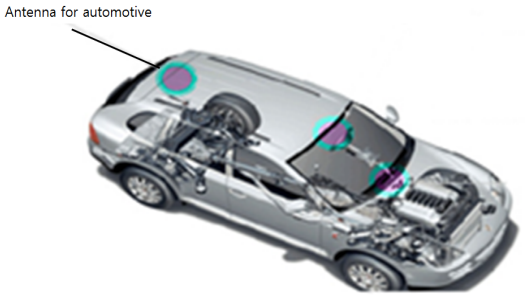

Fig. 1. Convenience system of automobile

Feeder cable assembly가 제 기능을 하지 못하면 차량의 통제와 안전에 심각한 영향을 줄 수 있다. Feeder cable assembly은 케이블, 컨넥터, 패드와 클립으로 구성되어 있다.

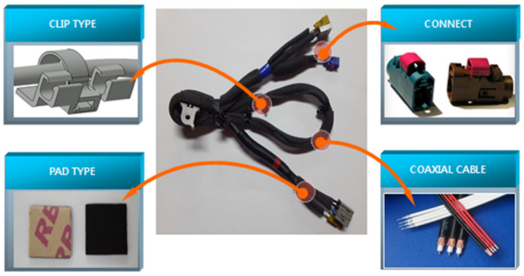

Fig. 2. Component of feeder cable assembly.

품질은 제조공정에서 제품의 규격일치 여부를 판단하는 것으로, 출하 전 현재(공장)의 품질을 말한다. 신뢰성은 제품이 출하된 이후 미래의 어느 시점에서 제품이 규정된 규격의 성능을 발휘하는 여부로서, 신뢰성이 우수한 제품은, 고장이 잘 나지 않고 소비자의 만족도가 높다.

정상조건에서 실험을 실시하면 실험시간이 오래 걸려 비용과 개발기간이 과도하게 소요되지만, 가속시험을 실시하면 신뢰도는 유지하면서 개발비용과 기간을 단축할 수 있는 이점이 있다.

Feeder cable assembly의 오작동에 직접적인 영향을 미치는 인자로는 단선, 쇼트와 내전압불량과, 직·간접적으로 영향을 미치는 인자로는 열충격과 복합진동이 있다.

본 연구에서는 Feeder cable assembly의 고장원인을 분석하고, 고장원인을 설명할 수 있는 가속모델과 가속계수를 규명하고, 가속수명시험을 실시하여 Feeder cable assembly의 신뢰성 수준을 향상시키는 것이다.

2. 본론

2.1 고장원인

고장은 제품의 성능이 규정된 규격을 벗어나 기대된 기능을 발휘할 수 없는 상태를 말하며, 고장원인을 분석하는 목적은 고장원인을 규명하여 공정(설계)을 개선하고, 신뢰성시험평가 규격결정과 설계검토 자료를 제공하여 제품의 신뢰성을 향상할 수 있고, PL법 시행에 의해 책임한계를 규정하는 데 사용한다. 전장품의 고장형태에는 단선, 쇼트, 내전압불량, 특성치의 변화 및 불안정 등이 있다.

2.2 가속시험

가속시험은 시험시간을 단축할 목적으로 가혹한 조건에서 실시하는 시험이다.(KS A 3004) 가속시험은 고장이 발생하는 메카니즘을 단축하기 위한 시험으로서 다음의 4가지 방법, 1) PCT(Pressure Cooker Test), 2) 온도에 의한 화학반응촉진 3) Load 증가에 따른 피로 가속 4) 고온에 의한 Migration 이 많이 사용되고 있다.

2.2.1 가속시험의 종류

가속시험은 시험의 목적과 방법에 따라 가속수명시험과 가속스트레스 시험으로 구분된다.

Table 1. Type of stress

Test	Object	Method
ALT(Accelerated Life Test)	Life assumption by using condition	· Relationship between life/stress · Constant stress
AST(Accelerated Stress Test)	Potential fault of design or estimation of finish	· Complex environment test · Step stress

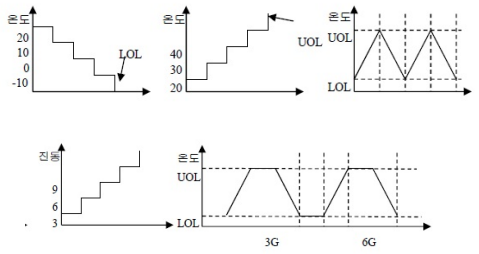

Fig. 3. Application of Stress

2.2.2 고장 메카니즘과 가속 스트레스

고장메카니즘과 가속 스트레스와의 상관 관계는 다음 표에 자세히 설명하였다

Table 2. Relationship between failure mechanism and permitted stress.

Failure mechanism	Permitted stress
Electromigration	Current density Temperature
Thermal shock	Dissipated power Temperature
Corrosion	Humidity Temperature
Mechanical fatigue	Repeated cycles of lead vibration
Thermal fatigue	Repeated cycle of thermal change

2.2.3 수명과 스트레스 관계식

수명과 스트레스와의 관계식은 다음의 모델로 설명할 수 있다

Table 3. Stress models

Model	Equation	Use
Inverse Power	$\tau = A\,V^{-r}$	Voltage Bearing
Arrehenius	$\tau = Aexp[E/(kT)]$	Semiconductor Battery
Iring	$\tau = \frac{A}{T}exp[E/(kT)]$	Temperature Reaction

여기에서 τ는 고장시간, V는 가속변수, E는 전이상수, k는 볼쯔만상수, T는 절대온도, A,B는 상수이다

2.2.4 가속계수

가속계수는 가속조건과 정상조건에서의 수명 비로 다음과 같이 정의한다,

$$AF(Accelaration\ Factor) = \frac{Life\ of\ nomal\ condition}{Life\ of\ acceleration\ condition} \quad (1)$$

가속계수와 가속모델과의 관계식은 아래표와 같다.

Table 4. Acceleration Factor of stress model

Model	Equation	AF
Inverse Power	$\tau = A\,V^{-r}$	$\tau_d/\tau_a = (V_a/V_d)^r$
Arrehenius	$\tau = Aexp[E/(kT)]$	$\tau_d/\tau_a = \exp[\frac{E}{k}(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a})]$
Iring	$\tau = \frac{A}{T}exp[B/(kT)]$	$\tau_d/\tau_a = \exp(\frac{T_a}{T_d})[\frac{E}{k}(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a})]$

2.3 열충격 시험

열충격시험은 시료에 가열과 냉각을 가해주면서 급격한 온도변화를 만들어 주고, 그에 따른 열변형에 의해 시료의 손상 여부를 시험하는 것이다.

열충격시험을 실시하기 전에 Feeder cable assembly의 성능시험(내전압, 순간단락, 임피던스 등)을 먼저 실시하였다.

성능시험을 실시 한 시료는 컨넥터 및 잭을 10회 반복 삽입 이탈 한 후 암, 수를 결합한 상태로 아래 그림으로 설명한 방법으로 1,000 cycle 열충격실험을 실시하였다.

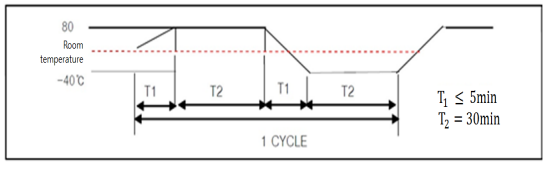

Fig. 3. One cycle of thermal shock experiment.

정상상태에서 열충격시험의 한 사이클은 -40℃에서 30분 방치하고, 80℃에서 30분 방치하는 것으로 1,000 사이클을 요구하고 있다.

열충격시험을 실시 한 뒤 다시 Feeder cable assembly의 성능시험을 실시하여 이상 없이 작동하고 있는 지를 확인한다.

2.4 열충격 가속시험 모델[1]

Coffin-Manson 식에 의한 가속계수는 다음 식으로 계산한다.

$$AF = \left(\frac{\triangle T_d}{\triangle T_a} \right)^m \quad (2)$$

여기에서

AF: Accelerate Factor

T_d: Stress test environment temperature

T_a: Operating use test environment temperature.

m: modulus by weibul

2.5 Bx수명 모델[2]

12년 동안에 누적고장률이 1.2%인 유니트가 있다면 이 유니트의 B_x수명은 ($B_{1.2\%}$12년) 으로 표시한다.

신뢰성 시험에 있어서 시료수를 산출하는 것이 쉽지 않다. 선진 일류기업에서는 전문가가 미리 계산하여 놓은 표나 전용소프트웨어를 사용하여 계산한다. 추정수명식과 상식수준의 특성수명수정식과 가속계수를 이용하여 고장률과 B_x수명, 시료 산출식을 이용하면 다음과 같은 식이 유도된다.

$$n \geq (r+1)\frac{1}{x}\left(\frac{L_B}{AF^2 \bullet cycle} \right)^m \quad (3)$$

여기에서

n : sample number

r : failure number

x : cumulative failure rate

L_B : Life times

AF : acceleration Factor

cycle : real experimental cycle

Coffin-Manson 식에서 AF는 식(2)로 정의되며, B_x수명에서 AF는 전자제품에서 적용한 평균온도차 30℃와 시험조건에서의 온도차 비(rate)이다.

3. 실험

3.1 열충격시험장치

열충격시험장치는 Weiss사의 TS-300 으로 온도 조절이 가능한 두 개의 챔버로 구성되어 있다. 위챔버는 50 -220℃, 아래 챔버는 -80℃ ~ 70℃. 바스켓 이동시간을 10초이내이다.

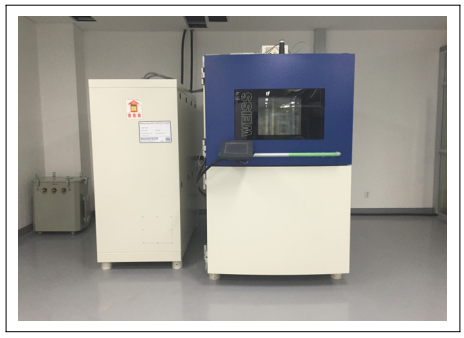

Fig. 4. Thermal shock Apparatus.

3.2 열충격시험 방법

1) 시료 5개를 열충격기 내 바스켓에 담는다
2) 윗챔버온도를 셋팅한다
3) 아래챔버온도를 셋팅한다
4) 챔버에 머무는 시간을 30분으로 셋팅한다
5) 사이클수를 셋팅한다
6) 열충격시험을 실시한다

3.3 내전압불량시험장치

내전압불량은 Rohdee&Schwarz사의 네트워크분석기 모델 ZN 88을 이용하여 측정하였다.

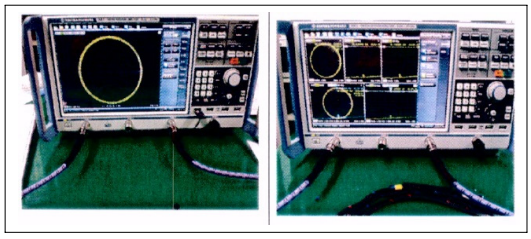

Fig. 5. Network Analyser

4. 결과 및 고찰

4.1 고장원인

Feeder cable assembly의 고장유형별 발생빈도를 보면 총 140회 고장발생 중 단선(30%), 숏트(27%)로서 약 50%가 단선과 쇼트로 인하여 고장이 발생하며, 그 이외 내전압불량에 의한 고장이 10% 정도 발생하였다.

4.1.1 단선고장 원인 분석

단선의 고장원인을 분석하여 보면 외력이 케이블에 작용하게 되면 구리동선이 늘어나거나, 끊어지는 현상이 발생한다.

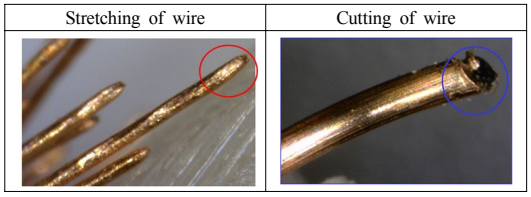

Fig. 6. Failure cause of snapping.

Feeder cable assembly를 이동하거나 포장 할 때 외력이 가해져 단선이 발생하였다. 고장원인은 외부에서 작용하는 힘임을 알 수 있었다. 작업표준을 수정하여, 외력이 Feeder cable assembly에 작용하지 못하도록 하여, 제품의 신뢰도를 향상시켰다.

4.1.2 쇼트 고장원인 분석

쇼트는 조립 공정에서 외부의 이물질이 유입되어 발생하는 것을 재현 실험으로 부터 확인하였다,

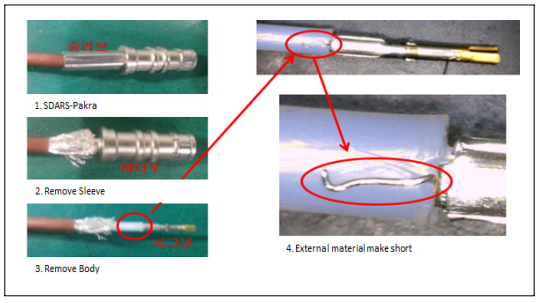

Fig. 7. Failure cause of short.

외부 이물질이 유입되지 않도록 조립장치 후면에 확대경과 반사경을 설치하였으며, 작업자가 이 물질 유입을 획인하고 조립하도록 작업표준서를 수정하였다. 작업시간이 1분 단축되었으며, 불량률도 80% 감소하였다.

4.1.3 내전압 불량 고장원인

내전압불량의 고장원인은 장력이 서로 다른 케이블을 올테이핑하여 구부리면 내부심선(구리동선) 돌출로 인하여 내전압불량이 발생하였다.

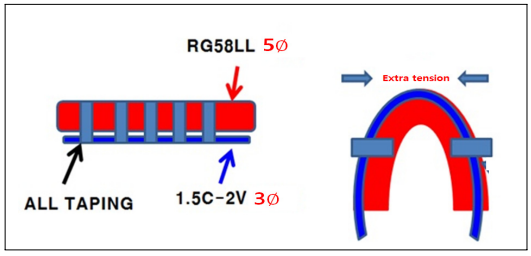

Fig. 8. Failure cause of electric pressure resistance by all-taping of cable.

장력이 다른 케이블을 따로 테이핑하고, 양끝단을 테이핑하는 방법을 고안하여 심선돌출을 방지하여, 내전압 불량 원인을 제거하였다.

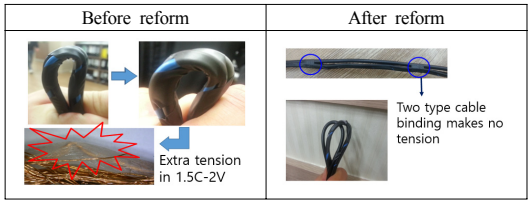

Fig. 9. Reform of feeder cable assembly before and after.

또한 내전압불량은 전기의 흐름으로 온도와 습도에 스트레스로 인하여 발생함을 다음 도표를 이용하여 알 수 있다. 비가 많이 내리고 아침과 저녁 일교차가 큰 시기인 봄과 가을 우기에 내전압불량이 많이 발생함을 알 수 있다. 이는 열충격과 습도가 고장원인임을 보여 주는 것이다.

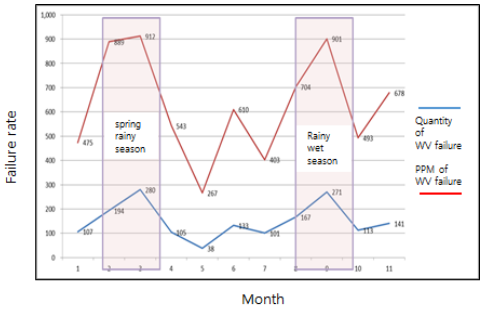

Fig. 10. Electric pressure resistance by rainy season

Feeder cable assembly의 고장원인중 단선과 쇼트는 외적 충격과 힘을 제거하면 고장을 줄일 수 있다. 내전압불량은 열충격과 습도가 고장원인임을 알았으며, 주된

고장원인인 열충격시험시간을 줄일 수 있는 가속시험이 필요하다.

4.2 Coffin-Manson 식에 의한 가속모델[1]

Coffin-Manson 식에 의한 가속계수는 아래와 같으며, m은 전자기기나 전자기기에 사용하는 재료 등에는 2를 사용하여 계산한다[1].

$$AF = \left(\frac{\triangle T_d}{\triangle T_a} \right)^m$$

Table 5. Data for AF calculation(℃)

	Tmin	Tmax	△T
Nomal condition	-40	80	120 (△Td)
Accelaration condition	-60	120	180 (△Ta)

m을 2로하여 계산하면 AF 값은 2,25이다.

정상상태에서 열충격시험 횟수 1,000 사이클을 AF로 나누면 444 사이클이 나온다.

가속조건에서 적용한 최고온도와 최저온도는 feeder cable assembly에 사용하는 고분자소재 12개를 DSC, TGA, MI 등 분석기기를 이용하여 각각 소재의 물성이 변하지 않는 온도로 결정하였다.

가속조건(최저온도 -60℃, 최고온도 120℃)에서 444 사이클 열충격 시험한 열충격과 정상조건(최저온도 -40℃, 최고온도 80℃)에서 1,000 사이클 실험한 열충격은 같음을 알 수 있다.

4.3 Bx수명 식 계산[2]

시료수와 사이클수를 계산하기 위해서는 식(3)을 이용하면 된다.

$$n \geq (r+1)\frac{1}{x}\left(\frac{L_B}{AF^2 \bullet cycle} \right)^m \qquad (3)$$

4.3.1 5년에 Bx수명을 0.04% 할 경우 시료 수 계산

정상조건(최고온도 80℃, 최저온도 -40℃)에서 열충격 실험을 실시한다.

Table 6. Data for calculation of sample number

r	0
x	0.04% = 0.0004
L	360x5 = 1,800
AF	120/30
cycle	1,000

Table 6의 자료를 이용하여 정상조건에서 열충격실험을 1,000 사이클 할 경우 $B_{0,04\%}$5년 수명을 만족하는 신뢰성 시험 시료는 3.6개가 되므로 5개의 시료로 실험하여도 신뢰성을 확보하는데 충분함을 알 수 있다

4.3.2 시료 5개로 B0,04%10년 수명, 가속조건(최저온도 -60℃, 최고온도 120℃)에서 열충격시험 사이클수 계산

가속조건(최고온도 120℃, 최저온도 -60℃)에서 열충격 실험을 실시한다.

Table 7. Data for calculation of sample number

r	0
x	0.04% = 0.0004
L	360x10 = 3,6000
AF	180/30
n	5

Table 7.의 자료를 이용하여 가속조건에서 시료 5개로 $B_{0,04\%}$10년 수명을 만족하는 열충격 사이클수는 747 사이클 값을 얻었다. Coffin-Manson 가속계수 값보다는 작지만, 10년 동안에 고장률 0.04%를 만족하면서 가속조건에서는 열충격시험 사이클을 1/4 줄여서 실시하여도 정상조건에서와 같은 고장율 결과를 얻을 수 있다.

4.4 열충격시험 결과

열충격시험 전 후에 모든 Feeder cable assembly의 성능시험인 (내전압, 순간단락, 임피던스)을 네크워크분석기를 이용하여 검사하였다.

시료 5개를 정상조건에서 1,000사이클 열충격시험을 실시하였고, 다른 시료 5개를 준비하여 가속조건에서 747사이클로 열충격시험을 실시하였다

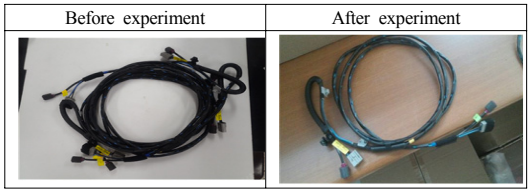

Fig 11. Before and after experiment of feeder cable assembly

네트워크분석기로 성능검사를 실시한 결과 정상조건과 가속조건에서 시험한 feeder cable assembly는 정상작동함을 알 수 있었다.

4.5 가속시험 검증

정상조건에서 1,000사이클 열충격시험을 시료와 가속조건에서 747사이클 열충격시험을 한 시료의 열충격시험 전 후 임피더스 시험치를 이용하여 와이블분포 모수와 수명분포를 도식화하였다.

와이블분포의 모수(m)이 정상조건에서 2.75, 가속조건에서 2.71로 가속이 잘되었음을 나타내고 있다.

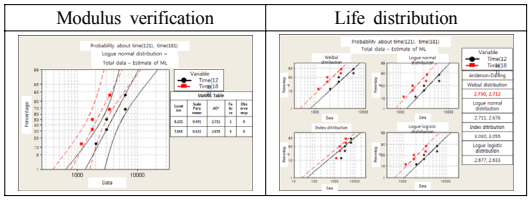

Fig 12. Comparison of modulus and life distribution before and after thermal shock experiment.

4. 결론

1. Feeder cable assembly의 고장원인은 단선과 쇼트, 내전압불량이 많이 발생하며, 각각 고장 원인을 분석하여 제조공정과 운반공정을 개선하였고, 작업자의 표준작업서를 개정하여 제품의 신뢰도를 향상시킬 수 있음을 발견하였다.

2. Feeder cable assembly는 정상조건(최저온도-40℃, 최고온도80℃)에서 1,000 사이클 열충격시험을 실시하나, 가속조건(최저온도-60℃, 최고온도120℃)에서 $B_{0.04\%}$10년 수명을 만족하는 747사이클을 실시하여도 같은 신뢰수준을 갖으며, 가속조건에서 열충격 시험시간을 253시간 단축함으로서 신뢰도를 만족하는 제품 개발시간을 단축할 수 있었다.

감사의글

본 연구를 수행하는 많은 도움을 준 (주)삼세산업의 서승현대리와 열충격시험을 실시하여 준 순천향대학교 신뢰성평가센터의 박삼열, 전영주 연구원에게 감사드립니다

References

[1] H. Cui and RF M. Devices, “Acceleration temperature cycle test and coffin-manson model for electronics packaging,” *2005 Annual RAMS IEEE,* pp. 556-560, 2005.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/RAMS.2005.1408421

[2] D.S. You, “Technology of quality and reliability for success of product,” pp. 146-161, Luxmedia, 2011.

[3] B. Bertsche, “Quality engineering for mechanics and automotive industries,” *Sigmapress*, 2016.

[4] J.H. Lee et., “Inside of acceleration life test”, *KIAT/RAKO*, 2012.

한 현 각(Hyun Kak Han) **[정회원]**

- 1985년 8월 : 고려대학교 일반대학원 화학공학과 (공학석사)
- 1990년 2월 : 고려대학교 일반대학원 화학공학과 (공학박사)
- 1990년 3월 ~ 1993년 2월 : 고려대학교부설생산기술연구소 선임연구원
- 1993년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 나노화학공학과 교수

<관심분야>
결정화, 분체, 고분자물성, 품질신뢰성공학