

## MIL-HDBK-344A 기반의 ESS 요구사항 표준안 연구

김병준\* · 김진성\*\*

A Study on the Standard of ESS Requirement based on MIL-HDBK-344A

Byung-Jun Kim\* · Jin-Sung Kim\*\*

## 요약

ESS(초기고장배제)는 제품생산 간 유입되는 ‘잠재결함’을 제거하기 위한 중요한 생산 프로세스로서 최근에는 방위사업 분야에서도 제품에 대한 필수 품질요구조건으로서 QAR(품질보증요구서)에 포함되고 있으나, 무기체계의 분류 및 작성자에 따라 내용 및 작성양식이 상이하거나, 중요한 요소가 누락되는 사례가 빈번하게 식별되고 있다. 따라서 본 논문에서는 MIL-HDBK-344A 기반의 정량적인 ESS 요구사항 표준안을 제시하여 QAR의 일관성 및 완전성을 보장하고, 잠재결함 제거 효과 파악을 위한 지표인 결함유도효율(PE) 산출 시 용이성을 확보하고자 한다.

## ABSTRACT

ESS(Environmental Stress Screening) is an important production process to remove ‘latent defects’ introduced in the production of products. Recently, ESS is included in QAR(Quality Assurance Report) as an essential quality assurance requirement for products in the defense business. However, depending on the author of the QAR or the classification of the weapon system, it is often identified that the content and form are different or important elements are omitted. Therefore, this paper proposes a MIL-HDBK-344A based quantitative ESS requirement standard to secure the consistency and completeness of QAR. and to make easier to calculate PE(Precipitation Efficiency), which is an indicator for identifying the latent defects elimination effect.

## 키워드

ESS, Environmental Stress Screening, PE, SS, QAR  
초기 고장 배제, 환경 부하 선별, 결함 유도 효율, 결함 검출 효율, 품질 보증 요구서

## 1. 서론

제품 생산 시 유입되는 결함은 잠재결함(Latent defects)과 명백결함(Patent defects)으로 분류할 수 있다. 명백결함은 제조 및 검사과정 중 육안 및 기계적 검사, 전기적 성능검사 등 기존의 품질관리 프로세스를

통해 제거할 수 있으나, 잠재결함은 기존의 방식으로는 검출 및 제거가 제한된다[1].

ESS( Environmental Stress Screening, 초기고장배제)또는 번인시험(Burn-In Test)은 결함 중에서도 제품 생산 공정 중 유입 될 수 있는 ‘잠재결함’을 환경부하(온도, 진동 등)의 인가를 통해 제품의 전체 수명주기 중 고

\* 국방기술품질원 지휘정찰센터(bj3102@dtaq.re.kr)

\*\* 교신저자 : 국방기술품질원 지휘정찰센터

• 접수 일 : 2020. 02. 07

• 수정완료일 : 2020. 03. 12

• 게재확정일 : 2020. 04. 15

• Received : Feb. 07, 2020, Revised : Mar. 12, 2020, Accepted : Apr. 15, 2020

• Corresponding Author : Jin-Sung Kim

Dept. C4ISR Systems Center, Defense Agency for Technology and Quality

Email : jskima@dtaq.re.kr

장률이 가장 높은 생산 직후 또는 시운전 시점에 효과적으로 제거할 수 있는 중요한 생산 프로세스이다[2]. 최근 부품 집적도 및 생산 공정의 복잡도 상승에 따라 유입되는 잠재결함 수의 증가와 높은 수준의 안정성이 요구되는 고 신뢰성 시스템 기술이 방산분야에 적용됨에 따라 ESS의 중요성에 대한 인식이 재고되어, 군수품의 품질요구사항 및 시험방법을 기술하는 문서 중 하나인 QAR( Quality Assurance Report, 품질보증요구서) 제·개정 시 ESS에 관한 요구사항이 대부분 포함되고 있다 [3-4]. 그러나 무기체계의 분류 및 작성자에 따라 ESS 요구사항의 내용 및 작성 양식이 상이하거나, 중요한 요소가 일부 누락되는 등 문서의 일관성 및 완전성을 확보하지 못한 사례가 빈번하게 식별되고 있는 실정이다. 이러한 상황의 주요 원인은 ESS에 관한 요구사항 표준안의 부재에서 기인된 것으로 분석된다. 현재 방위사업청의 ‘국방규격·표준서의 서식 및 작성에 관한 지침’에서도 QAR 제정 시 ESS에 관한 품질요구사항과 시험방법 작성기준 또는 작성예시를 제시하고 있지 않다[5].

따라서 본 논문에서는 MIL-HDBK-344A 기반의 정량적인 ESS 요구사항 표준안 제시를 통해, 생산자에게 명확한 ESS 요구사항과 시험기준을 제시하고, 발주자와 생산자에게 QAR 제·개정 시 ESS에 대한 일관된 작성표준 및 검토기준을 제공하여 추후 QAR 수정을 위한 기술변경을 미연에 방지하고, 나아가 제품 제조 시 ESS 프로세스 적용에 따른 정량화 된 잠재결함 제거 효과 파악을 위한 지표인 결함유도효율(Precipitation Efficiency, PE) 산출 시 용이성을 확보하고자 한다.

본 논문의 구성은 2절에서 미 국방부 핸드북 인 MIL-HDBK-344A에서 다루고 있는 ESS 정량적 모델에 대한 주요개념을 설명하고, 3절에서 현 수준 파악을 위해 다양한 무기체계의 QAR 내 ESS 요구사항 제정현황을 파악하고, 분석을 통해 개선 필요사항을 도출하였다. 4절에서는 정량적인 ESS 요구사항에 대한 표준안을 수립하고, 표준안 적용을 통한 기대효과를 예측하였으며, 마지막 5절에서 결론 및 추가 연구 방향에 대하여 설명하였다.

## II. ESS 정량적 모델

전자장비에 대한 ESS를 계획하고 평가하기 위한 미 국방부 핸드북 인 MIL-HDBK-344A에 따르면 제품 생산 시 유입되는 결함은 잠재결함과 명백결함으로 분류할 수 있으며, 정량적이고 객관적으로 ESS에 대한 평가를 수행하기 위한 핵심 변수로서 유입되는 잠재결함밀도( $D_{LAT}$ ), 유입되는 명백결함밀도( $D_{PAT}$ ), 결함유도효율(PE), 결함검출효율(DE) 등을 언급하고 있다. 잠재결함밀도 및 명백결함밀도와 ESS 간의 상관관계는 그림1과 같이 표현할 수 있다[6].

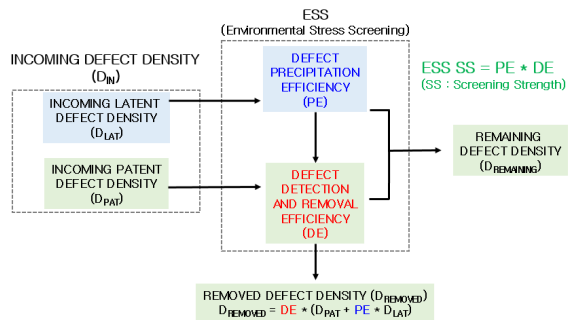


그림 1. 잠재결함과 명백결함과 초기고장배제 간의 상관관계

Fig. 1 Correlation between latent defect and patent defect and ESS

제조 공정에서 유입되어 장비에 결함을 유발하는 입력결함밀도( $D_{IN}$ )는 제조 및 검사공정 중 육안 및 기계적 검사, 전기적 성능검사 등 기존의 품질관리 프로세스를 통해 제거 가능한 명백결함밀도와 기존의 품질관리 프로세스를 통해 제거가 불가능한 잠재결함밀도로 구성되며, 식 (1)과 같이 표현할 수 있다[1].

$$D_{IN} = D_{PAT} + D_{LAT} \tag{1}$$

입력결함밀도를 최소화하기 위한 프로세스 인 ESS 적용을 통한 정량적 효과는 잠재결함밀도를 명백결함밀도의 형태로 검출 가능하도록 유도할 수 있는 PE와 명백결함밀도를 검출하고 제거할 수 있는 DE로 나타낼 수 있다. 먼저 PE에 대한 산출식은 식 (2)와 같다[7-8].

$$PE = 1 - e^{-kt} \tag{2}$$

t : 환경부하 지속시간 또는 주기 수  
 k : 환경부하 유형에 따라 결정되는 스트레스 상수  
 식2에서 환경부하의 동시적용 여부를 고려하면, PE  
 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[9].

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

t : 환경부하 지속시간 또는 주기 수  
 k : 환경부하 유형에 따라 결정되는 스트레스 상수  
 F : 환경부하 동시적용 여부(개별(직렬)시험 : F = 1,  
 동시(병렬)시험 : F = 1.18)

식3을 통해 제품 제조 시 ESS 프로세스 적용에 따  
 른 정량화 된 잠재결함 제거 효과 파악을 위한 PE 산  
 출 시 필수변수로서 t(ESS 수행시간 또는 주기 수), k(스  
 트레스 상수), F(환경부하 동시적용 여부)를 도출하였으  
 며, 각각의 변수는 본 연구의 주제 인 정량적인 ESS 요구  
 사항 표준안 수립 시 필수적으로 포함되어야 한다. 표1  
 은 환경부하 유형 및 세부형태에 따른 스트레스 상수  
 (Stress Constant) 산출식과 PE를 얻기 위한 필수변  
 수 이다[7].

표 1. 환경부하 종류 별 스트레스 상수 산출식과  
 PE를 얻기 위한 필수변수

Table 1. Calculation of stress constant for each  
 environmental load and essential parameter for PE

Load Type	Calculation of Stress Constant	Essential Parameter
Temperature Cycling	$k = 0.017(\Delta T + 0.6)^{0.6} [\ln(RATE + 2.718)]^3$ $\Delta T = T_{MAX} - T_{MIN}$ in degrees °C, RATE = degrees °C/min, * At Equation (3), t = number of cycles	1) T <sub>MAX</sub> 2) T <sub>MIN</sub> 3) RATE 4) t 5) F
Constant Temperature	$k = 0.0017t(\Delta T + 0.6)^{0.6}$ $\Delta T =  T - 25 $ in degrees °C (T : Temperature of Equipment), * At Equation (3), t = hours	1) T 2) t 3) F

Random Vibration	$k = 0.0046G^{1.71}$ where : G = G <sub>rms</sub> * At Equation (3), t = min	1) G 2) t 3) F 4) AXIS(1)
Swept Sine Vibration	$k = 0.000727G^{0.863}$ where : G = G <sub>rms</sub> * At Equation (3), t = min	1) G 2) t 3) F 4) AXIS
Fixed Sine Vibration	$k = 0.00047G^{0.49}$ where : G = G <sub>rms</sub> * At Equation (3), t = min	1) G 2) t 3) F 4) AXIS

또한 DE 산출식은 다음과 같으며, 각각의 변수 별 범  
 위 값은 표2와 같다[7-8].

$$DE = TT \times TE \times TDR \quad (4)$$

TT : 검사유형

TE : 검사 중 환경조건

TDR : 결함 발견/제거능력

표 2. DE의 변수 별 범위 값  
 Table 2. Range of each value of DE parameter

Parameter	Description	Range
TT (Test Type)	Functional only	0.5 ~ 0.8
	Functional and Parametric	0.8 ~ 1.0
TE (Test Environment)	Testing performed under ambient conditions only	0.2 ~ 0.6
	Testing performed concurrently with stress	1.0
TDR (Test Defect Detection/Removal Ability)	The ability to observe and isolate the defect and the probability of successfully removing the defect without introducing another	0.8 ~ 1.0

1) 진동 축(Axis of Vibration)은 스트레스 상수 산출식에 직접적으로 포함 된 변수는 아니나, 단일 축, 복수 축 여부에 따라 시  
 험시간 t에 영향을 주므로 PE와 직접적인 관련이 있으며, MIL-HDBK-344A 4.4.4.1.1 'Screen Parameters'에도 ESS 효율에  
 영향을 미치는 변수로서 포함되어 있다.

### III. 현 수준 파악

#### 3.1 무기체계 및 사업 별 QAR 내 ESS 요구사항 작성현황 파악

다음은 MIL-HDBK-344A에 따라 PE를 산출하기 위한 온도 사이클 시험의 필수 매개변수 인 최저온도, 최고 온도, 주기 수, 온도변화율과 진동 시험의 필수 매개변수 인 진동형태, 진동의 수준(세기), 진동 축, 진동 축 별 진동 지속시간에 따라 다양한 무기체계 별로 제정

된 QAR에 명시 된 ESS 요구사항 작성현황을 파악하였다. 부하 조건 하에서 장비 전원인가여부<sup>2)</sup>는 MIL-HDBK-344A에 규정 된 바에 따르면 PE에는 영향을 미치지 않지만 DE에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소이며, 온도 사이클과 진동부하 동시부하적용 여부는 식3에 따라 PE에 직접적인 영향을 미치는 요소 이므로 추가적으로 파악하였다. 또한 진동부하의 주파수 범위는 시험 대상 장비에 진동부하를 적용하기 위한 시험조건이므로 추가적으로 파악하였다[10].

표 3. QAR에 명시 된 ESS 요구사항 작성현황파악  
Table 3. Survey for ESS requirement in QAR

ESS Requirement		Project Name							
		T***	B****	*S	*G	*G	K*	***R	G*****
Temperature Load	Detailed Load Type	Temp Cycling	Temp Cycling	Temp Cycling	Temp Cycling	Temp Cycling	Temp Cycling	Constant Temp	Temp Cycling
	T <sub>MAX</sub>	+OO	+OO	+OO	+OO	+OO	+OO	-	+OO
	T <sub>MIN</sub>	-OO	-OO	-OO	-OO	-OO	-OO	-	-OO
	T(Target Temp)	-	-	-	-	-	-	+OO	-
	t(hours)	-	-	-	-	-	-	24	-
	Cycles	3	3	3	3	3	6	-	4
	RATE(°C/min)	5	5	Omission	3	10	5	-	5
Power ON/OFF (During the test)	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	
Vibration Load	Detailed Load Type	FSV	FSV	RV	RV	FSV	FSV	FSV	RV
	Frequency range(Hz)	OO	OO	OO ~ OO	OO ~ OO	OO	OO	OO	OO ~ OO
	G(G <sub>rms</sub> )	Omission	Omission	3.03	Omission	Omission	1.5	1.9	3.0
	AXIS	Z	Z	Omission	Z	Z	Omission	X	X
	t(min)	10	10	10	10	20	10	10	10
	Power ON/OFF (During the test)	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON
Concurrent Load Application	Tester options	Separate	Omission	Simultaneous	Simultaneous	Simultaneous	Simultaneous	Simultaneous	

#### 3.2 비교분석을 통한 개선 필요사항 도출

본 논문의 표1에서 식별한 PE를 얻기 위한 필수변수를 기준으로 8개 무기체계에 대한 QAR를 비교분석

한 결과 온도부하에 관한 요구조건 중에서 온도 변화율 작성 누락, 동시부하 적용여부 작성누락 또는 시험 담당자 임의 선택사항으로 지정하는 개선 필요사항이

2) 장비 전원인가여부는 DE에 대한 산출식(식4)의 변수 중 TE와 밀접한 관련이 있다.

식별되었다. 또한 진동부하에 관한 요구조건 중 일부 QAR에서 진동 축 정보를 작성 누락하였으며, 특히 진동 수준( $G_{rms}$ )은 대부분의 QAR에서 명시하지 않은 것이 식별되었는데, 이로 인해 식3과 표1에 따라 진동부하 적용에 따른 PE를 분석하거나, ESS 조건 개선 대상 발굴 또는 개선 전/후 효과에 대한 정량적인 비교 시 주어진 시험조건을 이용하여 복잡한 계산을 거쳐 진동수준( $G_{rms}$ )을 일일이 계산해야만 하는 어려움이 발생한다[7-8].

따라서 현 수준 파악을 통해 QAR 제정 이후 내용 수정 및 명확화를 위한 기술변경을 최소화 하고, PE 산출 시 용이성을 확보하기 위해서는 ‘정량적인 ESS 요구사항 표준안’ 수립이 필요하다는 소결론을 도출할 수 있었다.

#### IV. 정량적인 ESS 요구사항 표준안 수립

##### 4.1 정량적인 ESS 요구사항 표준안 수립

본 연구결과 MIL-HDBK-344A를 기반으로 환경부하 유형(Load Type)에 따라 PE를 얻기 위한 필수변수를 표1과 같이 식별하였고, DE에 영향을 미치는 변수와 ESS 수행을 위해 필히 제공되어야 하는 시험조건을 추가하여 ‘정량적인 ESS 요구사항 표준안 수립을 위한

더 나아가 군수품에 대한 품질요구조건 및 시험방법이 명시된 QAR 내 ESS 요구사항 제·개정 시 참고를 위한 작성예시를 표 5와 같이 제안한다.

표 5. MIL-HDBK-344A 기반의 정량적인 ESS 요구사항 작성예시  
Table 5. Example of quantitative ESS requirement based on MIL-HDBK-344A

Load Type	Detailed Load Type	Application Example	
		ESS Profile	ESS Requirement
Temperature	Temperature Cycling		1) $T_{MAX}$ : + 00 °C 2) $T_{MIN}$ : - 00 °C 3) Cycles : 0 4) Rate(°C/min) : Up to 0 °C/min 5) Power(Test) ON/OFF : ON 6) Concurrent Load Application YES/NO : YES * Vibration Condition : RV / 0 ~ 00 Hz / 0.00 $G_{rms}$ / Each AXIS 00 min / 0 AXIS
	Constant Temperature		1) Target Temp : + 00 °C 2) t(hours) : 0 3) Power(Test) ON/OFF : ON 4) Concurrent Load Application YES/NO : YES * Vibration Condition : SV / 00 Hz / 0.00 $G_{rms}$ / Each AXIS 00 min / 0 AXIS / 1 time per hour

필수요구조건’을 표 4와 같이 도출하였다.

표 4. MIL-HDBK-344A 기반의 ESS 필수요구조건  
Table 4. ESS essential requirements based on MIL-HDBK-344A

Load Type	Detailed Load Type	ESS Requirements
Temperature	Temperature Cycling	1) Maximum Temp( $T_{MAX}$ ) 2) Minimum Temp( $T_{MIN}$ ) 3) Cycles 4) Rate(°C/min) 5) Power(Test) ON/OFF 6) Concurrent Load Application
	Constant Temperature	1) Target Temp 2) t(hours) 3) Power(Test) ON/OFF 4) Concurrent Load Application
Vibration	Random Vibration, Swept/Fixed Sine Vibration	1) Vibration Load Type 2) Frequency range(Hz) 3) $G(G_{rms})$ 4) t(min) 5) AXIS 6) Power(Test) ON/OFF

<p>Vibration</p>	<p>Random Vibration, Swept/Fixed Sine Vibration</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Vibration Load type : RV(Random Vibration)</li> <li>2) Frequency range(Hz) : OO ~ OOOO</li> <li>3) G(G<sub>rms</sub>) : 0.00</li> <li>4) Vibration time per AXIS(min) : OO</li> <li>5) AXIS : O</li> <li>6) Power(Test) ON/OFF : ON</li> </ol>
------------------	---	--	--

4.2 표준안 적용을 통한 기대효과

표4와 표5를 통해 도출 된 정량적인 ESS 요구사항 표준안 적용을 통해 다음과 같은 효과들을 기대해 볼 수 있다.

첫 번째, QAR 작성자에게 공통 기준과 양식을 제공하여, 문서의 일관성을 확보할 수 있다.

두 번째, 군수품을 직접 제조하고, 시험하는 방산업체 담당자들에게 보다 명확한 ESS 요구사항과 시험기준을 제시하여 일관 된 품질을 확보할 수 있다.

세 번째, QAR 내 ESS와 관련 된 내용 수정 및 보완을 위한 기술변경 소요를 미연에 방지하여, 시간·비용·인적 자원을 동시에 절감할 수 있다.

네 번째, ESS 프로세스 적용에 따른 정량화 된 잠재결함 효과 산출 시 신속성과 용이성을 확보할 수 있다.

V. 결론 및 향후개선 방향

본 논문을 통해 제안 된 MIL-HDBK-344A 기반의 ESS 요구사항 표준안 적용을 통해 QAR의 일관성 및 완전성을 보장하고, 잠재결함 제거 효과과약을 위한 지표인 PE 산출 시 용이성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

한 단계 더 나아가, 현재 담당하고 있는 개발 중인 신규 무기체계의 ESS에 관한 품질 요구사항과 시험방법 작성 시 본 표준안을 적용 할 예정이며, 관련 기관 및 개발 업체와 활발한 의사소통을 통해 개선/보완 필요사항을 파악하여 본 표준안의 완성도를 지속적으로 높일 수 있도록 하겠다.

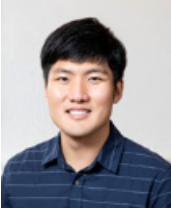
References

- [1] J. Kim, "Effectiveness Analysis and Profile Design Automation Tool Implementation for The Mass Production Weapon System Environmental Stress Screening Test," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 17, no. 8, 2016, pp. 379-388.
- [2] J. Lee, "Design and Qualification of FPGA-based Controller applying HPD Development Life-Cycle for Nuclear Instrumentation and Control System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 6, 2014, pp. 681-687.
- [3] K. Lee, "A Study on the Improvement of Transmission Speed of Data Link Processor," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 6, 2019, pp. 1069-1076.
- [4] J. Choi, "A Message Priority-based TCP Transmission Algorithm for Drone Systems," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 3, 2018, pp. 509-515.
- [5] Defense Acquisition Program Administration, *Guidelines for the Formation and Preparation of Defense Standards*. Gwacheon: DAPA, 2019.
- [6] M. Jang, "A Study on ESS Optimization Management for Improving Reliability and Quality of Electronic Equipments," *J. of the Advanced Engineering and Technology*, vol. 10, no. 3, 2017, pp 291-295.
- [7] Department Of Defense, *MIL-HDBK-344A (Environmental Stress Screening of Electronic Equipment)*. Washington: DoD, 1993.
- [8] Department Of Defense, *MIL-HDBK-2164A(Environmental Stress Screening Process of Electronic Equipment)*.

Washington: DoD, 1996.

- [9] S. Czerniel and L. Gullo, "ESS/HASS Effectiveness Model for Yield and Screen Profile Optimization," *Annual Reliability and Maintainability Symposium(RAMS)*, Palm Harbor, FL, U.S.A., 2015, pp. 1-7.
- [10] J. Choi, *A Study on the Guideline for Initial Baseline Regimen and Profile Tailoring Using Improved ESS Process Model*. Jinju: DtaQ, 2012.

## 저자 소개



### 김병준(Byung-Jun Kim)

2011년 경북대학교 전자전기컴퓨터 학부 졸업(공학사)

2011년 ~ 2018년 : 한화시스템 품질경영팀 연구원

2018년 ~ 현재 : 국방기술품질원 지휘정찰센터 연구원

※ 관심분야 : 무선통신 시스템, 신뢰성 공학, 레이더 RF 시스템



### 김진성(Jin-Sung Kim)

2009년 인제대학교 나노공학부 졸업(공학사)

2012년 부산대학교 대학원 전기전자공학 졸업(공학석사)

2012년 ~ 2018년 : LS산전 초고압변압기 연구원

2018년 ~ 현재 : 국방기술품질원 지휘정찰센터 연구원

※ 관심분야 : 무선통신 시스템, 신뢰성 공학, 전자기응용시스템

