

현실적 공정 FMEA 평가기준 개발

김태혁·장중순·이은열

아주대학교 산업공학과

Practical Criteria for Process FMEA

T. H. Kim·Joong Soon Jang·E. Y. Lee

Department of Industrial Engineering, Ajou University

Abstract

Failure mode and effects analysis (FMEA) is a widely used technique to assess or to improve reliability of products or processes at early stage of development. Traditionally, the prioritization of failures for corrective actions is performed by evaluating risk priority numbers (RPN). In practice, due to insufficient evaluation criteria specific to related products and processes, RPN is not always evaluated properly. This paper reestablishes an effective methodology for prioritization of failure modes in FMEA procedure. Revised evaluation criteria of RPN are devised and a refined FMEA sheet is introduced. To verify the proposed methodology, it is applied to inspection processes of PCB products.

Keywords : Failure Mode and Effect Analysis(고장모드 및 영향분석), Printed Circuit Board(인쇄회로기판), Process(공정), Risk Priority Numbers (위험우선순위).

1. 서론

최근 모든 산업 분야에 최첨단의 신기술이 적극 적용됨에 따라 기존의 단순한 안전 계수를 바탕으로 한 제품의 설계·생산 방법보다는 신뢰성 개념을 도입한 방법이 요구되고 있다. 특히, 신제품 또는 첨단제품을 개발할 경우 신뢰성 확보 문제는 해당 기술 분야의 선도적 역할과 제품 사용 시의 안정성 측면에서도 대단히 중요하다고 할 수 있다 한국기계연구원(2001). 여기서 신뢰성은 제품사용의 시간적 요인을 중요시하는 품질특성으로, 일정기간 동안 주어진 기능을 원활하게 수행할 수 있는 제품의 능력을 말하며, 시스템의 기능적 안정성을 나타내는 성질로서 추상적인 의미로 사용된다. 즉 높은 신뢰성을 가지고 있는 제품일수록 고장(Failure)이 잘 일어나지 않는다 김태원과 박창준(1991).

좋은 품질을 확보하기 위하여 개발 단계에서 설계에 대한 적합성을 검토하고 제조공정에서 발생 가능한 고장, 결함 또는 불량에 대한 사전 검토와 대책을 세우는 일은 매우 중요하다. FMEA(failure mode and effects analysis)는 이러한 목적에 맞는 가장 적합한 종합적이고 체계적인 접근방법이다. FMEA는 1960년대에 신뢰성 및 안정성을 요구하는 항공 우주산업의 설계방법론의 정형으로 개발되었다.

이후 많은 일본 기업이 전사적 품질관리 기법의 하나로 FMEA를 적용하였으며, 1990년대 들어 ISO9000, TS 16949, TL 9000 등의 품질경영 시스템과 6시그마 품질활동 등에 있어서 품질 및 신뢰성 개선활동의 필수적인 기법으로 자리 잡게 되었다. 또한 FMEA는 신뢰성을 중시하는 설비보전활동의 핵심적 방법론이기도 하다 정해성 외(2005).

FMEA란 설계된 시스템이나 기기의 잠재적인 고장 모드(mode)를 찾아내고, 시스템이나 기기의 가동 중에 이와 같은 고장이 발생하였을 경우 임무달성에 미치는 영향을 검토하여 평가하고, 영향이 큰 고장 모드에 대하여는 적절한 대책을 세워 고장의 미연방지를 꾀하는 방법으로서 설계의 평가뿐만 아니라 제조공정의 평가나 안전성의 평가 등에도 널리 활용되고 있다 이상용(1999).

그러나 많은 기업체에서 FMEA가 형식적으로 실시되거나 그 중요성에 대한 인식부족과 자원이 적절하게 할당되지 않아 실패하는 경우가 종종 발생한다. 장중순과 안동근(1997)은 효과적인 FMEA 실시에 필요한 요소를 설명하고, 실시목적(잠재 고장모드 파악, 고장모드 영향 평가를 통한 대책수립)에 적합한 FMEA 양식을 제안하였다.

Huang et al(1999)은 인터넷상에서 FMEA를 지원하는 프로토타입 컴퓨터 시스템을 제시하였다. Sankar and Probhu(2001)는 고장모드 간의 우선순위를 결정하기 위한 RPR(risk priority ranks) 접근법을 제시하였다. 이 방법은 If-then 규칙형태로 전문가 지식에 기반을 둔다. Xu et al(2002)은 FMEA를 위하여 불확실하고 정확하지 않은 정보를 가지는 다양한 고장모드 간의 상호의존성을 언급한 퍼지로지 기반 방법을 제시하였다. Pillay and Wang(2003)은 퍼지규칙 기반 및 Grey 관계이론을 활용하여 전통적인 FMEA 성능을 향상시켰으며, Teoh and Case(2004)는 기능추론 기법으로 과거의 FMEA 자료에서 자동적으로 FMEA를 생성시키는 프레임워크를 제공하였다. Seyed-Hosseini et al(2006)은 RPN(risk priority number)의 약점, 즉 구성품 간의 간접관계를 고려하지 못하고 많은 서브시스템이나 구성품을 갖는 시스템에 적용이 어려운 문제점을 보완할 수 있는 효과적인 방법을 개발하였다.

본 논문에서는 PCB제품을 검사하는 중소기업 검사공정에서 FMEA의 실시과정 중 현업에서 경험하는 RPN 평가시의 문제점들을 분석하여 적용 제품 및 공정에 적합하고, 평가자 간의 일치성을 개선시킬 수 있는 RPN 평가기준을 단순화하여 재정립하고자 한다. 그리고 재정립된 RPN 평가기준을 검사공정의 품질 확보 및 생산과정에서의 FMEA 실시에 적용하여 효용성을 검증하고자 한다.

2. PFMEA 실시와 RPN 평가 방법

2.1 공정 FMEA의 실시절차

공정 FMEA는 목적에 따라서 각각 충분한 준비를 갖추어서 실시에 옮겨야 한다. 공정 FMEA의 실시절차는 다음과 같다.

- ① 공정 흐름의 확인과 합격·불합격의 규격을 확립함(공정의 임무 혹은 개선점을 명확히 함)
- ② 각 공정의 기능분석 레벨을 정함
- ③ 분석할 공정의 레벨에 대응한 가공 프로세스를 명확히 함
- ④ 공정 프로세스의 블록도를 작성함
- ⑤ 각각의 공정 프로세스마다 발생하는 불량 모드를 열거함
- ⑥ 불량품을 발생하는 요인이 될 불량 모드를 정리하고, 검토대상으로 할 불량 모드를 선정함
- ⑦ 불량품 발생의 추정원인을 열거함
- ⑧ 공정 FMEA 기입용지에 기입함
- ⑨ 후공정에 큰 영향을 미치는 불량 모드, 불량품 발생의 직접적인 원인이 되는 불량 모드를 프로세스 시방서나 제조도면 등을 참조하면서 등급별로 분류함(공정개선을 목적으로 해서 공정 FMEA를 실시하는 경우에는 불량발생률에 중점을 두기도 함)
- ⑩ 설비개선이나 공정변경의 필요 여부를 검토함

2.2 공정 FMEA 등급평가

FMEA를 실시해서 고장 등급이 높은 고장 모드가 적출되면 제조공정에 있어서는 그 고장 모드와 관계 있는 불량 모드를 전무하게 하는 것, 검사공정에 있어서는 그 고장 모드와 관계 있는 불량을 검출하여 불량품을 걸러내는 것이 중요하다.

공정 FMEA의 평가기준은 다음 사항에 의해서 정해진다.

- FMEA 결과
- 불량률의 영향 정도

- 불량품의 발생빈도
- 불량 발견의 난이도

다음의 식으로 구할 수 있다.

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

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

일반적으로 현장에서는 10점 척도를 사용하여 산출된 RPN 값이 100점 이상 또는 개별 요소가 8점 이상인 경우에는 대책을 수립하며 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 시정조치를 시행하여 심각도, 발생도, 검출도 중의 한 두 개 또는 전부를 감소시킴으로써 RPN 값을 감소시켜야 한다(정해성 외(2005), 장중순과 안동근(1997)).

3. RPN 평가방법의 문제점 분석과 재정립

FMEA의 특성상 다수의 잠재 고장 모드를 평가해야 하므로, 개개의 고장모드나 고장원인에 대해 충분하게 검토할 시간적 여유가 주어지지 않는 경우가 많다. 실제로 현업에서 RPN을 정확하게 평가하는 것이 어렵고 평가자가 자의적으로 평가하는 경우가 많다.

3.1 RPN 평가시의 주요 문제점과 영향

RPN 평가에서 겪게 되는 주요한 문제점은 다음과 같이 정리될 수 있다. 첫째, 고장에 대한 지식이나 경험의 부족을 들 수 있다. 이런 경우는 그 제품을 많이 접해보지 못했거나, 개발/생산과정에서의 참여가 부족한 사람에게서 많이 나타난다. 둘째, 평가하고자 하는 제품이나 공정에 적합하지 못한 평가기준의 적용이다. 자동차에 대한 RPN 평가기준과 전자제품에 대한 RPN 평가기준이 다르게 적용되어야 함에도 불구하고, 획일적인 평가기준을 사용하게 되어 오류가 일어나는 경우가 있다. 셋째, 평가기준이 모호하여 각 평가자가 지나치게 자의적으로 평가할 수 있는 점이다. 이러한 모호성의 결과로 평가자간 평가결과의 차이가 크게 발생하는

경우도 종종 있다. 넷째, 담당업무에 따른 이해관계나 시각의 차이이다. 주로 RPN이 높게 평가되었을 때, 그 대책의 수립이나 실행을 담당해야 하는 사람의 입장에서는 RPN 평가 시 위험을 낮게 평가하는 경우가 발생할 수 있다. 예를 들면, 개발을 담당하는 개발부서 연구자의 입장에서는 개발납기나 목표원가가 중요하게 생각되고 단기간에 그 업적이 평가되기 때문에, 상대적으로 개발후의 품질에 대해서는 소홀히 하기 쉬운 것이 현실이다. 다섯째, 기존의 유사한 제품이나 공정에서 얻어진 자료의 미흡한 활용이다. RPN 평가 자체가 정성적인 판단에 많이 의존하게 되는 것은 사실이지만 가능한 한 판단의 객관성을 확보하기 위하여 기존 자료를 적극 활용하지 못해 판단의 오류가 발생하게 된다.

고장모드에 대해 RPN 평가시의 문제점이나 오류에 의한 영향은 다음의 3가지가 있다. 첫째, 고장모드에 대한 RPN을 실제보다 과소평가하는 경우이다. 그 영향은 적절한 대책 및 수립을 하지 않게 되는 경우가 많아 미연에 방지할 수 있었던 문제를 방지하지 못하고, 현장에서 문제가 발생하게 되어 막대한 경영상 손실을 초래하는 점이다. 실제 현업에서는 고장모드에 대한 위험의 과소평가가 가장 큰 문제라고 할 수 있다. 둘째, 고장모드에 대한 RPN을 실제보다 과대평가하는 경우이다. 과대평가에 의한 영향은 불필요한 대책을 수립하고 실행하게 되어 자원과 비용이 낭비된다는 점이다. 셋째, 고장모드에 대한 RPN 값은 정확하다 할지라도 각 요소의 평가에 오류가 있는 경우이다. RPN의 각 구성요소의 관점에서 정확히 평가가 중요한 이유는 개선방향과 관련이 있다. 즉, 심각도가 높은 경우에는 설계적 조치를 취해야 할 경우가 많고, 발생도가 높은 경우에는 공정능력을 향상시키거나 발생을 방지시키는 Fool-proof 장치를 하게 되며 검출도의 경우는 검사를 강화하거나 검출력이 높은 시험방법을 개발하게 된다. 이와 같이 각 항목의 점수가 정확하게 평가되지 않는다면 잘못된 방향으로 개선되어 자원의 낭비를 불러일으키거나 실제 개선의 효과를 얻지 못하게 될 가능성이 커지게 된다.

3.2 RPN 평가기준 개발에 대한 연구

RPN 평가시의 문제점을 개선하기 위해 다음과 같이 RPN 평가기준과 대책수립기준을 재정립한다. 첫째, 적용하고자 하는 제품이나 공정에 따라 RPN 평가기준이 달라져야 한다. 본 논문에서는 PCB제품 검사업체의 특성에 맞도록 재조정하고자 한다. 안전성 해석의 등급을 참조하여 심각도를 불량, 치명적 불량, 중대불량, 경미불량, 미소불량으로 구분하여 등급을 결정한다. 안전성 해석의 등급은 FMEA와 순위가 동일하며 <표 1>에 보이는 바와 같은 등급을 부여한다 노형진(2007). 둘째, 동일 제품이나 프로세스에 대해서 평가할 경우 평가자간의 차이가 최소화될 수 있도록 모호성이 개선된 평가기준을 만들고자 한다. 셋째, 평가오류시의 가장 큰 문제점인 대책수립 누락의 위험이 최소화 되도록 대책수립기준을 재조정한다. RPN의 절대 점수에 의한 대책수립 기준 뿐만 아니라, 상대적인 RPN 상위 고장모드에 대해서도 대책을 수립하고 실행하도록 하는 기준을 마련하고자 한다.

적용업체인 S업체를 대상으로 현재 사용 중인 RPN 각 요소인 심각도, 발생도 및 검출도의 평가기준을 정리하고, 평가자간 일치정도를 판단한다. 평가자간의 일치성을 평가하기 위하여 Minitab에서 제공되는 모비율, Kappa 통계량 및 Kendall의 일치계수 중에서 Kendall의 일치계수를 사용한다. Kendall의 일치계수는 n개의 평가 대상물에 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. 그러나 Kendall의 일치계수에 대해서는 명확한 기준이 제안되지 않고 있다. Kendall의 일치계수에 대한 기준은 아직 마련되어 있지 않으므로 적합판정은 내릴 수 없으나, 다른 팀과의 비교에 있어서 활용될 수 있다. 즉, 데이터가 순위척도인 경우에는 Kappa 통계량 보다 Kendall의 일치계수를 참조하여 팀 전체의 의견일치 정도를 평가하는 것이 더 정확하게 판정하는 것이라고 할 수 있다 이승훈(2006). 3개의 고장모드에 대해 3명의 평가자가 각 요인을 평가하게 하여 Kendall의 일치계수를 구한 후 평가자들 간의 일치정도를 조사하였다.

4.1 심각도 평가기준의 재정립과 일치성 평가

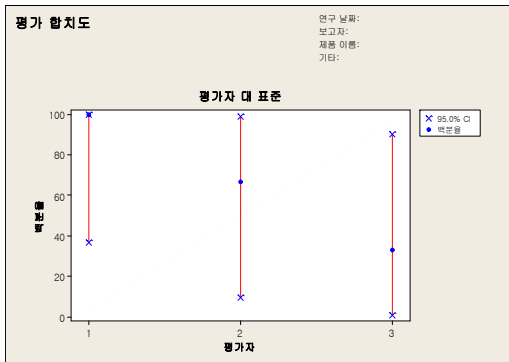
S업체에서 사용 중인 영향도 평가기준에 의하면 PCB제품의 경우, 고장으로 인한 영향은 높은 것으로 나타난다. 평가자간의 일치성을 평가하기 위하여 기존의 영향도 평가기준과 재정립된 평가기준을 가지고 실시한 평가결과가 <그림 1>과 <그림 2>에 나타나 있다. 기존 평가기준으로써 평가한 결과 순위척도에 대한 Kendall의 일치계수는 0.818로 비교적 양호한 결과로 판단된다. 단순화된 평가기준에 대한 Kendall의 일치계수는 0.877로 평가기준의 모호성이 보다 더 줄어들었음을 알 수 있다.

<표 3> 기존 심각도 기준

심각도 평가기준		
영향성	심각도 기준	등급
매우높음	현 제품은 동작하나 신뢰성에 매우 취약 TEST Screen안됨	10
	현 제품이 동작이 판단되질 않으며 TEST에서 Screen 됨	9
	제품이 동작하질 않으며 불량으로 현공정에서 Loss 처림됨	8
높음	제품이 동작하나 고객 검사 기준으로 현공정에서 Loss 처림	7
	제품은 동작하나 고객의 특채 기준에서 협의 가능성 있음	6
	제품은 동작하나 고객의 특채 기준에서 협의 가능성 없음	5
보통	제품을 ReWork 하여 고객에게 통보하여야 함	4
	제품을 ReWork 하여 정상 출하 가능한 상태	3
낮음	매우 경미한 정도의 외관 문제 사항	2
	제품의 불량 유/무에는 해당되질 않음	1

<표 4> 개선된 심각도 기준

심각도 평가기준			
영향성	심각도 기준	불량형태	등급
매우높음	현 제품이 동작이 판단되질 않으며 TEST에서 Screen 됨	치명적 불량	4
높음	제품은 동작하나 고객의 특채 기준에서 협의 가능성 있음	중대불량	3
보통	제품을 ReWork 하여 정상 출하 가능한 상태	경미불량	2
낮음	제품의 불량 유/무에는 해당되질 않음	미소불량	1



Kendall의 상관 계수

평가자	계수	SE 계수	Z	P
1	1.00000	0.638285	1.04447	0.2963
2	0.81650	0.638285	0.75697	0.4491
3	0.81650	0.638285	0.75697	0.4491

평가자 사이

평가 합치도

# 검사됨	# 일치됨	백분율	95% CI
3	0	0.00	(0.00, 63.16)

대응됨: 모든 평가자의 평가가 서로 일치합니다.

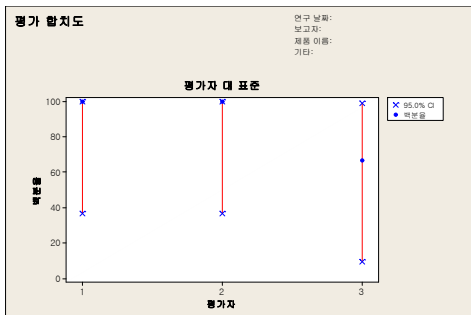
Fleiss의 카파 통계량

반응	카파	SE 카파	Z	P(대 > 0)
5	-0.125000	0.333333	-0.37500	0.6462
6	0.357143	0.333333	1.07143	0.1420
7	-0.285714	0.333333	-0.85714	0.8043
8	0.100000	0.333333	0.30000	0.3821
전체	0.035714	0.205508	0.17379	0.4310

Kendall의 일치성 계수

계수	카이-제곱	DF	P
0.818182	4.90909	2	0.0859

<그림 1> 기존 심각도 일치성 분석



평가 합치도

# 검사됨	# 일치됨	백분율	95% CI
3	0	0.00	(0.00, 63.16)

대응됨: 모든 평가자의 평가가 알려져 있는 표준과 일치합니다.

Fleiss의 카파 통계량

반응	카파	SE 카파	Z	P(대 > 0)
5	0.600000	0.333333	1.80000	0.0359
7	0.555556	0.333333	1.66667	0.0478
전체	0.484848	0.267271	1.81407	0.0348

* 모든 표준 표준과 시행 반응의 값이 같거나 어느 것도 같지 않은 경우 카파를 계산할 수 없습니다.

Kendall의 상관 계수

계수	SE 계수	Z	P
0.877664	0.368514	2.08012	0.0375

* 참고 * 각 평가자 내에서 단일 시행. 평가자 내부의 평가 합치율이 전혀 표시되지 않습니다.

<그림 2> 개선된 심각도 일치성 분석

4.2 발생도 평가기준의 재정립과 일치성 평가

S업체에서 사용 중인 발생도 평가기준에서의 문제점은 QS9000에서 제시한 평가방법에 따라 주로 제품이 출하되어 사용 중인 상태에서의 고장위주만으로 평가하도록 되어 있다는 점이다. 즉, 제조공정이나 검사 단계에서 발생할 수 있는 불량에 대해서는 고려하고 있지 않다는 것이다. 발생도 평가기준을 재정립하기 위하여 검사공정에서 2009년 4월~6월까지 집계된 현장에서의 모든 고장(불량)모드를 분석한 결과, TAPE불량과 찍힘 불량 고장 모드의 평균 발생률은 1.21%로 추정되었다. 따라서 이들을 보통수준인 5등급으로 하여 전체 발생도 평가기준을 수정하였다. <표 6>는 재정립된 발생도 평가기준이다.

<표 5> 기존 발생도 평가기준

발생도 평가기준		
확률	고장가능비율	등급
지속적인 고장	500000ppm 이상	10
	300001ppm ~ 500000ppm	9
빈번한 고장	100001ppm ~ 300000ppm	8
	20001ppm ~ 100000ppm	7
가끔 고장	5001ppm ~ 20000ppm	6
	1001ppm ~ 5000 ppm	5
적은 고장	301ppm ~ 1000ppm	4
	51ppm ~ 300ppm	3
희박	1ppm ~ 50ppm	2
	1ppm 이하	1

<표 6> 재정립된 발생도 평가기준

발생도 평가기준		
확률	고장가능비율	등급
지속적인 고장	500000ppm 이상	10
	300001ppm ~ 500000ppm	9
빈번한 고장	100001ppm ~ 300000ppm	8
	50001ppm ~ 100000ppm	7
가끔 고장	20001ppm ~ 50000ppm	6
	10001ppm ~ 20000 ppm	5
적은 고장	1001ppm ~ 10000ppm	4
	101ppm ~ 1000ppm	3
희박	11 ppm ~ 100 ppm	2
	10 ppm 이하	1

4.3 검출도 평가기준의 재정립과 일치성 평가

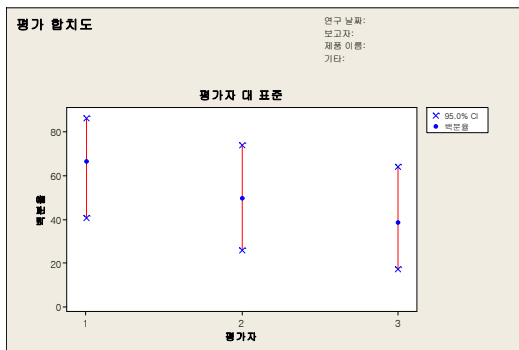
S업체에서 사용 중인 일반 검출도 평가기준의 문제점은 지나치게 모호하여 평가자체가 자의적으로 이루어진다는 점이다. 기존의 검출도 평가기준을 가지고 실시한 3인의 평가결과에 대한 Kendall의 일치계수는 0.896로 나타났다. <표 8> 은 재정립된 검출도 평가기준이다. 재정립된 평가기준에 의한 평가결과와 Kendall의 일치계수는 0.916로 조사되어 기존 평가기준보다 일치성이 향상된 것으로 볼 수 있다.

<표 7> 기존 검출도 기준

검출도 평가기준		
검출도	기준	등급
거의 불가능	불량을 거의 검출하지 못함이 확실함	10
매우 희박	관리를 통한 검출 불가능	9
희박	관리를 통한 검출 가능성이 낮음	8
매우 낮음	관리를 통한 검출 가능성이 낮음	7
낮음	관리를 통해 검출할 수도 있음	6
보통	관리를 통해 검출할 수도 있음	5
다소 높음	관리를 통해 검출을 잘 할 수 있음	4
높음	관리를 통해 검출을 잘 할 수 있음	3
매우 높음	관리를 통해서 거의 확실히 검출을 할 수 있음	2
거의 확실	관리를 통해서 확실히 검출을 할 수 있음	1

<표 8> 개선된 검출도 기준

검출도 평가기준		
검출도	기준	등급
매우 희박	관리를 통한 검출 불가능	5
매우 낮음	관리를 통한 검출 가능성이 낮음	4
보통	관리를 통해 검출할 수도 있음	3
높음	관리를 통해 검출을 잘 할 수 있음	2
거의 확실	관리를 통해서 확실히 검출을 할 수 있음	1



평가 합치도

검사됨 # 일치됨 백분율 95% CI
18 0 0.00 (0.00, 15.33)

대응됨: 모든 평가자의 평가가 알려져 있는 표준과 일치합니다.

Fleiss의 카파 통계량

반응	카파	SE 카파	Z	P(대 > 0)
1	0.678167	0.136083	4.9984	0.0000
2	0.378663	0.136083	2.78141	0.026
3	0.227301	0.136083	1.67031	0.0474
4	0.259962	0.136083	1.91032	0.0280
5	0.466667	0.136083	3.42929	0.0003
6	*	*	*	*
7	*	*	*	*
8	0.476371	0.136083	3.50059	0.0002
9	0.711828	0.136083	5.23885	0.0000
전체	0.440964	0.054081	8.15376	0.0000

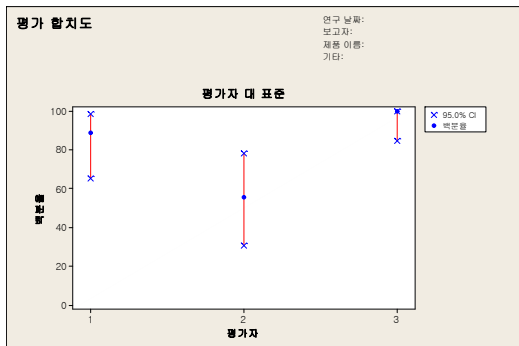
* 모든 표준 표준과 시행 반응의 값이 같거나 어느 것도 같지 않은 경우 카파를 계산할 수 없습니다.

Kendall의 상관 계수

계수	SE 계수	Z	P
0.896735	0.0996241	8.97932	0.0000

* 참고 * 각 평가자 내에서 단일 시행. 평가자 내부의 평가 합치율이 전혀 표시되지 않습니다.

<그림 3> 기존 검출도 일치성 분석자료



평가 합치도

검사됨 # 일치됨 백분율 95% CI
18 8 44.44 (21.53, 69.24)

대응됨: 모든 평가자의 평가가 알려져 있는 표준과 일치합니다.

Fleiss의 카파 통계량

반응	카파	SE 카파	Z	P(대 > 0)
1	0.766002	0.136083	5.6289	0.0000
2	0.571429	0.136083	4.1991	0.0000
3	0.763547	0.136083	5.6109	0.0000
4	0.866667	0.136083	6.3687	0.0000
5	0.922581	0.136083	6.7796	0.0000
전체	0.765531	0.069109	11.0771	0.0000

Kendall의 상관 계수

계수	SE 계수	Z	P
0.916162	0.0996241	9.17432	0.0000

* 참고 * 각 평가자 내에서 단일 시행. 평가자 내부의 평가 합치율이 전혀 표시되지 않습니다.

<그림 4> 개선된 검출도 일치성 분석자료

4.4 대책수립 기준

대책수립 기준으로 RPN의 상대적인 크기비교를 포함시키기 위해서 RPN 값이 높은 고장 모드의 상위 몇 %의 항목에 대해서 대책을 수립하도록 하는 것이 적당한 가를 결정하기 위해, RPN 값이 20점이상 되는 고장모드와 상위점유율간의 관계를 분석한 결과는 <표 9> 와 같으며, 20점 이상의 항목들의 비율은 50%로 나타났다. 이러한 결과를 참조하여, <표 10> 과 같이 최소 상위 50%의 RPN 항목들에 대해서는 대책수립을 실시하도록 기준을 정하였다. PCB제품에 적용하여 보니 기존 평가기준에 의한 방식에서는 RPN 100이상 시 7개 고장 모드가 대책수립이 필요하였으나, 새로운 평가기준에 의한 방식에서는 대책수립이 필요한 고장모드가 9개 도출되었다.

<표 9> RPN 기준 이상의 고장모드 비율

구분	RPN이 100이상		RPN이 20이상	
	기존	변경	기존	변경
모드의 수	7	3	14	9
총모두의 수	18	18	18	18
비율	38.89	16.67	77.78	50

<표 10> 기존 RPN 기준의 평가 사례

공정의 기능	잠재적 고장형태	고장의 잠재적 영향	심각도	고장의 잠재적원인/구조	발생도	현 공정 관리 예방	현 공정 관리 검출	검출도	RPN
TAPE부착	TAPE위치불량	도면과 상이	8	PILOT PIN 고정대 마모	9	마모시 교체	검출관리 누락	8	576
			8	PILOT PIN 마모	8	마모시 교체	검출관리 누락	8	512
			8	원자재의 변형	4	작업후 선별	검사 선별	2	64
			8	PUNCH 마모	2	PUNCH 연마	주기적인 연마	1	16
	TAPE WIDTH불량	도면과 상이	8	TAPE Feeding부 고장	2	수리 또는 교체	검출관리 누락	9	144
			8	Feeding Roller편심불량	8	관리누락	검출관리 누락	9	576
			8	Feeding Roller마모	3	마모시 교체	검출관리 누락	9	216
			8	Feeding Roller치수불량	3	관리누락	입고성적서 확인	3	72
Cavity	찍힘	외관불량	8	Feeding Roller이물질	2	세정	자주검사	3	36
			6	Cavity Scrap 부상	7	Scrap 제거	자주검사	5	210
			6	Cavity 위치불량	3	조건 재설정	자주검사	5	90
			6	작업방법미준수	4	표준서 준수	표준준수율 점검	8	192
			6	금형세정불량	3	주기적인 세정	금형수리 카드	1	18
			6	PUNCH 마모	2	주기적인 연마	금형수리 카드	1	12
			6	금형내부에 이물질 흡착	3	금형 세정	자주검사	4	72
			6	이음부 TAPE에 의한 오염	1	설비정지후 제거	장비 센서	2	12
			6	원자재 BURR에 의한 찍힘	2	AIR 세정	자주검사	5	60
			6	원자재 석출	2	AIR 세정	자주검사	5	60

<표 11> 개선된 RPN 기준의 평가 사례

공정의 기능	잠재적 고장형태	고장의 잠재적 영향	심각도	고장의 잠재적원인/구조	발생도	현 공정 관리 예방	현 공정 관리 검출	검출도	RPN	우선순위
TAPE부착	TAPE위치불량	도연과 상이	4	PILOT PIN 고정대 마모	9	마모시 교체	검출관리 누락	4	144	2
			4	PILOT PIN 마모	8	마모시 교체	검출관리 누락	4	128	3
			4	원자재의 변형	4	작업후 선별	검사 선별	1	16	13
	TAPE WIDTH불량	도연과 상이	4	PUNCH 마모	2	PUNCH 연마	주기적인 연마	1	8	16
			4	TAPE Feeding부 고장	2	수리 또는 교체	검출관리 누락	5	40	7
			4	Feeding Roller편심불량	8	관리누락	검출관리 누락	5	160	1
Cavity	찍힘	외관불량	3	Cavity Scrap 부상	7	Scrap 제거	자주검사	3	63	4
			3	Cavity 위치불량	3	조건 재설정	자주검사	3	27	8
			3	작업방법미준수	4	표준서 준수	표준준수를 점검	4	48	6
			3	금형세정불량	3	주기적인 세정	금형수리 카드	1	9	15
			3	PUNCH 마모	2	주기적인 연마	금형수리 카드	1	6	17
			3	금형내부에 이물질 흡착	3	금형 세정	자주검사	2	18	10
			3	이음부 TAPE에 의한 오염	1	설비정지후 제거	장비 센서	1	3	18
			3	원자재 BURR에 의한 찍힘	2	AIR 세정	자주검사	3	18	10
			3	원자재 석출	2	AIR 세정	자주검사	3	18	10

<표 12> 개선활동 필요 기준

제품	개선활동기준
절대적인 RPN 수치에 의한 기준	RPN 200이상인 경우
	영향도 4, 발생도 8, 검출도 5이상인 경우
상대적인 RPN 수치에 의한 기준	RPN 수치로 평가할 경우 상위 50%인 고장 모드의 경우

5. 결론

본 논문에서는 FMEA 실시 과정의 하나인 RPN 평가시의 주요 문제점들을 분석하여 평가 기준을 재정립하고 이를 PCB제품 검사공정에 적용하여 효용성을 검증하였다. RPN 평가시의 주요 문제점은 첫째, 적용하고자 하는 제품에 적합하지 못한 평가기준의 적용이었으며 둘째, 평가자간 평가결과의 불일치를 가져오는 평가기준의 모호성이었다. 그리고 이런 문제점의 결과는 중요한 고장모드에 대한 대책수립의 누락과 이에 따른 경영손실을 들 수 있다.

RPN 평가시의 문제점을 개선시키기 위해 본 논문에서는 PCB 제조업체를 대상으로 연구를 실시하였다. 심각도 평가시의 문제점을 개선하기 위해 기존 10등급 구분을 4등급 구분으로 단순화하여 평가 기준을 재정립하였다.

발생도 평가시의 문제점을 개선하기 위해, 기존의 QS9000에서 제시한 기준에서 검사단계에서의 불량 발생률을 고려하여 평가하도록 하였다. 그리고 검출도 평가시의 문제점을 개선하기 위해, 기존 10등급 구분을 5등급 구분으로 단순화하여 등급 부여의 모호성을 개선하여 평가하도록 하였다. 본 연구에서 제시한 방법이 기존의 방법에 비해서 어느 정도 개선된 결과를 얻었지만, 불량이나 고장의 발생 이전에 심각도/발생도/검출도를 적절히 평가하여 사전에 대처하고자 하는 방법의 연구는 각 분야에 적합하게 다양한 방법으로 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 한국기계연구원(2001), “기계류부품 신뢰성 평가 통합기술 개발”, 특정연구개발사업 /원자력연구개발사업 학술기사, pp.1, 17.
- [2] 김태원과 박창준(1991), “전자부품 품질 및 신뢰성”, 전자공학회지, 제18권, 제2호, 1991년 2월, pp. 45~54.
- [3] 정해성, 권영일, 박동호(2005), 「신뢰성 시험분석 평가」, 영지문화사.
- [4] 이상용(1999), 「신뢰성공학」, 개정판, 형설출판사
- [5] 장중순과 안동근(1997), “효과적인 FMEA 실시”, 「품질경영학회지」, 25권, 1호, pp. 156-172.
- [6] 노형진(2007), 품질혁신 e-mail 교육 제125호
- [7] 이승훈(2006), 「Minitab 측정시스템 분석」, 개정판, 이레테크.
- [8] Huang, G. Q., Nie, M., and Mak, K. L.(1999), “Web-based failure mode and effect analysis (FMEA)”, Computers & Industrial Engineering, Vol. 37, pp. 177-180.
- [9] Sankar, N. R. and Prabhu, B. S.(2001), “Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis”, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 18, No. 3, pp. 324-335.
- [10] Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L., and Zhu, M. L.(2002), “Fuzzy assessment of FMEA for engine systems”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 75, pp.17-29.
- [11] Pillay, A. and Wang, J.(2003), “Modified failure modes and effects analysis using approximate reasoning”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 79, pp. 69-85.
- [12] Teoh, P. C. and Case, K.(2004), “Failure modes and effects analysis through knowledge modelling”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 153-154, pp. 253-260.
- [13] Seyed-Hosseini, S. M., Safaei, N., and Asgharpour, M. J.(2006), “Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, pp. 872-881.