

양산 무기체계 환경 부하 선별 시험 효과도 분석 및 프로파일 설계 자동화 도구 구현

김장은
국방기술품질원

Effectiveness Analysis and Profile Design Automation Tool Implementation for The Mass Production Weapon System Environmental Stress Screening Test

Jang-Eun Kim

Defense Agency for Technology and Quality(DTAQ)

요 약 현대 무기체계 제조를 위해 적용되는 수많은 생산 기술과 다양한 공정 환경으로 인해 다양한 결함이 무기체계 제조공정에 유입되고 있다. 이렇게 제조공정에 유입되는 결함 중 육안 검사, 기능 시험 등 기존 품질 관리 절차를 통해 검출할 수 있는 “명백결함(Patent Defect)”과 무기체계 복잡성과 제조공정의 복잡도로 기존 품질 관리 방식으로 검출이 제한되는 “잠재 결함(Latent Defect)” 2가지 종류가 있다. 이러한 초기 결함 문제를 최소화하기 위해 무기체계 생산공정 중 유입된 결함요소를 환경부하(온도, 진동)를 활용하여 결함검출/제거/개선하기 위해 환경 부하 선별(ESS : Environmental Stress Screening) 시험을 수행해야 한다. 본 논문은 국내 무기체계 제조업체에서 정량적 환경 부하 선별 시험 설계의 어려움을 최소화하기 위해 MIL-HDBK-344(Environmental Stress Screening of Electronic Equipment)의 수학적 모델을 기반으로 정량적 환경 부하 선별 시험 효과도 분석 및 프로파일 자동화 도구를 구현하였으며, 6가지(온도부하변수 3가지(온도범위/온도변화율/허용 잔류결함 밀도), 진동부하변수 2가지(부하크기/허용 잔류결함밀도), 시험설계변수 1가지(허용 시험시간)) 시나리오를 통해 구현된 도구 유효성을 확인했다.

Abstract There are various system defects from weapons manufacturing due to the numerous production processes and various production environments. The first kind of defect is patent defects, which can be detected by visual inspection, functional testing, and existing quality control procedures during the manufacturing process. The second kind is latent defects, which cannot be detected though existing quality management approaches because of the complexity of the system and manufacturing process. To minimize the initial defect problems, environmental stress screening (ESS) is needed to detect the defects, remove them, and improve the product conditions based on the environmental stress conditions of temperature and vibration. We implemented a tool for quantitative ESS effectiveness analysis and profile design automation based on MIL-HDBK-344 and verified it using six scenarios with different temperature stress, vibration stress, and test designs.

Keywords : Weapon System, ESS(Environmental Stress Screening), FRACAS(Failure Reporting and Corrective Action System), Quantitative Defect Density, Mass Production

*Corresponding Author : Jang-Eun Kim(Defense Agency for Technology and Quality(DTAQ))
Tel: +82-53-757-3032 email: jekim@dtaq.re.kr

Received July 20, 2016
Accepted August 11, 2016

Revised (1st August 2, 2016, 2nd August 9, 2016)
Published August 31, 2016

1. 서론

현대 무기체계에 적용되는 수많은 생산 기술과 다양한 공정 환경으로 인해 다양한 결함이 무기체계 제조공정에 유입되고 있다. 이렇게 제조공정에 유입되는 결함 중 육안 검사, 기능 시험 등 기존 품질 관리 절차를 통해 검출할 수 있는 “명백결함”과 무기체계 복잡성과 제조공정의 복잡도로 기존 품질 관리 방식으로 검출이 제한되는 “잠재결함” 2가지 종류가 있다.

이 2가지 결함 중 생산공정에서 검출되지 않은 “명백결함” 일부와 “잠재결함”이 무기체계에 잔류된 상태로 출고가 되고, 이러한 결함은 무기체계 운용 초기에 문제를 발생시키게 된다. 이런 초기 결함 문제를 최소화하기 위해 무기체계 생산공정 중 부품/구성품/완성품에 온도 주기 또는 진동과 같이 환경요소를 활용하여 “명백결함” 및 “잠재결함”을 초기에 유발시켜 결함검출/제거/개선하는 활동을 환경 부하 선별(ESS : Environmental Stress Screening) 시험이라 한다. 환경 부하 선별 시험 비용적 측면의 경우 단기간으로 접근했을 때 환경 부하 선별 시험 수행으로 추가 비용이 발생하는 것처럼 보이나 장기간으로 접근할 경우 적절한 환경 부하 선별 시험 설정 및 배치 운용을 통한 양산 무기체계 생산성 향상으로 환경 부하 선별 시험 수행 비용을 상쇄 할 수 있다[1].

서론에 이어 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 환경 부하 선별 시험 정량화를 위한 MIL-HDBK-344 기반 수학적 모델, 입력 결함 밀도 설정, 온도부하/진동부하 시험 방법을 설명한다. 3장에서는 환경 부하 선별 시험 효과도 및 프로파일 설계 자동화 알고리즘 설명과 구현된 환경 부하 선별 시험 효과도 및 프로파일 설계 자동화 도구를 설명하고, 6가지 시나리오를 통해 유효성을 확인한다. 마지막 4장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 환경 부하 선별 시험 수학적 모델

환경 부하 선별 시험 정량적 접근은 무기체계 제조 공정에 대한 명확한 양적 목표를 수립할 수 있으며[2-3], 이를 통해 무기체계 제조 생산 시험 공정/계획/감시/통제의 근거를 확립하여 접근할 수 있다[4]. 앞서 설명한 정량적 환경 부하 선별 시험 문제에 대한 접근법 및 절차

는 Fig. 1과 같다.

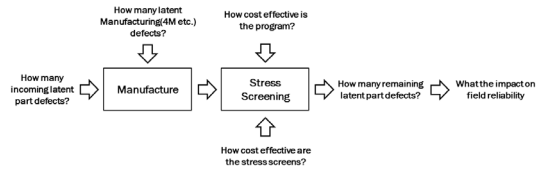


Fig. 1. The Quantitative Environmental Stress Screening Problem

환경 부하 선별 시험 수학적 모델의 변수 관계는 Fig. 2와 같이 입력결함밀도(D_{IN}), 환경 부하 선별 시험, 환경 부하 선별 시험 결과와 같이 크게 3가지로 나뉘 볼 수 있다[2].

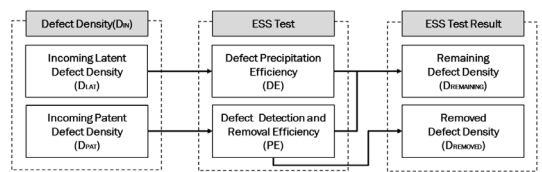


Fig. 2. Environmental Stress Screening and Variable Relationship

첫 번째 단계인 ‘입력결함밀도(D_{IN})’는 제조 공정에 유입되고 있는 결함밀도를 의미한다. 입력결함밀도(D_{IN})의 결함 종류로는 무기체계 제조공정 중 육안 검사, 기능 시험 등 기존 품질 관리 절차를 통해 검출될 수 있는 명백결함(D_{PAT})과 무기체계 복잡성과 제조공정의 복잡도로 기존 품질 관리 방식으로 검출이 제한되는 잠재결함(D_{LAT}) 2가지 종류의 결함으로 구성되어 Eqn. 1과 같이 표현할 수 있다[3].

$$D_{IN} = D_{PAT} + D_{LAT} \quad (1)$$

D_{IN} : 입력결함밀도, D_{PAT} : 명백결함, D_{LAT} : 잠재결함

두 번째 단계인 ‘환경 부하 선별 시험’은 환경 부하 선별 시험을 통해 무기체계에 유입되는 명백결함(D_{PAT})을 검출하고 제거하는 능력에 대한 척도로 정의되는 유도효율(DE)과 잠재결함(D_{LAT})을 명백결함(D_{PAT}) 형태로 유도시켜 검출 가능한 상태로 만들 수 있는 척도로 정의되는 검출효율(PE)로 나타낸다.

명백결함(D_{PAT})를 검출하고 제거하는 유도효율 (DE)는 Table. 1와 같이 세 가지(검사 유형, 검사 중 환경 조건, 결함 발견/제거 능력) 계수에 따라 결정되며, 유도효율(DE)은 Eqn. 2과 같이 표현할 수 있다[3].

$$DE = TT \times TE \times TDR \quad (2)$$

DE : 유도효율 $0 < DE \leq 1$, TT : 검사유형

TE : 검사중환경조건, TDR : 결함발견/제거능력

Table 1. Detection Efficiency Parameter

Test type (TT)	Range	Test environmental condition (TE)	Range	Test defect detection/removal ability (TDR)	Range
Functional only	0.5 ~ 8.8	Testing performed under ambient conditions only	0.2 ~ 0.6	Observe/isolate the defect and the probability of removing the defect	0.8 ~ 1.0
Functional and parametric	0.8 ~ 1.0	Testing performed concurrently with stress	1.0		

잠재결함(D_{LAT})을 명백결함(D_{PAT}) 형태로 유도해서 검출 가능한 상태로 만들어 주는 검출효율(PE)는 부하 지속시간의 함수로 Eqn. 3으로 나타낼 수 있다[3].

$$PE = 1 - e^{-kt} \quad (3)$$

k : 결정된 부하상수, t : 부하 지속 시간/주기

Eqn. 3의 t 는 부하 지속시간이고 단위는 시간/주기가며, k 는 각 부하 온도/진동 유형에 따라 결정된 부하 상수로 아래 Table. 2~3와 같이 정의할 수 있다.

Table 2. Precipitation Efficiency of Temperature

Temperature Stress Type	Precipitation Efficiency of Temperature Stress Equation
Temperature Cycling	$k = 0.0017(\Delta T + 0.6)^{0.6} [\ln(Rate + 2.718)]^3$ $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ in degrees °C $Rate = degrees\ ^\circ C / minutes$ $t = number\ of\ cycles$
Constant Temperature	$k = 0.0017t(\Delta T + 0.6)^{0.6}$ $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ in degrees °C $t = hours$

Table 3. Precipitation Efficiency of Vibration

Vibration Stress Type	Precipitation Efficiency of Vibration Stress Equation
Random Vibration	$k = 0.0046 G^{1.71}$ $G = Grms$
Swept sine Vibration	$k = 0.000727 G^{0.863}$ $G = Grms$
Fixed sine Vibration	$k = 0.00047 G^{0.49}$ $G = Grms$

또한, 검출효율은 환경 부하 선별 시험 유형과 환경 부하 선별 시험 형태에 따라 검출효율을 높일 수 있다 [5]. 환경 부하 선별 시험의 일반적인 유형은 3가지(온도 부하 방법, 진동 부하 방법, 온도/진동 혼합 부하)가 있다. 환경 부하 선별 형태 중 온도/진동 혼합 부하의 시험 방법은 온도와 진동 부하를 독립적으로 분리하여 순차적으로 환경 부하 선별 시험을 진행하는 방법과 온도와 진동 부하를 동시에 병렬로 환경 부하 선별 시험을 진행하는 방법이 있다[6]. 이렇게 시험 방법에 대한 특성을 Eqn. 3에 적용하면 Eqn. 4(온도/진동 부하 검출효율 ($PE_{t/v}$))로 나타낼 수 있다[7].

$$PE_{t/v} = 1 - e^{-ktF} \quad (4)$$

k : 결정된 부하상수, t : 부하 지속 시간/주기

F : 가중요소(직렬: $F = 1$, 병렬: $F = 1.18$)

마지막 세 번째 단계인 ‘환경 부하 선별 시험 결과’는 환경 부하 선별 시험을 통해 제거되지 않고 여전히 무기체계에 남아있는 결함인 잔류결함밀도($D_{REMAINING}$)와 환경 부하 선별 시험을 통해 무기체계의 결함이 제거된 제거결함밀도($D_{REMOVED}$)로 구성되며 Eqn. 5~6로 나타낼 수 있다[3].

$$D_{REMAINING} = (1 - DE)D_{PAT} + (1 - DE)(D_{LAT} \times PE) + (1 - PE)D_{LAT} \quad (5)$$

D_{PAT} : 명백결함, D_{LAT} : 잠재결함, DE : 검출효율, PE : 유도효율

$$D_{REMOVED} = DE \times [D_{PAT} + (D_{LAT} \times PE)] \quad (6)$$

D_{PAT} : 명백결함, D_{LAT} : 잠재결함,

DE : 검출효율, PE : 유도효율

2.2 환경 부하 선별 시험 입력 결함 밀도 설정

환경 부하 선별 시험을 통해 유발되는 고장 형태는 온도 주기 시험 시 유발되는 고장형태와 진동 시험 시 유발되는 고장형태로 나눌 수 있다. 먼저, 온도 주기 시험에 의해 유발되는 고장형태는 무기체계에 실장되는 수많은 부품/구성품 등 다양한 재료의 열팽창계수(Coefficient of Thermal Expansion : CTE)에 의해 발생되며, 진동 시험에 의해 유발되는 고장형태는 체결/연결 부위로부터 유발되는 문제이다[8]. 이러한 환경 부하 선별 시험(온도 주기 시험/진동 시험)에 의해 선별되는 일반적인 고장형태는 Table. 4와 같이 구분할 수 있다[9].

Table 4. Assembly Level Defect Types Precipitated by Temperature Stress Screen and Vibration Stress Screen

Defect type	Temperature Screen	Vibration Screen
Defective Part	○	○
Broken Part	○	○
Improperly Installed Part	○	○
Solder Connection	○	○
PCB Etch, Short and Opens	○	○
Loose Contact	○	○
Wire Insulation	○	○
Loose Wire Termination	○	○
Improper Crimp or Mating	○	○
Contamination	○	○
Debris		○
Loose Hardware		○
Chafed, Pinched Wires		○
Parameter Drift	○	
Hermetic Seal Failure	○	
Adjacent Boards/ Parts Shorting		○

본 논문에서 제안하는 양산 무기체계 환경 부하 선별 시험 효과도 분석 및 프로파일 설계 자동화 도구 입력결함밀도 정량화 방법은 다음과 같다. 먼저, 무기체계 양산 공정 중 고장보고 및 시정조치 체계(Failure Reporting and Corrective Action System : FRACAS)에 기록된 환경 부하 선별 시험 고장 정보를 Table. 4에 따라 부하 종류(온도/진동)에 따른 결함 종류 분류하며, 온도와 진동 부하 시 검출되는 결함 대상의 비율은 온도 부하 검출

80%, 진동 부하 검출 20%로 선정하여 적용한다[2]. 이렇게 분류된 결함 종류 중 무기체계 제조공정에서 품질 관리에 의해 선별할 수 있는 결함 종류(육안 검사에 의한 결함 검출 : 파손 부품 등)를 명백결함으로 분류하고 나머지 결함 종류를 잠재결함으로 분류하여 정량화된 입력결함밀도를 설정할 수 있다.

3. 환경 부하 선별 시험 효과도 및 프로파일 설계 자동화 도구

3.1 환경 부하 선별 시험 효과도 및 프로파일 설계 자동화 알고리즘

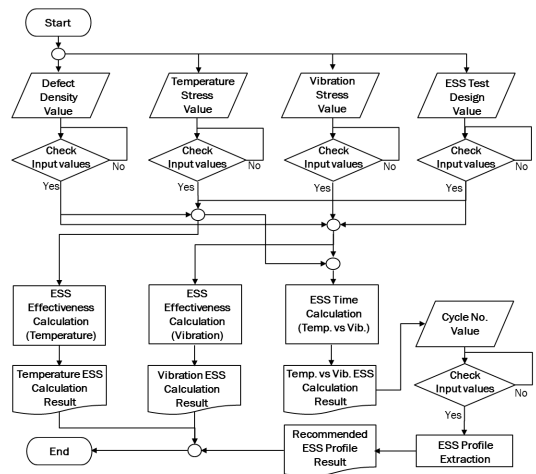


Fig. 3. The Mass Production Weapon System Environmental Stress Screening Test Effectiveness Analysis and Profile Design Automation Tool Algorithm

양산 무기체계 환경 부하 선별 시험 효과도 및 프로파일 자동화 도구 알고리즘 구조는 Fig. 3과 같다. 먼저 4가지(결함밀도변수, 온도부하변수, 진동부하 변수, 시험 설계변수) 입력변수를 설정해야한다. 첫 번째 ‘결함밀도 변수’는 고장 및 시정조치 체계에 기록된 정보를 Table. 4에서 구분된 16개 결함을 구분하여 입력한다. 두 번째 ‘온도부하변수’는 온도 부하 시험에서 결함 발생 시 검출 능력에 대한 ‘탐지효율’, 무기체계 설계 시 설정된 최대/최소 운용가능온도 설계값 기반으로 ‘최대온도부하’와 ‘최소온도부하’, 분당 온도변화에 대한 ‘온도변화율’, 양산단계 무기체계 공정 중 유입되는 입력결함을 어느 정도 허용할 것인가에 대한 목표값인 ‘허용 잔류결함밀

도(온도)를 설정한다. 세 번째 ‘진동부하변수’는 진동 부하 시험에서 결합 발생 시 검출 능력에 대한 ‘탐지효율’, 무기체계 설계 시 설정된 최대 진동 허용 크기 설계값 기반으로 ‘최대진동부하’, 양산단계 무기체계 공정 중 유입되는 입력결함을 어느 정도 허용할 것인가에 대한 목표값인 ‘허용 잔류결함밀도(진동)’를 설정한다. 네 번째 ‘시험설계변수’는 3가지(허용시험시간, 장비 설치/회수 시간, 시험주기)로 구성되어 있으며, ‘허용시험시간’은 설계된 환경 부하 선별 시험 전체 시간을 의미하고 ‘장비 설치/회수 시간’은 일정온도구간에서 환경 부하 선별 시험 중 성능시험을 위해 시험장비 설치/회수 소요 시간을 의미한다. 이어서 ‘시험주기’는 사용자가 환경 부하 선별 시험 수행주기를 의미한다. 4가지 입력변수가 설정되면 3가지(환경 부하 선별 시험 효과도(온도), 환경 부하 선별 시험 효과도(진동), 환경 부하 시험 시간) 연산을 수행한다. 첫 번째 ‘환경 부하 선별 시험 효과도(온도)’ 연산 후 허용잔류결함밀도(온도)에 따른 온도범위 및 주기 결과를 통해 온도부하에 대한 효과도를 확인할 수 있다. 두 번째 ‘환경 부하 선별 시험 효과도(진동)’ 연산 후 시험시간 및 진동크기에 대한 잔류결함밀도와 허용잔류결함밀도(진동)에 따른 시험시간 및 진동크기를 통해 진동부하에 대한 효과도를 확인할 수 있다. 세 번

째 ‘환경 부하 선별 시험 연관성’ 연산 후 온도 및 진동 시간에 따라 소요되는 환경 부하 선별 시간 결과와 허용 시험시간에 따른 온도 주기 및 진동시험 시간을 확인할 수 있다.

양산 무기체계 환경 부하 선별 시험 효과도 및 프로파일 자동화 도구 마지막 단계는 환경 부하 선별 시험 프로파일을 생성하기 위해 ‘환경 부하 선별 시험 연관성’ 연산 결과를 기반으로 사용자가 원하는 온도주기 설정을 통한 ‘시험 프로파일 추출’ 연산으로 양산 무기체계에 적용하기 위한 환경 부하 선별 시험 프로파일을 설계할 수 있다.

3.2 환경 부하 선별 시험 효과도 및 프로파일 설계 자동화 도구 구현 결과

양산 무기체계 환경 부하 선별 시험 효과도 분석 및 프로파일 설계 자동화 도구 사용자 운용화면은 Fig. 4와 같으며, Fig. 3에서 소개한 알고리즘 순서에 따라 환경 부하 선별 시험 효과도 분석과 프로파일이 생성된다. 먼저 MIL-HDBK-344에서 정의한 ‘입력결함밀도①’에 무기체계 양산단계 공정서 발생된 결함 정보(FRACAS)를 입력한다. 이어서 환경 부하 선별 시험을 하고자 하는 대상 제품에서 허용할 수 있는 온도, 온도변화율, 진동크기

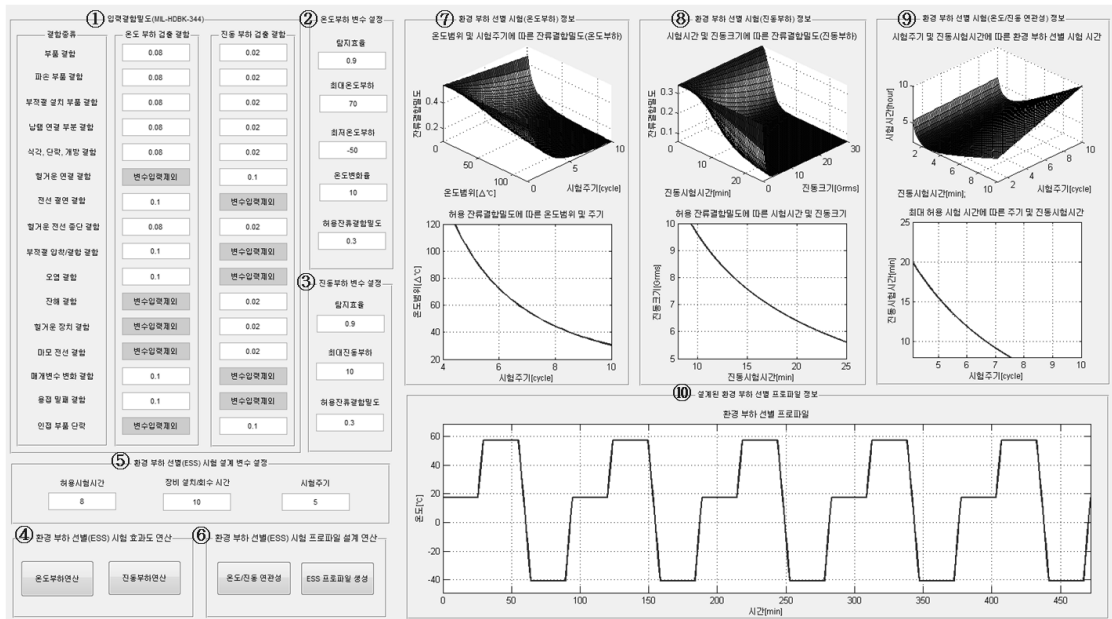


Fig. 4. The Mass Production Weapon System Environmental Stress Screening Test Effectiveness Analysis and Profile Design Automation Tool Implementation result(Reference)

Table 5. Combined Temperature/Vibration Environmental Stress Screening Design Reference Scenario

Defect Density	Environmental Stress Screening(ESS) Test	Allowed Remaining Defect Density
Temperature Stress		
$D_{IN} = D_{LAT} + D_{LAT} = 0.98$	$PE = 1 - e^{-(0.0017(\Delta T + 0.6)^{0.6}[\ln(Rate + 2.718)]^2)t}$	$D_{REMAINING} = 0.3$
	Rate = 10°C DE = 0.9	
Vibration Stress		
$D_{IN} = D_{LAT} + D_{LAT} = 0.61$	$PE = 1 - e^{-(0.0046G^{1.7})tF}$	$D_{REMAINING} = 0.3$
	F = 1.18 DE = 0.9	

※ The defect density ratio : 50%(D_{PAT}): 50%(D_{LAT})
 ※ Mixed(Temperature+Vibration) stress detection ratio : 80%(Temperature), 20%(Vibration)
 ※ ESS test run time : 8hours(Equipment installation/payback time : 10minutes, Test cycle : 5)

와 환경 부하 선별 시험 중 각 부하에 의해 발생된 결함을 탐지할 수 있는 제조공정 능력 및 시험 후 비용대비 효과를 고려하여 허용 잔류결함밀도를 ‘온도부하 변수 설정②’과 ‘진동부하 변수 설정③’한다. ①, ②, ③ 변수 값을 기반으로 ‘환경 부하 선별 시험 효과도 연산④’을 수행하면 ‘환경 부하 선별 시험(온도부하)정보⑦’, ‘환경 부하 선별 시험(온도부하)정보⑧’를 얻을 수 있다. 이어서 ‘환경 부하 선별 시험 프로파일 설계 변수 설정⑤’의 환경 부하 선별 시험 ‘허용 시험 시간’과 환경 부하 선별 시험 중 수행하는 ‘장비설치/회수 시간’ 기반으로 ‘환경 부하 선별 시험 프로파일 설계 연산⑥’의 ‘온도/진동 연관성’을 통해 ‘환경 부하 선별 시험(온도/진동 연관성)정보⑨’ 얻을 수 있다. 마지막으로 계산된 ⑧의 ‘시험주기’ 정보를 기반으로 ‘환경 부하 선별 시험 프로파일 설계 변수 설정⑤’의 ‘시험주기’를 선정하여 ‘환경 부하 선별 시험 프로파일 설계 연산⑥’의 ‘ESS 프로파일 생성’을 수행하면 설계된 환경 부하 선별 시험 프로파일 정보⑩은 오직 ‘시험주기’ 선택만으로 사용자가 원하는 허용 잔류결함밀도를 만족시킬 수 있는 최적의 환경 부하 선별 시험 프로파일을 얻을 수 있다.

3.3 환경 부하 선별 시험 효과도 분석 및 프로파일 설계 자동화 도구 유효성 확인

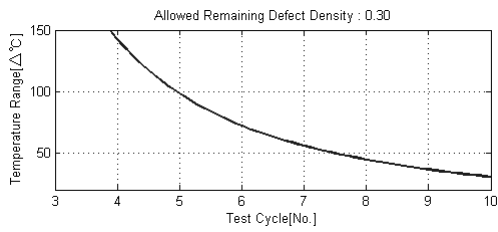
구현된 환경 부하 선별 시험 효과도 분석 및 프로파일 설계 자동화 도구 유효성 확인을 위한 6가지 시나리오에 대해 Table. 6과 같다.

시나리오 1~2 온도부하변수 중 온도간격을 기준 (Table. 6 조건) 120°C에서 150°C로 높여 온도간격 증가

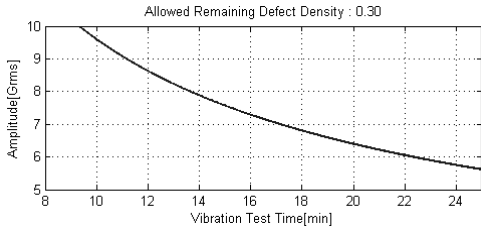
와 기존 10°C/min에서 15°C/min 높여 온도변화율 증가에 따른 시험 효과도 및 설계 범위 변화를 확인하고, 시나리오 3 허용 잔류결함밀도(온도)를 기존 0.30에서 0.28로 엄격한 허용 잔류결함밀도에 따른 적용 부하 변화를 확인한다. 시나리오 4 진동부하변수 중 부하크기를 기존 10 Grms에서 15 Grms 상승에 따른 시험효과도 변화와 허용 잔류결함밀도(진동)를 기존 0.30에서 0.28로 엄격한 허용 잔류결함밀도에 따른 적용 부하 변화를 확인한다. 마지막 시나리오 6 시험 설계 변수 중 허용 시험시간을 기존 8시간에서 10시간 적용에 따른 환경 부하 선별 프로파일 변화를 확인한다.

Table 6. The Mass Production Weapon System Environmental Stress Screening Test Effectiveness Analysis and Profile Design Automation Tool Scenarios for validation

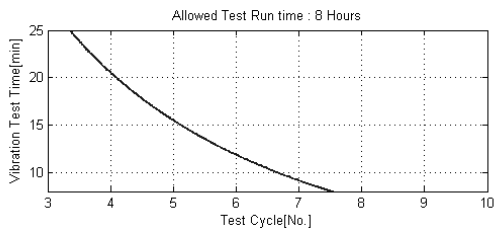
Step	Sort	Change object	Change parameter value
1	Temperature Stress Value	Temperature Range ($T_{max} - T_{min}$)	120 ⇔ 150
2		Temperature Rate ($^{\circ}C/min$)	10 ⇔ 15
3		Allowed Remaining Defect Density	0.30 ⇔ 0.28
4	Vibration Stress Value	Amplitude ($Grms$)	10 ⇔ 15
5		Allowed Remaining Defect Density	0.30 ⇔ 0.28
6	Test Design Value	Allowed Test Run time	8 ⇔ 10



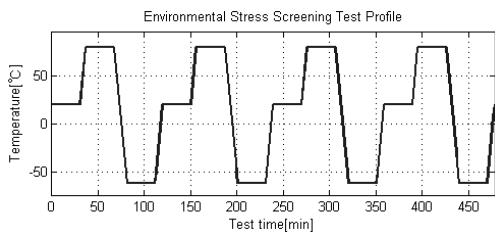
(a) Temperature Range and Cycle graph



(b) Vibration Force and Test Turnaround Time graph



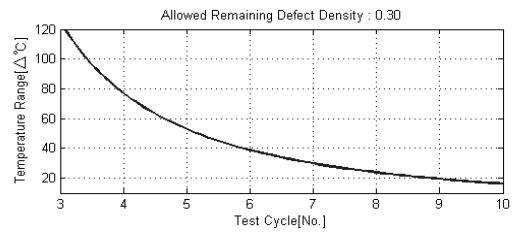
(c) Cycle and Vibration Force graph



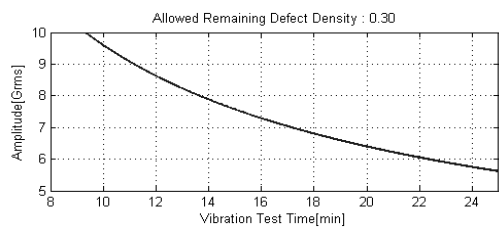
(d) Environmental Stress Screening Test Profile

Fig. 5. Scenario1 results

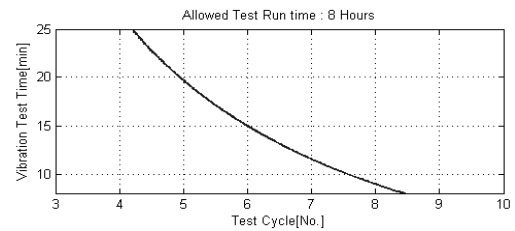
시나리오 1 결과 온도 부하 변수(온도간격)의 상승으로 가용할 수 있는 온도범위/시험주기가 넓어진 것을 그림 5(a)를 통해 확인했다. 그 결과 적용 가능한 시험주기가 기존 5~7 주기에서 4~7 주기로 넓어짐을 그림 5(c)를 통해 확인했으며, 4주기가 적용된 환경 부하 선별 프로파일 결과는 그림 5(d)와 같다.



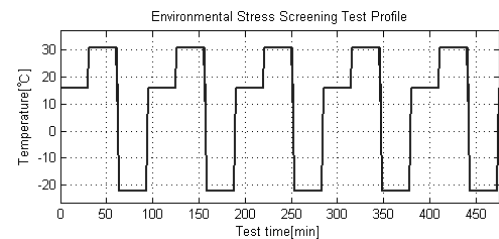
(a) Temperature Range and Cycle graph



(b) Vibration Force and Test Turnaround Time graph



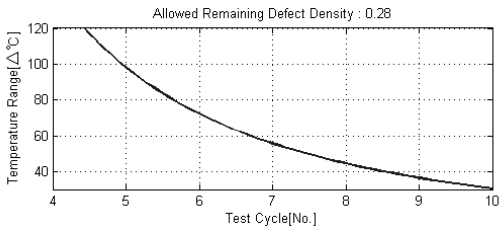
(c) Cycle and Vibration Force graph



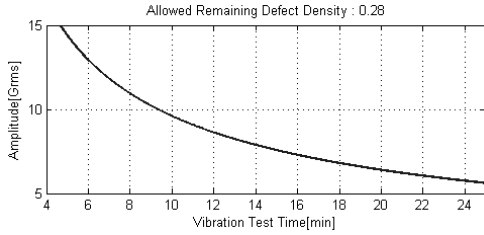
(d) Environmental Stress Screening Test Profile

Fig. 6. Scenario2 results

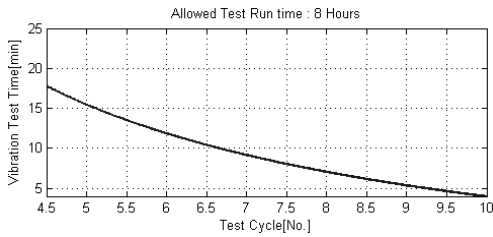
시나리오 2결과 온도 부하 변수(온도변화율)의 상승으로 기존 시험보다 더 낮은 시험주기 시험으로 동일한 허용 잔류결함밀도를 만족시키는 것을 그림 6(a)를 통해 확인했으며, 그림 6(c)를 통해 기존 시험보다 상대적으로 높아진 온도변화율과 낮아진 온도범위의 프로파일 그림 6(d) 결과를 확인했다.



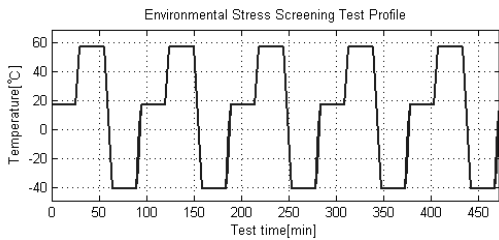
(a) Temperature Range and Cycle graph



(b) Vibration Force and Test Turnaround Time graph



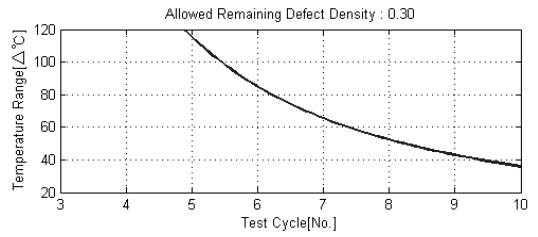
(c) Cycle and Vibration Force graph



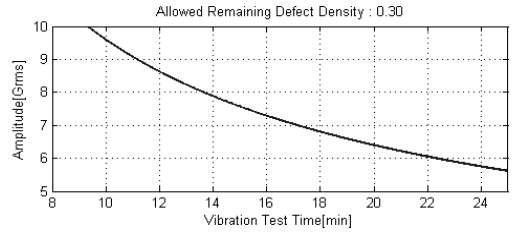
(d) Environmental Stress Screening Test Profile

Fig. 7. Scenario3 results

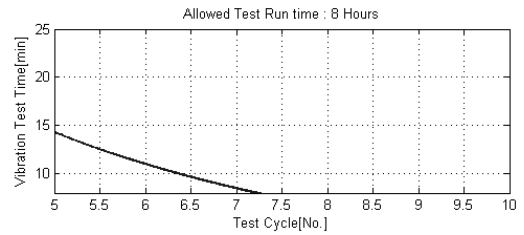
시나리오 3 결과 진동 부하 변수(진동크기)의 상승으로 사용할 수 있는 진동크기/시험시간이 기존에 비해 넓어진 것을 그림 7(b)를 통해 확인했다. 그 결과 적용 가능한 시험주기가 기존 5~7 주기에서 5~9 주기로 넓어짐을 그림 7(c)을 통해 확인했다.



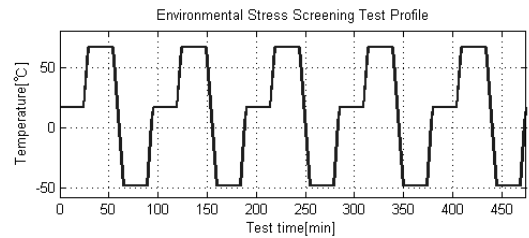
(a) Temperature Range and Cycle graph



(b) Vibration Force and Test Turnaround Time graph



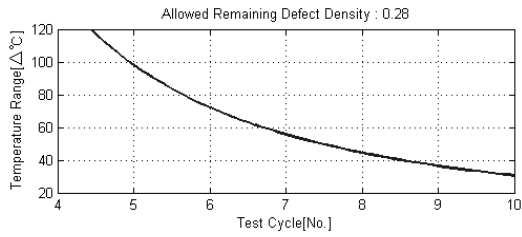
(c) Cycle and Vibration Force graph



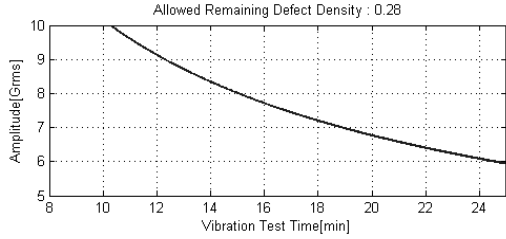
(d) Environmental Stress Screening Test Profile

Fig. 8. Scenario4 results

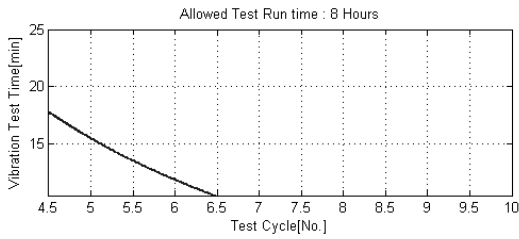
시나리오 4 결과 온도 부하 변수(허용 잔류 결함 밀도)가 0.3에서 0.28로 엄격해짐에 따라 시험 주기에 따른 온도범위가 기존에 비해 높아진 것을 그림 8(a)로 확인했다. 이어서 기존과 같은 주기로 시험을 수행할 경우 적용온도범위 상승으로 더 가혹 조건에서 시험이 이뤄지는 것을 그림 8(c)로 확인했다.



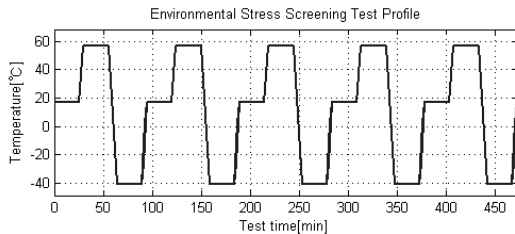
(a) Temperature Range and Cycle graph



(b) Vibration Force and Test Turnaround Time graph



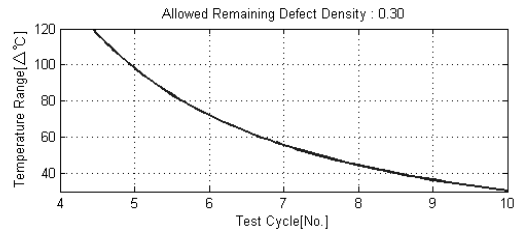
(c) Cycle and Vibration Force graph



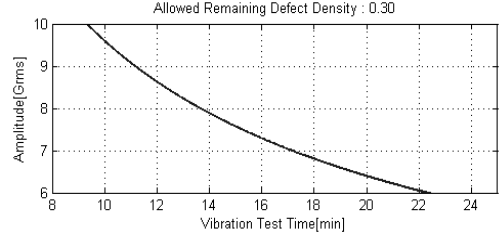
(d) Environmental Stress Screening Test Profile

Fig. 9. Scenario5 results

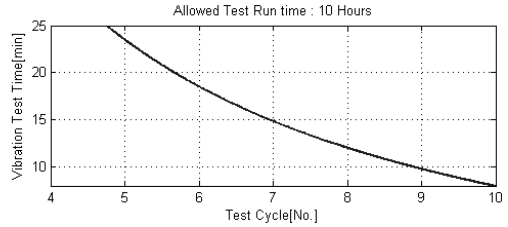
시나리오 5 결과 진동 부하 변수(허용 잔류 결함 밀도)가 0.3에서 0.28로 엄격해짐에 따라 진동 시험 시간 대비 진동크기가 기준에 비해 높아진 것을 그림 9(a)로 확인했다. 이어서 적용 가능한 시험주기는 5~6 주기로 기준 5~7 주기에 비해 주기 선택폭이 좁아진 것을 그림 9(c)로 확인했다.



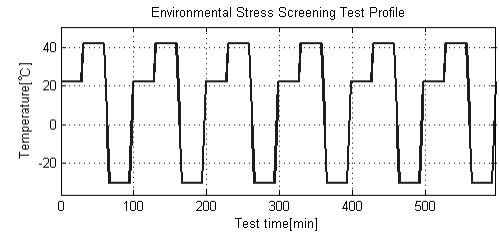
(a) Temperature Range and Cycle graph



(b) Vibration Force and Test Turnaround Time graph



(c) Cycle and Vibration Force graph



(d) Environmental Stress Screening Test Profile

Fig. 10. Scenario6 results

시나리오 6 결과 환경 부하 선별 시험 설계 변수(허용 시험시간)를 8시간에서 10시간 상승에 따른 적용 가능한 시험 주기가 기준 5~7 주기에서 5~9 주기로 수정된 것을 그림 10(c)로 확인했다.

3. 결론 및 향후 연구방향

현대 무기체계 제조를 위해 적용되는 수많은 생산 기술과 다양한 공정 환경으로 인해 다양한 결함이 무기체계 제조공정에 유입되고 있다. 이러한 초기 결함 문제를 최소화하기 위해 무기체계 생산 공정 중 유입된 결함요소를 환경부하(온도, 진동)를 활용하여 결함검출/제거/개선하기 위해 환경 부하 선별 시험을 수행해야 한다. 본 논문은 국내 무기체계 제조업체에서 정량적 환경 부하 선별 시험 설계의 어려움을 최소화하기 위해 MIL-HDBK-344를 기반으로 사용자가 원하는 시험 소요 시간 내에서 환경 부하 선별 시험 효과도 분석 및 프로파일 자동화 도구를 구현했다. 본 제안된 환경 부하 선별 시험 효과도 분석 및 프로파일 자동화 도구는 공정 자료를 기반으로 환경 부하 선별 시험 최적 효과도 시험법을 설계를 할 수 있으며, 사용자가 원하는 환경 부하 선별 시험 프로파일 최적화 설계를 쉽게 접근할 수 있다. 이러한 장점을 활용하여 무기체계 환경 부하 선별 시험 개선 활동을 쉽게 접근할 수 있으며, 환경 부하 선별 시험에 소요되는 비용/시간을 최적 관리 할 수 있을 것으로 생각한다.

향후 연구방향은 최근 환경 부하 선별 시험 효과도가 높다고 알려진 6-자유도 반복 충격(6-DOF Repetitive Shock)을 적용한 환경 부하 선별 시험 효과도 분석 및 적용방안에 대한 연구이다.

[6] H. Qi, M. Pecht, "Plastic Ball Grid Array Solder Joint Reliability Assessment Under Combined Thermal Cycling and Vibration Loading Conditions", University of Maryland, chapter 3-4, 2006.

[7] Czerniel, Stan, and Lou Gullo, "ESS/HASS effectiveness model for yield and screen profile optimization" Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), IEEE, pp. 1-7 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/rams.2015.7105124>

[8] Ohring Milton, Lucian Kasprzak, "Reliability and failure of electronic materials and devices". Academic Press, chapter 3, 2014.

[9] RADC TR-86-139, "RADC Guide to Environmental Stress Screening", chapter 4, 1986.

김 장 은(Jang-Eun Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 숭실대학교 정보통신 전자공학부 (공학사)
- 2013년 2월 : 숭실대학교 정보통신 공학과 (공학석사)
- 2015년 2월 ~ 현재 : 경북대학교 전자공학부 박사과정
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

수중음향통신/신호처리/채널 모델링&시뮬레이션, 무기체계 품질경영/신뢰성/체계공학

References

[1] O'Connor, Patrick, and Andre Kleyner, "Practical reliability engineering", John Wiley & Sons, chapter 2, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9781119961260>

[2] MIL-HDBK-344A, "Environmental Stress Screening of Electronic Equipment", chapter 3-5, 1993.

[3] MIL-HDBK-2164A. "Environmental Stress Screening Process of Electronic Equipment", chapter 4, 1996.

[4] MIL-HDBK-781A, "Test Methods, Plans, and Environments for Engineering, Development Qualification, and Production", chapter 5, 1996.

[5] Jang-Eun Kim, Bo-Hyun Shim, "A study on Mass production stage Tank Battle Management System Environmental Stress Screening test method and application improvement based on Production process data", *Journal of the Korean Society for Quality Management*, vol. 43, no. 3, pp. 273-288, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2015.43.3.273>