

환경시험의 설계

박정원* · 이중휘* · 함중결* · 정민호* · 모성희* · 이동희* · 김명수**

*산업기술시험원 · **수원대학교

Design of Environmental Tests

J.W. Park*, J.H. Lee*, J.G. Ham*, M.H. Jung*, S.H. Mo*, D.H. Lee*, M.S. Kim**

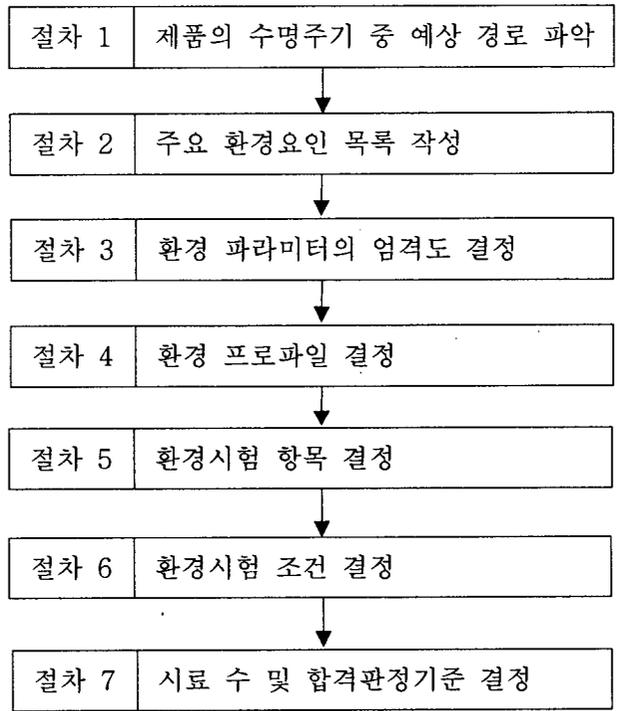
*Korea Testing Laboratory, **University of Suwon

1. 서론

일반적으로 시험은 기능·성능, 환경, 신뢰성 및 안전시험으로 구분할 수 있다. 기능·성능 시험은 기획단계에서 설정한 목표 기능과 성능을 확인하기 위해, 환경시험은 아이টে이 수명주기에서 겪을 수 있는 환경조건에 대한 내성을 보증하기 위해, 신뢰성시험은 개발 및 양산단계에서 아이টে이의 신뢰성향상, 평가 및 보증을 위해, 안전시험은 안전성을 평가하기 위해 실시한다.

제조상에 문제가 없는 제품이 필드에서 고장 나는 원인 중에 가장 큰 비중을 차지하는 것은 설계과정에서 고려하지 못한 환경에 노출되는 경우이다. 최근 제품의 사용 환경범위가 넓어지고 새로운 환경에 노출되면서 예상치 못한 고장이 발생할 가능성이 높아지고 있다. 예를 들어, 자동차의 경우 환경오염으로 인한 대기 중 유해가스 증가로 가스에 의한 부식 등 새로운 고장모드가 나타나고, 찜질방에서 핸드폰을 사용하면서 고온·고습한 환경에 의해 고장이 발생하기도 한다. 이와 같이 고장에 영향을 미칠 수 있는 다양한 환경조건에 제품이 노출될 가능성이 높아짐에 따라, 설계과정에서 사용 환경에 대한 조사 및 검토와 내환경성 설계가 과거보다 더욱 요구되고 있으며, 이에 따라 환경시험의 중요성도 커지고 있다.

앞에서 언급하였듯이 환경시험은 제품이 저장, 운송, 사용 중에 노출될 수 있는 환경에 대해 충분한 내성을 갖고 있는지 평가하기 위해 실시하는 시험이다. 환경시험을 실시할 때, 시험항목과 조건이 바이어의 요구에 의해 결정되는 경우도 있지만 제조업체에서 품질보증을 위해 자체적으로 결정해야 할 경우도 있다. 일반적으로 많이 사용되는 부품의 환경시험은 단체, 국가 또는 국제 규격 형태로 표준화 되어 있다. 그러나 신규 부품 또는 제품의 경우 적절한 환경시험 방법 또는 기준을 새로 개발해야 할 수도 있다. 본 기고에서는 부품 또는 제품의 환경시험 설계를 위한 일반적인 절차를 제시한다. [그림 1]은 환경시험 설계 절차를 나타낸 것이다.



[그림 1] 환경시험 설계 절차

2. 제품의 수명주기 중 예상경로 파악

환경시험을 설계하기 위한 첫 번째 단계는 제품이 출하되어 폐기될 때까지, 즉 수명주기 (life cycle) 동안 어떤 경로를 거치는지를 나타내는 예상경로를 파악하는 것이다. 예를 들어, 국내에서 생산된 제품을 해외에 수출하는 경우의 예상경로는 다음과 같다.

예 : 공장에서 출하 → 트럭으로 선착장까지 운송 → 선착장에서 대기(저장) → 선적되어 배로 수출지역까지 운송 → 선착장에서 대기(저장) → 기차로 판매지역까지 운송 → 판매지역 창고에 보관(저장) → 자동차로 소비자가 집까지 운송 → 실내에서 사용

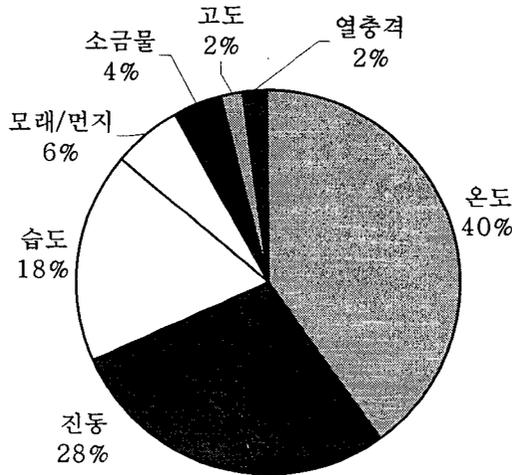
3. 주요 환경요인 목록 작성

제품의 수명주기 중 예상경로를 확인한 후에, 예상경로 중에 신뢰성에 영향을 미칠 수 있는 주요 환경요인 목록을 작성한다. 환경요인은 IEC 60721에 제시되어 있는 <표 1>의 환경요인의 종류를 참고하여 선정하되, 목록 작성을 위한 일반적인 지침은 다음과 같다.

<표 1> IEC 60721에 제시된 환경요인

No.	구분	환경 요인의 종류
1	기후적 조건 (climatic conditions)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온도(저온, 고온, 온도변화) ○ 습도(상대습도, 절대습도) ○ 압력(공기압, 수압, 압력의 변화) ○ 주변 물질의 움직임(속도) ○ 비, 눈, 우박 ○ 방사(태양, 열, 이온) ○ 비 이외의 소스로부터 유출되는 물 ○ 표면의 축축함(wetness) ○ 응결, 서리
2	생물학적 조건 (biological conditions)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 곰팡이, 균류와 같은 식물성의 해로운 물질 ○ 설치류와 같은 동물성의 해로운 물질
3	화학적 활성 물질 (chemically active substances)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해수 염분 ○ 도로 염분 ○ 이산화황(Sulphur Dioxide) ○ 황화수소(Hydrogen Sulphide) ○ 산화질소(Nitrogen Oxide) ○ 오존(Ozone) ○ 암모니아(Ammonia) ○ 염소(Chlorine) ○ 염화수소(Hydrogen Chloride) ○ 불화수소(Hydrogen Fluoride) ○ 유기적 탄화수소(Organic Hydrocarbons)
4	기계적 활성 물질 (mechanically active substances)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 모래 ○ 먼지 ○ 슬러리(시멘트, 진흙 따위에 물을 섞은 것) 농도 ○ 검댕이, 매연
5	오염 액체 (contaminating fluids)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 오일(모터, 기어박스, 유압, 트랜스포머, 브레이크 유), 냉각액체, 그리스, 연료, 전지 전해액
6	기계적 조건 (mechanical conditions)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 진동 ○ 자유낙하 ○ 충격 ○ 동적인 각도 ○ 정적인 각도 ○ 가속도 ○ 정적 부하 ○ 토플링

- 예상 경로에 관계없이 공통적인 주요 환경요인이 있다. Hughes Aircraft 사의 데이터에 의하면 제품의 고장에 영향을 미치는 환경요인은 [그림 2]와 같이 온도, 진동, 습도가 전체 고장원인의 86%를 차지한다. 따라서, 온도(고온, 저온, 온도변화), 습도 및 진동은 항상 주요 환경요인 목록에 포함시킨다.
- 자연 환경에 노출되는 경우에는 비, 모래 및 먼지를, 자동차에 사용되는 경우에는 랜덤 진동을, 바닷가에서 저장 또는 사용되거나 배로 운송되는 경우에는 염분을, 고지대에서 저장 또는 사용되거나 비행기로 운송되는 경우에는 압력을 포함시킨다.
- 또한, 과거 경험을 통해 제품 고장에 영향을 미쳤던 환경요인들을 주요 환경요인 목록에 포함시킨다.



[그림 2] 제품 고장에 영향을 미치는 환경요인

RAC(Reliability Analysis Center) Blueprints for Product Reliability에는 운송, 저장 및 사용 중에 예상되는 주요 환경요인을 <표 2>와 같이 예시하고 있다.

<표 2> 운송, 저장 및 사용 중에 예상되는 주요 환경요인 예

		유도된 환경	자연적 환경
운송	자동차	도로 충격, 도로 진동(랜덤), 취급 부주의에 의한 충격	고온, 저온, 비, 우박, 모래 및 먼지
	기차	충격(레일, 취급 부주의), 레일진동	고온, 저온, 비, 우박, 모래 및 먼지
	비행기	비행진동, 충격(착륙, 취급 부주의)	감압, 열충격(온도변화)
	배	파도에 의한 진동, 충격(파도, 폭풍, 취급 부주의)	고온, 저온, 비, 염분
저장	실내	-	고온, 저온, 응결, 염분, 곰팡이
	실외	-	고온, 저온, 응결, 비, 우박, 모래 및 먼지, 염분, 태양 방사, 곰팡이
사용	실내	충격(취급 부주의), 음향잡음, 전자파	고온, 저온, 응결, 열충격(온도변화), 모래 및 먼지
	실외 (자동차)	도로 진동, 엔진 진동, 음향 잡음, 도로 충격, 전자파	고온, 저온, 응결, 열충격(온도변화), 비, 강우, 모래 및 먼지, 염분, 일사

4. 환경 파라미터의 엄격도 결정

3절에서 선정된 주요 환경요인에 대하여 환경 파라미터의 엄격도(severity)를 결정한다. 엄격도 결정은 ① 실제 조사된 현장 데이터, ② 기상청 등 관련 기관에서 제시하는 데이터, 또는 ③ 국제 규격 IEC 60721-3-1~60721-3-7의 데이터를 참고하여 결정한다.

IEC 60721은 제품의 사용조건을 1)저장, 2)운송, 3)실내거치(날씨로부터 보호된 장소에서 고정된 사용), 4)실외거치(날씨로부터 보호되지 않은 곳에서 고정된 사용), 5)차량에 설치, 6)배에서 사용, 7)휴대용으로 구분하고, <표 1>에 제시된 환경요인 별 데이터를 제공하고 있다. <표 3>은 RAC Blueprints for Product Reliability-6, Ensuring Reliable Performance에 제시되어 있는 전자장비의 환경 파라미터의 엄격도 예이다.

<표 3> 전자 장비에 대한 환경파라미터의 엄격도

적용 대상	전력 변동	고온	저온	사용온도 범위	진동	충격	상대습도
지상에서 고정되어 사용	±7%	85℃	-54℃	25℃ (A/C) 40℃ (non A/C) 60℃ (적도)	-	-	-
트럭	±10 %	85℃	-54℃	-40~55℃	5~200Hz 3.5G	11.2G(장착) 18.5G(화물)	0~100%
트랙 운송차	±10%	85℃	-54℃	-40~55℃	5~500Hz 4.2G	No data	0~100%
트렁크	±10%	85℃	-54℃	-40~55℃	5~200Hz 3.5G	11.2G	0~100%
휴대용	+33% -20%	85℃	-54℃	-40~55℃	-	-	0~100%
배 외부	±7%	65℃	-50℃	-32~48℃	1~50Hz 1G	-	100%
배 내부	±7%	65℃	-50℃	0~50℃	1~50Hz 1G	-	-
잠수함	±7%	65℃	-50℃	22~25℃	1~50Hz 1G	-	-
작은 항공기	±10%	71℃	-62℃	-54~65℃	1~50Hz 1G	-	100%
기차	±10%	54℃	-32℃	-40~55℃	30~100Hz 2G	20G(장착) 70G(화물)	-
비행기	±10%	71℃	-54℃	-30~71℃	3~1000Hz 5G	-	0~100%
헬리콥터	±10%	85℃	-62℃	-30~65℃	3~500Hz 4G	-	0~100%
미사일	±10%	71℃	-64℃	-22~43℃	3~5000Hz 30G	15G	0~100%

5. 환경 프로파일 결정

다음으로 절차 1에서 절차 3의 결과를 종합하여 환경 프로파일을 결정한다.

- 각 예상 경로의 주요 환경요인 목록을 종합하여 A, B, ...에 환경요인을 나열한다.
- 환경요인별로 각 예상 경로에서 결정된 환경파라미터의 엄격도를 A1a, A1b, ...에 적는다.
- 환경 파라미터별로 예상경로 중 엄격도가 가장 높은 것을 환경 프로파일 열에 적는다.

<표 4> 환경 프로파일 작성을 위한 기초 데이터

환경요인	환경 파라미터	예상 경로				환경 프로파일
		a	b	c	...	
A	A ₁	A _{1a}	A _{1b}	A _{1c}	...	
	
	A _m	A _{ma}	A _{mb}	A _{mc}	...	
B	B ₁	B _{1a}	B _{1b}	B _{1c}	...	
	
	B _n	B _{na}	B _{nb}	B _{nc}	...	
...	

<표 5>는 2절의 예에 주어진 예상경로에 대한 환경 프로파일을 결정한 것이다.

<표 5> 환경 프로파일 결정 예

환경 요인	환경 파라미터	예상 경로								환경 프로파일
		트럭 (운송)	국내 선착장 (저장)	배 (운송)	수출지역 선착장 (저장)	기차 (운송)	판매지역 창고 (저장)	자동차 (운송)	실내 (사용)	
저온	온도	-25℃	-5℃	-25℃	-5℃	-25℃	-5℃	5℃	15℃	-25℃
고온	온도	70℃	45℃	70℃	45℃	70℃	45℃	30℃	30℃	70℃
온도 변화	온도범위/변화율	-25~30℃	0.5℃/min	-25~30℃	0.5℃ /min	-25~30℃	0.5℃/min	-	0.5℃/min	0.5℃/min
습도	상대습도	40℃/95%	5~85%	40℃ /95%	5~85%	40℃/95%	5~85%	30℃ /75%	10~75%	40℃/95%
진동	주파수 & 진폭 또는 가속도	(2-9Hz, 3.5mm), (9-200Hz, 10m/s ²), (200-500 Hz, 15m/s ²)	(2-9Hz, 0.3mm), (9-200Hz, 1m/s ²) (1Ml)	(2-9Hz, 3.5mm), (9-200Hz, 10m/s ²), (200-500 Hz, 15m/s ²)	(2-9Hz, 0.3mm), (9-200Hz, 1m/s ²)	(2-9Hz, 3.5mm), (9-200Hz, 10m/s ²), (200-500 Hz, 15m/s ²)	(2-9Hz, 0.3mm), (9-200Hz, 1m/s ²)	(2-9Hz, 3.5mm), (9-200Hz, 10m/s ²), (200-500 Hz, 15m/s ²)	(2-9Hz, 0.3mm), (9-200Hz, 1m/s ²)	(2-9Hz, 3.5mm), (9-200Hz, 10m/s ²), (200-500 Hz, 15 m/s ²)
충격	가속도	100m/s ²	40m/s ²	100m/s ²	40m/s ²	100m/s ²	40m/s ²	100m/s ²	40m/s ²	100m/s ²
염분	농도	-	염무	염무	염무	-	염무	-	-	염무

6. 환경시험 항목 결정

주요 환경요인 목록으로부터 환경시험 항목을 선택한다. 국제규격 IEC 60068에 근거한 환

경요인과 관련된 환경시험 항목은 <표 6>과 같다. 각 환경시험 항목에 대한 설명은 관련 규격 또는 수원대학교 신뢰성혁신센터에서 발간한 환경시험 설계 Guideline의 부속서 B를 참조하라. 만일, 주요 환경요인 목록에 의하여 결정한 환경시험 항목에 바이어가 요구하는 항목이 빠져 있으면 물론 이를 포함시켜야 한다.

<표 6> 환경요인과 관련 환경시험 항목

No.	구분	환경 요인	환경시험항목
1	기후적 조건	○ 온도	○ 저온시험 ○ 고온시험 ○ 온도변화시험
		○ 습도	○ 고온·고습시험 ○ 온·습도 사이클시험
		○ 압력	○ 감압시험
		○ 비	○ 내수성시험
		○ 태양 방사	○ 일사시험
2	생물학적 조건	○ 식물성 해로운 물질	○ 곰팡이시험
3	화학적 활성 물질	○ 염분	○ 염수분무시험 ○ 염수 사이클 시험
		○ 이산화황 농도	○ 이산화황시험
		○ 황화수소 농도	○ 황화수소시험
4	기계적 활성 물질	○ 모래 및 먼지	○ 먼지 및 모래시험
5	기계적 조건	○ 진동	○ 정현파 진동시험 ○ 진동·시간이력시험 ○ 진동·사인비트 시험 ○ 광대역 랜덤진동시험 ○ 진동·음향적 유도시험
		○ 자유낙하	○ 자연낙하시험
		○ 충격	○ 충격시험 ○ 내반복 충격시험 ○ 충격(바운스·Bounce)시험 ○ 충격(해머·Hammer)시험
		○ 가속도	○ 가속도시험
		○ 토플링	○ 면/각 낙하 및 전도시험

7. 환경시험 조건 결정

각 환경시험 항목에 대하여 환경 프로파일에서 결정된 환경요인의 엄격도와 같거나 또는 더 엄격한 시험조건을 결정한다. 이때, 환경시험 방법과 조건은 어디에서, 누가 시험을 실시하더라도 방법이 동일할 수 있도록 표준화된 규격으로부터 선택한다. 표준화된 시험조건은 국제규격 IEC 60068을 이용할 수 있다. 한편, 바이어가 요구하는 시험조건이 앞에서 정한 시험조건보다 더 엄격한 경우 바이어가 요구한 시험조건을 선택한다.

8. 시료 수 및 합격판정기준 결정

환경시험의 시료 수와 합격판정기준은 표준화된 규격, 바이어의 요구 기준 또는 통계적 방법을 이용하여 결정할 수 있다. <표 7>은 표준화된 규격을 이용한 예로, IEC 60384-4 알루미늄 전해 커패시터의 환경시험 항목에 대한 시료 수와 합격판정기준을 나타낸 것이다.

<표 7> 알루미늄 전해 커패시터의 환경시험에 대한 시료 수

그룹 No.	시험항목	시료수(n)와 허용고장수(pd)						
		기준 시료 수(n)	4종류를 시험하는 경우			6종류를 시험하는 경우		
			4n	pd (시험항목)	pd (그룹)	6n	pd (시험항목)	pd (그룹)
0	· 고서지전류 · 육안검사 · 치수 · 누설전류 · 전전용량 · 유전정접 · 임피던스 · 여분 시료	30	120	1	X	180	2	X
		2	8	12				
1A	· 단자 강도 · 납땜 내열성	3	12	1	X	18	1	X
	1B	· 납땜성 · 온도변화 · 진동 · 충동 또는 충격	6	24		1	36	
1		· 기후 순서	9	36	2	4	54	2
2	· 고온고습	5	20	1		30	2	
3	· 내구성	5	20	1		30	2	
4A	· 서지 전압	2	8			12	1	
4B	· 역전압 · 방폭구조시험	2	8	1		12	1	
5A	· 고온 저장	2	8			12	1	
5B	· 저온 저장	2	8	1		12	1	
6	· 온도 특성 · 충방전	3	12	1		18	2	

또한, <표 8>은 듀플렉서 수요업체가 요구하는 시료 수와 허용고장 수를 나타낸 것이다.

<표 8> 듀플렉서 환경시험에 대한 바이어의 요구조건

구분	시험항목	시험조건	시료 수	허용고장수
기후 시험	온도 특성	-40℃, 25℃, 85℃	12	0
	온도 변화	-40℃, 85℃, 30min 유지, 20s 이동, 32 사이클		
	고온고습	70℃, 90 to 95% RH, 240 h		
기계적 시험	랜덤 진동	20~2000Hz, 0.053G ² /Hz 또는 8g's RMS, 15분/축	12	0
	충격	3000g's, 0.3ms, 반정현파, 3회/축		

통계적 방법을 이용한 시료 수와 합격판정기준 결정으로는 LTPD(Lot Tolerance Percent

Defective) 보증방식이 있다. 이 방식은 n 개의 제품을 시험하여 고장이 합격판정 개수 c 개 이하 발생하면 합격시키고, $c+1$ 개 이상 발생하면 불합격시킨다. 환경시험에서 제품의 허용불량률이 $p \times 100\%$ 이하임을 신뢰수준 $(1 - \beta) \times 100\%$ 로 보증할 수 있도록 시료 수 n 을 결정하며, 이때 $n \geq \chi^2(\beta; 2c + 2)/2p$ 를 만족하는 최소의 자연수임을 보일 수 있다. MIL-PRF-19500에서는 LTPD 보증방식을 이용한 시료 수를 <표 9>와 같이 제시하고 있다. <표 10>은 반도체회사에서 LTPD 보증방식을 이용한 환경시험의 예이다.

<표 9> MIL-PRF-19500의 LTPD에 따른 시료 수

LTPD	50	30	20	15	10	7	5	3	2	1.5	1	0.7	0.5	0.3	0.2	0.15	0.1
허용고장수(c)	최소 시료 수																
0	5	8	11	15	22	32	45	76	116	153	231	328	461	767	1152	1534	2303
1	8	13	18	25	38	55	77	129	195	258	390	555	778	1296	1946	2592	3891

<표 10> 반도체 개발품에 대한 보증시험의 예

시험항목	시험조건	합격판정기준 (허용고장수=0)	
고온동작	Ta=Tj max Vdd=Vdd max 다이나믹시험 168/500/1000hrs	①	LTPD = 5% 시료 수 = 105개
		②	LTPD = 7% 시료 수 = 55개
고온고습 바이어스	Ta=85℃, RH=85% Pd=Pd(min) 168/500/1000hrs	LTPD = 7% 시료 수 = 55개	
온도변화	Ta=-65℃ ↔ 150℃ 10min 10min 200 cycles	LTPD = 7% 시료 수 = 55개	

7. 맺음말

본 기고는 수원대학교 신뢰성혁신센터에서 수행하고 있는 산업기술기반조성 『신뢰성향상을 위한 표준화 기반구축 및 확산』 사업의 성과물로서 2004년에 발간한 『환경시험 설계

Guideline』의 내용을 요약한 것이다. 이 사업에 물심양면으로 도움을 준 워킹그룹 위원들과 산업자원부/기술표준원의 담당관에게 감사드리며, 환경시험 설계에 관한 문의는 신뢰성혁신센터 홈페이지(<http://ric.suwon.ac.kr>) 또는 산업기술시험원을 이용하기 바란다.

8. 참고문헌

- [1] 신뢰성용어해설서 (2003) 산업자원부·기술표준원.
- [2] 半導體 デバイスの의 信賴性 技術 (1988) 日科技連.
- [3] 市田嵩 외, 信賴性試驗-環境·裝置, 日科技連信賴性工學シリーズ 11 (1985), 日科技連.
- [4] BS 2011, Basic Environmental Testing Procedures.
- [5] IEC 60384-4 (1998) (QC 300300) Fixed capacitor for use in electronic equipment - Part 4: Sectional specification: Aluminum electrolyte capacitors with solid and non-solid electrolyte.
- [6] IEC Pub. 60721-3-1 (1997) Classification of environmental conditions - Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities - Section 1: Storage, 1997.
- [7] IEC Pub. 60721-3-2 (1997) Classification of environmental conditions - Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities - Section 2: Transportation.
- [8] IEC Pub. 60721-3-3 (1995) Classification of environmental conditions - Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities - Section 3: Stationary use at weather protected locations.
- [9] IEC Pub. 60721-3-4 (1995) Classification of environmental conditions - Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities - Section 4: Stationary use at non-weather protected locations.
- [10] IEC Pub. 60721-3-5 (1997) Classification of environmental conditions - Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities - Section 5: Ground vehicle installations.
- [11] IEC Pub. 60721-3-6 (1996) Classification of environmental conditions. Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities. Ship environment.

- [12] IEC Pub. 60721-3-7 (1996) Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 7: Portable and non-stationary use.
- [13] IEC Pub. 60068, Basic Environmental Testing Procedures.
- [14] JIS C 0010, 환경시험 방법 (전기전자) 통칙(일반).
- [15] KS C 0210, 환경시험 방법 (전기전자) – 일반.
- [16] MIL-PRF-19500 (1999) Performance Specification, Semiconductor Devices, General Specification for.
- [17] RAC Blueprints for Product Reliability, RBPR-3 Designing for Reliability (1996) RAC.
- [18] RAC Blueprints for Product Reliability, RBPR-5 Measuring Product Reliability (1996) RAC.
- [19] RAC Blueprints for Product Reliability, RBPR-6 Ensuring Reliable Performance (1996) RAC.