

# 군수용 화공품 제조공정의 FMEA 발전방안

이강산  
국방기술진흥연구소

## FMEA Development of Manufacturing Process for Military Pyrotechnic

Gang-San Lee  
Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement

**요약** 다양한 제조업 분야에서는 제품의 신뢰성 보증을 위해 FMEA를 수행하고 있다. FMEA는 제품의 개발 및 공정에서 발생할 수 있는 고장을 구조화하여 사전에 방지하는 방법이다. FMEA에서는 고장의 위험 수준을 파악하기 위해 심각도, 발생도, 검출도 항목을 곱해서 위험 우선순위를 산정한다. 그러나 산업별/제품별/공정별로 심각도, 발생도, 검출도의 상대적 중요도가 모두 다를 수 있다. 본 논문에서는 ㈜○○에서 생산 중인 군수용 화공품 분야에 대한 심각도, 발생도, 검출도의 상대중요도를 산출하였고, 이를 위해 AHP를 활용하였다. 또한, 군수용 화공품의 일종인 전기식 뇌관의 제조공정 FMEA에 사례적용을 실시하였다. 연구 결과 군수용 화공품 제조 공정 분야에서는 심각도, 발생도, 검출도 순으로 높은 상대중요도를 나타냈다. 또한 사례적용 결과 기존 FMEA 수행을 통해 도출된 위험 우선순위와 AHP가 적용된 FMEA를 통해 도출된 우선순위가 다르다는 것을 확인할 수 있었다.

**Abstract** Various manufacturing companies are performing FMEA for Reliability Assurance. FMEA provides a means of preventing possible failures during product development and manufacture. Risk is calculated by multiplying severity, occurrence, and detectability. However, the relative importance of these factors depends on industry, product, and process. In this paper, the relative importance of severity, occurrence, and detection of military pyrotechnics produced by ○○ Corporation were calculated using AHP. In addition, a case application of FMEA was applied to the manufacture of an electric detonator. As a result, the relative importance of these factors was ranked in descending order as: severity, occurrence, and detection. Furthermore, the study shows that factor priorities derived by FMEA and FMEA plus AHP differ.

**Keywords** : AHP, FMEA, Detonator, Pyrotechnic, Defense

### 1. 서론

군수품의 품질보증은 국방품질경영의 하나로서 계약 위험과 제품 및 프로세스 위험, 계약업체의 품질시스템 위험, 과거 이력, 고객 불만 및 피드백 정보를 토대로 위험을 식별하고, 군에서 사용하는 군수품에 대해 군이 요구하는 제품성능이 구현되었는가를 확인하고 품질의 신

뢰성을 보장함으로써, 군의 요구를 충족시키는 활동이다 [1]. 또한 군수품의 품질관리를 위해 위험관리를 실시한다.

위험관리를 위해 널리 쓰이는 기법의 하나인 고장형태 영향평가(Failure Mode and Effect Analysis, 이하 FMEA)는 1950년대 시스템의 오동작 문제를 연구하기 위하여 개발된 신뢰성 기법이다[2]. 또한, 제품개발 및 공정에서 발생할 수 있는 고장을 구조화하여 사전에 방

\*Corresponding Author : Gang-San Lee(Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement)  
email: lks0977@krit.re.kr

Received June 14, 2022  
Accepted August 3, 2022

Revised July 21, 2022  
Published August 31, 2022

지하는 방법이다. 다시 말해서 발생 가능한 문제점이 어떤 것이 있으며, 이것이 고객에게 어떤 영향을 미치는지 분석하고 그 문제점의 근본 원인을 찾아 해결하는 방법이다[3].

㉠ㅇㅇ에서는 제품의 신뢰성 보증을 위해 FMEA를 수행하고 있으며, 도출된 고장모드에 대한 조치 우선순위를 정하기 위해 위험우선순위(Risk Priority Number, 이하 RPN)의 개념을 사용하고 있다. RPN은 파급성을 나타내는 심각도, 발생빈도를 나타내는 발생도, 검출가능성을 나타내는 검출도의 곱으로 계산되기 때문에 다양한 분야에 널리 적용 가능하다는 장점이 있지만, 특정 산업/제품/공정에 딱 맞는 위험관리가 어렵다는 단점이 있다. 이때 AHP를 적용한 상대중요도의 개념을 사용하면 분야별로 적합한 위험관리를 할 수 있다.

다양한 연구자들은 여러 항목의 상대중요도를 판단할 때 AHP를 적용한 바 있다[4-6]. 한석운 외 1명은 AHP 기법을 사용하여 도시철도 연구자가 생각하는 철도 사고에 영향을 미치는 요소(중대도, 반복성, 안정성, 경제성, 사회성)의 상대적 영향성을 연구하였다[4]. 박지영 외 1명은 AHP 기법 및 Fuzzy이론을 활용하여 제품기획 단계에서 제품 자체에 대한 안전성평가 기법에 대해 연구하였다[5]. 또한, 이재주 외 4명은 AHP 기법을 활용하여 농업용 저수지의 수문학적 안전성평가 기법을 통해(저수지 여유고, 방류량 등)의 상대적 영향성을 연구하였다[6].

본 연구에서는 일반적인 FMEA의 단점을 보완하기 위해 AHP기법을 적용하여 군수용화공품 분야에 적합한 FMEA 방법론을 제시하였다. 먼저 군수용 화공품 분야 전문가를 대상으로 전문가 설문을 실시하였고, AHP 기법을 사용하여 심각도, 발생도, 검출도의 상대중요도를 산출하였다. 또한 전문가 설문지의 일관성 검증도 실시하였다. 마지막으로 군수용 화공품의 일종인 전기식뇌관의 FMEA에 연구 결과를 적용 및 분석하여 연구의 효용성을 검증하였다.

## 2. 개요 및 적용이론

### 2.1 화공품

화공품은 화약, 폭약 등을 사용 목적에 따라 가공한 것을 말하며[7] 군수, 일반산업 등 다양한 분야에서 널리 쓰인다. 일반산업에서 가장 대표적으로 사용되는 화공품으로는 다이내마이트가 있다. 군수용으로 사용되는 화공품은 일반적으로 고폭약을 폭발시키기 위해 에너지를 공

급하는데 사용된다. 현대의 탄약에 사용되는 고폭약(High Explosive)의 폭발 위력은 매우 높지만 안전을 위해 반응성을 매우 낮게 제조한다. 반응성이 낮은 고폭약을 폭발시키기 위해서 탄약마다 폭발 시스템이 존재하는데 이때 화공품이 사용되는 것이다. 군수용 화공품의 대표적인 예로는 전기식 뇌관이 있으며 일반적인 전기식 뇌관의 형상은 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Detonator[8]

### 2.2 FMEA

FMEA란 잠재적인 고장을 사전에 식별 및 조치하여 고장으로 인해 야기할 수 있는 피해를 예방하거나 최소화하는 일련의 활동을 의미한다.

FMEA는 크게 고장 식별, 식별된 고장에 대한 예방조치 방법 수립, RPN를 산정을 통한 예방조치 우선순위 선정 및 예방조치 실시 순으로 진행된다. 이때 RPN은 파급성을 나타내는 심각도, 발생빈도를 나타내는 발생도, 검출가능성을 나타내는 검출도의 곱으로 계산되며 Eq. (1)과 같다. 각 항목은 해당 공정의 전문가들이 정성적으로 평가를 수행하며 RPN값이 높을수록 개선 조치 우선순위는 높아지게 된다.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detectability \quad (1)$$

그러나 화약 분야에서는 심각도가 발생도 및 검출도 항목보다 중요한 경우가 많다. 따라서 2.3절에 따라 각 항목의 상대중요도를 계산하였다.

### 2.3 AHP

AHP는 1970년대 미국의 Saaty에 의해 개발된 의사결정 지원 방법론이다[9]. AHP를 적용하면 다양한 요소의 쌍대비교를 통해 우선순위 선정 및 상대중요도 산출이 가능해지며 적용 절차는 Fig. 2와 같다. 본 논문에서는 군수용 화공품 제조공정 FMEA의 심각도, 발생도, 검출도 항목의 상대중요도를 구할 때 적용하였다.

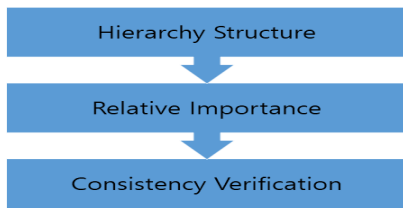


Fig. 2. Procedure of AHP

### 2.3.1 계층구조

계층구조 단계에서는 어떤 현상을 발생시키는 요인을 유사한 성질로 묶고 필요시 이를 더 작은 부분으로 나누어 각 요인을 분해하는 과정이다. 이를 도식화하면 Fig. 3과 같다.



Fig. 3. Hierarchy Structure

### 2.3.2 상대중요도 산정

계층구조 단계에서 식별한 요인을 1대1로 비교하여 상대적 중요도를 결정하고 이를 통해 요인별 가중치를 결정한다. 3가지 요인에 대한 쌍대비교 행렬을 표현하면 Eq. (2)와 같은 3X3 정방행렬로 나타나게 된다. 이때 쌍대비교 행렬의 각 값을  $a_{ij}$ 라고 표현하면  $i$ 번째 기준이  $j$ 번째 기준보다 어느 정도 중요한지를 나타내는 값이다.

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & 1 & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

다음 각 열의 값을 더하고, 계산된 열의 합으로 각 성분을 나누는 정규화 과정을 수행한다. Eq. (2) 행렬의 1 열에 대한 정규화 과정을 수식으로 표현하면 Eq. (3)과 같으며, 정규화 된 행렬은 Eq. (4)와 같다.

$$b_{i1} = \frac{a_{i1}}{\sum_{j=1}^n (a_{j1})} \quad (3)$$

$$\text{Normalized Matrix} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix} \quad (4)$$

다음 정규화된 행렬의 각 행에 대한 합을 구하고, 계산된 행의 합을 열의 개수로 나눈 평균값을 가중치  $w_i$ 가 된다. 1행의 가중치인  $w_1$ 을 계산하는 과정을 수식으로 표현하면 Eq. (5)와 같다.

$$w_1 = \frac{\sum_{j=1}^n b_{1j}}{n} \quad (5)$$

### 2.3.3 일관성 검증

마지막으로 전문가들이 일관성을 가지고 설문을 실시했는지 검증한다. 전문가들은 여러 요인에 대해 쌍대비교를 실시하기 때문에 현실적으로 논리가 완벽한 답변을 주기가 어렵다. 따라서 허용할 수 있는 수준으로 설문했는지 판단하기 위해 일관성 비율(Consistency Ratio, 이하 CR)을 계산하고 이를 판단한다. CR값이 0에 가까울수록 일관된 답변을 한 것이고 일반적으로 0.2 이상이면 일관성이 떨어진다고 본다. CR 값을 구하는 과정은 Eq. (6), Eq. (7)과 같다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

여기서 CI 값은 일관성지수(Consistency Index), RI 값은 무작위지수(Random Index),  $\lambda_{\max}$ 는 쌍대비교 행렬의 최대고유 값(Maximum Eigen Value),  $n$ 은 쌍대비교를 실시할 요인의 개수를 의미한다.

## 3. 연구결과

본 절에서는 먼저 AHP 기법 및 전문가 설문을 통해 심각도, 발생도, 검출도의 상대중요도를 산출했다. 또한 이를 (주)에서 이미 수행했던 FMEA에 적용하여 RPN 값을 다시 산출하였다. 마지막으로 기존 FMEA의 RPN 값과 상대중요도가 적용된 RPN값의 비교분석을 통해 연구의 효용성을 검증하였다.

먼저 2.2 및 2.3.1절의 수행 절차에 따라 각 요인(심각도, 발생도, 검출도)에 대해 계층을 구성하였으며 설문을 통해 각 요인에 대한 상대중요도를 산출하였다. 본 설문에서는 5점 척도를 사용했으며, 기준은 Table 1과 같다.

Table 1. Standard Sheet

Criterion	Explanation
1	Equal
3	Little Important
5	Important
7	Very Important
9	Absolutely Important

### 3.1 전문가 설문 결과

전문가 그룹은 해당 제품의 생산/품질/안전관리 업무를 수행 중인 7명의 담당자로 구성하였다. 군수용 화공품 대부분을 (주)○○에서 생산하고 있다. 따라서 많은 전문가를 모집하는데 애로사항이 있었으나 이를 보완하기 위해 고경력자 위주로 전문가를 선정했다. 전문가 설문 결과는 전문가들이 더 중요하다고 생각하는 지표에 숫자를 표현하였으며, 이를 Table 2, Table 3, Table 4에 정리하였다.

Table 2. Result of Survey (Severity-Occurrence)

Expert	Severity	Occurrence
A	7	
B	9	
C	7	
D		5
E		5
F	9	
G	7	

Table 3. Result of Survey (Severity-Detectability)

Expert	Severity	Detectability
A	9	
B	7	
C	5	
D	5	
E	3	
F	9	
G	9	

Table 4. Result of Survey (Occurrence-Detectability)

Expert	Occurrence	Detectability
A	5	
B		3
C		5
D	7	
E	5	
F	3	
G	5	

### 3.2 일관성 검증 및 상대 중요도 산출

먼저 설문 시 전문가의 논리적 오류를 확인하기 위해 일관성 검증을 실시하였다. Eq. (6), (7)에 따라 계산된 CR 값은 Table 5과 같다. CR 값은 0.07~0.19 사이의 범위 값을 가지며 전문가들이 허용할 수 있는 범위 내에서 설문을 수행했음을 확인하였다.

Table 5. Value of CR

Expert	A	B	C	D	E	F	G
CR	0.19	0.07	0.16	0.16	0.12	0.12	0.19

전문가 설문 결과를 2.3.2절의 절차에 따라 계산한 결과는 Table 6과 같다. 개인차가 있지만 주로 심각도가 가장 중요하다고 답변하였으며 다음으로 발생도, 검출도의 순으로 중요하다고 답변하였다.

Table 6. Weight of Survey

Expert	Severity	Occurrence	Detectability
A	0.75	0.19	0.06
B	0.78	0.07	0.15
C	0.70	0.07	0.23
D	0.23	0.70	0.07
E	0.21	0.69	0.10
F	0.79	0.14	0.07
G	0.75	0.19	0.06
Average	0.60	0.29	0.11

### 3.3 FMEA

#### 3.3.1 전기식 뇌관 FMEA 결과

기준에 (주)○○에서 전기식 뇌관 생산공정의 FMEA 결과를 Table 7에 정리하였다. 여기서 S는 심각도, O는 검출도, D는 발생도를 의미한다. FMEA에서는 다른 위험 일지라도 동일한 심각도, 발생도, 검출도를 갖을 수 있다. 이미 실시한 FMEA에서는 다양한 위험이 식별되었으나, 본 논문에서는 비교·분석의 편의를 위해 동일한 데이터를 제외한 5가지 위험에 대해 서술하였다.

Table 7. Result of FMEA

Failure	S	O	D	RPN	Priority
1	7	2	2	28	1
2	4	2	3	24	2
3	7	3	1	21	3
4	6	2	1	12	4
5	2	1	1	2	5

### 3.3.2 전기식비판 AHP-FMEA 결과

본 절에서는 3.2절에서 계산했던 상대중요도와 3.3.1절에 명시된 FMEA 결과를 활용하여 RPN을 재도출하였다. 고장1에 대해 AHP를 적용한 RPN 값은 Eq. (8), (9), (10), (11)에 따라 산출하였다. 여기서 상대중요도가 적용된 고장1에 대한 RPN, 심각도, 발생도, 검출도를 각각  $RPN_{1AHP}$ ,  $S_{1AHP}$ ,  $O_{1AHP}$ ,  $D_{1AHP}$ 로 표현하였다. 또한, 심각도/발생도/검출도의 상대중요도를 각각  $W_s$ ,  $W_o$ ,  $W_d$ 로 표현하였으며,  $W_s$ ,  $W_o$ ,  $W_d$ 는 Table 5의 평균값을 사용하였다. 전술한 대로 나머지 고장의 계산 결과는 Table 8에 정리하였다.

$$RPN_{1AHP} = S_{1AHP} + O_{1AHP} + D_{1AHP} \quad (8)$$

$$S_{1AHP} = W_s * S_1 \quad (9)$$

$$O_{1AHP} = W_o * O_1 \quad (10)$$

$$D_{1AHP} = W_d * D_1 \quad (11)$$

Table 8. Result of FMEA applied AHP

Failure	$S_{AHP}$	$O_{AHP}$	$D_{AHP}$	$RPN_{AHP}$	Priority
1	4.2	0.58	0.22	5	2
2	2.4	0.58	0.33	3.31	4
3	4.2	0.87	0.11	5.18	1
4	3.6	0.58	0.11	4.29	3
5	1.2	0.29	0.11	1.6	5

### 3.4 연구결과 분석

#### 3.4.1 심각도, 발생도, 검출도

전문가 설문 결과 심각도의 상대가중치는 0.6으로 발생도, 검출도와 비교했을 때 압도적으로 높은 것으로 나타났다. 이는 화약류 제조공정은 다른 산업 분야와 비교했을 때 사고 발생 시 미치는 영향이 매우 크기 때문으로 판단된다. 다음으로 발생도의 상대가중치는 0.29로 검출도에 비해 높게 나타났다. 이는 고장이 나타나는 근본적인 원인을 제거하는 것이 고장이 나타났을 때 탐지하는 것보다 중요하다는 품질에 대한 철학이 반영된 결과로 판단된다. 마지막으로 검출도는 상대가중치가 0.11로 가장 낮게 나타났다.

#### 3.4.2 RPN 분석

기존 수행했던 FMEA 결과에서는 조치 우선순위는 고장1, 고장2, 고장3, 고장4, 고장5 순서로 우선순위가 높은 결과를 보였다. 반면, AHP를 적용한 FMEA에서는 조

치 우선순위가 고장3, 고장1, 고장4, 고장2, 고장5의 순으로 나타났다. 고장5를 제외한 나머지 고장에서는 우선순위가 변경됨을 확인할 수 있었으며 이를 Table 9에 정리하였다.

Table 9. Priority Comparison

Failure	1	2	3	4	5
Before Priority	1	2	3	4	5
After Priority	2	4	1	3	5

## 4. 결론

본 논문에서는 다양한 분야에 널리 사용되는 FMEA에 AHP기법을 적용하여 군수용 화공품분야에 적합한 FMEA방법론을 제시하고자 하였다. 먼저 군수용 화공품분야 제조공정 FMEA의 심각도/발생도/검출도에 대한 상대중요도를 구했다. 심각도의 상대중요도는 0.6, 발생도의 상대중요도는 0.29, 검출도의 상대중요도는 0.11로 산출되었다. 이는 군수용 화공품 제조공정에서 사고 발생 시 미치는 영향이 매우 크고, 고장을 검출하기보다 고장의 근본적인 원인을 제거하여 발생빈도를 줄이는 것이 더 중요하다는 생각이 반영된 결과로 보인다.

또한, 기존에 (주)○○에서 수행했던 FMEA에서는 고장1, 고장2, 고장3, 고장4, 고장5 순으로 RPN값이 높았던 반면 상대중요도의 개념을 적용한 FMEA에서는 고장3, 고장1, 고장4, 고장2, 고장5의 순으로 RPN값이 높았다. 이는 3.4절의 Table 9에서 확인할 수 있으며 해당 결과를 통해 각 고장의 위험 관리의 우선순위가 달라진 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 각 항목의 상대중요도를 고려하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 다만 군수용 화공품분야라는 특수한 제약사항으로 많은 표본을 확보하는데 제한사항이 있었다. 향후 전문가 풀을 넓혀 신뢰성을 향상시키고, 군수용 화약 제조분야로 연구범위를 넓히는 등의 후속연구가 필요하다고 사료된다.

## References

- [1] Y. W. Lee, I. K. Kwon, "A Study on the Applicability of FMEA and it's Results for Hand Grenade in Government Quality Assurance Planning", *Journal of*

*the Korea Academia-Industrial*, Vol.17, No.2, pp.252-258, Feb. 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.2.252>

- [2] S. H. Na, G. E. Lee, J. M. Koo, "Risk Analysis for the Rotorcraft Landing System Using Comparative Models Based on Fuzzy", *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol.36, No.2, pp.49-57, April 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2021.36.2.49>
- [3] P. H. Park, FMEA(Failure Mode Effect Analysis). LG weekly economy, c2001[cited 2001 Nov 7], Available From: [http://www.lgeri.com/uploadFiles/ko/pdf/pub/%EA%B2%BD%EC%98%81%EA%B5%90%EC%8B%A4\\_FMEA\\_20040317152325.pdf](http://www.lgeri.com/uploadFiles/ko/pdf/pub/%EA%B2%BD%EC%98%81%EA%B5%90%EC%8B%A4_FMEA_20040317152325.pdf) (assessed Mar. 31. 2022)
- [4] S. Y. Han, T. G. Park, "A Study on the Subway Safety Evaluation using the AHP", *Conference paper of The Korean Society for Railway*, The Korean Society for Railway, pp.61-66, 2004.
- [5] J. Y. Park, A. Cho, "A Safety Evaluation Method for a Product Design Planning Stage: Application of AHP and Fuzzy", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.27, No2, pp.15-24, May 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.5143/JESK.2008.27.2.015>
- [6] J. J. Lee, H. R. Kyoung, J. S. Park, C. W. Han, W. G. Jin, "Development of Evaluation Items and Indicators for Hydrological Safety on Agricultural Reservoir", *Journal of Wetlands Research*, Vol.16, No.4, pp.403-411, 2014.
- [7] Naver, Pyrotechnic, c022[cited May 10. 2004] Available From : <https://ko.dict.naver.com/#/entry/koko/cd31068dd41e406fa907db7c9ac767f6> (assessed July 04. 2022)
- [8] Wiki, Detonaotr, Wiki, c2022[Cited April 28. 2022] Available From : <https://namu.wiki/w/%EB%87%8C%EA%B4%80> (assessed May 30. 2022)
- [9] J. B. Huh & G. S. Lee, "The Effect of Judgment Scales of AHP on Technology Valuation in Offset Program", *Korea Research Institute for defense Technology*, Vol.22, No.7, pp.61-67, July 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.7.61>

이 강 산(Gang-San Lee)

[정회원]



- 2014년 2월 : 전북대학교 산업정보시스템공학과 (산업공학 학사)
- 2014년 7월 ~ 2018년 8월 : (주)한화 여수사업장 엔지니어
- 2019년 12월 ~ 2020년 12월 : 국방기술품질원 연구원
- 2021년 1월 ~ 현재 : 국방기술진흥연구소 연구원

<관심분야>

절충교역, 기술평가, 국방분야, 시스템공학, 통계, AHP