

K21 보병전투차량에 FMEA 적용을 통한 RPN 평가방법 재정립

이창희*† · 양경우* · 김상부**

* 국방기술품질원
 ** 창원대학교

Reestablishment of RPN Evaluation Method in FMEA Procedure for K21

LEE CHANG HEE*† · YANG KYUNG WOO* · KIM SANG BU**

* Defence Agency for Technology and Quality
 ** Chang won university

Purpose: To ensure good quality munitions, we require quantitative risk management and optimal risk management of system characteristics.

Methods: Failure mode and effects analysis (FMEA) is a widely used technique to assess or to improve reliability of products at early stage of design and development. Traditionally, the prioritization of failures for corrective actions is performed by developing a risk priority number (RPN).

Results: This paper reestablishes an effective methodology for prioritization of failure modes in FMEA procedure. Revised evaluation criteria of RPN are devised.

Conclusion: To verify the proposed methodology, it is applied to RPN evaluation for K21 infantry combat vehicle

Key Words : K21 Infantry Combat Vehicle, FMEA, RPN, Munitions

1. 서 론

군수품의 좋은 품질을 확보하기 위해서는 개발단계에서 설계에 대한 적합성을 검토하고, 제조공정에 발생 가능한 고장, 결함 또는 불량에 대한 사전 검토와 대책을 세우는 것이 매우 중요하다. 또한 고객이 사용 간 발생한 문제점을 피드백하여 동일문제점이 발생하지 않도록 사전예방이 필요하다. FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)는 이러한 목적에 가장 적합한 종합적이고 체계적인 접근방식이다.

FMEA는 제품의 기본 설계 단계에서부터 생산 단계에 이르기까지 제품이 의도한대로 기능을 발휘하는지를 평가하고 만족하지 못 할 때는 대책을 수립하여 설계단계로 개선사항을 피드백 될 수 있도록 수행하는 신뢰성 평가활동의 하나 이다. 또한 FMEA는 정량적 신뢰성 예측 기법 또는 고장해석 기법으로서 제품 개발 또는 위험 식별/제조공정 개발 시 많이 사용되고 있다.

그 동안 FMEA가 효율적으로 수행될 수 있도록 하기 위해서 여러 종류의 FMEA양식을 비롯한 FMEA 방안들이 제시되었다.

Barbour(1977)는 시스템의 요소들, 고장 모드들, 그리고 고장영향들 사이의 관계를 Fig으로 설명하는 매트릭스(Matrix) FMEA 기법에 대해 다루었으며, Wang et al.(1995)은 FMEA와 BRM (Boolean representation

† Corresponding Author
 105, YoungNam APT 1th, Dogaedong, Changwon City,
 Geongnam, Korea
 Tel: 010-5175-8434 Fax: 055)287-4780
 E-mail: cic01@daum.net

method)을 조합한 접근법을 제시하였다. 그러나 구성품 간의 관계가 명확하지 않거나 정확하게 Table현되기가 어려울 때 특히 초기개념 및 설계단계에서는 몇몇 구성품에 대한 Boolean Table현테이블을 구축하기는 어렵다. 장중순과 안동근(1997)은 효과적인 FMEA 실시에 필요한 요소를 설명하고, 실시목적(잠재 고장모드 파악, 고장모드 영향 평가를 통한 대책수립)에 적합한 FMEA 양식을 제안하였다. Sankar and Probhhu(2000)는 고장모드 간의 우선순위를 결정하기 위한 RPR(risk priority ranks)접근법을 제시하였다. 이 방법은 If-then 규칙형태로 전문가 지식에 기반을 둔다. Seyed-Hosseini et al.(2006)은 RPN(risk priority number)의 약점, 즉 구성품간의 간접관계를 고려하지 못하고 많은 서브시스템이나 구성품을 갖는 시스템에 적용이 어려운 문제점을 보완할 수 있는 효과적인 방법을 개발하였다.[6][7]

군수품의 경우 체계개발 당시부터 MIL-STD-1629 방식과 MIL-HDBK-338B를 기반으로 둔 FMECA (Failure Mode, Effect, and Criticality Analysis)를 사용하여 개발 시의 신뢰성을 향상시키기 위한 활동을 수행하고 있다. 이는 개발 시스템의 설계 및 제작에 그 잠재적인 고장모드, 원인 및 영향(치명도)을 도출하여 고장 발생을 감소시키거나 제거하기 위한 분석활동을 한다.

그러나 이러한 자료는 설계당시의 일부 자료만을 반영하여 실제 제품의 양산시에는 활용가치가 부족하였다. 그래서 군수품의 경우 Risk Management Guide for DoD Acquisition 기반의 위험 식별을 사용한다. 이러한 방법은 정성적인 방법만을 사용하는 위험 식별이므로 평가자간의 동일한 위험 식별은 불가능하다.

본 논문에서는 정량적인 위험 식별을 위해서 FMEA를 K21 보병전투차량에 적용하여 실시과정 중 나타나는 RPN 평가 시 문제점들을 분석하였다. 이를 통해 적용제품 및 공정에 적합하고, 위험의 영향성/발생가능성의 일치성을 개선시킬 수 있는 RPN 평가기준을 재정립하고자 한다. 그리고

재정립된 RPN 평가기준의 효용성을 검증하고자 한다.

2. 기존의 위험식별 방법과 RPN 평가

군수품의 위험식별 방법은 미국 Risk Management Guide for DoD Acquisition과 MIL-STD-882D[10] 세부내용을 참고하여 독자적으로 위험식별 및 위험관리 활동방안 정립하여 수행하고 있다.

일반적으로 위험의 정도는 위험발생 가능성과 위험

의 영향/결과라는 두 가지 지Table로 식별한다. 위험은 두 지Table를 종합한 개념으로 평가할 수 있으며, 하나의 요소라도 커지게 되면 위험이 크다고 간주할 수 있다. 실제로 어떠한 사안의 위험발생 가능성이 매우 작다고 하더라도, 일단 발생하면 치명적인 인명손실이나 재산상의 심각한 손해가 예상될 경우 이 사안은 위험이 높다고 볼 수 있다. 반대로 위험영향이 크지 않더라도 그 발생 가능성이 매우 높다면, 이 또한 체계가 정상적으로 임무를 수행하는데 심각한 문제를 초래할 수 있게 된다.

첫 번째 위험 식별 지Table 중 위험의 발생 가능성(Occurrence)은 수치적 값(확률 개념)으로 0(발생 안함)과 1.0(확실히 발생함)으로 Table현되거나, 또는 고(High), 중(Medium), 저(Low)와 같은 정성적인 등급(NATO) 또는 5수준(DoD)으로 구분하여 분류할 수 있다. 수준별 수치 기준은 MIL-STD-1629A와 MIL-STD-882D에서 확인할 수 있다.

두 번째, 위험의 영향/결과(Consequence)는 위험이 실제로 발생하면 어떠한 영향을 미치는지를 나타내는 지Table로서 일정, 비용, 그리고 성능을 척도로 측정된다. 예를 들어 내재된 위험으로 인해 체계개발에 추가 비용 지출이 불가피할 경우 위험의 영향지Table는 커진다. 위험영향 역시 고, 중, 저와 같은 정성적 등급(NATO) 또는 5수준(DoD)으로 표시할 수 있다.

위험평가는 식별된 위험에 대해 위험 발생 가능성 및 영향(결과)의 정도를 다음과 같이 결정한다.

1. 위험발생 가능성 정도는 다음과 같이 5개 수준으로 구분하여 정한다.

- 가. 5수준 : 발생 가능성이 확실함(매우 높음)
- 나. 4수준 : 발생 가능성이 상당히 있을 것 같음(높음)
- 다. 3수준 : 발생 가능성이 있을 것 같음(보통임)
- 라. 2수준 : 발생 가능성이 아주 드물게 있을 것 같음(낮음)
- 마. 1수준 : 발생 가능성이 거의 없음(매우 낮음)

2. 위험발생시 사용자의 안전 또는 군수품의 성능에 미치는 영향(결과) 정도는 아래와 같이 5개 수준으로 구분하여 정한다.

- 가. 5수준 : 위험의 영향(결과)이 사용자의 안전에 심각한 영향(사망)을 미치거나, 군수품의 성능에 심각한 영향을 가져올 수 있음
- 나. 4수준 : 위험의 영향(결과)이 사용자의 안전에 중대한 영향(중상)을 미치거나, 군수품의 성능에 중대한 영향을 가져올 수 있음
- 다. 3수준 : 위험의 영향(결과)이 군수품의 성능에 부분적인 영향을 가져올 수 있음
- 라. 2수준 : 위험의 영향(결과)이 군수품의 부수적인 성능에 영향을 가져올 수 있음
- 마. 1수준 : 위험의 영향(결과)이 군수품의 사용 및 성능에 거의 영향이 없음

이 등급은 관리자의 의견에 따라 결정되기 때문에 주관적일 수 있다. 현재 군수품은 국방품질경영규정 제 14조에 위와 같이 정하여 위험식별 및 평가활동을 수행하고 있다.

이렇게 평가된 두 가지 지표를 각각의 축으로 하여 위험식별 매트릭스를 작성하게 RPN을 평가하게되며, 군수품에서 현재 사용하고 있는 RPN평가 매트릭스를 기준으로 하여 각 품목별 위험을 High, LOW로 분류한다. <표 1>

Table 1. Risk Identification Matrix

발생 가능성	5	M	M	H	H	H
	4	L	M	M	H	H
	3	L	L	M	M	H
	2	L	L	L	M	M
	1	L	L	L	L	M
		1	2	3	4	5
		Consequence 영향/결과				

Table 2. Risk Grade Classification Criteria

발생 가능성 수준 + 영향/결과 수준	2 ~ 5	6 ~ 7	8 ~ 10
위험우선순위(RPN)	저	중	고

군수품에서 사용하고 있는 RPN 평가방법의 특징은 위험 매트릭스의 발생 가능성, 영향/결과 수준의 합을 통해 위험등급을 결정한다는 것이다

일반적으로 RPN이 10점 측도를 사용하여 8~10점이상이면 고위험, 6~7점이면 중위험, 2~5점이면 저위험으로 분류한다. 고위험으로 분류되면 대책을 수립하고 특별히 관리한다.[1]

RPN값이 8점 이하이지만 위험영향도가 5점 이상인 품목은 고위험으로 분류하여 관리한다.

3. 기존 RPN 평가방법의 문제점 분석 및 재정립

3.1 기존 RPN 평가시의 주요 문제점과 영향

군수품의 RPN 평가에서 겪게되는 주요한 문제점은 다음과 같이 정리될 수 있다.

첫째, 위험에 대한 지식이나 경험의 부족을 들 수 있다. 이런 경우는 그 제품을 많이 접해보지 못했거나, 개발/생산과정에 참여가 부족한 사람에게서 많이 나타난다.

둘째, 평가하고자 하는 제품이나 공정에 적합하지 못한 평가기준 적용이다. 장갑차에 대한 RPN 평가기준과 전투차량에 대한 RPN 평가기준이 다르게 적용되어야 함에도 불구하고, 획일적인 평가기준을 적용하게 되어 오류가 일어나는 경우가 있다.

셋째, 평가기준이 모호하여 각 평가자가 지나치게 자의적으로 평가할 수 있는 점이다. 이러한 모호성의 결과로 평가자간 평가결과 차이가 크게 발생하는 경우도 종종 있다.

넷째, 담당업무에 따른 이해관계나 시각의 차이이다. 주로 RPN이 높게 평가되었을 때, 그 대책수립이나 실행을 담당해야 하는 사람의 입장에서 RPN 평가 시 위험을 낮게 평가하는 경우가 발생할 수 있다.

다섯째, 기존의 유사한 제품이나 공정에서 얻어진 자료의 미흡한 활용이다. RPN 평가 자체가 정성적인 판단에 많이 의존하게 되는 것은 사실이지만 판단의 객관성을 확보하기 위하여 기존 자료를 적극 활용하지 못해 판단의 오류가 발생하게 된다.

고장모드에 대해 RPN 평가 시 문제점이나 오류에 의한 영향은 다음 3가지가 있다.

첫째, 위험식별에 대한 RPN을 실제보다 과소평가하는 경우이다. 그 영향은 적절한 대책 및 수립을 하지 않게 되는 경우가 많아 미연에 방지할 수 있었던 문제를 방지하지 못하고, 필드에서 문제가 발생하게 되어 막대한 경제적 손실을 초래하는 점이다.

실제 현업에서는 고장모드에 대한 위험의 과소평가가 가장 큰 문제라고 할 수 있다.

둘째, 위험식별에 대한 RPN을 실제보다 과대 평가하는 경우이다. 과대평가에 의한 영향은 불필요한 대책을 수립하고 실행하게 되어 자원과 비용이 낭비된다는 점이다.

셋째, 위험식별에 대한 RPN 값은 정확하다 할지라도 각 요소의 평가에 오류가 있는 경우이다. RPN 각 구성 요소 관점에서 정확함 평가가 중요한 이유는 절대적 RPN값과 관련이 있기 때문이다. 위험 영향도가 5이상인 품목은 RPN과 관계없이 주요 위험품목으로 분류되

고 또한 발생도가 5이상인 품목도 RPN과 관계없이 주요위험품목으로 분류된다. 이와 같이 각 항목을 정확하게 평가되지 않는다면 잘못된 방향으로 위험식별되어 자원과 비용이 낭비된다.

3.2 FMEA 실시와 RPN 평가방법

FMEA는 잠재적 위험모드 식별 및 고장영향성을 분석하는 기법으로는 효과적인 방법이다.

이를 적용하기 위한 방법은 군수품 특성상 MIL-STD-1629 방식과 MIL-HDBK-338B를 참고로 하여 TS 16949의 FMEA를 실시한다.

3.2.1 MIL-STD-1629 Style FMEA

MIL-STD-1629는 FMECA의 수행방식을 기술한 국제규격으로 FMEA의 근원이라 할수 있다.

전세계적으로 정부기관, 군수, 일반산업업체에서 많이 사용하고 있으며 치명도분석(Criticality)과 영향도 등급에서 고장모드의 순위를 결정하는 기법들을 제공한다. MIL-STD-1629는 분석단계별로 <표 3> 같이 여러 가지의 방식을 제공하나 특별한 분석방식의 차이는 없고 단계별로 분석데이터만 차이를 둔다[2]

Table 3. FMEA Analysis Phase

분석 단계	설명
Task 101	Failure Mode and Effect Analysis(FMEA) - 시스템 운용에서 고장품목의 영향과 결과들을 추출하며, 심각도에 따라 잠재적인 고장모드를 판별한다.
Task 102	Criticality Analysis(CA) - FMEA에서 추출된 잠재적인 고장모드의 순위를 결정하고, 발생빈도(Occurrence)의 가능성과 심각도(Severity)의 영향들을 조합한다.
Task 103	FMEA Maintainability Information - 초기 정비체계의 수립을 제공하며, 시험계획, 검사, 점검 요구사항과 예방정비에 요구되는 정비체계를 수립한다.
Task 104	Damage Mode and Effect Analysis(DMEA) - 분석결과에 대한 Survivability(생존성)과 Vulnerability(피해성)에 대한 체계를 수립한다.

3.2.2. MIL-HDBK-338B FMEA

MIL-HDBK-338B는 MIL-HDBK-338A를 최신화하여 미 국방성 DoD에서 1998년에 개발하였으며, 신뢰성 관리자 및 기술자들이 모든형태의 제품에 대해 정확한 신뢰도 예측 및 개발이 가능하도록 지침을 제공하고 있다. MIL-HDBK-338B FMEA에선 분석단계를 다음과 같이 2가지 단계로 구성 한다. 1단계 FMECA: 설계초기, 2단계 FMECA: 설계변경 및 개선 후 적용한다. [3]

3.2.3. TS 16949 FMEA

TS 16949 FMEA는 위험평가 도구로서, 고장의 잠재적 영향에 대한 심각도를 파악하여, 위험을 최소화하면, 고장발생 가능성은 감소된다. 이로 인해 제품 또는 공정의 신뢰도가 증가한다.

RPN(risk priority number)이란 FMEA 실시 시 주로 활용되는 잠재적 고장의 상대적 평가 척도로서 관리 및 시정조치의 우선순위를 나타내는 숫자이고, 1에서 10 사이의 값을 가지며 다음과 같이 계산된다.[11]

$$\text{위험우선순위(RPN)} = \text{영향도} \times \text{발생도} \times \text{검출도}$$

- ① 영향도(Severity) : 고장모드에 의한 다른 구성 요소, 시스템전체 및 고객에게 미칠 수 있는 영향의 심각성을 나타내며, 심각성의 정도에 따라 1~10 등급의 단계로 구분한다.
- ② 발생도(Occurrence) : 추정고장원인 때문에 나타날 수 있는 불량형태의 발생 가능성을 나타내며, 발생도의 정도에 따라 1~10등급의 단계로 구분한다.
- ③ 검출도(Detection) : 잠재적인 고장모드 및 원인을 발견 또는 검출할 수 있는 가를 나타내며, 검출난이도의 일정 단계로 구분되어 있다.

일반적으로 현장에서 10점 척도를 사용하여 산출된 RPN 값이 100점 이상 또는 개별 요소가 8점이상인 경우에는 대책을 수립하여 즉각적인 조치를 취한다. 그리고 RPN이 100점 이상이 아니더라도 치명적인 불량을 유발할 소지가 있는 고장모드에 대해서는 즉각적인 조치가 이루어진다.

RPN 값이 크다는 것은 해당 고장모드가 시스템이나 기기에 영향을 크게 미치고, 고장이 자주 발생할 수 있으며, 고장이 발생하더라도 감지가 어렵다는 것을 의미한다. 따라서 우선적으로 시정 조치를 시행하여 영향도, 발생도, 검출도 중의 한 두 개 또는 전부를 감소시킴

로써 RPN 값을 감소시켜야 한다.[4][13]

4. 사례연구

3.3 RPN 평가방법 재정립

K21 장비에 실제 FMEA 위험 식별 방안을 적용한 후 RPN 평가시의 문제점을 개선하기 위해 다음과 같이 RPN 평가기준과 대책수립기준을 재정립하고자 한다.

첫째, 위험 식별을 적용하고자 하는 제품이나 특성에 따라 RPN 평가기준이 달라져야 한다. 본 논문에서는 K21 장비 특성에 맞도록 재조정 하고자한다.

둘째, 동일 제품이나 프로세스에 대해서 평가할 경우 평가자간의 차이가 최소화될 수 있도록 모호성이 개선된 평가기준을 만들고자 한다.

셋째, 평가 오류시의 가장 큰 문제점인 위험 식별 누락이 최소화 되도록 위험 식별기준을 재조정한다. RPN의 절대 점수에 의한 위험 식별뿐만 아니라, 상대적인 RPN 상위 고장모드에 대해서도대책을 수립하고 실행하도록 하는 기준을 마련하고자 한다.

영향도 평가에서의 문제점은 제품 설계에서의 취약점이 미치는 영향을 제품 및 고객의 관점에서만 고려한다는 것이다.

이러한 단점을 보완하기 위해 영향도 평가를 공정/시스템/고객의 각 관점에서 평가할 수 있도록 평가기준을 개정한다. 여기서 공정/시스템/고객의 각 평가 등급이 상이할 때에는 최악의 등급을 영향도 등급으로 하도록 하고 평가하도록 한다. [12]

발생도 평가에서는 제조 단계인 공정에서의 고장 발생률만 고려하고 필드에서 발생하는 고장현황을 함께 고려하지 않은 문제점을 보완하기 위해

필드불량 및 사용자의 불만 사항 등 고장의 각 관점에서 평가할 수 있도록 평가기준을 개정한다. 발생도의 평가과정에서 평가자간 일치도를 향상시키기 위해 기존의 불량/고장에 대한 발생수량을 수치화 하고, 유사장비의 A/S실적 및 고장 발생률 자료를 참조하여 평가하도록 한다.

재정립된 검출도 평가기준은 제품의 생산 전 단계에서 검출 가능하도록 하고, 평가자간 평가가용이하도록 검출방법을 구성한다.

발생 단계에서 Fool-proof장치로 검출하여 발생을 방지하는 단계를 1등급으로 하여, 검출 또는 체크가 불가능한 단계를 10등급으로 하는 기준을 재정립한다. 기존 평가기준에 대한 재정립된 평가기준의 일치성 개선 정도는 Kendall 일치계수로 확인한다.

본 절에서는 K21 보병전투차량에 적절한 RPN 평가 방법 재정립 및 효용성을 검증하여 방산제품에 입각한 위험 식별 방안을 제시하고자 한다. 현재 군수품은 RPN 선정방식을 Risk Management Guide for DoD Acquisition과 MIL-STD-882D를 세부내용을 참고하여 독자적으로 위험 식별 및 위험관리 방안을 기본으로 위험 식별하고 있다.

이를 바탕으로 K21 장비에 FMEA의 RPN 평가기준을 적용하여 정량적 위험 식별이 가능하도록 새로운 기준으로 제시한다.

K21은 변속기, 엔진, 사격통제컴퓨터, 사수/차장조준경, 주무장 등 서브시스템 기준으로 2634개 부품으로 구성되어 있으며, 동력장치 조립 등 36개의 주요 조립공정을 통해서 완제품을 완성 된다 또한 완성된 제품은 KDS 2350-4002-1 규격서에 의해서 121항목을 시험완료 후 합격된 부품을 사용자에게 인도된다. K21 장비의 주요재원 및 사진은 아래<그림. 1>과 같다.

구 분	제 원	구 분	제 원
탑승인원	00명	항속거리	00KM
전투중량	00톤	포탑	00
엔진	00마력	주무장	00
변속기	00마력	부무장	00
최고속도	00KM	대전차유도무기	00
야지속도	00KM	조준경	00
수상속도	00KM	안정화장치	00



Fig. 1. K21 Main Specification and Photo

이 논문에서는 현재 사용 중인 RPN 각 요소인 영향도, 발생도 및 검출도의 평가기준을 재작성하고, 평가자간 일치정도를 판단한다. 평가자간의 일치성을 평가하기 위하여 Minitab에서 제공되는 모비율, Kappa 통계량 및 Kendall의 일치계수 중에서 Kendall의 일치계수를 사용한다. Kendall의 일치계수는 n개의 평가대상물에 대해 순위를 부여한 m명의 평가자 사이에 의견이 일치하는지를 판단하는데 사용되는 연관성의 척도이다.

Kendall의 일치계수 값은 0부터 1까지의 값을 가지며, 1에 가까울수록 평가자들 사이의 의견이 일치하는 정도가 높다고 해석한다. [9]

4.1 영향도 평가기준의 재정립과 일치성 평가

K21에 대한 영향도 평가는 개발 FMECA 자료와 개발시험 및 운용 시험 간 발생된 문제점을 기준으로 작성하였다. 이 자료에는 K21의 필수기능, 보조기능, 보호기능, 정보전달기능, 인터페이스기능, 잉여기능 등으로 분류하여 위험 영향도를 평가한다.

그러나 이는 개발당시 일부부품에만 위험도 평가를 수행하였고, 또한 위험도 평가를 제품의 시스템 및 고객의 관점에서만 평가하였다는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위하여 고장모드에 영향을 미치는 공정에 대한 평가를 고려하여야 한다. 위험 식별요소가 공정에 미치는 영향을 보면 주로 제작업, 폐기불량, 작업시간 증가, 잦은 라인정지, 부품 조달 시간 증가 등이다. 물론 공정 자체의 요인에 의한 문제는 공정에서 해결되어야 하지만, 품질(제품 신뢰성)에 악영향을 미치는 경우가 많기 때문에 위험식별 단계에서 검토되도록 하는 것이 매우 중요하다.

또한 제품에 대한 영향도 평가 시 오류의 위험은 실제보다 과소평가하게 되는 경향이 있는데, 이는 고장모드의 1차 영향만을 가지고 생각할 때에 주로 발생한다. 부품 결함 시 하위부품의 결함이 1차 영향을 거쳐 2차, 3차 영향으로 확대되어 치명결함을 야기시킬 수 있음을 반영하지 않고 있다. 이를 개선한 공정/시스템/고객 관점에서 평가할 수 있도록 재정립된 영향도 평가기준이 <표 4>에 표시되어 있다.

평가자간의 일치성을 평가하기 위하여 기존의 영향도 평가기준과 재정립된 평가기준을 가지고 실시한 평가결과가 <표 5>에 나타나 있다. 기존 평가 기준으로 평가한 결과 순위척도에 대한 Kendall의 일치계수는 0.64로 비교적 양호한 결과로 판단된다. 재정립된 평가

기준에 대한 Kendall의 일치계수는 0.87로 평가기준의 모호성이 상당히 줄어들었음을 알 수 있다.[5]

Table 4. Effect Evaluation Criteria

위험 영향	규정 등급	제품에 대한 영향의 심각도		FMEA 등급
매우 심각함	5 수준	공정	K21 제조공정에 심각한 영향을 미칠 수 있음	10
		시스템	K21에 성능에 심각한 영향을 미칠 수 있음	
		고객	사용자 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있음	
심각함	5 수준	공정	잠재적 위험형태의 경고 없이 K21 제조공정에 심각한 영향을 미칠 수 있음	9
		시스템	잠재적 위험형태의 경고 없이 K21에 성능에 심각한 영향을 미칠 수 있음	
		고객	잠재적 위험형태의 경고 없이 사용자 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있음	
매우 높음	4 수준	공정	K21 제조공정에 중대한 영향을 미칠 수 있음	8
		시스템	K21 성능에 중대한 영향을 미칠 수 있음	
		고객	사용자 안전에 중대한 영향을 미칠 수 있음	
높음	4 수준	공정	잠재적 위험형태의 경고 없이 K21 제조공정에 중대한 영향을 미칠 수 있음	7
		시스템	잠재적 위험형태의 경고 없이 K21 성능에 중대한 영향을 미칠 수 있음	
		고객	잠재적 위험형태의 경고 없이 사용자 안전에 중대한 영향을 미칠 수 있음	
보통	3 수준	공정	K21 제조공정에 부분적 영향을 미칠 수 있음	6
		시스템	K21 성능에 부분적 영향을 미칠 수 있음	
		고객	사용자 안전에 부분적 영향을 미칠 수 있음	
낮음	3 수준	공정	잠재적 위험형태의 경고 없이 K21 제조공정에 부분적 영향을 미칠 수 있음	5
		시스템	잠재적 위험형태의 경고 없이 K21 성능에 부분적 영향을 미칠 수 있음	
		고객	잠재적 위험형태의 경고 없이 사용자 안전에 부분적 영향을 미칠 수 있음	

위험영향	규정등급	제품에 대한 영향의 심각도		FMEA 등급
매우 낮음	2 수준	공정	K21 제조공정에 경미한 영향을 미칠 수 있음	4
		시스템	K21 성능에 경미한 영향을 미칠 수 있음	
		고객	사용자 안전에 경미한 영향을 미칠 수 있음	
경미	2 수준	공정	잠재적 위험형태의 경고 없이 K21 제조공정에 경미한 영향을 미칠 수 있음	3
		시스템	잠재적 위험형태의 경고 없이 K21 성능에 경미한 영향을 미칠 수 있음	
		고객	잠재적 위험형태의 경고 없이 사용자 안전에 경미한 영향을 미칠 수 있음	
매우 경미	2 수준	공정	K21 제조공정에 거의 영향이 없음	2
		시스템	K21 성능에 거의 영향이 없음	
		고객	사용자 안전에 거의 영향이 없음.	
없음	1 수준	인지할 수 있는 영향 없음		1

19	6	7	8	7	8	7
20	8	7	6	7	7	7
21	8	7	7	7	7	8
22	6	7	8	7	8	7
23	6	7	8	7	7	7
24	7	8	6	8	8	7
25	4	5	6	5	5	5
26	6	5	4	5	5	7
27	4	5	5	5	4	5
28	6	5	4	5	5	6
29	6	5	7	5	4	5
30	4	5	4	5	5	5
31	5	5	4	5	5	5
32	7	6	5	7	7	6
33	7	7	8	7	6	7
34	7	8	6	7	8	7
35	9	9	10	9	9	9
36	7	7	8	7	8	7
37	5	5	6	5	5	5
38	2	3	5	2	2	2
39	7	6	8	7	7	6
40	5	5	6	5	5	5
41	7	6	5	7	6	7
42	7	7	6	7	7	5
43	5	4	5	5	5	4
44	5	4	4	5	5	7
45	5	4	5	5	4	5
46	5	5	5	5	5	4
47	5	6	3	5	5	5
48	7	5	6	7	7	5
49	8	7	8	8	8	7
50	7	6	6	7	7	7
51	7	7	5	7	7	8
52	7	7	8	7	7	8
53	7	6	8	7	7	7
54	5	4	4	5	5	5
55	5	5	7	5	5	5
56	5	6	4	5	5	6
57	5	5	4	5	4	5
58	7	8	6	7	7	6
59	8	8	7	8	8	9
60	7	7	6	7	7	8

Table 5. Effect Evaluation Result

고장 모드	기준평가기준			재직립된 평가기준		
	식별자 1	식별자 2	식별자 3	식별자 1	식별자 2	식별자 3
1	8	10	10	10	10	9
2	8	10	9	9	10	10
3	10	10	9	10	10	10
4	8	10	10	10	10	9
5	8	7	6	7	7	8
6	8	7	6	7	8	7
7	7	7	5	7	7	6
8	7	7	6	7	7	8
9	6	7	8	7	6	7
10	7	7	6	7	7	7
11	5	7	8	7	7	7
12	8	7	7	7	7	6
13	7	8	6	8	8	8
14	7	8	6	8	7	8
15	6	7	8	7	6	7
16	8	7	6	7	7	7
17	6	7	7	7	7	5
18	8	7	6	7	6	7

영향도 평가 시 평가자 선정은 K21 체계장비 위험식별 경험이 5년 이상인 사람을 기준으로 선정하였다.

4.2 발생도 평가기준의 재정립과 일치성 평가

기존 사용 중인 발생도 평가기준에서의 문제점은 매우 복잡한 체계장비의 구조의 특성상 MIL-HDBK-338A의 신뢰도 예측 MTBF값을 기준으로 고장율을 산출하여 반영하거나, 평가자가 정성적인 방법(과거의 경험, 노하우)으로 평가하도록 되어있다는 점이다.

즉, 설계문제에 의해 제조 단계에서 발생할 수 있는 고장모드에 대해서는 일부 반영하거나, 고장모드를 정성적으로 평가하였다는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해서 공정 및 필드에서 발생하는 문제점을 정량적으로 반영하는 개선된 평가기준을 제시한다. 발생가능성 평가 시 공정 불량, 정부기관의 시정조치, 필드 A/S실적, 사용자의 사용자 불만을 정량적으로 평가하여 발생가능성을 평가한다. <표 6>는 재정립된 발생도 평가기준이다. 발생가능점수는 위험의 등급을 구분하기 위해서 발생위치에 따라서 가중치를 부가하여 발생가능성 등급을 평가한다. 공정에서 이미 발견되거나 제품 출하 전에 각종 시험이나 검사를 거친 후 발견되는 문제점은 낮은 가중치를 부여하고, 제품 출하 후 발생하는 문제점에는 높은 가중치를 부여한다. 사용자 불만일 경우 필드에서 고장이 연속적으로 발생하는 경우이므로 더 높은 가중치를 부여하였다.

Table 6. Occurrence Possibility Criteria

고장빈도	국방 규정 등급	공정	시정 조치	필드 고장	사용자 불만	발생가능점수	FMEA 등급
Frequent	5 수준	3	3	3	2	18이상	10
		3	3	2	2	16~17	9
probable	4 수준	2	2	1	2	14~15	8
		2	2	2	1	12~13	7
Occasional	3 수준	2	2	1	1	10~11	6
		1	1	1	1	8~9	5
Remote	2 수준	1	1	-	1	6~7	4
		1	-	1	-	4~5	3
Improbable	1 수준	1	1	-	-	2~3	2
		1	-	-	-	1이하	1

* 발생가능점수 = 공정불량건수 + 시정조치 + (필드불량건수 x 3) + (사용자불만 x 5)

발생도 평가기준의 평가자간 일치성을 검증하기 위하여 영향도에서와 같은 방법으로 90개 고장모드에 대하여 3명의 평가자가 평가하도록 하여 Kendall의 일치계수를 구하였다. 기존 평가기준과 재정립된 평가기준에 대한 Kendall의 일치계수는 각각 0.62와 0.95로 조사되어 일치성이 개선된 것으로 나타났다.

4.3 검출도 평가기준의 재정립과 일치성 평가

Risk Management Guide for DoD Acquisition 바탕의 기존 위험 식별 방법은 검출도를 사용하지 않는다. 이는 제품의 생산 Process에 대한 위험검출을 반영하지 않는 것과 같다.

Table 7. Detection Evaluation Criteria

검출 가능성	검출 기회	검출도	제품 생산 전 단계 검출 가능성	FMEA 등급
거의 불가능	고객 인도후 검출	5	검출할 수 없음 또는 분석되지 않음	10
			정부수락시험 완료 후 문제 검출	9
회박	수락시험 진행 중 검출	4	정부품질검사 포탑/차체 수락시험 간 검출가능함.	8
			체계업체 품질검사 포탑/차체 수락시험 간 검출가능함	7
낮음	공정 진행간 검출	3	정부품질검사 핵심주요공정 확인시 검출가능함	6
			체계업체 품질확인 핵심주요공정 확인시 검출가능함	5
다소 높음	사전적 에러 검출	2	정부 품질검사 부품 단계에서 위험 식별 검출가능함.	4
			체계업체 품질검사 부품 단계에서 위험 식별 검출가능함.	3
매우 높음			협력업체 품질검사 부품 단계에서 위험 식별 검출가능함.	2
거의 확실	에러 예방	1	Fool-Proof 시스템에 의해 확실히 검출	1

그래서, 위험 식별자는 검출도 평가 기준 판단을 자의적으로 수행하였다. 검출도는 제품 출하 전 완벽한 품질확보를 위한 매우 중요한 부분을 차지하기 때문에 검출기준이 관리되어야 한다. <표 7>와 같이 군수품에 적합한 검출도 평가기준을 10단계로 제시하고자 한다. [8]

1기존의 검출도 평가기준을 가지고 실시한 3인의 평가결과에 대한 Kendall의 일치 계수는 0.50로 나타났다. 재정립된 평가기준에 의한 평가결과의 Kendall의 일치계수는 0.82로 조사되어 기존 평가보다 개선됨을 확인할 수 있다.

4.4 군수품 위험 식별/관리 기준

K21 장비는 위험식별을 MIL-STD-1629 방식과 MIL-HDBK-338B를 참고로 하여 TS 16949의 레버리지 FMEA를 실시하였다. 위험식별 분류를 원자재, 부품, 공정, 수락시험으로 분류하고, 각 해당분야에 대하여 RPN값에 따라서 고위험, 중위험, 저위험으로 분류하여 관리한다.

고위험(RPN=8이상) 항목은 정부통제항목으로 지정하여 정부의 제품/시스템/수락시험 정부확인 대상이 된다. 중위험(RPN=6~7) 항목은 정부통제항목이지만 업체 품질증빙 자료를 검증한다. 저위험도 항목(RPN=5 이하)은 정부관리 품목으로 지정되어 분기/반기 단위로 품질분석자료 확인 및 필요시 품질증빙자료 확인한다. 또한, 저위험 품목의 관리를 위해서 분기/반기별로 업체 품질분석 자료를 검토한 후 담당자별 10개 품목을 선정하여 업체 성적서 검증 및 품질확인(Spot Check)하고, 저위험 품목 관리시트를 기준으로 협력업체 관리 실태를 확인한다. 자세한 내용은 아래<표 8>과 같다.

Table 8. K21 Risk Identification Result

순위	분야	품보 대상	관리대상		
			고	중	저
1	원자재(중)	20	6	2	12
2	부품(중)	2,624	36	48	2540
3	공정(요소)	32	3	3	26
4	수락시험(항목)	329	197	132	-

또한 위험 식별 기준으로 RPN의 상대적인 크기를 포함시키기 위해서 위험 식별 대상의 최소 상위 20%를 위험항목으로 식별하였다. 절대적 RPN 수치에 의한 기준과 상대적이 RPN 수치에 의한 기준은 아래의 <표9>와 같다.[5]

Table 9. K21 Risk Identification Criteria

제품	위험식별 기준
절대적 RPN 수치에 의한 기준	. RPN : 8이상인 경우(Critical Risk) . RPN: 6~7인 경우 (Major Risk) . RPN : 5이하 (Minor Risk)
상대적이 RPN 수치에 의한 기준	. RPN 수치로 평가할 경우 상위 20%인 고장모드의 경우

5. 결 론

본 논문에서는 K21 장비에 FMEA를 적용한 후 RPN 평가시의 주요 문제점들을 분석하여 평가 기준을 재정립하고 이에 대한 효용성을 검증하였다. 기존 RPN 평가시의 주요 문제점은 첫째, 위험 식별 하고자 하는 제품에 적합하지 못한 평가기준의 적용이었으며 둘째, 위험 식별 평가자간 평가결과의 불일치를 가져오는 평가 기준의 모호성이었다. 그리고 이런 문제점의 결과는 중요한 고장모드에 대한 위험 식별의 누락과 이에 따른 사용자의 불만 및 인명피해 등을 야기 시킬 수 있다. RPN 평가시의 문제점을 개선시키기 위해 본 논문에서는 영향도 평가 시 우선 위험식별에 대한 영향을 제품뿐만 아니라 공정의 관점에서도 평가하도록 하였고, 여기서 공정/시스템/고객의 각 평가 등급이 상이할 때에는 최악의 등급을 영향도 등급으로 하도록 하고 평가하도록 하였다.

발생도 평가시의 문제점을 개선하기 위해 고장 발생 기준의 필드 불량에 대한 발생률과, 제조단계에서의 불량인 공정불량에 대한 발생률을 구분하여 평가하도록 하였다.

필드불량 및 사용자의 불만 사항 등 고장의 각 관점에서 평가할 수 있도록 평가기준을 개정한다. 발생도의 평가과정에서 평가자간 일치도를 향상시키기 위해 기존의 불량/고장에 대한 발생수량을 수치화 하였다.

그리고 검출도 평가를 위해서, 실제로 제조업에서 사용하고 있는 검출수단이나 시스템으로 평가기준을 재구성하여 평가기준의 모호성이 개선되도록 하였다.

본 연구에서 제시한 위험 식별 방법이 기존의 방법에 비해서 어느 정도 개선되었음을 실제 K21 장비에 적용하여 Kendall의 일치계수로 확인할 수 있었다. 또한 군수품에 자동차 규격인 TS-16949 FMEA를 적용하여 방산제품에 입각한 레버리지 FMEA 위험식별 방안을 제시하였다. 그렇지만 군수품의 특성상 규정에서 요구하는 위험 식별을 적용해야 되는 문제점이 있기 때문에 규정을 벗어나는 개선은 한계가 있을 것으로 판단된다. 그러나 좀 더 발전적인 위험 식별을 위해서는 다양한 방법으로 연구가 되어야 하며, 개발초기 단계에서의 분석뿐만 아니라 후 양산 단계에 적합한 FMEA 양식을 발전시키고, 실제 자료로 RPN을 재평가하는 일이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Kim, Yung Yeop(2010) *Introduction to Defense Quality Management*, Hyungseul Publisher, pp. 86-111.
- [2] MIL-STD-1629A(1988), FMECA Guidelines for Writing, pp. 11-25.
- [3] MIL-HDBK-338A(1987), FMECA Guidelines for writing, pp. 4-24.
- [4] Jang, Joong Soon, Aan, Dong Geun(1997), "How to Perform FMEA Effectively" *The Korean Society for Quality Management*, pp. 156-172.
- [5] Kim, S. Y.(2007), "Reestablishment of RPN Evaluation Method in FMEA Procedure for Motors in Household Appliances", *The Korean Society for Quality Management*, pp. 1-9.
- [6] Huang, G. Q., Nie, M. and Mark, K. L.(1999), "Web Based failure mode and effect analysis (FMEA)", *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 37, pp. 177-180.
- [7] Jeong, K. H, Kume, H. and Iizuka(1995), "Implementing FMEA through multiple points of view, ASIA Quality Management Symposium," pp. 85-90.
- [8] Pillay, A. and Wang, J.(2003), "Modified failure modes and effects analysis using approximate reasoning, Reliability Engineering and System Safety", pp. 69-85.
- [9] Sin, Y. G.(2007.9), *Failure mode and effects analysis for Next Future IFV*, ADD, pp. 5-30.
- [10] MIL-STD-882D(2000), Risk Management Guide for DoD Acquisition, pp. 5-30.
- [11] TS 16949 Manual, Failure mode and effects analysis, pp. 15-80.
- [12] Kim, T. H.(2010.1), "Practical Criteial for Process FMEA", *The Korean Society for Quality Management*, pp. 123-135.
- [13] Bae, O. Y.(2009.3), "Reliability Design Using FMEA for Pressure Control Regulator of Aircraft Fuel System", *The Korean Society for Aeronautical Science and Flight Operation*, pp. 24-27.
- [14] Lee, Hye Jun(2011), "Service Failure Management on Internet Shopping Environment by Combining Service Blueprint and FMEA", *The Korean Society for Quality Management*, pp. 217-233.

2012년 6월 5일 접수, 2012년 8월 2일 1차 수정, 2012년 8월 21일 2차 수정, 2012년 8월 21일 채택