

함정 무기체계 품질관리 효율화를 위한 탑재장비 위험도 평가 개선방안 제언

오현석, 곽상열*
국방기술품질원

Suggestion for Enhancing Risk Assessment of Payload Equipment for the Quality Management Efficiency of Naval Weapon Systems

Hyun Suk Oh, Sang Yell Gwak*
Defense Agency for Technology and Quality

요약 군수품 품질보증기관인 국방기술품질원은 '군수품 품질경영 기본규정'을 근거로 위험식별 및 평가를 통해 위험발생 가능성과 위험의 영향을 종합적으로 검토하여 위험도를 산출하고 그 결과에 따른 차등화된 품질보증활동을 수행한다. 그러나 위험발생 가능성과 위험의 영향을 결정하기 위한 객관적 기준이 정립되지 않아 과거부터 위험식별 및 평가의 방법론에 대한 많은 논의와 제안이 이루어 졌다. 군수품 중 함정 무기체계는 타 무기체계와 달리 하나의 함정에 수많은 탑재장비가 포함된다는 큰 차이점이 있으며 수많은 장비의 수락시험, 함내 탑재 및 연동, 시운전 등으로 인해 과거 제안된 위험식별 및 평가방안의 적용이 어려운 실정이다. 이를 해소하기 위해 함정 표준위험도라는 지표를 제시함으로써 함정 탑재장비의 위험식별 및 평가에 적용하였으나, 품질관리 측면에서 효용성이 크게 체감되지 않는 경우가 발생하여 함정 표준위험도를 개선함으로써 품질보증 활동의 효율화를 도모하고자 한다. 본 논문에서는 기존 제시된 함정 표준위험도에서 고려하지 못한 요소를 식별하여 실무 상황에 맞게 반영함으로써 실효성 있는 위험도 평가방안을 제시하고자 한다.

Abstract The DTaQ (Defense Agency for Technology and Quality), a quality assurance organization for defense products, conducts comprehensive risk identification and assessment based on the 'Basic Regulations for Defense Product Quality Management.' It calculates the risk severity through the evolution of potential risk and its impact, performing differentiated quality assurance activities accordingly. On the other hand, the absence of established objective criteria for determining the probability and impact of risk has led to extensive discussions and proposals regarding objective risk identification and assessment methods. Naval vessel weapon systems in military equipment differ significantly from other weapon systems in that a single vessel includes numerous installed components. The complexity of accepting numerous pieces of equipment, onboard loading and integration, field testing, and system trials make applying previously proposed risk identification and assessment approaches challenging. Accordingly, a metric called 'Naval Vessel Standard Risk Severity' was introduced to the risk identification and assessment of naval vessel payload equipment. Nevertheless, there have been instances where the utility of this metric is not significantly perceived in terms of quality management. Therefore, there is an intention to enhance the standard risk severity to promote the efficiency of quality assurance activities. This study identified the factors overlooked in 'Naval Vessel Standard Risk Severity' and incorporated them to provide an objective and consistent risk assessment approach for practical situations.

Keywords : Naval Vessel, Weapon System, Quality, Risk Severity, Military Product

*Corresponding Author : Sang Yell Gwak(Defense Agency for Technology and Quality)

email: jim3393@nate.com

Received December 1, 2023

Accepted February 6, 2024

Revised December 21, 2023

Published February 29, 2024

1. 서론

군수품 무기체계는 원활한 임무 수행을 위해 높은 수준의 신뢰성과 품질이 요구되며 이를 위해 국방기술품질원은 방위사업법에 따라 정부에서 위탁받은 군수품 무기체계 품질보증 업무를 수행하게 된다. 계약품목의 종류에 따라 단순하고 품질 수준이 안정된 품목인 단순 품질보증형(I형), 국방품질경영체제 인증을 받은 업체에서 생산하는 품목 중 품질이 안정되어 업체에서 자체적으로 품질보증을 수행하는 자율품질보증형(II형), 성능과 제작진 수행에 영향을 미쳐 통상적인 신뢰성이 요구되는 표준품질보증형(III형), 그리고 군 전용품목 중 고도의 정밀성과 신뢰성이 요구되는 체계품질보증형(IV형)으로 나누어 무기체계 특성에 맞는 차등화된 품질보증업무를 수행하게 되며 품질보증 형태에 맞는 품질보증 활동 준비과정 중 계약품목의 품질 위험도를 고려한 위험식별 및 평가를 수행한다[1]. 위험식별 및 평가는 위험 발생 가능성과 위험의 영향을 결정하고 그 결과를 위험등급 평가 매트릭스에 적용하여 고, 중, 저위험으로 위험도를 판정한다. 그러나, 위험 발생 가능성과 위험의 영향은 객관적인 기준이 정립되어 있지 않아 품질보증 활동을 수행하는 개별 담당자들의 주관적 의사 개입 등으로 인해 애로사항이 많은 실정이다. 이를 개선하기 위해 과거부터 위험식별 및 평가의 방법론에 대해 획기적인 제안이 이루어졌다. C. H. Lee 등은 고장률과 평균고장 간격 등의 지표를 이용하여 위험 모형을 제시하였으며[2], Y. T. Jung 등은 초도양산 군수품의 정량적인 위험식별 및 평가 기준 수립을 위해 고장률을 바탕으로 K-means cluster 방법으로 데이터를 군집하여 위험등급 선정하는 방안을 제시하였다[3]. 이와 같은 새로운 접근법을 통해 위험식별 및 평가는 많은 개선을 거듭했지만, 군수품의 각기 다른 특성에 의해 범용적으로 적용하는 데는 여전히 한계가 있다. 특히, 함정 무기체계사업의 경우 타 무기체계와 달리 다수의 개별 탑재 장비가 함정에 설치되어 상호 통합 및 연동함으로써 성능을 발휘한다는 특징이 있다.

함정 건조에 한해서 품질보증 수행 준비를 위한 위험식별 및 평가는 탑재 장비별 공장수락시험(자재), 공정검사(설치), 시험평가(시운전) 단계로 나누어지는데, 이와 같은 공정 특성 때문에 고장확률, 고장 간격과 같은 지표는 현실적으로 적용하기 어렵다. 또한, 함정 건조를 위해 수많은 도급 납품업체들이 참여함에 따라 계약관계 및 해외 원제작사의 기술보안 등의 이유로 기존에 제시된

품질보증 방법론의 적용은 애로사항이 많은 실정이다.

이러한 한계로 인해 함정 위험식별 및 평가에 알맞은 효과적인 방법인 함정 표준위험도가 제시되었다. 함정 표준위험도는 품질보증업무 수행 중 발생한 품질문제의 데이터를 분석하여 개별 탑재 장비의 위험도를 표준화시킨 결과로 함정 품질보증 위험도 산정의 기준으로 삼게 되었다. 그러나, 함정 품질보증을 위한 진취적인 제안임에도 불구하고 함정 품질검사를 수행할 때 표면적으로 위험도가 낮은 것으로 인식되는 수락시험, 공정검사, 시험평가임에도 불구하고 탑재 장비의 위험도가 높게 분류되어있는 등 실제 품질보증 업무에 효과적으로 적용되지 않는 경우가 일부 발생하여 개선의 필요성을 체감했다. 이러한 이유로 본 논문에서는 기존 제시된 함정 표준위험도를 효과적으로 적용할 수 있도록 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 함정 표준위험도 개선

2.1 함정 표준위험도 산출

함정 표준위험도는 함정 탑재 장비 분류에 적용되는 기존 작업분할구조(WBS: Work Breakdown Structure)를 개선함으로써 하위요소까지 세부적으로 나타낸 확장형 함정작업분할구조(ESWBS: Expanded Ship Work Breakdown Structure)를 적용하여 개별 탑재 장비의 위험도를 세밀하게 나타낸다. 함정 표준위험도의 위험도 산출방식은 기존 위험식별 및 평가와 마찬가지로 위험 발생 가능성과 위험 영향을 1에서 5수준까지 구분하여 위험평가 매트릭스에 적용하여 도출된다.

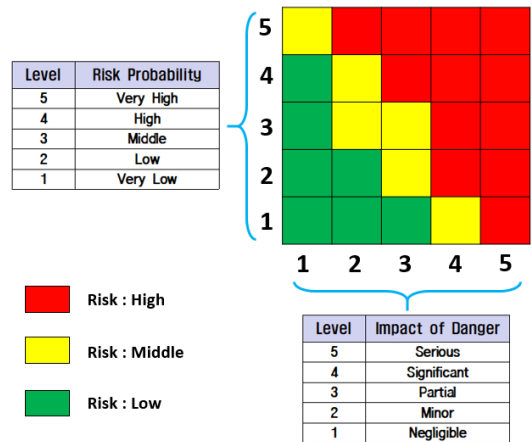


Fig. 1. Risk Assessment Matrix

위험 발생 가능성은 기존 방식에서 매우 낮음, 낮음, 보통, 높음, 매우 높음과 같이 모호한 기준으로 수준을 도출하였으나, 함정 표준위험도는 위험 발생 가능성을 평가하기 위해 품질보증 활동 시 식별된 품질문제 발생 건수를 고려하여 결정된다. 위험의 영향 또한 기존 방식에서는 영향 없음, 약간의 영향, 부분적 영향, 중대한 영향, 심각한 영향과 같이 정성적인 기준을 제시하여 품질보증 담당자는 위험식별 및 평가 업무를 수행하며 혼란을 겪는 상황이 발생된다. 함정 표준위험도에서는 위험 영향도 산출의 객관성을 부여하기 위해 군에서 결정된 ILS(Integrated Logistics Support) 개발등급 기준을 근거로 평가한다.

2.2 함정 표준위험도 분석

함정 표준위험도에 적용된 위험의 영향은 군에서 결정된 사항을 준용하므로 충분히 객관적이고 이견의 여지가 없을 것으로 판단된다. 위험 발생 가능성의 경우 품질문제 발생 건수를 근거로 산출되는데, 함정 탑재 장비의 품질 데이터 축적이 시작된 시점부터 현재까지 총 13년간의 데이터를 이용한다. 데이터를 분석한 결과 함정 표준위험도의 위험 발생 가능성 산정 방식은 다음과 같이 왜곡될 우려가 있는 것으로 확인된다. 첫째, 탑재 장비 납품 업체의 제조 기술과 품질관리 수준이 점차 향상되어 품질문제 발생 가능성이 줄어드는 결과로 위험 발생 가능성이 낮아짐을 고려하지 못하는 맹점이 있다. 품질보증 활동 중 품질문제가 식별·제기되면 시정조치 요구, 사용자불만 처리 등을 통해 해소하게 된다. 탑재 장비 납품 업체 및 체계업체의 관점에서는 발생원인분석, 조치계획 및 결과, 재발방지대책 등을 종합적으로 검토하여 문제를 해소할지라도 함정 표준위험도에서 위험 발생 가능성을 평가하는 방법은 13년간 축적된 데이터 전체에서 품질문제 발생횟수만을 고려하다 보니 과거의 품질문제 발생 건수로 인해 이전과 같이 높은 수준의 품질관리대상에 속해야 하는 불편함을 겪을 수 있다.

둘째, 동일한 장비를 납품하는 서로 다른 업체의 품질관리 수준을 고려하지 못하여 위험도 산출 시 왜곡된 결과가 도출될 수 있다. 함정 표준위험도의 위험 발생 가능성 산출방식을 적용하면, 품질관리수준이 우수한 납품업체가 다수일지라도 일부 업체가 품질관리수준이 나쁘다면 위험 발생 가능성은 높아질 수밖에 없는 방식이므로 위험도가 높아지는 편향된 결과가 발생할 가능성이 있다. 이로 인해, 품질 수준이 우수한 납품 업체에게는 불이익, 정부 품질보증을 수행하는 입장에서는 업무효율

이 저하되는 상황이 생길 수 있다.

Table 1. Determination of Risk Probability Based on Naval Vessel Standard Risk Severity Application

Equip. Name	Corp.	Vessel (Confidential)	Quality Issue	Risk Probability Level
GPS	A	○○○	21	5
	B	□□□	4	
	C	△△△	2	

2.3 함정 표준위험도 정교화

표준위험도를 정교화시키기 위해 품질경영시스템, 프로세스 검토 결과, 생산시설, 업력 및 실적 등 납품 업체의 품질 수준에 영향을 줄 수 있는 모든 요인을 고려하는 것이 가장 합리적인 결과를 도출해낼 수 있을 것으로 보인다. 그러나, 법규상 정부 품질보증 활동의 업무 범위와 품질보증기관의 권한을 비롯하여 물리적, 시간적 제약으로 인해 모든 요인을 고려할 수 없는 상황에서는 영향을 줄 수 있는 가장 지배적인 요인을 선택함으로써 함정 표준위험도 정교화를 위한 중요한 정보로 사용할 수 있다. 앞선 논의를 통해 실제 품질보증 업무에서 가장 큰 왜곡을 유발하는 요인인 탑재 장비 납품 업체의 품질 수준을 고려하여 함정 표준위험도를 개선하고자 한다.

Table 2. Contract Period Based on Vessel Type

Vessel Type (Confidential)	Contract Period (Year)
# 1	3.17
# 2	6.43
# 3	5.14
# 4	2.53
# 5	2.42
# 6	6.51
# 7	4.22
# 8	4.78
# 9	4.53
# 10	10.66
# 11	4.32

탑재 장비 납품 업체를 고려한 함정 표준위험도 정교화를 위해 품질문제 발생 이력 데이터와 개별 함정 탑재 장비의 납품 업체를 파악하였다. 대상 함정은 국방기술 품질원에서 정부 품질보증 활동을 수행한 해군의 주요 상륙함, 전투함, 고속함 등 11종의 함정을 확인하였다. 기존 표준위험도의 품질문제 발생 이력 데이터 수집 기

간은 13년이나, 함정 계약 기간 동안 품질문제 발생 및 조치를 통한 납품 업체의 기술, 품질 수준 향상을 고려하여 주요 함정 11종의 평균 계약 기간인 4.97년에 준하는 최근 5년을 데이터 수집 기간으로 정했다.

정부 품질보증 활동을 통해 획득할 수 있는 품질문제 데이터는 시정조치, 사용자불만(하자), 인도 후 수리(보증수리)가 있다. 시정조치는 건조 중 식별되는 계약품질 불일치 사항을 시정하기 위해 이루어지는 행위이며 사용자불만은 함정 인도 후 소요군에서 제기하는 품질문제로 이들 중 하자로 분류되는 경우는 계약요구조건과 불일치한 사항에 해당된다. 인도 후 수리(보증수리)의 경우는 사용자불만과 마찬가지로 소요군에서 제기하는 요구사항으로 인도 이후 보증기간인 1년 동안 조치되는 사항이다. 인도 후 수리의 경우, 함 운용 중 발생한 탑재 장비의 결함과 같은 고장 사항에 대한 수리가 이루어지기도 하나, 승조원 거주 시 불편을 제거하기 위한 단순 개선사항도 함께 제기되므로 개선 취지에 맞는 데이터의 질적 유효성을 위해 인도 후 수리를 제외한 데이터 1,489건에 대하여 분석이 이루어졌다.

수집된 개별 탑재 장비의 품질문제 발생 데이터를 이용하여 위험 발생 가능성을 산정할 수 있는 방법을 검토한 결과, 위험 발생 가능성 판정 지표는 정부 품질보증 활동 계획수립 시 보조자료로 활용되는 체크리스트를 준용함으로써 원 취지에 맞는 객관성을 부여하고자 한다. 체크리스트는 최근 3년을 기준으로 시정조치 발생횟수와 하자발생 건수에 따라 분류하도록 권고한다. 앞서 논의된 함정 건조 계약 기간을 고려해 5년간의 데이터를 분석한다는 조건을 기반으로 기존 체크리스트를 3년에서 5년으로 확장, 환산시켜 시정조치, 하자발생 건수 기준을 조정한다. 이러한 기준을 적용한 납품 업체별 탑재 장비에 대한 위험 발생 가능성을 도출한 뒤 산술평균하여 최종적으로 탑재 장비에 대한 표준위험도를 결정하되, 품질보증 업무 입장에서 품질 관리수준 향상을 위해 산술평균 후 소수점 올림 하여 Table 3과 같이 최종적으로 결정한다.

Table 3. Example of Applying Improved Probability of Risk Occurrence

Equip. Name	Corp.	Risk Probability Level	Risk Probability Level
Generator	A	4	3 (2.8)
	B	2	
	C	5	
	D	1	
	E	2	

3. 개선방안 적용

3.1 위험 발생 가능성 비교

함정 표준위험도(Existing Standard)와 탑재 장비 납품 업체 수준을 고려한 개선된 표준 위험위험도(New Standard)를 비교했다. 함 내 탑재되는 모든 장비에 대한 위험 발생 가능성을 산출하여 Fig. 2와 같이 나타내었다.

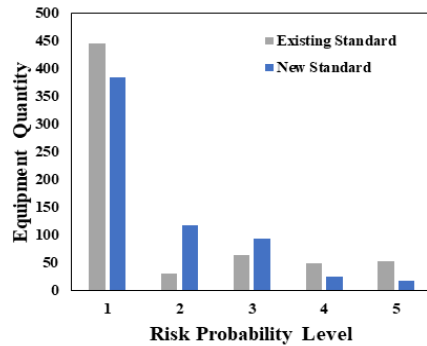


Fig. 2. Comparison of Item Counts Based on Risk Probability Levels through Improved Naval Vessel Standard Risk Severity

기존 함정 표준위험도 기준과 비교하면 위험 발생 가능성은 1수준(저수준)과 4, 5수준(고수준)의 품목 수가 줄어 들고 2, 3수준의 품목 수가 증가한 것으로 확인되었다. 4, 5수준의 품목에 대하여 품목 수가 줄어든 이유는 기존 표준위험도에서 품질문제 발생횟수를 근거로 하는 산출방식에서 우수한 품질관리 수준을 가진 업체와 품질관리 수준이 다소 미흡한 업체가 분리되어 과대 편향될 수 있는 성향이 제거됨으로써 이와 같은 결과가 나온 것으로 확인되었다. 1수준의 품목 수가 줄어든 것 또한 과대 편향될 수 있는 성향이 제거된 결과로, 품질이 우수한 업체가 다수이면서 일부 업체에서 품질관리 수준이 다소 미흡한 업체의 영향이 반영된 것으로, 하나의 탑재 장비를 여러 납품 업체로 나누어서 나누는 뒤 위험 발생 가능성을 평균값으로 환산하는 과정에서 수준이 상향된 것으로 확인된다.

3.2 탑재 장비 그룹별 위험 발생 가능성 비교

함정 표준위험도의 위험 발생 가능성과 개선된 방법을 적용한 위험 발생 가능성에 따른 탑재 장비 품목 수를 그룹별로 구분하여 Fig. 3과 같이 비교하였다. 앞서 비교한 바와 같이 편향된 결과가 제거됨으로써 1수준과 4, 5수준에 해당하는 품목 수는 줄어드는 경향이 확인되었다.

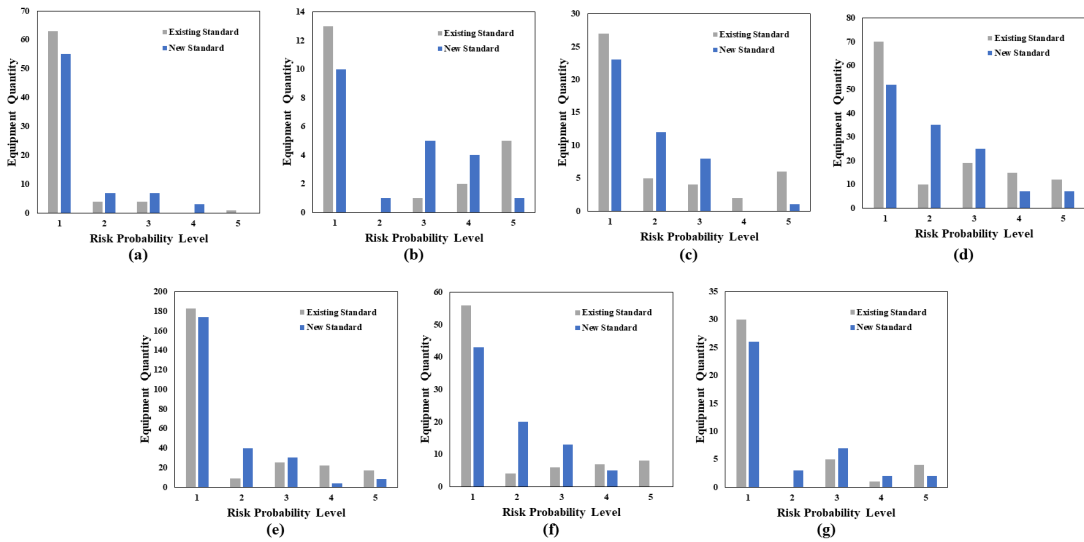


Fig. 3. Comparison of Item Counts Based on Risk Levels through Improved Standard Risk Severity for Naval Vessel Payload Equipment Groups

(a) Hull Structure (b) Machinery Performance (c) Electric Plant (d) Electronics (e) Auxiliary (f) Hull Fitting (g) Weapon Performance

다만, 추진 그룹(b)과 무장 그룹(g)의 경우, 2수준에 한하여 이러한 경향이 불일치되는 현상이 나타난다. 이는 그룹별 특성에 따른 결과로 확인된다. 추진 그룹의 경우 납품 업체 간 품질관리수준 편차가 큰 이유로 위험 발생 가능성을 평균치로 환산함으로써 크게 하향된 결과가 나타나나, 기존 함정 표준위험도에서 고수준 항목 비율이 가장 높은 그룹이었기 때문에 2 수준 항목의 증가로 이어지지 않은 것으로 보인다. 무장 그룹의 경우 장비의 특수성으로 인해 납품 업체가 제한됨에 따라 업체의 독과점 영향이 반영된 이유로 확인된다. 이러한 영향으로 업체

수준을 고려한 위험 발생 가능성이 크게 바뀌진 않아 4, 5수준에 해당하는 품목 수는 거의 유사하다. 기존 경향을 따라가되, 1 수준에서 낮아진 품목들이 2 수준으로 편입되어 이와 같은 결과가 나타난 것으로 보인다.

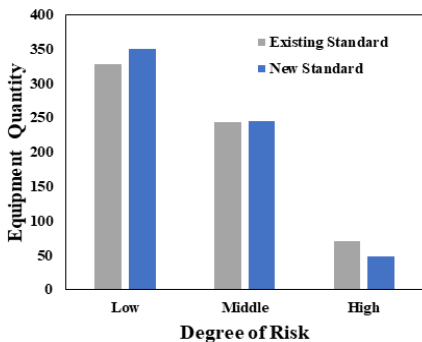


Fig. 4. Comparison of Degree of Risk for Naval Vessel Payload Equipment through Improved Standard Risk Severity

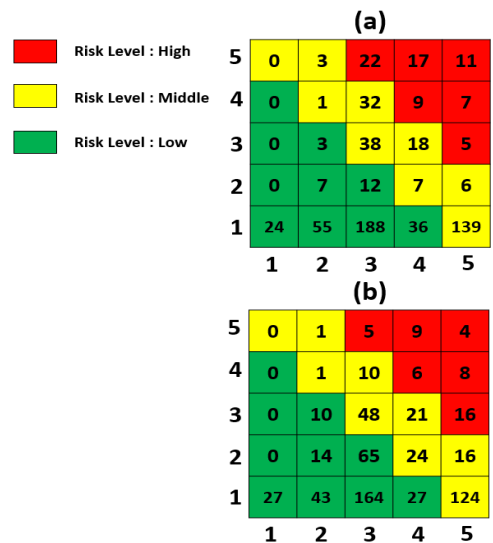


Fig. 5. Comparison of Risk Matrix and Item Counts through Improved Standard Risk Severity (a) Existing Standard (b) New Standard

3.3 위험도 비교

합정 표준위험도의 개선을 통해 위험도에 따른 탑재 장비 수의 변화를 Fig. 4와 같이 확인하였다. 개선된 합정 표준위험도를 적용할 경우 4, 5수준의 위험 발생 가능성이 줄어들어 따라 고위험 품목 수 또한 줄어든 것을 확인했으나, 1수준의 위험 발생 가능성이 줄어들었음에도 저위험 품목 수는 증가하였다. 이는 1수준 품목이 줄어들던 만큼 2수준의 품목 수가 증가한 영향으로 확인된다. 저위험이 되기 위해서는 위험등급 평가 매트릭스에 따라 위험 발생 가능성과 위험의 영향 수준을 합한 값이 5 이하가 되어야 하는데 특히, Fig. 5와 같이 위험 발생 가능성이 2수준에 해당할지라도 위험의 영향 수준이 3에 해당하는 품목 수가 증가한 결과로 이와 같은 결론이 도출되었다.

4. 결론

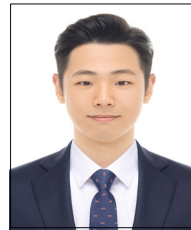
기존 합정 표준위험도에 따른 위험 발생 가능성 산출 방식은 품질문제 발생횟수만을 고려했기 때문에 품질관리수준이 우수한 납품 업체가 다수일지라도 일부 업체가 품질관리수준이 나쁘다면 위험 발생 가능성은 커질 수밖에 없는 산출방식이므로 고위험으로 편향된 결과가 발생할 수 있으며 반대의 경우 또한 저위험으로 편향될 수 있음을 확인하였다. 이렇듯 납품 업체를 고려한 위험 발생 가능성 산정의 경우 품질관리수준이 나쁜 업체가 있음에도 타 업체가 품질관리 수준이 우수하다면 평균으로 보정되어 해당 탑재 장비의 표준위험도는 낮게 산출된다. 이와 같은 방식은 자칫 하나의 업체가 탑재 장비의 표준위험도를 결정하는 방식이었으나, 개선된 표준위험도 적용을 통해 기존 문제점을 탈피하여 합리적인 위험도 산출 방안을 제시하였다. 납품 업체를 고려한 접근방법은 합정 무기체계뿐만 아니라 타 무기체계 사업에도 충분히 확장시켜 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 합정을 비롯한 체계종합사업은 수많은 탑재 장비로 인해 상세한 표준위험도를 산출하는데 제한이 있겠으나, 타 무기체계의 경우 원자재, 부품 단위까지 이와 같은 방식을 적용한다면 고수준의 품질과 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 본 논문에서 제시한 개선된 방법론은 아직 실제 품질보증 업무 적용되지 않아 현 상황에서는 기존 품질보증 방법론과의 비교는 제한된다. 추후 본 방법론을 적용하여 타당성을 확인한 뒤 타 무기체계 품질보증 활동 반영을 위한 확장된 연구를 수행하고자 한다.

References

- [1] Defense Agency for Technology and Quality, Basic Regulations for Defense Product Quality Management, Regulation, Policy Planning Office, Korea, pp.2-6
- [2] C. H. Lee, K. W. Yang, D. I. Park, I. L. Lee, J. S. Kwon, I. H. Choe, S. B. Kim, "A Study on the Risk Identification Methods for Initial and Mass Production Stage of Military Products Using FMEA", *Journal of Korean Society for Quality Management*, Vol. 42, No.3, pp.311-324, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2014.42.3.311>
- [3] Y. T. Jung, Y. H. Ham, T. J. Roh, M. K. Ahn, K. W. Ko, "A study on the quantitative risk grade assessment of initial mass production for weapon systems", *Journal of Korean Society for Quality Management*, Vol. 46, No. 3, pp. 441-452, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2018.46.3.441>

오 현 석(Hyun Suk Oh)

[정회원]



- 2020년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학 석사)
- 2020년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

수상함, 금속재료, 추진체계

곽 상 열(Sang Yell Gwak)

[정회원]



- 2017년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학 석사)
- 2017년 2월 ~ 2018년 12월 : 국방과학연구소 연구원
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

수상함, 전자통신