

근접센서의 고온 고장발생에 관한 원인분석 및 개선 연구

박진생*

* 국방기술품질원

A Study On Cause Analysis and Improvement About Malfunction of Proximity Sensor Exposed High Temperature

Jin-Saeng Park*

* Defence Agency for Technology and Quality

(Received January 7, 2015 ; Revised June 17, 2015 ; Accepted August 4, 2015)

Key Words: Sensible Distance(감지 거리), Lock on(영구 고장), Temperature Profile(온도 프로파일), Emitter Coil(발진 코일), NTC Thermister(NTC 회로소자)

초록: 전투차량의 내부는 혹서기에는 약 80℃에 이를 만큼 고온·다습한 환경에 노출되어 감지거리를 측정하여 제어기에 신호를 전달하는 근접센서가 감지거리가 늘어나면서 결국에는 센서 자체의 금속물질을 인식하여 작동이 안되는 고장이 다발하여 원인분석 및 개선을 수행하게 되었다. 개선은 2차에 걸쳐 수행되었고 많은 시행착오를 거쳐 고온에 장기적으로 노출될 경우 고장이 발생된다는 것을 알아내어 개선방안을 도출한 결과, 이미터코일(Emitter Coil)을 한 개 더 추가하여 전압차이를 높여 감지 정확도를 향상시키고, 내부 몰딩 면적을 높여 진동 및 충격 내성을 강화하여 온도 및 습도 변화에 둔감하도록 설계개선을 하였다. 입증을 위해 고온·다습(85℃, 85%습도)한 환경챔버에서 136시간 내구시험을 실시하여 고장 발생이 없음을 확인하였다.

Abstract: Because internal space of combat vehicle reaches about 80℃ at high temperature period, Proximity Sensor exposed high temperature and humidity, which has function to sense the distance and transfer signal for control unit, have enlarged sensing distance and finally locked on. Malfunction of sensing itself occur frequently, therefore we carried out cause analysis and improvement. We accomplish improvement activity secondly. Through-out many trial and error, we find out that malfunction of sensor occur at high temperature circumstance. To improve, the another Emitter Coil is added to increase voltage difference and improve sensing accuracy about 5~10 times. And we accomplish design improvement to dull temperature and humidity change after increasing molding surface to add vibration and shock resistance. We prove that the improved product do not fail after enduring 136hr at 85℃ temperature and 85% relative humidity circumstance chamber.

1. 서론

본 논문에서 개선방안을 연구한 근접센서는 1개의 발진코일인 이미터코일(emitter coil)과 2개의 수신코일인 리시버코일(receiver coil)로 구성되어 수신코일에서 전압의 변화량으로 물체를 인식하고, 감지거리는 제품의 사양에 따라 다르나 현재 적용된 장비의 요구조건은 5.6 mm 미만으로 규정되어 있다. 이 근접센서의 장점은 소형이면서 페라이트 코어가 없는 3 코일 시스템으로 동일한 스위칭거리에서 모든 금속물체의 감지가 가능하다.

† Corresponding Author, khg@seoultech.ac.kr

Table 1 Investigation of sensing distance for field sensor

구분	측정 결과							비고
감지 거리 (mm)	규격 : 5.6 mm 이하							총 92개중 58개(63%)가 감지거리 규격 초과
	5.6 미만	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	
수량 (EA)	8	26	18	24	8	4	4	

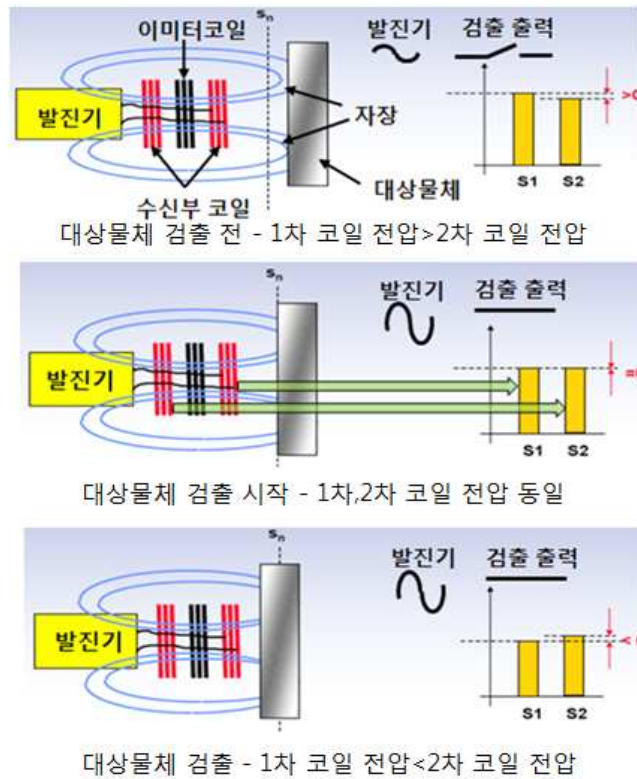


Fig. 1 Principle of operating sensor

근접센서의 감지원리는 감지거리 내 대상물체가 있을 때 수신부 코일 1과 코일 2의 전압차가 역전되는 경우 물체를 감지하게 된다, 대상물체가 검출거리(s_n)보다 먼 곳에 있거나 없을 경우 2차 코일의 전압이 1차 코일보다 낮아 동작하지 않으며, 대상물체가 검출거리(s_n)에 가까워 질 경우 이미터코일에서 만들어진 자장으로 대상물체에 환상 유도 전류를 발생시키고 대상물체의 환상 유도 전류는 비자장 영역을 형성하여 수신부 코일의 전압을 감소시킨다. 비자장 영역(대상물체 주변)에 더 가까운 1차 코일(S1)의 전압이 2차 코일(S2)보다 더 많이 감소되어 전압의 차가 역전될 때 물체를 감지한다.(그림1 참조).

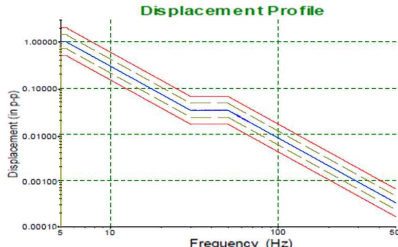
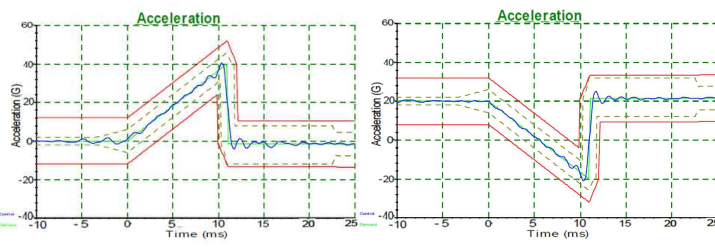
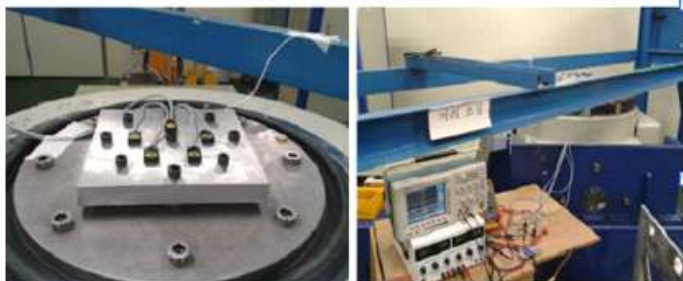
근접센서는 초기 성능검사(Bench test)에서는 문제가 없다가 장비 운용 중에 고장이 발생하는 문제가 다발하여 고장탐구를 위해 무작위로 근접센서를 수거하여 감지거리를 측정한 결과, 총 92개중에서 58개가 감지거리를 초과하는 것으로 나타났다(Table 1 참조).

2. 고장원인

초기 성능시험에 문제가 없다가 운용 중에 고장이 발생되므로 근접센서가 장비운용 시 진동이나, 충격 및 전자파에 취약한 지가 의심되어 시험을 실시하게 되었다. 진동시험은 싸인파 모드로 미 군사규격인 MIL-STD-810의 환경시험 조건을 적용하고, 충격시험은 톱니파 충격펄스에 40G 충격가속도를 X, Y, Z 각 축의 +, - 방향으로 각각 3회를 적용하는 조건으로 실시하였으며, 진동, 충격시험 전후의 감지거리 변화가 없는 것으로 측정되어 진동, 충격의 영향은 없는 것으로 확인되었다.(Table 2 참조).

전자기 적합성 시험은 MIL-STD-461E 적용하여 전도방사, 전도내성, 복사방사, 복사내성 항목으로 시험

Table 2 Vibration and Shock test

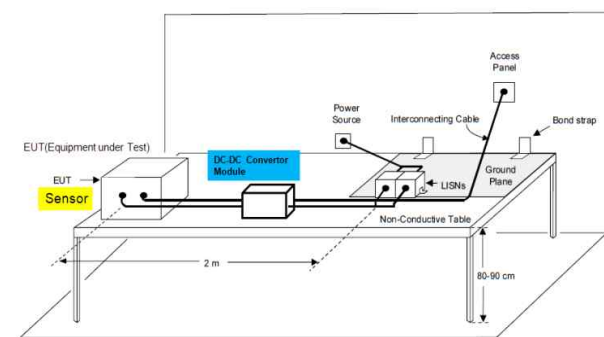
구분	시험 규격	시험 결과						
진동시험	Vibration mode : Sine sweep Frequency : 5~500 Hz Duration : 8 sweep / 1 sweep = 15 min Specification : MIL-STD-810C Method 514.2 Figure 514.2-6  <진동 프로파일>	<ul style="list-style-type: none"> • 감지거리 측정결과 : <table border="1" data-bbox="1117 967 1407 1070"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>감지거리(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시험 전</td> <td>4.7 ~ 5.2</td> </tr> <tr> <td>시험 후</td> <td>4.7 ~ 5.2</td> </tr> </tbody> </table> • 감지거리 변화 없음 	구분	감지거리(mm)	시험 전	4.7 ~ 5.2	시험 후	4.7 ~ 5.2
구분	감지거리(mm)							
시험 전	4.7 ~ 5.2							
시험 후	4.7 ~ 5.2							
충격시험	Terminal peak sawtooth shock pulse 40 g, 11 ms, X, Y, Z axis Specification : MIL-STD-810F, Method 516.5 Figure 516.5-10 3 times at X, Y, Z axis  <충격 프로파일>  <시험장치: ETS-7000-480/SUZHOU EVERICH IMP.>	<ul style="list-style-type: none"> • 감지거리 측정결과 : <table border="1" data-bbox="1117 1601 1407 1704"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>감지거리(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시험 전</td> <td>4.7 ~ 5.2</td> </tr> <tr> <td>시험 후</td> <td>4.7 ~ 5.2</td> </tr> </tbody> </table> • 감지거리 변화 없음 	구분	감지거리(mm)	시험 전	4.7 ~ 5.2	시험 후	4.7 ~ 5.2
구분	감지거리(mm)							
시험 전	4.7 ~ 5.2							
시험 후	4.7 ~ 5.2							

을 실시하였고, 시험 전후의 근접센서 감지거리의 변화가 없음을 확인하였다.(Table 3 참조).

이러한 일련의 환경시험 결과 감지거리 변화 없어 사용환경에 기인한 문제가 아님이 판정되어 고장의 원인이 부품의 불량인지 검토하게 되었다. 온도에 따른 저항변화 특성이 부적합한 NTC(Negative Temperature Coefficient) 회로소자(Thermister)가 일부 혼입되어 고온 노출 시 감지거리가 늘어나고 늘어난 감지거리로 인해 2차적으로 영구고장으로 발전된다는 것으로 조사되어 부적합에 대한 혼입방지 시정조치(Corrective Action)를 실시하고, 성능시험(Bench Test)에 70℃에서 1시간동안 고온시험을 추가하였다.

NTC 소자는 온도가 상승하면 전기저항이 감소되는 반도체 회로 소자인데, 전자회로의 동작이 온도에 따라 불안정해지는 것을 방지하는 온도보상을 위해 소자와 IC회로를 결합시켜 사용한다. 계측용으로는 전자온도계의 센서로 이용되고, 또 자동제어용 센서로서 냉방기나 히터의 실온제어, 냉장고의 온도제어 등 온도감지에 이용되고 있다. NTC 소자는 센서 검출부내 온도보상 회로에 적용되어 온도 변화 시 발생하는 다른 부품들의 온도 오차를 상쇄시켜 검출거리를 일정하게 유지시키는 역할을 한다. 만약 이 NTC 소자가 불량이면 회로 내에서 온도상승에 의해 전압이 변하는 현상이 나타난다. 이로 인하여 근접

Table 3 EMC test

구분	시험 규격	시험 결과						
EMC 시험	CE 102 : 10kHz ~ 10MHz, Power Leads CS 101 : 30Hz ~ 150kHz, Power Leads CS 114 : 10kHz ~ 200MHz, Bulk Cable Injection RE 101 : 30Hz ~ 100kHz, Magnetic Field RE 102 : 2MHz ~ 18GHz, Electric Field RS 101 : 30Hz ~ 100kHz, Magnetic Field RS 103 : 30MHz ~ 18GHz, Electric Field	<ul style="list-style-type: none"> • 감지거리 측정결과 : <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>감지거리(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시험 전</td> <td>4.7 ~ 5.0</td> </tr> <tr> <td>시험 후</td> <td>4.7 ~ 5.0</td> </tr> </tbody> </table> • 감지거리 변화 없음 	구분	감지거리(mm)	시험 전	4.7 ~ 5.0	시험 후	4.7 ~ 5.0
	구분		감지거리(mm)					
시험 전	4.7 ~ 5.0							
시험 후	4.7 ~ 5.0							
								

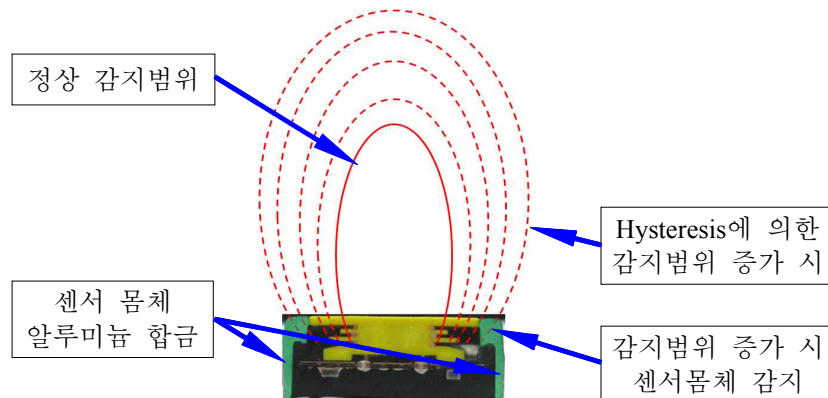


Fig. 2 Failure mode of sensor

Table 4 Composition of test sensor

구분	센서 종류	수량	참조번호		
Case 1	기존품	5	A1...A5		
Case 2				5	B1...B5
Case 3					
Case 4	개선품	5	D1...D5		

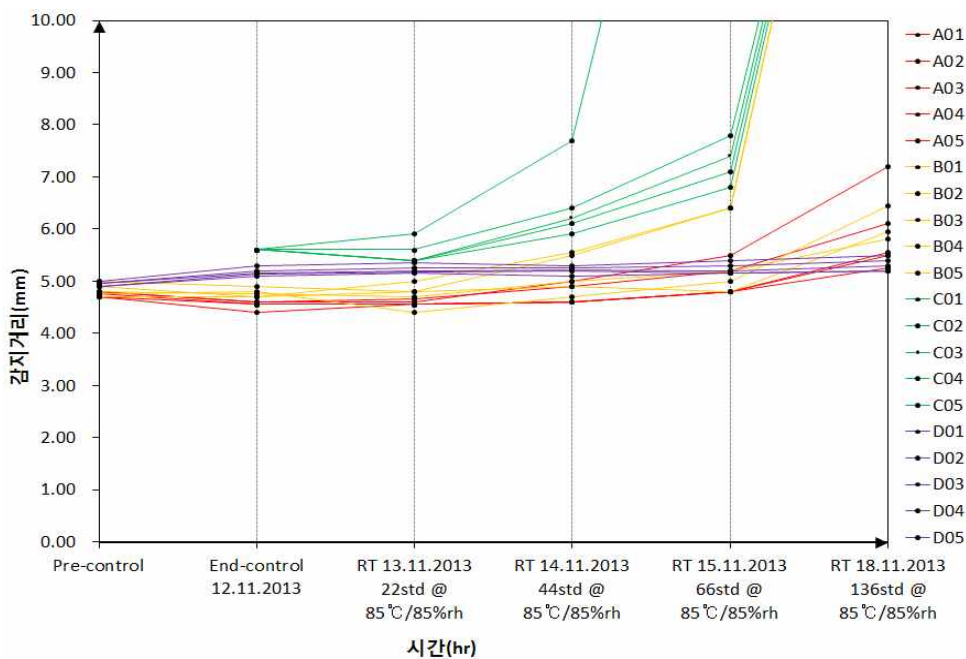


Fig. 3 Long term temperature stress test result

거리가 변화되는 원인으로 작용한다. 부적합 NTC 소자 사용으로 인해 온도증가에 의해 감지거리(Sn)가 증가되면 히스테리시스의 범위(3~15%)도 같이 증가한다. 이 히스테리시스의 영향으로 결국 센서 자신의 몸체를 감지하는 영구고장(Lock on)현상이 발생한다(그림 2 참조).

NTC 소자 불량품 혼입문제를 해결한 후 문제가 해결된 것으로 판단하여 장비에 부착된 센서를 교체하였으나, 후서기에 고장이 재발되어 문제를 원점에서 재검토하게 되었다. 초기 성능시험에 문제가 없고, 후서기에 고장이 재발되는 점을 감안하여 장기 고온시험을 실시하였다. 시험용 센서 구성은 아래 표와 같다(Table 4 참조).

장기간 고온고습 환경에서 기존품 대비 개선품의 감지거리 변화량을 비교하기 위하여 기존품과 개선품 유형별 5개씩 시편을 이용하여 85°C, 85% 상대습도에서 136시간 장기간 고온시험을 실시하였다. 기존품은 고장이 이미 발생하였거나 비교적 감지거리가 큰 센서들은 감지거리를 결정하는 저항을 레이저로 트리밍(Trimming)하여 저항값을 조정함으로써 개선품과 같은 감지거리(4.7 ~ 5.0 mm)로 조정하여 비교시험을 할 수 있도록 하였다.

85°C, 85% 상대습도에서 136시간 장기간 고온시험을 실시한 결과 기존품은 시간이 지남에 따라 감지거리가 급격히 늘어났고, 신규 개선품은 동일조건에서 136시간 이상 지속하여도 감지거리의 변화가 없음을 확인하였다(그림 3 참조). 85°C, 85% 상대습도에서 장기간 고온시험(136시간)은 전자제품의 수명 평가 시 온도에 따른 가속추정모델로 많이 적용되고 있는 아레니우스모델을 사용하였다. 그 모형은 다음과 같다.

$$= e^{(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})}$$

여기서 α = 가속계수

E_a = 활성화 에너지

k = Boltzman 상수(8.617×10^{-5} eV/K)

T : 절대온도(K)

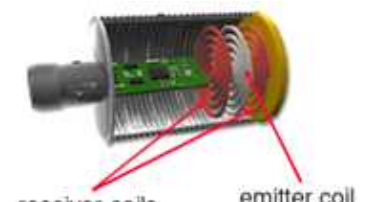
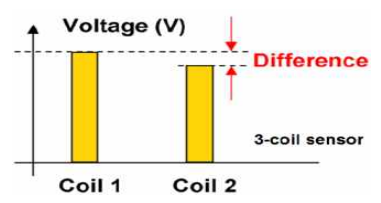
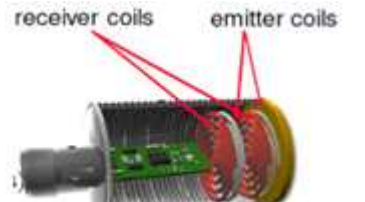
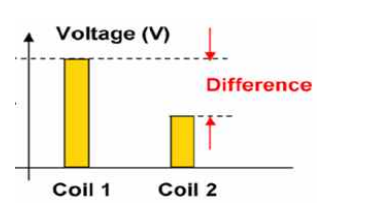
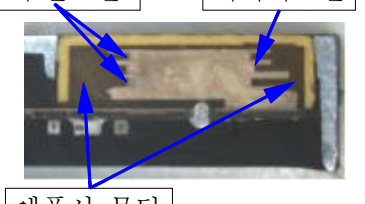
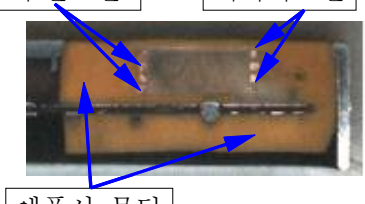
근접센서의 온도가속에 따른 활성화에너지 $E = 0.8$ eV로 아레니우스모델을 따르고 136시간동안 고장이 한번도 없었으므로 가속계수는 111이며, 실사용온도에서의 수명은 15,100 시간으로 충분한 것으로 판단하였다.

3. 개선내용

개선품은 이미터코일을 1개 추가하여 전압차를 높여 감지 정확도를 제고하고, 몰딩방식을 변경하여 진동, 충격 내성을 강화하고 또한 온도 및 습도 변화에 둔감하도록 개선하였다.

1개의 이미터코일과 2개의 수신코일로 구성된 3-coil형 기존품에 비해 개선품은 이미터코일과 수신코일 각각 2개씩으로 3-coil 센서와 동작원리는 같으나, 2차 코일이 2개의 이미터 코일 사이에 있어 1차와 2차 코일의 전압차가 크게 발생한다. 4-coil 센서인 개선품은 3-coil 센서 대비 대상물체의 거리에 따른 전압차가 크므로 검출거리(S_n)가 대상물체의 크기, 재질, 주변환경, 잡음 등의 영향을 적게 받아 검출여부를 신뢰할 수 없는 구간이 줄어들고 검출거리(S_n)의 변동이 작아져 센서의 오동작을 감소시킬 수 있다. 또한 센서의 감지부와 PCB 부위에도 플라스틱 몰딩을 실시하여 진동 및 충격 내성을 강화하고 온도 및 습도 변화에 따른 감지거리 변화량을 최소화 할 수 있도록 개선하였다.(Table 5 참조)

Table 5 Comparison between Used Sensor and Improved Sensor

구분	개선 전	개선 후	개선 효과
구조	<ul style="list-style-type: none"> 3-coil  <ul style="list-style-type: none"> 1개의 이미터코일과 2개의 수신코일 기존 전압 변동형(이미터코일 공통 사용) 	<ul style="list-style-type: none"> 4-coil  <ul style="list-style-type: none"> 이미터코일과 수신코일 각각 2개 기존 전압 고정형(이미터코일과 수신코일 각각의 셋트로 분리) 	<ul style="list-style-type: none"> 이미터 코일 (emitter coil) 1개를 추가함으로써 감지 전/후의 전압차를 기존품 대비 5배 이상 높여 감지정확도 제고
몰딩	<ul style="list-style-type: none"> potted coil system 	<ul style="list-style-type: none"> molded coil system 	<ul style="list-style-type: none"> 센서 감지부와 PCB부에 몰딩추가하여 진동 및 충격 내성을 강화하고 온도 및 습도 변화에 둔감화 시킴

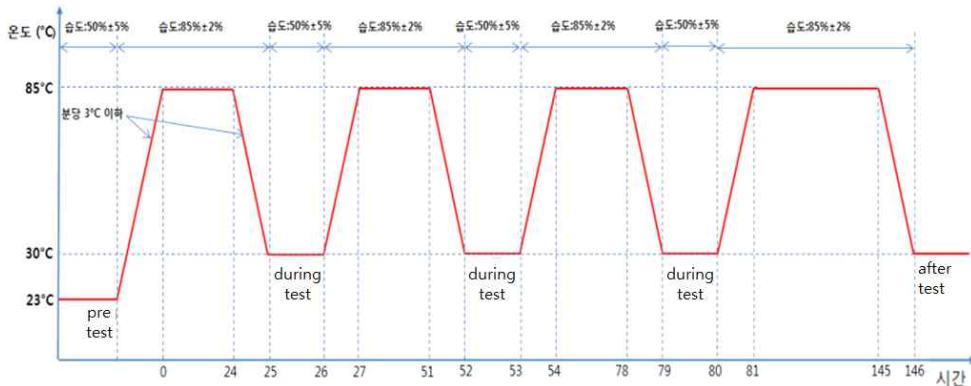


Fig. 4 Long term temperature profile

개선품에 대한 입증시험은 개선전 센서의 고온규격인 70 °C에서 진동이 인가될 때의 품질시험을 실시하여 작동성능이 양호함을 확인하고, 고온(85 °C)시험, 저온(-30 °C)시험, 습도(95 % RH)시험, 진동, 충격(40 g, 11 ms)시험을 실시한 결과 감지거리의 변화가 없음을 확인하여 개선효과가 우수함을 확인하였다.

또한 사용 환경중의 가장 열악한 상태인 하절기 고온에서 습도가 매우 높을 때를 감안하여 85°C, 85% 상대습도에서 146시간(85°C, 85% 상대습도 유지시간 136시간) 고온고습 환경시험을 그림 4와 같이 실시하였다. 고온고습 환경시험 전, 중, 후 근접센서의 감지거리를 측정하여 변화량을 확인한 결과 감지거리의 변화가 없으므로 개선효과가 큰 것으로 확인하였다.

4. 결론

근접센서의 고장은 초기단계를 지나 운용 중 혹서기에 집중되어 처음에는 온도에 따른 저항변화 특성이 부적합한 NTC(Negative Temperature Coefficient) 회로소자(Thermister)가 일부 혼입되어 고온 노출 시 감지거리가 늘어나고 늘어난 감지거리로 인해 2차적으로 영구고장으로 발전된다는 것으로 조사되어 부적합에 대한 혼입방지 시정조치(Corrective Action)를 실시하고, 성능시험(Bench Test)에 70°C에서 1시간동안 고온시험을 추가하여 문제가 없음을 확인하였다. 그러나 약 12개월 후에 동일한 결함이 재발되어 2차 개선을 추진하게 되었다.

2차 개선은 기존의 이미터코일(Emitter Coil)에 한 개 더 추가함으로써 이미터코일과 수신코일을 각각의 셋트로 분리하여 기준 전압을 유동형에서 고정형으로 변경하고, 2차 수신코일 양쪽에 이미터코일을 위치시켜 2차 수신코일의 전압차이를 높여 감지 정확도를 향상시키고, 센서 감지부와 PCB부위에 몰딩을 추가함으로써 내부 몰딩 면적을 높여 진동 및 충격 내성을 강화시켜 온도 및 습도 변화에 둔감하도록 설계를 개선하였고, 고온·고습(85°C, 85%습도)한 환경챔버에서 136시간 내구시험과 1년 이상의 장비 운용시험을 통해 감지거리 변화없이 고장발생이 없음을 입증하였다.

이번 연구를 통해 고온·고습의 환경조건에서 근접센서의 감지거리가 늘어나는 현상에 대해 개선활동이 이루어졌으며, 이러한 연구활동이 유사한 결함사례의 해결에 도움이 되기를 바란다.

참고문헌 (References)

- (1) 민경성, 2014, "자동화를 위한 전기 시퀀스제어," 건기원(경기도 파주시), p. 211(유도형센스).
- (2) 나승권, 2014, "자동제어 및 PLC 설계," 상학당(서울 동작구), p. 122(유도형센스).
- (3) 신승훈, 2003, 와이블챗트와 가속시험, 과학기술.
- (4) MIL-STD-461, Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment.
- (5) MIL-STD-810, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests.