

신제품 개발에 따른 효과적인 신뢰성 시험 설계

박부희¹, 장중순², 김기영², 이재훈², 김선진², 천성일², 정기윤³, 김덕진³, 이춘범³

아주대학교 공학연구소¹, 아주대학교 산업공학과², 자동차부품연구소³

Design of Effective Reliability Tests for New Products

B. H. Park¹, J. S. Jang², G. Y. Kim², J. H. Lee², S. J. Kim², S. I. Chan²,
K. Y. Jeong³, D. J. Kim³, C. B. Lee³

Engineering Research Institute, Ajou University¹,
Department of Industrial Engineering, Ajou University²,
Korea Automotive Technology Institute³

Abstract

Reliability tests should be designed to verify whether reliability requirements are satisfied or not effectively and efficiently. The portion of reliability requirements that a reliability test scheme composed of different types of tests can cover is defined as test coverage in software engineering. For the cases of hardwares, to be effective, a reliability test scheme should enhance the test coverage. This study is to develop an evaluation method of test coverage for a reliability test scheme proposed for new products. Case studies are also given.

Keywords : reliability test, test coverage, reliability requirements, black box item, white box item

1. 서론

하이브리드자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)와 같은 신제품을 개발하는 경우에는 기능과 성능뿐만이 아니라 신뢰성이 매우 중요하다. 따라서 제품이나 부품의 개발과 설계단계에서 신뢰성 설계, 시험 그리고 평가를 통하여 신뢰성을 확보해야 한다. 이 때 신뢰성 시험을 실시함에 있어서 가장 어려운 점은 과연 무슨 시험항목을 어떠한 조건에서 얼마만큼의 시료로 언제까지 시험을 실시하여야 하는가를 결정하는 것이다.

신뢰성 시험을 실시하기 위하여 결정해야 되는 시험항목, 시험조건, 시료의 크기 그리고 시험기간 등을 시험인자라고 하고, 시험인자의 정성적인 값이나 정량적인 값을 결정하는 것을 시험설계라고 한다. 설계인자 중 시료의 크기나 시험시간은 커질수록 시험에 투입되는 비용, 시간, 인력 등의 자원들이 증가하게 되므로, 시험비용을 최소화하기 위한 시료크기와 시험시간을 최적화하는 연구가 많이 진행되었다 Yum, B.J. et al(2006).

한편 시험시간을 최소화하기 위한 방법으로 가속수명시험과 초가속수명시험 등이 개발되고, 이를 최적화하기 위한 설계방법들이 연구되었다 Meeker, W.Q. and Hahn, G.H.(1985), Yum, B.J. et al(2006). 한편 아이템의 사용환경 조건을 시뮬레이션하기 위하여 환경조건을 결정하기 위한 방법들도 연구되었다 IEC 60068-1(1988), IEC 60068-2-1(1988), MIL-STD-810F (2000), Park, J.W.(2005). 이러한 기존의 최적화 시험설계방법들은 개별 시험항목들을 최적화하기 위한 방법이기 때문에 신뢰성 평가를 위하여 꼭 필요한 시험항목이 선정되었다는 가정을 기반으로 한다. 그러나 아직까지 신뢰성 평가를 위하여 요구되는 시험항목을 효과적으로 결정하는 설계방법은 연구된 바가 거의 없다.

신뢰성을 확보하기 위한 기존의 신뢰성 시험 및 평가는 장기간이 소요되기 때문에 신제품을 신속하게 개발하여 시장을 선점해야 하는 기업의 입장에서는 좀 더 효과적이면서 효율적인 평가 방법이 요구된다. 따라서 본 연구에서 신규 아이템에 대한 개별 신뢰성 시험이 신뢰성 설계 측면에서 유효한 시험인지 아닌지를 확인하고 어느 정도 효과적인지에 대한 평가를 실시하기 위하여 유효성 평가 방법을 제안하고자 한다. 제안되는 신뢰성 시험의 유효성 평가는 개별 시험항목들이 신뢰성 요구사항을 검증함에 있어서 얼마나 효과적인지에 대한 정도를 평가하기 위한 척도로 이용한다.

그러나 새로운 아이템을 개발하는 경우 해당 아이템에 대하여 요구되는 신뢰성 요구사항을 모두 명확하게 알기란 매우 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 설계 및 시험 담당자가 시험항목을 결정하기 위한 신뢰성 유효성 평가를 실시하기 이전에 신규 아이템에 대한 환경조건, 강도특성 및 고장메커니즘 등에 대하여 알고 있는 신뢰성 정보에 따라 아이템을 블랙박스아이템(Black box item)과 화이트박스아이템(White box item)으로 분류하고, 이에 따른 신뢰성 시험의 유효성 평가 방법을 제안한다.

2. 본론

2.1 신규 아이템의 분류

기업에서 새로운 아이템을 개발하는 경우 개발자, 설계자 또는 시험자가 아이템의 환경조건, 강도특성 및 고장메커니즘을 모두 명확하게 알기란 매우 어려운 일이다. 이에 본 연구에서는 시험 담당자가 시험항목을 결정하기 이전에 환경조건, 강도특성 및 고장메커니즘에 대하여 알고 있는 정보에 따라 <표 1> 과 같이 아이템을 블랙박스아이템과 화이트박스아이템으로 분류한다.

<표 1> 아이템의 분류

구 분	환경조건	강도특성	고장 메커니즘	사 례
블랙박스아이템	○			. 완전 신제품 . 수명분포를 모르는 경우
화이트박스아이템	○	○	○	. 유사 아이템이 있는 경우 . 수명분포를 아는 경우

블랙박스아이템이란 아이템의 사용 환경조건은 알고 있으나, 강도특성과 고장메커니즘을 잘 알지 못하거나 수명분포를 모르는 경우, 새로운 소재, 기술 또는 설계를 이용하여 개발한 아이템이거나 또는 외주처에 의해 개발되고 생산된 아이템으로 정의한다. 반면 화이트박스아이템은 기존 유사 아이템이 있는 경우로 아이템의 환경조건, 강도특성 및 고장메커니즘을 잘 알고 있는 아이템으로 정의하고 아이템의 수명분포를 아는 경우이다.

2.2 신뢰성 시험의 유효성 평가

신규 아이템에 대한 신뢰성 시험을 설계하기 위한 절차는 <그림 1> 과 같이 신뢰성 목표에 의하여 신뢰성 요구사항을 정의하고, 요구사항에 따라서 시험항목을 결정하며, 항목에 따라서 가혹도, 시료크기, 시험시간 그리고 고장판정기준을 결정하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 개별 신뢰성시험이 신뢰성 설계를 위한 신뢰성 요구사항을 얼마나 효과적으로 검증할 수 있는지의 유효성을 평가하고 효과적인 시험항목을 선별하여 시험을 설계한다. 이를 위하여 본 연구에서는 여러 시험항목들이 신뢰성 요구사항을 검증함에 있어서 얼마나 효과적인지에 대한 정도를 평가하기 위한 지표를 시험의 유효성(Test Coverage ; TC)으로 정의하고자 한다. 신뢰성 시험의 유효성은 전체 신뢰성 요구사항(Total Reliability Requirements ; TRR)들에 대하여 각 개별 시험항목이 검증할 수 있는 요구사항(Validity of Reliability Requirements ; VRR) 들의 상대적 비율로 식(2.1) 과 같이 산출

한다.

$$\text{신뢰성시험의 유효성}(TC) = \frac{\text{검증할 수 있는 요구사항}(VRR)}{\text{전체신뢰성 요구사항}(TRR)} \quad \text{식(2.1)}$$



<그림 1> 신뢰성 시험 설계 절차

2.3 블랙박스아이템에 대한 신뢰성 시험의 유효성 평가

블랙박스아이템은 새로운 소재, 기술 또는 설계를 이용하여 개발되는 아이템이기 때문에 아이템의 강도특성과 고장메커니즘을 잘 알지 못하고 환경조건만을 알 수 있는 경우이다. 따라서 블랙박스아이템에 대한 신뢰성 요구사항은 환경조건으로만 정의되고, 신뢰성 시험은 ‘실제 사용 환경 조건을 얼마나 잘 모의할 것인가’가 매우 중요하다. 그러므로 효과적인 신뢰성 시험은 개별 시험항목이 실제 사용조건을 모의하기 위하여 어느 정도 효과적인가에 대한 평가에 의해 결정된다. 이에 본 연구에서는 블랙박스아이템에 대한 시험의 유효성은 실제 사용조건에 대한 유효성(Usage Conditions Coverage)라고 정의한다.

$$\text{신뢰성시험의 유효성}(TC) = \frac{\text{개별 신뢰성시험의 검출력}(S_{..k})}{\text{전체 신뢰성시험의 검출력}(\sum S_{ijk})} \quad \text{식(2.2)}$$

i: 환경조건(저장, 운반, 실내사용, 실외사용, 자동차사용, 배사용, 휴대용사용등)
j: 환경요인(기후적, 특수한기후적, 생물학적, 화학적, 기계적, 기계활성적등)
k: 시험항목(고온, 저온, 고습, 온도사이클, 열충격, 등)

신뢰성 시험설계를 위한 사용조건에 대한 유효성 평가 절차는 환경 조건과 요인의 점유율 분석과 환경요인과 시험항목의 검출력 분석 전개하여 사용조건에 대한 유효성 평가하는 과정으로 <그림 2> 와 같이 제안한다. 이 때 점유율 분석과 검출력 분석은 XY Matrix 분석

기법을 이용하여 다음과 같이 전개한다.



<그림 2> 사용조건 유효성 평가에 의한 신뢰성 시험 설계 절차

<표 2> 환경 조건과 요인의 점유율 평가

환경조건	사용기간	점유율	환경요인			
			f1	f2	...	fj
1	D ₁	Pc ₁	D ₁₁	D ₁₂	$Pf_{ij} = \frac{D_{ij}}{D_i}$	D _{ij}
			Pf ₁₁	Pf ₁₂		Pf _{1j}
			Pt ₁₁	Pt ₁₂	$Pt_{ij} = Pc_i \times Pf_{ij}$	
2	D ₂	Pc ₂	D ₂₁	D ₂₂	...	D _{2j}
			Pf ₂₁	Pf ₂₂	...	Pf _{2j}
			Pt ₂₁	Pt ₂₂	...	Pt _{2j}
...
7	D _i	Pc _i	D _{i1}	D _{i2}	...	D _{ij}
			Pf _{i1}	Pf _{i2}	...	Pf _{ij}
			Pt _{i1}	Pt _{i2}	...	Pt _{ij}
합계	$\sum D_i$	$\sum Pc_i = 1$	$\sum Pf_{i1}$	$\sum Pf_{i2}$	...	$\sum Pf_{ij}$

2.3.1 환경 조건과 요인의 점유율 분석

환경조건의 점유율(Pc_i)은 총사용 기간($\sum D_i$)에 대한 각 환경조건에 대한 사용기간(D_i)의 비율이고, 환경조건에 대한 요인의 점유율(Pf_i)은 환경조건에 대한 사용기간(D_i)에 대한 환경요인의 사용기간(D_{ij})의 비율이다. 이 때 개별 환경요인의 점유율(Pt_{ij})은 환경조건의 점유율(Pc_i)과 환경요인의 점유율(Pf_{ij})의 곱으로 산출하고, 이러한 개별 환경요인의 점유율의 합으로 개별 환경요인에 대한 점유율의 총합으로 구한다(<표 2> 참조).

$$Pc_i = \frac{D_i}{\sum D_i}$$

$$Pf_{ij} = \frac{D_{ij}}{D_i}$$

$$Pt_{ij} = Pc_i \times Pf_{ij}$$

2.3.2 시험항목의 검출력 평가

개별 환경요인에 대한 점유율이 산정되면 시험항목과의 상관관계를 분석한다. 환경요인과 시험 항목들 간의 상관관계는 상관관계의 정도(R_{ijk})에 따라 평가한다. 환경요인의 총합점유율과 상관관계 점수를 곱으로 각 환경요인에 대한 시험 항목의 중요도(S_{ijk})를 평가한다. 따라서 각 시험항목에 대한 중요도는 각 환경요인에 대한 시험 항목의 중요도의 합으로 산출

한다(<표 3> 참조).

$$S_{ijk} = \sum P_{t_{ij}} \times R_{ijk}$$

<표 3> 시험항목의 검출력 평가

환경요인	총합검유율	Test ₁	Test ₂	...	Test _k
f1	∑P _{t₁₁}	R _{v11}	R _{v12}	...	R _{v1k}
		S _{v11}	S _{v12}	S _{vjk} = ∑P _{t_{ij}} × R _{vjk}	
f2	∑P _{t₂₁}	R _{v21}	R _{v22}	...	R _{v2k}
		S _{v21}	S _{v22}	...	S _{v2k}
...
fj	∑P _{t_{j1}}	R _{vj1}	R _{vj2}	...	R _{vjk}
		S _{vj1}	S _{vj2}	...	S _{vjk}
중요도 합	∑S _{vjk}	∑S _{vj1}	∑S _{vj2}	...	∑S _{vjk}

<표 4> 시험의 유효성 분석

환경요인	총합검유율	Test ₁	Test ₂	...	Test _k
fj	∑P _{t_{j1}}	R _{vj1}	R _{vj2}	...	R _{vjk}
		S _{vj1}	TC _k = $\frac{\sum S_{\bullet\bullet k}}{\sum S_{ijk}}$		S _{vjk}
중요도 합	∑S _{vjk}	∑S _{vj1}	∑S _{vj2}	...	∑S _{vjk}
시험유효성 TC	∑TC _i = 1	TC ₁	TC ₂	...	TC _k
시험의 유효성 순위화	$TC(k) = \text{Max}\{TC_1, TC_2, \dots, TC_k\}$ TC(k-1) ⋮ TC(2) TC(1)				

2.3.3 블랙박스아이템에 대한 시험의 유효성 분석

각 환경요인과 시험의 상관관계 분석을 실시한 후에는 시험의 유효성을 평가한다. 시험의 유효성은 시험항목의 중요도의 총합(∑S_{vjk})에 대하여 각 시험항목의 중요도(∑S_{••k})의 비율로 결정한다(<표 4> 참조).

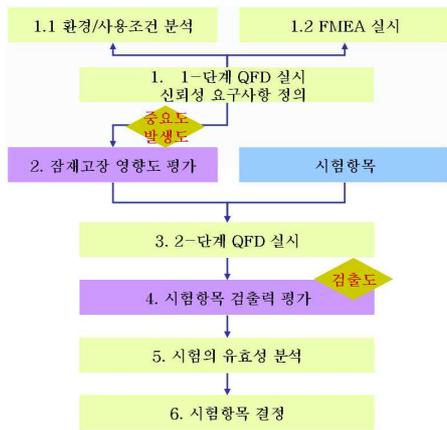
$$TC_k = \frac{\sum S_{\bullet\bullet k}}{\sum S_{ijk}}$$

각 시험항목의 유효성(TC_k) 분석을 실시한 후에는 유효성의 점수에 따라 시험을 선별하기 위하여 <표 4> 와 같이 유효성이 큰 순위를 결정한다. 유효성의 점수에 따라 순위가 결정되면 시험항목의 우선순위로 하여 주요시험항목을 선정한다.

2.4 화이트박스아이템에 대한 신뢰성 시험의 유효성 평가

화이트박스아이템은 아이템의 환경조건, 강도특성 및 고장메커니즘을 잘 알고 있기 때문에 아이템의 신뢰성 요구사항을 명확하게 정의할 수 있다. 따라서 정의된 신뢰성 요구사항

은 신뢰성 시험으로 얼마나 검증할 수 있는지의 정도를 시험의 유효성으로 평가하고자 한다. 이에 본 연구에서는 화이트박스아이템에 대한 시험의 유효성은 신뢰성 요구사항에 대한 유효성(Reliability Requirements Coverage)라고 정의한다. 신뢰성 요구사항에 대한 유효성 평가에 의한 시험설계를 위한 절차는 기존의 고장물리 기반의 2-단계 XY Matrix를 개선하여 <그림 3> 과 같이 제안한다.



<그림 3> 신뢰성 요구사항에 대한 유효성 평가에 의한 신뢰성 시험 설계 절차

<표 5> 잠재고장의 영향도 평가

1-단계 매트릭스		아이템	C_i	...	C_j	
		원자계	M_i	...	M_j	
		기능	FM_{ii}	...	FM_{ij}	
		고장모드	FM_{ii}	...	FM_{ij}	
환경조건		IBC721	발생도	O_{ij}	O_{ij}	
실내사용	낮은 기온	+5	℃	S_{iii}	...	S_{ijj}
				E_{iii}	...	E_{ijj}
	...	...	...	$E_{ijk} = O_{ij} \times S_{ijk}$...	
	...	...	...	$E_{ij} = \sum_k E_{ijk}$...	
높은 기압	108	kPa	S_{ijk}	...	S_{ijk}	
			E_{ijk}	...	E_{ijk}	
		$\sum g_i$		E_{ij}	...	E_{ij}

1 단계 XY Matrix에서 환경조건과 고장 모드/메커니즘에 대한 발생 가능성과 중요도를 동시에 고려하여 잠재고장의 영향도를 평가한다. 2 단계 XY Matrix에서 시험항목이 잠재고장을 검출할 수 있는 정도를 검출도로 하고, 잠재고장의 영향도와 검출도의 곱으로 시험항목의 검출력을 산출한다. 그리고 검출력의 총합을 구할 수 있는데 이를 아이টে에 대한 전체 신뢰성 요구사항으로 정의하고, 각 시험항목의 검출력을 각 시험항목이 검증할 수 있는 요구사항으로 정의하여 상대적 비율을 산출하여 시험의 유효성을 평가한다.

2.4.1 잠재고장 영향도 평가

각 환경 조건 및 요인에 대한 고장모드의 영향도(E_{ijk})는 고장모드의 중요도(S_{ijk})와 발생도(O_{ij})를 곱하여 결정한다. 그리고 개별 고장모드의 총영향도(E_{ij})는 각 환경 조건 및 요인에 대한 고장모드의 영향도의 합으로 평가한다(<표 5> 참조).

$$E_{ijk} = O_{ij} \times S_{ijk}$$

$$E_{ij} = \sum_k E_{ijk}$$

2.4.2 시험항목의 검출력 평가

각 잠재고장에 대한 개별 시험항목의 검출력(Dik)은 <표 6> 에서와 같이 잠재고장의 영향도(Eik)와 검출도(dik)의 곱으로 산출한다. 그리고 개별 시험항목의 검출력의 합(Dk)은 각 잠재고장에 대한 개별 시험항목의 검출력(Dik)의 합으로 산출한다.

$$D_{ik} = E_{ij} \times d_{ik}$$

$$D_k = \sum D_{ik}$$

2.4.3 화이트박스아이템에 대한 시험의 유효성 분석

각 잠재고장과 시험의 검출력을 평가한 후에는 시험의 유효성을 평가한다. <표 7> 에서와 같이 시험의 유효성(TC_k)는 시험항목의 검출력의 총합(∑Dk)에 대하여 각 시험항목의 중요도(Dk)의 비율로 결정한다.

$$TC_k = \frac{D_k}{\sum D_k}$$

각 시험항목의 유효성(TC_k) 분석을 실시한 후에는 유효성의 점수에 따라 시험을 선별하기 위하여 <표 7> 과 같이 유효성이 큰 순위를 결정한다. 유효성의 점수에 따라 순위가 결정되면 시험항목의 우선순위로 하여 주요시험항목을 선정한다.

<표 6> 시험항목의 검출력 평가

잠재고장	영향도	Test ₁	Test ₂	...	Test _k
FM ₁₁	E ₁₁	d11	d12		d1k
		$D_{ik} = E_{ij} \times d_{ik}$			
		D11	D12		D1k
FM _{ij}	E _{ij}	di1	di2		dik
		Di1	Di2		Dik
		$\sum D_k$	D1	D2	$D_k = \sum D_{ik}$	Dk

<표 7> 시험의 유효성 분석

잠재고장	영향도	Test ₁	Test ₂	...	Test _k
FM _{ij}	E _{ij}	di1	di2		dik
		D11	$TC_k = \frac{D_k}{\sum D_k}$		
	$\sum D_k$	D1			Dk
	$\sum TC_k$	TC1	TC2		TCk

시험의 유효성 순위화

$TC(k) = \text{Max}\{TC_1, TC_2, \dots, TC_k\}$
 $TC(k-1)$
 \vdots
 $TC(2)$
 $TC(1)$

3. 신뢰성 시험의 유효성 평가 사례

3.1 블랙박스아이템에 대한 신뢰성 시험의 유효성 평가 사례

블랙박스아이템에 대한 기존의 경험적인 방법에 의한 시험항목 결정 방법은 만약 아이템의 실사용 조건이 <표 8> 와 같이 기후적 조건, 기계적 활성화 조건 그리고 기계적 조건인 경우 환경요인을 구분하고 환경요인에 따라 시험항목을 결정한다. 결정된 시험 항목은 총 11종이다.

<표 8> 환경조건과 요인에 대한 시험항목

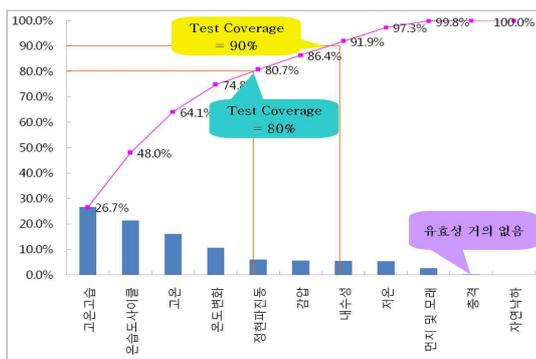
환경 조건	환경 요인	환경 시험 항목
기후적 조건(K)	온도	저온시험
	습도	고온시험
	압력	온도변화시험
	강우(비)	고온고습시험 온습도 사이클시험
기계적 활성화 조건(S)	모래 및 먼지	먼지 및 모래시험
	진동	정현파 진동시험
기계적 조건(M)	자유낙하	자연낙하시험
	충격	충격시험

<표 9> 환경조건과 환경요인의 점유율 분석 매트릭스

환경조건	사용시간 (개월)	점유율	기후적 요인			기계적 활성화 요인		기계적 요인			
			온도	습도	압력	강우(비)	모래 및 먼지	진동	자유낙하	충격	
1	계량	2	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
			1	1	1	1	1	1	1	1	
			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
2	운송	1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
			25	25	25	25	25	25	25	25	
			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
3	일내사용	25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
			5	5	5	5	5	5	5	5	
			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	일외사용	5	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
			10	10	10	10	10	10	10	10	
			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
5	자동차	10	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
			10	10	10	10	10	10	10	10	
			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
6	배	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			-	-	-	-	-	-	-	-	
			-	-	-	-	-	-	-	-	
7	휴대용	7	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	
			7	7	7	7	7	7	7	7	
			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
합계	50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.02	0.01	0.16	0.32	0.0012	0.01

<표 10> 환경요인과 시험방법의 상관관계 및 시험의 유효성 분석 매트릭스

환경요인	총합점유율	저온시험	고온시험	온도변화시험	고온고습시험	온습도 사이클시험	습도시험	압력시험	강우(비) 시험	모래 및 먼지 시험	정현파 진동시험	자연낙하시험	충격시험
기후적 요인	온도	1.0000	3	1	2	2	2	1					
	습도	1.0000	3	1	2	2	2	1					
	압력	0.0200	1					3					
	강우(비)	0.0100	0.02					0.09					
기계적 활성화 요인	모래 및 먼지	0.1600								3	1		
	진동	0.3200								0.48	0.16		
기계적 요인	자유낙하	0.0012		1								3	
	충격	0.0100		0.0012								0.0038	
				0.01									3
합 계	18.75	3.02	1.01	2.00	5.00	4.00	1.06	1.03	0.48	1.12	0.00	0.03	
환경에 대한 시험의 유효성	100%	16.1%	5.4%	10.7%	26.7%	21.3%	5.7%	5.5%	2.6%	6.0%	0.0%	0.3%	



<그림 4> 블랙박스아이템에 대한 시험의 유효성 분석

제안된 효과적인 경험적 방법에 의한 사용조건의 유효성 평가를 위하여 각 환경조건과 환경요인의 점유율을 결정하고, 각 시험항목의 검출력 평가를 <표 8> 에서 <표 10> 까지 실시한다. 동일한 블랙박스아이템에 대한 동일한 환경조건으로부터 기존의 경험적인 방법에 의하여 실시되어야 하는 시험 항목은 11항목이다. 반면 제안된 효과적인 사용조건에 대한 유효성 평가를 적용하면 시험 항목은 다음과 같이 감소시킬 수 있다.

<표 12> 제안된 시험의 유효성 평가 1 ; 피스톤 씰과 관련된 고장만 발생하는 경우

제안된 시험의 유효성 평가 2					
부품명	피스톤 셸			피스톤 로드	
	누유	마찰 증가	압력유지 불가	균형	변형
기능	헤드부와 로드부간의 내부누유방지, 튜브 내경부와 피스톤 외경부의마모방지			외부로 출력 및 견인력 전달	
고장모드	누유	마찰 증가	압력유지 불가	균형	변형
요구기능	0	0	1	5	1
시동압력	7	7	7		
내외부 누유				9	9
출력효율저하	9	9	9	3	3
내압성	3	3	3		
수명	9	9	9	9	9
Effects	0	0	28	105	21

시험항목	시동 압력	누유	출력 효율	내압	수명	저온 고온 습도	염수	표면 균형	로드 좌굴	오일 오염
누유	3	5	5	3	5	1	3	3		3
마찰증가	3	5	5	3	5	1	3	3		3
압력유지 불가	3	5	5	3	5	1	3	3		3
균형	1		1		3		5	5	3	
변형	1		1		3		5	5	3	
Detection	210	140	266	84	518	28	714	714	378	84
Coverage	6.7	4.5	8.5	2.7	16.5	0.9	22.8	22.8	12.1	2.7
Rank	6	7	5	8	3	10	1	1	4	8

<표 13> 제안된 시험의 유효성 평가 2 ; 피스톤 로드와 관련된 고장만 발생하는 경우

제안된 시험의 유효성 평가 1					
부품명	피스톤 셸			피스톤 로드	
	누유	마찰 증가	압력유지 불가	균형	변형
기능	헤드부와 로드부간의 내부누유방지, 튜브 내경부와 피스톤 외경부의마모방지			외부로 출력 및 견인력 전달	
고장모드	누유	마찰 증가	압력유지 불가	균형	변형
요구기능	3	5	1	0	1
시동압력	7	7	7		
내외부 누유				9	9
출력효율저하	9	9	9	3	3
내압성	3	3	3		
수명	9	9	9	9	9
Effects	84	140	28	0	21

시험항목	시동 압력	누유	출력 효율	내압	수명	저온 고온 습도	염수	표면 균형	로드 좌굴	오일 오염
누유	3	5	5	3	5	1	3	3		3
마찰증가	3	5	5	3	5	1	3	3		3
압력유지 불가	3	5	5	3	5	1	3	3		3
균형	1		1		3		5	5	3	
변형	1		1		3		5	5	3	
Detection	777	1260	1281	756	1323	252	861	861	63	756
Coverage	9.5	15.4	15.6	9.2	16.2	3.1	10.5	10.5	0.8	9.2
Rank	6	3	2	7	1	9	4	4	10	7

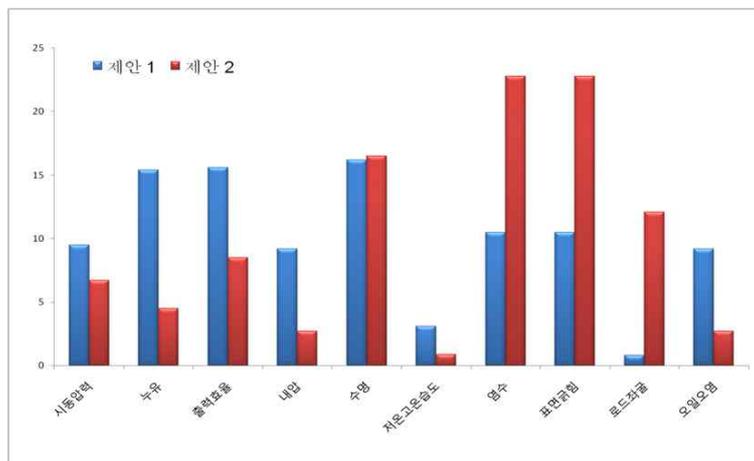
기존의 2-단계 XY Matrix 를 보면 유압실린더의 부품이나 고장 모드/메커니즘과 상관관계가 높은 시험항목을 알 수 있는데 피스톤 씰의 경우에는 누유시험, 출력효율시험과 수명시험이 상관관계가 높고, 피스톤 로드의 경우에는 염수시험 이나 표면균형시험이 상관관계가 높다. 그러므로 피스톤 씰과 관련된 고장만 발생하는 경우에는 누유시험, 출력효율시험과 수명시험을 실시해야 하고, 피스톤 로드와 관련된 고장만 발생하는 경우에는 염수시험 이나 표면균형시험을 실시해야 된다.

이에 본 연구에서 제안된 시험의 유효성을 평가한 결과는 <표 14> 와 같이 피스톤 쉘과 관련된 고장만 발생하는 경우에는 수명시험(16.2%)–출력효율시험 (15.6%)–누유시험 (15.4%) 순으로 유효성이 평가되고, 피스톤 로드와 관련된 고장만 발생하는 경우에는 염수 시험과 표면굽힘시험이 22.8%로 동일한 유효성으로 우선순위가 1위로 결정되었다.

<표 14> 제안된 효과적인 분석적 방법의 결과 비교표

시험항목 고장모드		시동 압력	누유	출력 효율	내압	수명	저온 고온 습도	염수	표면 굽힘	로드 좌굴	오일 오염
검출력 Dtctn	기존	294	420	462	252	546	84	462	105	63	252
	제안1	777	1260	1281	756	1323	252	861	861	63	756
	제안2	210	140	266	84	518	28	714	714	378	84
유효성 Cvrg	기존	10.0	14.3	15.7	8.6	18.6	2.9	15.7	3.6	2.1	8.6
	제안1	9.5	15.4	15.6	9.2	16.2	3.1	10.5	10.5	0.8	9.2
	제안2	6.7	4.5	8.5	2.7	16.5	0.9	22.8	22.8	12.1	2.7
순위 Rank	기존	5	4	2	6	1	9	2	8	10	6
	제안1	6	3	2	7	1	9	4	4	10	7
	제안2	6	7	5	8	3	10	1	1	4	8

<그림 5> 를 보면 피스톤 쉘과 관련된 고장만 발생하는 제안1의 경우 제안2와 비교하여 상대적으로 유효성이 높은 시험항목이 누유시험과 출력효율시험임을 알 수 있다. 반대로 제안1에 대비하여 피스톤 로드와 관련된 고장만 발생하는 제안2의 경우 상대적으로 염수시험과 표면굽힘시험의 유효성이 높다는 것을 알 수 있다. 한편 수명시험의 경우에는 피스톤 쉘이나 피스톤 로드와 상관없이 중요한 시험임을 판단할 수 있다.



<그림 5> 제안된 효과적인 분석적 방법의 결과 비교

4. 결론

본 연구에서는 신뢰성 설계를 위하여 꼭 필요한 신뢰성 시험항목을 선별하기 위하여 시험의 유효성 평가를 제안하였다. 시험의 유효성은 전체 신뢰성 요구사항들에 대하여 개별 시험항목이 검증할 수 있는 요구사항들의 상대적 비율로 산출한다. 제안된 시험의 유효성 평가에 의하여 아이템의 신뢰성 평가를 위하여 꼭 필요한 시험을 선별하여 효과적인 시험항목으로 결정하는 시험 설계방법을 제안하였다. 제안된 시험 설계방법을 구체화하기 위하여 먼저 대상 아이TEM은 보유 정보의 범위에 따라서 블랙박스아이TEM과 화이트박스아이TEM으로 분류하였다. 블랙박스아이TEM인 경우에는 실사용 환경조건에 대한 유효성 평가 방법을 제안하였고, 화이트박스아이TEM인 경우에는 신뢰성 요구사항에 대한 유효성 평가 방법을 제안하였다. 제안된 유효성 평가 방법에 의한 신뢰성 시험설계방법의 타당성은 사례연구를 통하여 검증하였다.

시험의 유효성 평가는 전체 시험항목에 대한 상대적인 비교이므로 개별 시험항목의 상대적인 중요도를 결정할 수 있고, 이에 따른 우선순위를 결정할 수 있었다. 따라서 시험을 실시하는 경우 개별 시험항목의 중요도가 무시할 수 있을 정도로 낮은 경우 시험을 실시하지 않아도 된다. 또한 시험 시험에 대한 자원이 한정적인 경우 실시해야 하는 시험의 우선순위를 결정할 수 있다. 특히 화이트박스아이TEM인 경우의 시험의 유효성은 검출하고자 하는 고장의 중요도와 시험항목의 검출도 뿐만 아니라 고장의 발생도를 고려하여 평가하였다. 사례연구 결과 동일한 특정 시험항목에 대한 시험의 유효성의 경우 고장이 실제 발생하는 경우에는 고장이 발생하지 않는 경우보다 상대적으로 매우 높게 평가 된다. 그러므로 실제 발생할 수 있는 고장을 평가할 수 있는 시험항목을 선정하는데 매우 효과적이었다.

참고문헌

- [1] 산업자원부 기술표준원(2001), 통선문용 유압실린더 해설서, RS B 0002.
- [2] IEC 60068-1(1988), Environmental testing, Part 1: General and guidance.
- [3] IEC 60068-2-1(1988), Environmental testing, Part 2 Tests.
- [4] MIL-STD-810F(2000), Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, U.S. Department of Defense.
- [5] Meeker, W. Q., Hahn, G. H.(1985), "How to Plan an Accelerated Life Test - Some Practical Guidelines", The ASQC Basic References in Quality Control, Vol.10.
- [6] Park, J. W.(2005), "Environment Test" , Reliability Application and Research, Vol.5, No.3, pp.301-314.
- [7] Yum, B.J., Park, S.J., Lim, H.S. and Kim, M.(2006), "Planning Accelerated Tests-A review" , AIWARM, pp. 477-485.