

자동차 전장품의 환경시험규격에 관한 연구

김용수[†]

경기대학교 산업경영공학과

Environmental Test Specifications for Automotive Electrical Units

Kim, Yong Soo[†]

Dept. of Industrial and Management Engineering, Kyonggi University

ABSTRACT

Purpose: Using international specifications, this study classified international standards and automobile manufacturers' test items based on the kind of test used and determined the test order for ISO 16750.

Methods: The effects of international standards' environmental factors were examined, based on the major impacts of the product and the results of product failure. Automobile manufacturers' test items were compared with the test item in the ISO 16750. A generic algorithm was then used to determine the test sequence for ISO 16750.

Results: International standards and automobile manufacturers' common test items were classified. The test sequence of ISO 16750 was determined for five cases.

Conclusion: Although mechanical and environmental tests share many common features, there are differences in the details of the tests. There is a common sequence of tests, but weights are allocated tests differently.

Key Words: Environmental Test, Electrical Units, ISO 16750, IEC 60068-1, Test Sequence

● Received 26 May 2018, 1st revised 10 June, accepted 11 June 2018

† Corresponding Author(kimys@kgu.ac.kr)

© 2018, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

※이 논문은 2016학년도 경기대학교 연구년 수혜로 연구되었음

1. 서론

운송 수단에 사용되는 전장품은 사용자의 안전과 직결되어 있으므로 높은 수준의 안전성과 신뢰성을 요구한다. 그러나 신뢰성 메커니즘의 한계로 실제 사용조건에 발생하는 고장은 재현 및 방지에 어려움이 존재한다. 이를 해결하기 위한 새로운 개념의 신뢰성 시험 메커니즘이 요구된다.

신뢰성 시험에는 크게 수명시험과 환경시험으로 분류할 수 있다. 수명시험의 경우, 의도된 고장 발생을 통한 수명을 측정하기 위해서 스트레스를 사용조건보다 가혹하게 인가하여 시험을 수행하여 수집한 데이터를 사용조건으로 외삽하여 수명을 추정한다. 이에 대한 연구는 이미 많이 이루어졌으므로 환경시험 규격을 통하여 전장품에 대한 시험의 목적 및 용도를 파악하고 국제 규격과 표준을 중심으로 각 제조사 규격별 환경시험의 항목과 각 규격 간 차이점에 대하여 비교한다. 그리고 ISO 16750의 시험 순서를 각 제조사와 MIL-STD-810G에 가중치를 부여하여 시험 순서를 제시하였다. 환경시험을 순차적으로 실시함으로써, 필드에서 발생할 고장의 검출력을 높일 수 있을 뿐 아니라 시험 시료 수도 적게 투입할 수 있다. 따라서, 최근 자동차 제조사에서는 단일 시험이 아닌 순차적 시험을 실시하고 있다.

본 연구에서 언급되는 IEC 60068-1은 환경이 가하는 부하를 표현하기 위한 시험과 측정을 규정한다. ISO 16750은 국제 표준으로 차량 및 전장품에 자주 발생하는 환경 조건에 대한 지침을 제공하고 있다. 본 논문에서는 IEC 60068-1 규격을 통한 환경 인자의 주요 영향을 소개한 후, 자동차 제조사의 시험 규격을 분석 후 비교 및 평가하였다. 그리고 ISO 16750을 중심으로 제조사 3사 간의 규격 연구를 수행한 후 환경시험에서의 자동차 전장품 규격들과 국제 표준에 대해 비교, 평가하였다.

앞서 시행한 규격의 비교를 통해 ISO 16750의 시험 순서를 결정하는데 유전 알고리즘을 활용하였다. MIL-STD-810G와 제조사 별로 가중치를 다르게 배정하였고, MIL-STD-810G 또는 제조사의 순서를 따르면 가중치가 증가하는 방법을 택하였다. 5가지 가중치를 배정하는 경우를 통해 가중치가 최대가 되는 시험 순서 결정에 대한 연구를 수행하였다.

2. 관련 문헌연구

산업에서 환경시험 연구는 다양하게 이루어지고 있다. 우선 항공기에 대한 연구에서 Kim and Kim(2010)은 T-50 항공기에 대한 저·고온 환경시험에 대한 연구를 하였다. Yang et al.(2012)은 항공기 이·착륙 시 충격하중을 흡수 및 분산 여부와 함께 착륙장치 지지대의 진동시험 수행 방안을 연구하였다. Yang and Kim(2014)은 항공기 전장품의 환경시험순서를 제안하였다. Lee et al.(2012)은 항공기용 소형 가스터빈 엔진에 모래와 먼지가 유입되는 경우에 대한 연구를 하였다. 그 외에 Saarinen and Frisk(2012)는 UHF RFID 태그에 대한 습도 시험에 대해서 연구하였다. Lee et al.(2012)은 환경 친화적 자동차에 적용되는 배터리 시스템에 대해 온도 환경시험이 적합한지 평가하기 위한 연구를 하였다. Sohn et al(2015)는 우주환경시험을 위해 대형 수직 열진공 챔버, 음향 챔버 진동 시험 장비 외 여러 장비 및 시험 구현 사양을 연구하였다. Kim and Kim(2004)는 가속시험을 위한 자동차용 컵백터의 시료 중 자동차 제조사의 복합 환경시험에 대해 언급하였다. Kim et al(2008)은 차량용 조인트와 쉘 부품 내환경시험을 위한 분체에 대한 연구를 하였다.

위와 같이 여러 논문에서 환경시험에 대한 연구가 수행되었으며, 운송수단의 기계적인 부품 또는 전장품에 관한 연구가 많이 수행되었음을 알 수 있다. 그러나 자동차에 대한 환경시험은 단일품에 연구가 집중되어 자동차 규격간의 비교에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다고 사료된다.

본 논문에서는 환경시험에서 국제 표준과 자동차 3사 A사(미국), B사(미국), C사(유럽)의 규격을 비교하여 자동차 제조 3사 규격과 국제 표준의 연관성을 연구한다. 먼저, 환경시험 국제 규격인 IEC 60068-1(2013)으로 환경 인자의 주요 영향 및 고장을 살펴본다. 이를 토대로 A사, B사, C사 자동차 전장품 표준 규격의 연구를 통해 ISO 16750과 A사, B사, C사의 시험 항목을 비교한다.

3. 환경시험 규격 및 표준 연구

3.1 IEC 60068-1에 기반한 환경 인자의 주요 영향

환경시험의 국제 규격인 IEC 60068-1은 고온, 먼지 및 모래, 강우 등과 같은 환경 인자가 제품에 미치는 영향과 고장의 유형을 파악하기 위한 규격이다.

이 규격은 환경시험과 해당 가혹도에 대한 일련의 방법을 규정하며 운반, 보관 및 모든 사용 조건에서 수행할 수 있는 제품의 능력을 평가하도록 고안되었으며 측정 및 시험에 대한 조건을 규정하고 있다. 규격에 나타나 있는 환경 인자로는 고온, 저온, 높은 상대습도, 낮은 상대습도, 고압, 저압, 태양 복사, 먼지 및 모래, 부식성 대기, 바람, 비, 해일, 눈 또는 얼음, 온도의 급변, 오존, 가속(정상 상태), 진동, 범프 또는 충격이 있으며, 이로 인한 고장 결과도 명시되어있다.

IEC 60068-1의 환경 메커니즘에 대한 영향 및 고장 중 온도와 습도에 관한 내용은 다음 <Table 2>과 같다.

Table 2. Major effects and faults of environmental parameters

Environmental parameter		Major effect	Failure result
Temperature	High	Heat degradation(oxidation, cracking, chemical reaction), soften, dissolution, sublimation, viscosity, deoxidization, evaporation, expansion	Insulation damage, mechanical failure, increase of mechanical stress, wear of moving parts due to expansion, loss of lubrication property
	Low	Fragmentation, ice formation, Increase of viscosity and condensation, loss of mechanical strength, physical shrinkage	Insulation damage, mechanical failure, increased wear of moving parts due to shrinkage, loss of mechanical strength, loss of lubrication property, seals and gasket failures
Relative humidity	High	Absorption, swelling, loss of mechanical strength, increasing the conductivity of the insulator, chemical reaction (corrosion, electrolysis)	Physical destruction, insulation damage, mechanical failure
	Low	Dehydration, fragmentation, loss of mechanical strength, shrinkage, increased wear between moving contacts	Mechanical failure, crack

3.2 종류 별로 분류한 자동차 제조사 시험 항목

3.2.1 기계적 시험을 기준으로 분류한 자동차 제조사 시험 항목

자동차 3사의 기계적인 시험은 총 30가지이며 공통적인 시험은 충격 시험과 진동 시험으로 충격 시험은 A사 4가지, B사 2가지, C사 2가지이고 진동 시험은 A사 1가지, B사 3가지, C사 5가지가 존재한다.

A사 규격의 기계적 시험에는 동력 진동 내구성 시험, 가청 소음 시험, 충격의 세기에 따라 4가지로 나누어진 기계적 충격/낙하 시험, 커넥터와 리드/잠금 강도 시험이 포함되어 있다.

B사 규격의 기계적 시험은 3가지 부품의 장착 위치로 나누어진 주기적 열을 동반한 진동 시험, 3가지 종류의 기계적 충격 시험, 부품에 따라 2가지로 나누어진 하우징 파괴 시험, GMW3191 커넥터 시험, 부품에 따라 2가지로 나누어지는 커넥터 설치에 대한 가혹도(connector installation abuse) 시험, 자유 낙하 시험, 기계적 부식 열화 시험을 포함한다.

C사 규격의 기계적 시험은 자유 낙하 시험, 암석 충격 시험, 먼지 시험, 부품의 장착 위치가 나누어져 있는 진동 시험, 기계적 충격 시험, 내구 충격 시험이 포함되어 있어 비교적 간단하게 이루어져 있다. 정리된 내용은 <Table 3>와 같다.

Table 3. Manufacturer’s test items classified by mechanical test

Manufacturer	Test item	
Company A	Audible Noise	
	Connector & Lead/Lock Strength	
	Powered Vibration Endurance	
	Mechanical Shock/Drop	Package Drop
		Handling Drop
		Medium Mechanical Drop
		Low Mechanical Shock
Company B	Vibration With Thermal Cycling	Engine Or Transmission
		Sprung Masses
		Unsprung Masses
	Mechanical Shock	Pothole
		Collision
		Closure Slam
	Crush For Housing	Elbow Load
		Foot Load
	Connector Installation Abuse	Side Force
		Foot Load
Fretting Corrosion Degradation		
Free Fall		
GMW3191 Connector		
Company C	M-01 Free Fall	
	M-02 Stone Impact	
	M-03 Dust	
	M-04 Vibration	Vibration Profile A
		Vibration Profile B
		Vibration Profile C
		Vibration Profile D
		Vibration Profile E
M-05 Mechanical Shock		
M-06 Endurance Shock		

3.2.2 기후적 시험을 기준으로 분류한 자동차 제조사 시험 항목

자동차 3사의 기후적 시험은 총 42가지이며 공통으로 수행하는 시험은 고온 및 저온 시험과 습도 시험이나 자세한 시험 방법은 3사 모두 미세한 차이를 보인다.

A사 규격의 기후적 시험은 저온 노출 시험, 저온 운용 시험, 고온 노출 시험, 고온 운용 시험, 동력 상태에서 가하는 주기적인 열(powered thermal cycle) 시험, 열 충격 저항 시험, 열 충격 내구 시험, 습도-온도 주기 시험, 물의 세기에 따라 5가지로 나누어져 있는 액체류 유입-침수(water/fluids ingress-immersion) 시험, 먼지 시험이 포함되어 있다.

B사 규격의 기후적 시험은 저온 작동, 고온 열화 시험, 공기 대 공기 열충격 시험, 전원 온도 주기(power temperature cycle) 시험, 열 충격/살수 시험, 습도 열 주기 시험, 일정 습도-열 시험, 염수 박무 시험, 염수 분무 시험을 포함한다.

C사 규격의 기후적 시험은 고온/저온 저장 시험, 온도 상승 시험, 저온 운용 시험, 재 도색 온도 시험, 온도 충격(부품) 시험, 운용 중 염수 분무, 외부 시험, 내부 시험, 습도-열 주기 시험, 습도-열 주기(혹한 포함) 시험, 방수-*ipx0 to ipx6k* 시험, 고압 세척 시험, 살수를 포함한 열 충격 시험, 열 충격-침례 시험, 민감도가 2가지로 다른 일정 습도-열 시험, 전장품 결로(condensation with electr. assemblies) 시험, 온도 충격(하우징 제외) 시험, 일사 시험, 유해 가스 시험이 포함되어 있어 제조 3사 중 가장 많은 시험 항목을 운용하고 있다. 정리된 내용은 <Table 4>과 같다.

Table 4. Manufacturer’s test items classified by climatic test

Manufacturer	Test item	
Company A	Low & High Temperature	Exposure
		Operation
	Water/Fluids Ingress	Immersion
		Car Wash Spray
		Heavy Splash/Shower
		Light Spray/Rain
		Drip
	Dust	
	Powered Thermal Cycle	
	Thermal Shock Resistance	
	Thermal Shock Endurance	
Humidity-Temperature Cycle		
Company B	Low Temperature Wakeup	
	High Temperature Degradation	
	Thermal Shock Air-To-Air (TS)	
	Power Temperature Cycle (PTC)	
	Thermal Shock/Water Splash	
	Humid Heat Cyclic (HHC)	
	Humid Heat Constant (HHC0)	
	Salt Mist	
	Salt Spray	

Company C	K-01 High/Low Temperature Storage	
	K-02 Incremental Temperature	
	K-03 Low Temperature Operation	
	K-04 Repainting Temperature	
	K-05 Temperature Shock (Component)	
	K-06 Salt Spray Test With Operation, Exterior	
	K-07 Salt Spray Test With Operation, Interior	
	K-08 Humid Heat, Cyclic	
	K-09 Humid Heat, Cyclic (With Frost)	
	K-10 Water Protection - IPX0 To IPX6k	
	K-11 High-Pressure Cleaning	
	K-12 Temperature Shock With Splash Water	
	K-13 Temperature Shock -Immersion	
	K-14 Humid Heat, Constant	Severity 1
		Severity 2
	K-15 Condensation With Electr. Assemblies	
	K-16 Temperature Shock(Without Housing)	
	K-17 Sun Radiation	
K-18 Harmful Gas		

3.2.3 기타 시험을 기준으로 분류한 자동차 제조사 시험 항목

자동차 제조사들이 실시하는 시험의 종류에서 비교적 낮은 비율의 시험을 기타 시험으로 따로 소개한다.

수명 시험은 A사와 C사가 시행하고 있으며 화학 시험은 A사와 C사, 동봉 시험은 B사만 수행하고 있다. 수명 시험을 실시한 회사는 A사와 C사이다. A사의 수명 시험은 고온 내구 시험, 조종 장치 내구(controls durability) 시험, 기계적 마모 시험, 85/85 고온-고습 내구 시험이 있다. C사의 수명 시험은 수명시험에는 기계적/수압 내구 시험, 고온 내구 시험, 온도 주기 시험이 존재한다.

그 다음으로는 화학적인 시험으로 A사, C사만 시험을 수행하고 있다. A사의 경우에는 염분 안개 대기 시험, 화학적 저항 시험이 있다. 다른 규격과는 다르게 염분과 관련한 시험이 화학적 시험에 포함되어 있고 C사의 경우에는 화학적 요구사항이 포함된 모래 시험(chemical requirement sand tests)이 화학적 시험으로 포함되어 있다.

그 외에는 동봉 시험은 B사만 유일하게 시행하고 있다. 시험 항목으로는 먼지 시험, 물 시험, 밀봉 시험, 누출 확인 시험, 물 동결 시험, 설탕물 기능 장애 시험이 동봉 시험에 포함된다. 정리된 내용은 <Table 5>와 같다.

Table 5. Manufacturer's test items classified by others

Classification	Manufacturer	Test item
Life	Company A	High Temperature Endurance
		Controls Durability
		Mechanical Wear out
		85/85 High Temperature - High Humidity Endurance
	Company C	L-01 Mechanical/Hydraulic Endurance
		L-02 High Temperature Endurance

		L-03 Temperature Cycle
Chemical	Company A	Salt Mist Atmosphere
		Chemical Resistance
	Company C	Chemical Requirements and tests
Enclosure	Company B	Dust
		Water
		Seal
		Leakage Check
		Water Freeze
		Sugar Water Function Impairment

3.3 ISO 16750의 전장품 환경시험 항목

본 연구는 국제 표준인 ISO 16750를 대상으로 시험 항목과 각 항목당 시험 조건을 파악하였다. ISO 16750은 기계적 시험, 기후적 시험, 화학적 시험으로 분류된다.

기계적 시험은 장착 위치별 조건이 다른 진동 내구 시험과 기계적 충격 시험이 있다. 진동 내구 시험은 엔진, 기어박스, 유연한 플리넘 챔버, 스프링 상중량(차체), 스프링 하중량, 연료 레일(GDI, 시스템이 있는 가솔린 엔진), 단단한 흡입 대기관, 배기관으로 승용차 부품의 장착위치가 나누어져 있다. 기계적 충격 시험은 도어나 플랩, 차체와 프레임 위의 강고한 지점, 기어박스로 장착 위치가 나누어져 있었다. 또한, 자유 낙하 시험, 표면강도/굽힘 및 마찰에 대한 저항성 시험, 자갈 충격 시험이 포함되어 있다. 기후적 시험은 저온 방치 동작 시험, 고온 방치 동작 시험, 온도 스텝 시험, 온도 사이클 내구 시험, 열충격 시험, 빙수충격/살수 시험, 빙수충격/침수 시험, 염수분무/부식 시험, 염수분무/누설/기능 시험, 고온 고습 사이클 시험, 조합 온습도 사이클 시험, 결로 시험, 고온 고습 일정 시험, 유동 혼합 기체 부식 시험, 일사 시험, 먼지 시험이 포함되어 있다. 화학적 시험은 화학 부하 환경시험이 있다.

3.4 표준과 규격 간 비교 분석

본 연구에서는 앞서 보았던 국제 표준 ISO 16750과 자동차 제조사들의 환경시험 시험 항목을 비교하여 평가한다. 먼저 자동차 전장품 규격들은 보통 기후적 환경시험과 기계적 환경시험, 화학적 환경시험으로 분류되어 있다. A사와 C사는 시험품의 내구를 시험하는 수명 시험도 분류하고 있다. B사는 화학적 환경시험을 분류하지 않은 대신에 물과 관련한 동봉 시험을 분류하고 있다. 즉, B사는 침수와 관련한 시험을 중요시한다고 판단할 수 있다. B사는 먼지 시험도 동봉 시험으로 분류하고 있다.

ISO 16750을 기준으로 본 연구에서 대상이 된 모든 자동차 제조사의 규격과 비교했을 때, 자동차 제조사의 규격에는 ISO 16750에 없는 방수와 관련된 시험이 존재한다. A사는 상대적으로 내구에 관한 시험이 많았고 ISO 16750과 C사의 시험 항목은 거의 일치한다. <Table 6>에서 ISO 16750과 자동차 제조 3사의 전장품 규격 시험 항목을 비교하여 시행하는 시험의 해당 항목에 “○” 표시를 하였다.

Table 6. Comparison of ISO 16750 with manufacturer specifications

Classification	Test item		ISO 16750	Company A	Company B	Company C
Mechanical	Mechanical shock(1)		○	○	○	○
	Gravel shock(2)		○			○
	Free fall(3)		○		○	○
	Resistance to friction(4)		○			
	Vibration(5)		○	○	○	○
	Audible Noise			○		
	Connector & Lead/Lock Strength			○		
	Crush for housing				○	
	GMW3191 Connector				○	
	Connector Installation Abuse				○	
Climatic	Low temperature(6)	Storage	○	○	○	○
		Operation	○	○		○
	High temperature(7)	Storage	○	○		○
		Operation	○	○	○	○
	Temperature cycle endurance(8)		○	○	○	○
	Thermal shock(9)		○	○	○	○
	High temperature & humidity cycle(10)		○		○	○
	Temperature & humidity combination cycle(11)		○	○	○	○
	Condensation(12)		○			○
	Temperature step(13)		○			○
	Normal humidity(14)		○			○
	Salt water spray/corrosion(15)		○	○	○	○
	Salt water spray/leakage/function(16)		○		○	○
	ice water shock/watering(17)		○		○	○
	ice water shock/inundation(18)		○		○	○
	Sun radiation(19)		○			○
	Dust(20)		○	○	○	○
	Flow mixed gas corrosion(21)		○			○
	Water/Fluids Ingress			○	○	○
	Other	Chemical	Chemical load environment(22)	○	○	
Life		Mechanical/hydraulic endurance				○
		High Temperature Endurance		○	○	○
		Controls Durability		○		
		Mechanical Wear out		○	○	
		85/85 High Temperature -High Humidity Endurance		○		
		Water Freeze			○	
Enclousre		Leakage Check			○	
	Sugar Water Function Impairment			○		

4. ISO 16750 표준의 시험 순서 최적화

본 연구에서는 ISO 16750의 시험 항목을 국가표준인 MIL-STD-810G와 앞서 다루었던 자동차 제조 3사의 순서를 반영하여 경영과학 기법으로 최대한 반영할 수 있도록 하였다.

그 방법으로 MIL-STD-810G, 제조 3사의 시험 순서에 가중치를 부여하여 ISO 16750의 시험 항목이 그 순서를 따르는 경우 가중치를 주었고 <Table 7>, <Table 8>, <Table 9>, <Table 10>에서 가중치를 부여하는 시험 항목을 정리하였다. 시험 순서가 중복되는 경우는 <Table 11>에서 정리하고 표준 또는 해당 제조사의 가중치를 합하였다. Company A, Company B, Company C의 가중치는 Vehicle Dependability Study by Make(2017) 점수의 비로 책정하여 <Table 12>에서 정리하였다. 이렇게 산정한 가중치 합을 최대화하여 <Table 6>에서 다루었던 22가지 시험 항목의 순서를 정하였다. 본 연구에서는 MIL-STD-810G의 가중치가 자동차 제조 3사의 총 가중치의 합보다 큰 경우, 같은 경우, MIL-STD-810G가 A사와 같은 경우, B사와 같은 경우, C사와 같은 경우로 총 5가지 상황을 다루었고, ISO 16750 시험에서 같은 항목의 반복시험은 시행되지 않는다고 가정하였다.

Table 7. Before the test based on MIL-STD-810G

Before the test	Test
High Temperature(Storage/Operation)	Salt water spray/corrosion
Thermal shock	Salt water spray/corrosion
High temperature & humidity cycle	Salt water spray/corrosion
Condensation	Salt water spray/corrosion
Temperature step	Salt water spray/corrosion
Normal humidity	Salt water spray/corrosion
Salt water spray/leakage/function	Salt water spray/corrosion
Sun radiation	Salt water spray/corrosion
Dust	Salt water spray/corrosion
Flow mixed gas corrosion	Salt water spray/corrosion
High Temperature(Storage/Operation)	Salt water spray/leakage/function
Temperature cycle endurance	Salt water spray/leakage/function
Thermal shock	Salt water spray/leakage/function
High temperature & humidity cycle	Salt water spray/leakage/function
Condensation	Salt water spray/leakage/function
Temperature step	Salt water spray/leakage/function
Normal humidity	Salt water spray/leakage/function
Salt water spray/corrosion	Salt water spray/leakage/function
Sun radiation	Salt water spray/leakage/function
Dust	Salt water spray/leakage/function
Flow mixed gas corrosion	Salt water spray/leakage/function

Salt water spray/leakage/function	Dust
ice water shock/inundation	Low Temperature(Storage/Operation)
ice water shock/inundation	High Temperature(Storage/Operation)
ice water shock/inundation	Temperature cycle endurance
ice water shock/inundation	Thermal shock
ice water shock/inundation	High temperature & humidity cycle
ice water shock/inundation	Temperature & humidity combination cycle
ice water shock/inundation	Condensation
ice water shock/inundation	Temperature step
ice water shock/inundation	Normal humidity
ice water shock/inundation	ice water shock/watering
ice water shock/inundation	ice water shock/inundation
ice water shock/inundation	Sun radiation
ice water shock/inundation	Dust
ice water shock/inundation	Flow mixed gas corrosion
Vibration	Mechanical shock
Vibration	Gravel shock
Normal humidity	Flow mixed gas corrosion
Flow mixed gas corrosion	Dust
Flow mixed gas corrosion	Gravel shock

Table 8. Some of environmental test sequences(company A)

Before the test	Test
High Temperature(Storage/Operation)	Thermal shock
Mechanical shock	Free fall
Temperature & humidity combination cycle	ice water shock/watering
Temperature & humidity combination cycle	ice water shock/inundation
Salt water spray/corrosion	Chemical load environment
Salt water spray/leakage/function	Chemical load environment
Thermal shock	Vibration
Vibration	Dust

Table 9. Some of environmental test sequences(company B)

Before the test	Test
High Temperature(Storage/Operation)	Mechanical shock
Low Temperature(Storage/Operation)	Thermal shock
Low Temperature(Storage/Operation)	Dust
Dust	ice water shock/watering
Dust	ice water shock/inundation

Table 10. Some of environmental test sequences(company C)

Before the test	Test
Free fall	Low Temperature(Storage/Operation)
Thermal shock	Gravel shock
Gravel shock	Salt water spray/corrosion
Dust	Normal humidity
Vibration	ice water shock/watering
Vibration	ice water shock/inundation
Temperature cycle endurance	Temperature & humidity combination cycle
Temperature cycle endurance	Condensation
Temperature cycle endurance	Sun radiation
Temperature cycle endurance	Flow mixed gas corrosion
Temperature cycle endurance	Chemical load environment

Table 11. Some of overlapping environmental testing standard order

중복 표준 및 규격 (영어)	Before the test	Test
Company B/C	Mechanical shock	Vibration
Company A/C	Low Temperature(Storage/Operation)	High Temperature(Storage/Operation)
810G/ Company A	ice water shock/watering	Salt water spray/corrosion
	ice water shock/watering	Salt water spray/leakage/function
	ice water shock/inundation	Salt water spray/corrosion
	ice water shock/inundation	Salt water spray/leakage/function
810G/ Company B	Temperature & humidity combination cycle	Salt water spray/corrosion
	Temperature & humidity combination cycle	Salt water spray/leakage/function
	Low Temperature(Storage/Operation)	Salt water spray/corrosion
	Low Temperature(Storage/Operation)	Salt water spray/leakage/function
810G/ Company C	Salt water spray/corrosion	Dust
	Temperature cycle endurance	Salt water spray/corrosion

Table 12. Weight score based on vehicle dependability study by make(2017)

Manufacturer	Overall Dependability	Powertrain Dependability	Body and Interior Dependability	Feature and Accessory Dependability	Total	Rate Score
Company A	3	2	3	3	11	0.30
Company B	3	3	3	5	14	0.38
Company C	3	3	3	3	12	0.32

최대화를 위한 기법에는 유전 알고리즘 기반의 진화해법을 이용하였고 아래의 식은 ISO 16750 시험 순서 최적화를 위한 수리적 모델링이다.

$$\text{Maximize } \sum_{n=1}^{21} y_{(n,n+1)} \tag{1}$$

Subject to

$$\sum_{k=1}^{22} x_n = 22 \ (x_n = 0 \text{ or } 1) \tag{2}$$

$$x_{(i,j)} = x_i + x_j, \ (i,j = 1,2,\dots,22, i \neq j) \tag{3}$$

$$x_{(i,j)} = 1 \tag{4}$$

$$y_{(n,n+1)} = w_{(i,j)}x_{(i,j)}, \ (n = 1,2,\dots,21, i,j = 1,2,\dots,22) \tag{5}$$

$$w_{(a,b)} = 0.2973, \ (a,b) \in A \tag{6}$$

$$w_{(c,d)} = 0.3784, \ (c,d) \in B \tag{7}$$

$$w_{(e,f)} = 0.3234, \ (e,f) \in C \tag{8}$$

$$w_{(a,b)} + w_{(c,d)} + w_{(e,f)} = 1 \tag{9}$$

$$w_{(u,v)} \in M \tag{10}$$

$$w_{(u,v)} = (w_{(a,b)} + w_{(c,d)} + w_{(e,f)}) + \frac{w_{(a,b)} + w_{(c,d)} + w_{(e,f)}}{3} \ [Case\ 1] \tag{11}$$

$$w_{(u,v)} = (w_{(a,b)} + w_{(c,d)} + w_{(e,f)}) \ [Case\ 2] \tag{12}$$

$$w_{(u,v)} = w_{(a,b)} \ [Case\ 3] \tag{13}$$

$$w_{(u,v)} = w_{(c,d)} \ [Case\ 4] \tag{14}$$

$$w_{(u,v)} = w_{(e,f)} \ [Case\ 5] \tag{15}$$

$$w_{(i,j)} = w_{(a,b)} + w_{(c,d)}, \ (i,j) \in AB \tag{16}$$

$$w_{(i,j)} = w_{(c,d)} + w_{(e,f)}, \ (i,j) \in BC \tag{17}$$

$$w_{(i,j)} = w_{(u,v)} + w_{(a,b)}, \ (i,j) \in MA \tag{18}$$

$$w_{(i,j)} = w_{(u,v)} + w_{(c,d)}, \ (i,j) \in MB \tag{19}$$

$$w_{(i,j)} = w_{(u,v)} + w_{(e,f)}, \ (i,j) \in MC \tag{20}$$

$$w_{(i,j)} = 0, \ (i,j) \notin (AU\ BU\ CU\ MU\ ABU\ BCU\ MAU\ MBU\ MC) \tag{21}$$

위 식에서 1~22번은 <Table 5>에 표기한 ISO 16750 시험 항목이다. A, B, C는 각각 Company A, B, C의 시험 순서이며 M은 MIL-STD-810G의 순서이고 AB, BC는 Company A와 B, B와 C의 중복되는 순서이며 마찬가지로 MA, MB, MC도 MIL-STD-810G와 Company A, B, C의 중복되는 순서이다.

MIL-STD-810G의 가중치가 5가지 상황을 따를 때의 ISO 16750의 시험 항목 순서는 <Table 13>와 같다.

Table 13. ISO 16750 test sequence based on MIL-STD-810G weight score

Sequence	MIL>Com	MIL=Com	MIL=A	MIL=B	MIL=C
1	14	17	4	4	9
2	21	16	9	14	4
3	2	22	2	21	14
4	5	4	3	2	21
5	1	10	6	3	2
6	3	13	7	6	8
7	6	19	1	7	11
8	7	8	5	1	15
9	9	12	18	5	20
10	4	5	13	18	18
11	11	1	11	11	19
12	15	3	15	15	10
13	20	6	20	20	13
14	18	7	17	17	12
15	13	9	16	16	3
16	10	11	22	22	6
17	17	15	10	9	7
18	16	20	14	8	1
19	22	18	21	19	5
20	12	14	8	10	17
21	8	21	19	13	16
22	19	2	12	12	22

분석 결과, ISO 16750의 시험 항목 11→15 순서와 16→22, 14→21, 3→6→7 순서는 5가지 상황에서 모두 적용됨을 알 수 있었으며 2→3→6→7→1→5→18과 11→15→20→17→16→22 순서는 MIL-STD-810G의 가중치가 Company A와 Company B가 같을 때 공통적으로 나타났으며, 11→15→20→18 순서는 MIL>COM, MIL=COM, MIL=C인 경우에 공통적으로 나타났다.

이를 통해, 시험 순서를 표준이나 제조사 규격에 반영할 때, 어떻게 반영함에 따라 시험 순서는 상이 하다. 가중치 반영 시, Company A와 Company B의 시험 순서는 유사하다고 볼 수 있으며 Company C는 다른 제조사와 달리 독자적인 순서를 채택함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 자동차 전장품의 환경시험 규격의 비교를 위해 먼저 국제 규격인 IEC 60068-1을 통해 환경 인자와 그로 인해 발생하는 고장을 파악하고 자동차 A사, B사, C사의 규격을 시험 종류에 따라 분류하였다. 그리고 국제 표준인 ISO 16750을 기준으로 자동차 제조사 A사, B사, C사 규격의 시험 항목과 조건을 연구하였다. A사 규격은 기계적 시험, 기후 시험, 화학 시험, 수명 시험으로 분류되어 있었으며, B사 규격은 기계적 시험, 기후 시험, 동봉 시험으로 분류되어 있다. 마지막으로 C사 규격은 기계적 시험, 기후 시험, 화학적 시험, 수명 시험으로 분류된다. 공통적으로 기계적인 시험과 기후 시험에 많은 항목이 배분되어있음을 파악할 수 있으며 세부적인 시험 항목에 차이가 존재한다. 기타 특징으로는 B사는 밀봉 시험에 많은 항목을 두고 있다.

이러한 연구 결과를 바탕으로 국제 표준 ISO 16750에 MIL-STD-810G 및 자동차 제조 3사의 규격에 가중치를 부여하여 유전 알고리즘을 활용한 ISO 16750의 시험 순서를 결정하였다. 5가지 경우의 가중치에 따라 순서가 정해졌으며 가중치를 다르게 배분하여도 공통적인 순서 구간이 존재하였으나 그 외 구간은 가중치에 따라 상이 하였다. 이를 통해 자동차 제조사에서 중요하게 고려하는 부분과 제조사마다 성향의 차이를 알 수 있었다. 이러한 고찰을 통해서 단일 자동차 전장품 환경시험 연구뿐만 아니라 환경시험에 대한 범용적인 시야를 가져갈 수 있으므로 국제 표준이 현재 산업에 얼마나 반영되어있는지 가늠할 수 있다. 향후 ISO 표준 및 기타 환경시험 규격의 개정 시에 기존보다 현실에 적합한 기준을 수립할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

REFERENCES

- Ford. 1999. "WDS EA-D11." Environmental requirements-(non-EMC) vehicle electrical and electronic systems.
- GM. 2012. "GMW3172." General specification for electrical/electronic components-environmental/durability.
- IEC. 2013. "IEC 60068-1." Environmental testing- part 1: general and guidance.
- ISO. 2012. "ISO 16750-3." Road vehicles-environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment-part3: mechanical loads.
- ISO. 2010. "ISO 16450-4." Road vehicles-environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment-part4: climatic loads.
- ISO. 2010. "ISO 16450-5." Road vehicles-environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment-part5: chemical loads.
- Kim, J. -G. and Kim, J. -H. 2004. "Highly Accelerated Life Tests for Auto-Connector in Use-Environment." Korea Safety Management & Science Conference, 229-235.
- Kim, D., Kim, G., Kang, J., Lee, Y. and Chung, S. (2008). "Evaluation of Contaminant Characteristics for Environmental Durability Test of Automotive Joints and Seals." The Korean Society Of Automotive Engineers Conference, 1265-1270.
- Kim, M. H. and Kim, J. R. 2010. "Thermal Environment Test of T-50 Aircraft utilizing the Environmental Test Facility." Journal of The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, 1298-1301.
- Lee, D. -H., Lim, B. J., Ahn, I. K., Koo, H. C., and Kim, J. H. 2012 "Effect of Sand and Dust Ingestion on Small Gas Turbine Engines." Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B, 36(8): 791-796.
- Lee et al. 2012. "A Study on the Temperature Stabilization Time during Temperature Environmental Test of the Battery System for Green Cars." IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 1548-1551.
- Saarinen, K. and Frisk, L. 2012. "Reliability of UHF RFID Tags in Humid Environments." Electronics Packaging Technology Conference, 180-184.

- Sohn, E. -H., Cho, H., Seo, H. -J., Park, S. -W. and Moon, G. -W. 2015. "Space Environment Test Center Operation in Russia." *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, 13(1): 71-78.
- Volkswagen. 2010. "VW 80000." Electric and electronic components in motor vehicles up to 3.5t-general component requirements, test conditions and tests.
- Yang, J. H. 2014. "A Study of the Optimal Environmental Test Sequence for Electrical Units." Department of Industrial Engineering Graduate School, Kyonggi University.
- Yang, J. H. and Kim, Y. S. 2014. "A Study on an Environmental Test Sequence for Electrical Units on Aircraft." *Journal of the Applied Reliability* 14(2):114-121.
- Yang, J. Y., Lee S., Kim, T. -U., and Chung S. -J. 2012. "Vibration Test for the Aircraft Landing Gear." *Journal of The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 1534-1538.

