

해양전투체계 고신뢰성 제품 개발을 위한 개선된 FMEA 적용법

박건상*, 김재윤, 김동규, 이성진
한화시스템 해양연구소

Improved FMEA Method for High Reliability Product Development of Naval Combat System

Gun-Sang Park*, Jae-Yun Kim, Dong-Gyu Kim, Sung-Jin Lee
Naval R&D Center, Hanwha Systems

요약 방위산업분야의 제품 개발은 도메인별 다수의 특성이 있다. 하지만 고신뢰성의 제품을 개발해야 한다는 관점에서
는 동일하다. 이러한 고신뢰성 제품 개발을 위해 사용되는 방법 중 하나가 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA
: Failure Mode and Effect Analysis, 이하 FMEA) 이다. 하지만 FMEA는 사람이 작성하기 때문에 사전고장 예방률을
저하시키는 한계점이 존재하여 이를 개선하기 위해 연구를 진행하였다. 본 논문에서는 해양전투체계 제품 개발 분야의
13개의 사업을 대상으로 연구를 수행하였다. 9개의 사업은 과거 또는 진행 중인 사업이므로 FMEA DB 를 축적하는데
활용하였고 2개의 사업은 기존의 FMEA 양식을 활용하여 1차 적용을 수행하였으나 사전고장 예방률을 저하시키는 한계
점을 식별하였고 이를 3가지 측면에서 FMEA 양식을 개선하여 나머지 2개 사업에 적용해본 결과 실질적인 사전고장
예방률을 개선하는 효과를 얻게 되었다.

Abstract The product development of the defense industry field has many properties in each
development domain. On the other hand, developing high-reliability items is the main target. One of the
methods used to develop such highly reliable products is Failure Mode and Effect Analysis (FMEA: Failure
Mode and Effect Analysis). Nevertheless, there are limitations to reducing the fault prevention rate
because FMEA is written by humans. This paper reports a method to improve it. This study examined
13 projects in the naval combat system product development field. Nine projects were used to
accumulate FMEA DB because they were in the past or in progress. Two projects were used to apply
the conventional FMEA form. The limitations to reducing the fault prevention rate were determined. The
improved FMEA form was applied in three aspects to the remaining two projects to solve this problem.
Hence, an improved practical fault prevention rate was obtained.

Keywords : FMEA, Naval Combat System, Item Reliability, MIL-STD-1629A, Defense Industry

1. 서론

방위산업분야에서 제품 개발 시 육상, 해양, 항공 등
도메인별 특성을 고려해야 한다. 하지만 큰 틀에서 신뢰
성 있는 제품을 개발해야 한다는 관점은 동일하다. 여기
서 말하는 신뢰성 있는 제품이란 실제 투입되는 전장환

경에서 개발된 제품이 운용지속성을 확보할 수 있도록
고장률이 없거나 혹은 최소화 되어있어야 하며 내환경성
을 충분히 갖추거나 고객의 요구사항을 정확히 반영한
제품을 말한다. 하지만, 최근에는 제품군별 적용되는 기
술이 진화되고 고객의 눈높이도 증가됨에 따라 하드웨어
및 소프트웨어 모든 측면에서 구조가 복잡해지는 사례가

*Corresponding Author : Gun-Sang Park(Hanwha Systems)

email: gunsang.park@hanwha.com

Received January 18, 2024

Accepted April 5, 2024

Revised February 14, 2024

Published April 30, 2024

늘어나고 있고 그 결과 제품의 안정성, 정비성, 다양한 설계 요구사항 등이 적용되면서 신규로 식별되는 고장 요소가 발생하는 경우가 늘어났다. 또한, 이력 관리도 절차화가 되어있지 않거나 개발자의 성향에 따라 잘 되지 않는 경우도 존재하면 향후 유사체계 개발 시에도 잠재된 문제를 사전 예방하지 못하고 적용되는 경우, 양산단계에서도 동일한 문제로 재발하는 경우 등 불필요한 유지보수 비용 증가와 더불어 전반적인 제품 품질에 악영향을 초래하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 관점에서 고신뢰성 제품 개발을 위한 도구인 FMEA [1,2]를 활용하여 해양전투체계 제품 개발 분야의 특성에 맞게 품질 개선을 위한 연구를 하고자 하였다. 본 연구를 위해 총 13개의 해양전투체계 사업을 대상으로 수행하였으며 과거 DB 추적, 신규 DB 작성, 신규 개발 1차 적용 (기존 FMEA 양식), 신규 개발 2차 적용 (개선된 FMEA 양식) 순으로 4단계로 구분하여 진행하였다. 단계별 구분을 한 이유는 결국에는 FMEA는 개발자의 성향, 개발역량, FMEA 작성 및 활용에 대한 이해도 등 편차가 크기 때문에 이를 과거 DB 추적, 신규 DB 작성을 통해 이러한 편차를 평준화하고 기반 자료를 확보하기 위한 기반 구축 단계이며 본 논문의 목적인 기존의 FMEA 양식의 한계점과 이를 극복하기 위한 개선된 FMEA 양식을 제안하였고 이를 신규 개발 1차와 2차에 비교 적용을 통해 효과성 개선 여부를 연구하고자 한다.

2. 본론

2.1 이론적 배경

FMEA는 제품 개발과 공정 간 발생 가능한 문제점을 사전에 식별하고 위험도 평가를 통해서 이를 사전에 예방 가능한 도구이다. 기본적으로 FMEA의 역사는 1950년도에 복잡한 부품과 이를 조합한 시스템인 제트기 등 항공 분야에 도입되어 신뢰성을 높이는 제품 개발 및 제작에 활용되었으며 1960년도에는 항공우주 분야에 신뢰성 및 안정성을 평가하는 용도로 활용되어왔다. 이후 미국국방부에서는 1974년 FMEA 관련 규격을 MIL-STD-1629A으로 제정하여 방산 제품 개발 및 제작 시 신뢰성을 향상시키는 도구로 본격적으로 활용되어왔다. 또한 이후에는 자동차 개발 및 제조 분야 등 민수사업, 방산 분야에서도 사용되어오면서 복잡한 시스템의 제품의 신뢰성을 확보하기 위한 용도로 활용되어 효과성이 입증되어왔다. 그리고 이러한 FMEA는 Design-FMEA (D-FMEA

: Design - FMEA, 이하 D-FMEA) [3]와 Poces-FMEA (P-FMEA : Process - FMEA, 이하 P-FMEA) 로 크게 2가지로 구분된다. D-FMEA는 개발 간 사전 고장 예방을 위함이며 P-FMEA는 공공간 사전 고장 예방을 위함이다. 본 논문에서는 해양전투체계 도메인의 제품 개발의 신뢰성 향상을 위한 목적이므로 Fig. 1과 같이 해양전투체계 사업 전체 개발 일정 중 계약 부터 납품 시점까지를 D-FMEA 범위로 할당하여 적용하고자 한다.

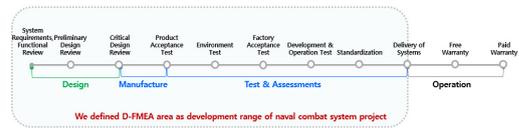


Fig. 1. D-FMEA range in development procedure of naval combat system products

D-FMEA 양식에서 정량적인 데이터는 심각도, 발생도, 검출도에만 표현이 가능하며 나머지는 정성적인 데이터가 기입되게 된다. 여기서 말하는 정성적인 데이터는 개발자별로 성향과 개발역량 등에 따라 잘못된 정보 또는 부족한 정보 등이 작성되어 오히려 FMEA 적용 시 효과성 저하를 초래하게 되는 한계점이 되는데 이를 본 논문에서 기존 FMEA 양식을 실제 사업에 적용해보면서 분석해보고 및 개선사항을 제시하고자 한다.

2.2 FMEA 세부 항목

FMEA 세부 항목은 심각도, 발생도, 검출도로 구분하여 각 요소별 분석이 가능하고 해당 정보를 종합하여 조치 결과 및 심각도, 발생도, 검출도 수치 재산출하여 개선된 요소와 부족한 부분을 쉽게 판단할 수 있다. 세부적으로 기존의 FMEA 양식은 다음과 같이 표현된다. 먼저 심각도 그룹은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 구분은 자료 관리를 위한 순번을 의미하고 부품 명은 부품 명, 기능, 부품에 대한 요구사항을 기입 한다. 고장모드는 해당 부품의 고장을 기술하고 고장효과는 이러한 고장으로 발생 가능한 잠재적 영향을 기술하는 것인데 단품 측면, 부품이 조립된 제품을 사용하는 사용자 측면, 부품이 조립된 제품의 연동되는 시스템 측면 등 다양한 측면과 범위에서 영향을 판단하고 기술 한다. 이를 토대로 심각도를 1 (심각도 최저)~10(심각도 최고)을 기입 한다. 그리고 분류는 심각도 8 이상이 되는 경우 체크 한다. 즉, 발생도와 검출도와 상관없이 심각도가 8 이상이면 중점 관리 및 조치가 필요한 항목으로 분류하여 품질을 관리하기

위함이다. 결국 고장모드가 정상적으로 분석되지 않는 경우 심각도의 수치의 신뢰도와 근거가 부족하게 되고 주관적인 정보를 토대로 수치가 산출되다 보니 개발자의 수준과 성향, 개발역량 등에 영향을 많이 받는다.

Sort	Product	Fault mode	Effects of failure	Severity Level	Classification
------	---------	------------	--------------------	----------------	----------------

Fig. 2. severity group in conventional FMEA form

발생도 그룹은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 고장원인과 발생도 까지를 의미 한다. 고장원인은 심각도 그룹에서 기술된 고장형태의 발생 원인을 작성하고 발생도는 기술된 발생 원인으로 고장형태가 얼마나 자주 발생하는지 정량적으로 표현하는 항목이며 1(발생률 낮음) ~ 10(발생률 높음)을 기입 한다. 고장원인도 개발자의 수준과 성향, 개발역량 등에 영향을 받는다.

Cause of Failure	Occurrence Level	Current Design Management		Detection Level	RPN
		Prevention	Detection		

Fig. 3. occurrence, detection group in conventional FMEA form

검출도 그룹 Fig. 3에서 보는 바와 같이 현 설계 관리부터 검출도 까지를 의미 한다. 현 설계 관리란 현재 공정상에서 해당 문제를 공식적으로 검출할 수 있는 포인트가 얼마나 있는지를 작성하는 것이며 예방하기 위해 수립해놓은 포인트, 실제 검출된 포인트를 기술 한다. 보통 활용하는 분야에 따라 종합하여 작성이 되는 부분이다. 그리고 해당 정보를 통해 검출도를 1(검출률 높음) ~ 10(검출률 낮음)을 기입 한다. 결국 현 설계 관리 부분도 개발자의 작성 수준의 영향이 크며 이상적인 경우, 실제 고장이 검출된 포인트도 확인하고 어려운 점이 있다. 마지막으로 심각도, 발생도, 검출도 각 요소별로 고장에 대해 분석한 결과를 토대로 Risk Priority Number (RPN : Risk Priority, 이하 RPN)을 산출 한다. 이는 심각도, 발생도, 검출도를 모두 곱한 값이 된다. 이 결과 값이 100 이상일 경우 Fig. 2의 분류에 체크하여 중점 관리 및 조치가 필요한 대상으로 식별 한다.

Recommended Action	Responsibility & Target Completion Data	Action Result			
		Detail of Action	Severity Level	Occurrence Level	Detection Level

Fig. 4. action plan and result in conventional FMEA form

Fig. 4에서는 Fig. 2과 3에서 분석한 결과를 토대로 후속 조치방안을 수립하고 계획된 일정에 맞게 조치 및 RPN을 재산출하여 각 요소별 개선 정도를 평가 한다. 세 부적으로 보면 권고 조치사항과 책임 및 목표 완료 예정일에 기입 하여 조치계획을 수립하고 조치 한 결과를 작성해야 한다. 이 조치 결과의 세부항목에서는 실제 조치 내용과 그 결과를 토대로 심각도, 발생도, 검출도, RPN을 재산출하여 어느 요소가 개선되었는지 조치는 적절했는지 등 개발자 및 활용하는 사람으로 하여금 추가적인 동료검토 및 사전고장예방이 될 수 있도록 활용될 수 있는 형태이다. 이러한 자료는 작성 및 조치가 완료되었다고 하여 끝난 것이 아니다. 본인이 분석한 것의 오류가 있을 수도 있고 표면에 드러나지 않은 문제점도 추후 나올 수 있기에 지속적인 이력 관리와 살아있는 자료로써 활용해야 한다.

2.3 기존 FMEA의 한계점

2.2 FMEA 세부 항목에서 분석한 것과 같이 이상적으로 활용 시 기존의 FMEA 양식도 제품의 신뢰성을 강화하는 측면에서 큰 역할을 하지만 개발자의 수준에 영향을 많이 받는 부분에서 활용성 저하를 초래하는 한계점이 되기에 정확하게 식별하여 이를 개선해보고자 한다. 먼저 심각도, 발생도, 검출도, RPN과 같은 정량적인 데이터도 개발자가 직접 작성하기에 주관적이라고 볼 수 있는 부분도 있다. 하지만, 항목별 1~10까지의 수치로 간략하게 표현할 수 있기 때문에 해당 자료를 활용하는 사람의 측면에서도 내용을 이해하는데 혼선의 여지가 적다. 하지만 이외의 항목은 서술식의 정성적인 데이터로 표현됨에 따라 작성자의 지식, 개발역량, 개발 장비를 대하는 자세 등에 의해 작성수준이 다양 하다보니, 부족하거나 잘못된 정보가 작성되는 경우가 발생하고 실제로 활용하는 사람은 이해하는데 많은 시간이 소요되거나, 내용을 오해석하여 조치의 오류가 발생하거나, 정작 필요한 정보가 없어 차후에는 활용을 시도도 하지 않는 상황도 존재하게 된다. 실제 사업에서 기존 FMEA 양식을 적용해본 결과를 바탕으로 Fig. 5~8 예제로 유사하게 묘사하여 이러한 한계점을 쉽게 이해해보고자 한다. Fig. 5는 심각도 그룹에 데이터를 작성한 예제이며 CASE 1, 2는 부족한 정보 CASE 3 는 상대적으로 정확한 정보라고 볼 수 있다. 두 가지만 비교해봐도 이미 같은 고장인데도 불구하고 다양한 분석과 표현이 가능하다는 것을 쉽게 인지할 수 있다. CASE 1, 2만 보서는 해당 고장으로 인해 발생 되는 영향성에 대해 제한적인 정보만 있고 그에 따

라 심각도가 제대로 분석된 것인지 의문을 유발 시킨다.

	Fault mode	Effects of failure	Severity Level
CASE 1	Damaged input area circuit of PCB	1. Cannot operate PCB	2
CASE 2	Damaged input area circuit of PCB	1. Cannot operate "A" product applied PCB	8
CASE 3	Damaged input area circuit of PCB	1. Cannot operated "A" product applied PCB 2. Can operate combat system (reason : we applied two "A" product in combat system in order to operate continuously although one of the "A" products is fault) 3. The safety of the operator is not a problem (reason : safety ground and insulation design are applied in the periphery associated with PCB)	5

Fig. 5. example of written severity group data in FMEA form

Fig. 6은 발생도 그룹에 데이터를 작성한 예제이며 CASE 1, 2는 원인분석 부족 및 오해석을 유발하는 정보 CASE 3은 근본적인 원인을 분석하고자 시도한 정보이다. CASE 1, 2 와 같이 원인분석이 잘못된다면 발생도 수치를 분석하는 것이 의미가 없는 경우가 발생 한다. Fig. 7은 검출도 그룹에 데이터를 작성한 예제이며 CASE 1, 2은 검출 포인트를 어떻게 개선해야하는지 판단하기 어려운 정보이며 CASE 3는 해당 고장에 대해 현재 설계 및 공정 관리 포인트가 무엇인지 확인이 가능하고 그 중 어느 포인트에서 고장이 식별되었는지 확인이 된다.

다만 이상적으로 해당 고장이 검출되어야 하는 포인트와 실제 고장이 검출된 포인트에 대한 정보는 부족하다. 이 정보가 필요한 이유는 검출 포인트를 추가해야 할지 검출 포인트는 충분하나 왜 이 검출 포인트가 제 기능을 하지 못했는지 기준과 절차를 보강해야 하는지 등을 고민할 수 있기 때문이다.

	Cause of Failure	Occurrence Level
CASE 1	1. Damaged pattern in PCB due to wrong manufacture	1
CASE 2	1. Not manufacture In compliance with CAD drawing	1
CASE 3	1. Not manufacture In compliance with CAD drawing 2. Error occurred when revising the PCB Artwork (Additionally, need to add peer review point before damaged PCB pattern)	1

Fig. 6. example of written occurrence group data in conventional FMEA form

	Current Design Management	Detection Level
CASE 1	1. Can be checked during test	1
CASE 2	1. Can be checked during unit(PCB level) test	1
CASE 3	1. Preliminary/Critical Design Review 2. Artwork design review (check from here when revising Artwork) 3. Review the PCB certification 4. Unit test of PBA or Associated Assemble level 5. Acceptance test 6. Hardware qualification test	2

Fig. 7. example of written detection group data in conventional FMEA form

Recommended Action	Responsibility & Target Completion Date	Action Result			
		Detail of Action	Severity Level	Occurrence Level	Detection Level
CASE 1 1. Change the new PCB	24.05.01	1. Change the new PCB - complete	2	1	1
CASE 2 1. Change the new PCB and revise the Artwork	24.05.01	1. Change the new PCB and revise the Artwork - Complete	8	1	1
CASE 3 1. Change the new PCB (Check PCB and drawing matching) (Check the functional test) 2. Revise the Artwork 3. Review the PCB certification with associated division - Outourcing development : educate outsourcing company's related division - Self-development : educate our company's related division	24.05.01 The person in charge name	1. Change the new PCB (Check PCB and drawing matching) (Check the functional test) 2. Revise the Artwork	5	1	1

Fig. 8. example of written results data in conventional FMEA form

Fig. 8은 조치 계획 및 결과를 작성한 예제이다. Fig. 5~7 진행 간 CASE 1, 2와 같이 부족하거나 잘못된 분석을 하게 되면 이를 토대로 부족하거나 잘못된 조치 계획과 이를 반영하는 상황을 초래하게 됨을 보여준다. 결국에는 이러한 자료가 많거나 반복적으로 접하게 되면 품질 개선 도구의 활용률 저하가 발생하고 당연히 제품 품질 문제로 직결되게 된다. CASE 3도 상대적으로 구체적으로 분석되었으나 권고 조치사항 대비 일부 조치하지 않은 부분에 대해서는 어떤 사유에 의해 하지 않았는지 확인이 되기에는 한계가 있다. 요약해보자면, Fig. 5~8에서 분석한 결과를 통해서 기대효과를 저하 시키는 주요 한계점을 확인할 수 있었으며 이를 해결하기 위해 3가지의 개선 포인트를 식별하였다. 첫번째는 RPN에 영향을 주는 정성적인 데이터의 객관성 강화되도록 구조 개선, 두번째는 권고조치사항과 조치내용을 심각도, 발생도, 검출도 각 요소별 1:1 매핑 구조로 개선, 세번째는 현 설계/공정 관리에서 해당 고장이 이상적으로 검출되어야 할 포인트와 실제 검출한 포인트 동시 식별 가능한 구조로 개선하게 되면 활용성과 기대효과가 개선될 것으로 판단하여 이를 반영한 개선된 FMEA 양식을 제안하고자 한다.

2.4 개선된 FMEA 양식

첫번째 개선 요소는 심각도, 발생도, 검출도에 영향을 주는 데이터의 객관성을 강화한다는 의미는 작성되는 내용의 자유도는 보장하되 수치의 근거를 확보할 수 있는 양식으로 개선한다는 의미이다.

Fig. 9 와 같이 심각도, 발생도, 검출도의 수치를 결정하는 내용 말단에 요소별 “결정요소 및 수치” 를 요구하는 양식으로 개정함에 따라 수치에 대한 근거를 작성하고 고민하면서 본인이 분석한 자료의 신뢰성을 강화하는 작업을 자발적으로 수행할 수 있게 유도하였다. 잠재적 영향이 다수일 경우에는 그 중 가장 높은 값이 수치에 반영되도록 개선하였다. 두번째 개선 요소는 Fig. 10 과 같이 단순히 서술식으로 작성된 권고 조치사항과 조치내용만 보는 경우 단일 또는 복수 개의 조치사항이 내용별로 심각도, 발생도, 검출도 측면에서 어느 요소의 개선을 위해 수행하는지 확인이 어려운 점, 권고 조치사항과 조치내용이 다를 경우 불일치 및 누락 된 사유가 부재인 점을 해결하기 위함이다. 결국 이러한 문제는 개발자 역시 완벽하게 조치한 것인지 의문을 가지는 경우가 존재하게 됨을 확인하였다. 따라서, 심각도, 발생도, 검출도 “각 요소별 권고 조치사항과 조치내용 별도 분석 및 수치” 를 작성하는 것으로 개정하였으며 “권고 조치사항과 조치내용 간 내용 불일치 시 건별로 불일치 및 누락 사유”를 작성하여 근거를 확보하는 방식을 적용하였다. 이를 통해 조치 결과의 직관성 향상, 권고 조치사항 대비 조치 결과 불일치 여부 파악 용이, 내용 불일치 및 누락 근거 명확화 가능하여 개발자 및 활용하는 사람 측면에서 신뢰성 있는 정보 제공이 가능하고 누락되는 사전고장예방 설계 적용이 없도록 하는 효과를 향상 시킬 수 있다고 판단하였다.

마지막 세번째 개선 요소는 Fig. 11 과 같이 “이상적/실제 검출 포인트 구분 식별”을 통해 검출포인트 부족으로 인해 포인트 추가 여부 또는 검출 포인트는 충분하나 절차 및 기준, 교육 등을 개선해야하는지 명확히 할 수 있다. 이를 종합하여 개선된 FMEA 양식을 통해 신규 사업의 제품 개발 시 제품 품질 개선여부를 확인할 수 있었다.

Fault mode	Effects of failure	Severity Level
Damaged input area circuit of PCB	1. Cannot operate "A" product applied PCB 2. Can operate combat system (reason : we applied two "A" product in combat system in order to operate continuously although one of the "A" products is fault) 3. The safety of the operator is not a problem (reason : Safety ground and insulation design are applied in the periphery associated with PCB) [Severity Determinants] 1. Cannot operate "A" product (Severity Level : 5) 2. Can operate combat system (Severity Level : 2) (combat system consist of two "A" product) 3. Safety of the operator is no problem (Severity Level : 1)	5
	Cause of Failure	Occurrence Level
	1. Not manufacture in compliance with CAD drawing 2. Error occurred when revising the PCB Artwork (Additionally, need to add peer review point before damaged PCB pattern) [Occurrence Determinants] 1. Error occurred when revising the PCB Artwork (Occurrence Level : 2) (Need to add detection point)	2
	Current Design Management	Detection Level
	1. Preliminary/Critical Design Review 2. Artwork design review (check from here when revising Artwork) 3. Review the PCB certification 4. Unit test of PBA or Associated Assemble level 5. Acceptance test 6. Hardware qualification test [Detection Determinants] 1. Missing the detection action at the artwork design review, pcb certification review (Detection Level : 2)	2

Fig. 9. Improved factor - 1 in improved FMEA form

Recommended Action	Responsibility & Target Completion Data	Action Result				
		Detail of Action				
		S	O	D	R	P
[Severity Aspect : 5 - 3] - Add protection circuit in power input module of PCB in order to prevent same issue [Occurrence Aspect : 2 - 1] - Change the new PCB - Review Artwork and perform the peer review - Review the certification of the repaired PCB and perform the functional test [Detection Aspect : 2 - 1] - Improve quality process about PCB acceptance (required data : within a week after receive the PCB certification) - Outsourcing Development : educate outsourcing company's associated division - Self Development : educate our company's associated division	24.DX.01 The person in charge name					
[Severity Aspect : 5 - 3] - Holding (reason : designed the redundancy system as two "A" products) [Occurrence Aspect : 2 - 1] - Change the new PCB - Review Artwork and perform the peer review - Review the certification of the repaired PCB and perform the functional test [Detection Aspect : 2 - 1] - Improve quality process about PCB acceptance (required data : within a week after receive the PCB certification) - Outsourcing Development : educate outsourcing company's associated division - Self Development : educate our company's associated division		5	1	1	5	

Fig. 10. Improved factor - 2 in improved FMEA form

Current Design Management	Detection Level
1. Preliminary/Critical Design Review 2. Artwork design review (check from here when revising Artwork) - ideal detection point 3. Review the PCB certification 4. Unit test of PBA or Associated Assemble level - practical detection point 5. Acceptance test 6. Hardware qualification test	2

Fig. 11. Improved factor - 3 in improved FMEA form

2.5 개선된 FMEA의 단계적 적용 및 결과

기본적으로 FMEA 효과성을 검증하기 위해서는 기반이 없는 환경에서는 즉시 적용을 통해 온전한 기대효과를 얻기는 어렵다. 따라서, 계획수립 → 기반구축 → 설계적용 개념으로 진행이 필요하다[4,5].

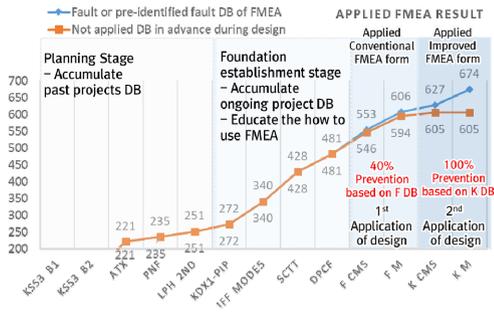


Fig. 12. Improved FMEA effectiveness analysis results in terms of naval combat system item development

개선된 FMEA를 최종적으로 적용하기 위해 활용된 사업은 총 13개이며 세부적으로 4단계로 구분을 해본다면 계획수립, 기반구축, 1차 설계 적용, 2차 설계 적용이 되고 각각 5개, 4개, 2개, 2개 사업을 할당하여 진행하였다. Fig. 12과 같이 계획수립단계에서는 해양전투체계 특성이 반영된 제품의 개발 및 제작 노하우가 DB화 되어야 한다는 관점에서 과거사업 사전 고장예방이 필요한 항목을 DB화 하였으며 기반 구축 단계에서는 진행사업에 대해 DB화 및 실제 FMEA 활용법 교육을 통해 FMEA 활용성을 증대시키고자 했다. 본격적으로 1차 설계 적용단계에서는 기반 구축 단계까지 확보된 DB를 활용하여 신규 사업에서 개발할 제품에 대해 사전 고장 예방 항목을 DB화 하고 설계에 반영할 수 있도록 기존 FMEA 양식으로 수행하였으나 약 40% 수준의 설계 반영 및 사전 고장 예방을 달성하였다. 하지만 제대로 반영되지 않고 누락되는 부분이 다수가 존재하였고 어떤 요소가 이러한 효과성 측면에서 문제가 되는지 확인해본 결과 본 논문에서 제시된 한계점으로 인해 활용성의 한계가 있음을 확인하였다. 이후 제안된 개선된 FMEA 양식을 활용한 2차 설계 적용단계에서는 개발자 신규 DB 작성 수준 상향평준화, 자료의 근거와 객관성 강화, 제품개발에 대한 인식 등이 개선되어 사전식별된 DB가 전체 설계에 반영되는 효과를 얻게 되었다.

Table 1. Raw data of Improved FMEA effectiveness analysis results each project

Project Name	DB Quantity	Prevention Quantity	Prevention Rate (%)
KOO B1	90	Accumulate past project DB	-
KOO B2	36		-
AOO	95		-
POO	14		-
LOO 2nd	16		-
KOO-PIP	21	Accumulate ongoing project DB	-
IOO	68		-
SOO	88		-
DOOO	53		-
F CMS (F DB)	72		28
F M (F DB)	53	21	39.6%
K CMS (K DB)	21	21	100%
K M (K DB)	47	47	100%

추가적으로 Fig. 12에서 개선된 FMEA 양식의 효과성 분석을 위한 근거자료는 Table 1 이다. 실질적으로 2차 설계단계에서 개선된 수치가 의미하는 바는 FMEA 특성상 작성의 자유도가 있는 양식이지만 객관성 강화, 근거 확보, 직관성 개선이 없으면 활용도에 한계가 있음을 사업에 실제 적용해보며 비교 분석하고 개선해보는 사례가 되었다.

3. 결론

본 논문에서는 방위산업분야에 해양전투체계 제품 개발의 신뢰성을 향상시키고자 하는 방법 중 FMEA를 선정하여 해당 도메인 특성을 고려하여 최적화된 기준을 수립하기 위해 기존의 FMEA 양식의 한계점을 식별하고 이를 극복하고자 개선된 FMEA 양식을 제안하게 되었다. 이러한 일련의 과정은 실제 해양전투체계 사업 13개 대상으로 단계적 적용을 통해 제품의 신뢰성을 향상시키는 데 있어 FMEA의 효과와 개선된 FMEA 양식이 필요한 사유에 대해서 확인 할 수 있었다. 근본적으로 기대효과가 개선될 수 있었던 이유는 개선된 FMEA 양식이 객관성 강화, 근거 명확화, 조치결과의 직관성 개선을 개발자로 하여금 요구함에 따라 자발적으로 개발자의 지식수준, 개발역량, 인식 등이 상향평준화를 유도하였기에 효과성이 개선될 수 있었다고 판단 한다. 향후에도 단발성이 아닌 지속적으로 개선된 FMEA 양식을 활용하여 고신

뢰성 제품이 개발될 수 있도록 수행할 것이며 고신뢰성 제품 개발을 위해 FMEA에만 종속되는 것이 아닌 추가적인 방법론과 품질 개선 도구와 연계하여 사전 고장 예방만이 아닌 설계 최적화를 위한 관점에서도 연구할 계획이다.

References

- [1] J. M. Yoo, D. G. Ahn, J. S. Jang, "Review of FMEA", *Journal of Applied Reliability*, Vol.19, No.4, pp. 318-333, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2019.12.19.4.318>
- [2] J. M. Yoo, D. G. Ahn, J. S. Jang, "How to Perform FMEA Effectively for Weapon System Developing Stage", *Journal of Applied Reliability*, Vol.21, No.1, pp. 45-60, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2021.3.21.1.45>
- [3] C. H. Lee, K. W. Yang, D. I. Park, I. L. Lee, J. S. Kwon, "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>
- [4] H. J. Huh, G. S. Park, "A Study on The Introduction of FMEA for the Development of High Reliability Product for Military Company", *Research Korea Society for Quality Management Spring Academy Conference*, Seoul, Korea Society for Quality Management, Korea, pp. 20-20, May 2022.
- [5] H. J. Huh, G. S. Park, "Study on the improvement of FMEA Operability of Military Company", *Research Korea Society for Quality Management Spring Academy Conference*, Korea Society for Quality Management, Seoul, Korea, pp. 99-99, April 2023.

박 건 상(Gun-Sang Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
- 2013년 2월 : 경북대학교 회로 및 임베디드시스템전공 (공학석사)
- 2014년 1월 ~ 2015년 6월 : 삼성탈레스 해양연구소 연구원
- 2015년 6월 ~ 현재 : 한화시스템 해양연구소 전문연구원

<관심분야>

전원회로, 메모리 셀 설계

김 재 윤(Jae-Yun Kim)

[정회원]



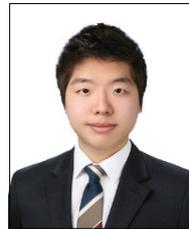
- 2012년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학사)
- 2012년 1월 ~ 2013년 5월 : 쌍용건설 플랜트설계부 사원
- 2013년 7월 ~ 2020년 7월 : 현대중공업 특수선사업부 대리
- 2020년 7월 ~ 현재 : 한화시스템 해양연구소 전문연구원

<관심분야>

전장설계, 환경제어

김 동 규(Dong-Gyu Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 한국해양대학교 전기전자공학부 (공학사)
- 2014년 1월 ~ 2019년 9월 : 대우조선해양 해양전장설계 대리
- 2019년 10월 ~ 현재 : 한화시스템 해양연구소 전문연구원

<관심분야>

구조설계, 전자회로

이 성 진(Sung-Jin Lee)

[정회원]



- 2016년 8월 : 인천대학교 전기공학과 (공학사)
- 2017년 2월 ~ 2020년 4월 : 제노코 기술연구소 연구원
- 2020년 6월 ~ 2022년 3월 : 볼크 기술연구소 선임연구원
- 2022년 4월 ~ 현재 : 한화시스템 해양연구소 선임연구원

<관심분야>

전장설계, 전자회로