

## 효과적인 FMEA 실시

장중순 · 안동근

아주대학교 기계 및 산업공학부

### How to Perform FMEA Effectively

Joong Soon Jang · Dong Geun An

School of Mechanical & Industrial Engineering, Ajou University

#### Abstract

FMEA is a widely used technique to assess or to improve reliability of products at early stage of design and development. In order to implement FMEA effectively, it is important to utilize knowledge or technical know-hows. However, that is very difficult.

In fact, if information on the failure modes is enough, it is important to consider a counterplan to eliminate critical failure modes. If engineers do not have such information, however, it is more important to know what failure modes of the component under consideration would undergo.

This means that the purposes of performing FMEA varies according to the situation. Therefore, we need different kinds of FMEA charts to meet those purposes. This paper proposes two FMEA charts: one is suitable for detecting potential failure modes and the other is for product improvements.

#### 1. 서론

경제의 급속한 발전과 많은 경쟁업체들의 출현 속에서 소비자들은 더욱 신뢰성 있는 제품들을 요구하게 되었으며, 보다 적극적인 품질 개선과 신뢰성의 보증만이 그 기업을 존속시키고 나아가서는 영속적인 발전을 기할 수 있는 길임을 많은 생산업체들이 인식하게 되었다. 신뢰성 있는 제품을 개발하고 생산하기 위하여는 시장 정보의 수집, 기획, 신뢰성 있는 원재료의 조달, 정확한 신뢰성 설계 및 예측, 이를 뒷받침하

기 위한 신뢰성 시험과 제조 공정에서의 신뢰성 관리, 운용(사용)단계의 보전관리, 고장정보 수집 및 해석과 피드백(feedback) 등 여러 업무가 체계적으로 이루어져야 하고, 특히 제품의 신뢰성 향상을 위해서는 제품의 초기 개발 단계에서부터 신뢰성 확보가 중요하다. 제품의 신뢰성을 높이기 위한 방법으로 고장모드영향분석(Failure Mode and Effect Analysis : 이하 FMEA)이 많이 사용되고 있다. 최근에는 ISO 9000 규격을 비롯한 많은 문헌에서 이의 중요성을 강조하고 있으며, 많은 기업들이 이를 신뢰성 확보의 필수 요건으로 채택하고 있다.

FMEA는 제품의 초기 기본 설계 단계에서부터 제품의 생산단계에 이르기까지 제품이 의도한 대로 기능을 발휘하는가를 평가하고, 만족하지 못할 때는 개선활동을 통해 설계 단계로 개선 사항이 피드백(feed-back)될 수 있도록 수행하는 신뢰성 평가 활동의 하나이다. 또한 FMEA는 정성적 신뢰성 예측 기법 또는 고장 해석 기법으로서 제품 개발 또는 공정개발시에 많이 사용되고 있다. FMEA가 제품의 개발단계에서 적용될 수 있는 유용한 방법중의 하나이지만 FMEA의 실시는 고장징후, 고장형태, 임무수행에 미치는 영향 등 개발하고자 하는 제품 또는 시스템을 잘 알지 않으면 효과적인 분석이 곤란하기 때문에, FMEA의 실시과정에는 고장메카니즘에 대한 많은 정보와 지식이 필요하다. 그러나 이와 같은 것을 사람의 경험에만 의존하는 것은 비효과적이다. 왜냐하면 많은 경우 FMEA의 실시중에는 경험이 풍부한 사람의 의견이 존중되지만 그들은 자신이 체험한 고장에 대한 의견을 제시하는 경우가 많기 때문에, FMEA의 실시대상이 신제품이거나 새로운 시장 또는 환경에서 사용되는 경우에는 해당하지 않을 수도 있을 뿐만 아니라 인간의 기억용량에는 한계가 있기 때문이다. 한편 제품이 고장을 일으키는 원인에는 제조과정에서 또는 사용과정에서의 잘못이 차지하는 부분도 무시할 수 없기 때문에 이들을 충분히 고려한 평가가 되어야 하며 또 이들에 대한 관리도 중요하다. 이와 같은 점들을 고려해 볼 때 보다 현실적이고 효과적인 FMEA의 실시 방안을 모색하는 것은 대단히 중요한 문제이다.

그 동안 FMEA의 실시가 효과적으로 수행될 수 있도록 하기 위해 여러 종류의 FMEA 양식을 비롯한 FMEA 방법들이 제안되었다. Barbour(1977)는 시스템의 요소들, 고장모드들, 그리고 고장영향들 사이의 관계를 그림으로 설명하는 매트릭스(Matrix) FMEA 기법에 대해 다루었다. 그리고 Legg(1978)는 Barbour가 다룬 매트릭스 FMEA 기법에 소요되는 비용과 공수를 절감하기 위해 이를 컴퓨터 프로그램화하였다. FMEA 용지 대신에 컴퓨터 프로그램을 사용하는 전산화된 FMEA(Computerized FMEA) 방법은 보다 빠르고 정확한 편집과 갱신이 이루어질 수 있는 장점을 가지고 있다[O'Connor, 1985]. 컴퓨터 소프트웨어를 통한 FMEA의 실시는 Luthra(1991), Sexton(1991), 그리고 Kara-Zaitri, Keller와 Fleming(1991, 1992) 등 여러 학자들에 의해 연구되었다.

Hall(1983)은 컴퓨터의 하드웨어와 소프트웨어 설계결함 때문에 발생할 수 있는 시스템 고장들을 수집하기 위한 하드웨어/소프트웨어 FMEA 기법을 소개하였다. 또한 최근에는 각 고장모드의 중요 영향들을 자동 발생시킬 수 있는 자동화된 FMEA(Automated FMEA)에 대한 연구도 이루어지고 있다[4, 13, 14]. 그리고 Pelaez와

Bowles(1995)는 복잡한 시스템에서 고장의 원인과 영향들을 예측하기 위해 퍼지 인지 지도(Fuzz Cognitive Map)를 이용한 새로운 접근방법을 다루었다.

Aldridge와 Taylor(1991)는 GAL(Garrett Automotive Ltd)의 FMEA 추진 배경과 신제품 개발과정에서 Q-map 기법을 사용한 설계와 공정 FMEA의 절차를 소개하고 FMEA 실시 문제점과 방향에 대해 소개했다. 또한 Hatty와 Owens(1994)는 지속적인 공정과 제품개선을 위한 방향으로 FMEA를 지적하고 FMEA 개발을 위해 기업적 차원의 노력이 경주되어야 한다고 주장했다.

위의 연구들은 모두 효율적인 FMEA의 실시 방안을 모색하기 위해 연구되었다. 그러나 현실적으로는 기존에 제안된 FMEA의 실시 방법들을 이용한 FMEA의 수행이 항상 쉽게 진행되지는 않았다. Jeong et al.(1995)은 FMEA가 여러 가지 면에서 그 유용성을 지니고 있지만 몇 가지의 어려운 문제 때문에 널리 적용되지 못하고 있다고 지적하고 다음과 같은 사항들을 난점으로 제시하고 있다.

- 1) 비록 굉장히 많은 시간동안 FMEA를 실시했지만 만족할 만한 충분한 결과들을 얻지 못할 수 있다.
- 2) 고장모드의 예측을 너무 경험자에 의존함으로써 고장모드의 누락이 발생할 수 있다.
- 3) 고장모드의 치명도를 평가하는데 어려움이 있다.
- 4) FMEA의 경험을 재사용하기가 어렵다.

그리고 Izuka는 이러한 난제들을 극복할 수 있는 FMEA의 수정을 다음과 같이 제안하였다[Jeong et al., 1995].

- 1) 다수준(multi-level) FMEA에 기반을 둔 우선원칙.
- 2) 고장모드표(Failure Modes Table)에 기반을 둔 고장모드들의 체계적 축적.
- 3) 마스터(Master) FMEA 양식에 기반을 둔 표준화.

또한 기업의 신뢰성 엔지니어들은 이러한 FMEA의 수행을 시간이 많이 소비되는 보고서 작성의 작업이라 생각하는 것이 보통이기 때문에 FMEA 실시에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

전체적인 고장정보관리를 위해서는 고장예방을 위한 고장모드 파악뿐만 아니라 고장모드 영향평가를 통한 대책수립이 필요하기 때문에 본 연구에서는 FMEA의 실시 목적을 보다 구체적으로 구분하고, 그 목적에 따라 적절히 사용할 수 있는 새로운 FMEA 양식들을 제안하고자 한다.

## 2. FMEA의 전개

FMEA는 정성적 신뢰성 예측 기법 또는 고장 해석 기법으로서 제품 개발 또는 공정개발시에 많이 사용되고 있으며, 설계된 제품에서 발생할 수 있는 가능한 고장모드

와 원인을 부품 수준으로부터 파악하여 그 영향을 알아내고자 하는 기법이다. FMEA는 시스템이나 기기의 잠재적인 고장모드를 찾아내어, 시스템이나 기기의 가동에 영향을 미치는 고장모드에 대하여 적절한 대책을 세움으로써 고장을 미연에 방지하고자 하는 방법이다. FMEA는 통상 신뢰도 시험 이전에 수행되며 설계가 진행됨에 따라서 반복적으로 수정 보완되어야 한다[Sexton, 1991]. 제품개발단계 특히 설계단계에서 반복적으로 실시되어야 하는데 설계 초기단계에서는 개략적인 FMEA를 실시하고, 설계가 진행됨에 따라 상세한 FMEA를 실시해야 효과적이므로 설계 변경과 더불어 라이프사이클 동안 지속적으로 갱신되어야 하며, 이에 대한 이력관리가 되도록 하여야 한다. <표 1>에는 현재 널리 통용되어지고 있는 FMEA 양식을 나타낸 것이다.

< 표 1 > FMEA 양식

F M E A 표											
작성일		시스템명				참석자				결재	
작성자		서브시스템명									
번호	부품명	기능	고장모드	추정원인	영향	검지법	등급	대책	비고		

FMEA 양식은 고장발생시 그에 대한 해석에도 사용되므로 이를 통한 FMEA 실시는 시스템의 설계와 제조에 있어서 그 잠재적 고장모드, 원인 및 영향을 도출하여 전개하고 고장의 발생을 감소시키거나 제거하기 위한 활동 방법을 제시해 준다. FMEA는 문서화를 통해 이러한 활동을 체계적으로 수행할 수 있도록 함으로써 고객을 만족시키기 위한 설계 요구 조건 및 사양을 확실하게 정의할 수 있도록 하는 장점을 가지고 있다.

FMEA 양식 작성 절차는 분류된 부품들을 기술하고 각 부품의 기능을 정의하는 데에서 출발한다. 이때 기능의 정의는 명확하여야 하며, 제품의 목표기능, 다른 부품들과의 연관관계가 거론되는 것이 바람직하다. 그리고 가능한 고장모드들을 선정하고, 그 고장모드에 대한 원인을 추정한 다음 고장모드가 서브시스템 및 시스템에 미치는 효과를 기록한다. 필요에 따라 다른 부품에 대한 영향도 기록한다. 고장발생시 고장을 발견(검지)할 수 있는 방법도 기술한다. 고장모드의 선정과 영향분석이 이루어지면, 고장에 의한 영향의 중요도와 발생빈도 등을 종합적으로 판단하여 등급을 매기고 대응책의 범위와 실시의 우선도를 결정한다. 고장등급이 높은 것에 대한 개선을 제안함으로써 FMEA의 양식을 작성할 수 있다.

그러나 <표 1>과 같은 양식으로 FMEA 실시하는 데는 Jeong et al.(1995)이 지적한 단점이외에도 다음과 같은 문제점들이 있다.

- 1) 신제품이나 새로운 환경에 사용될 제품의 잠재 고장모드 파악이 어렵다.
- 2) 고장발생의 원인이나 고장메카니즘별로 증별하기가 어렵다.
- 3) 2차 고장에 대한 고장모드 추론이 어렵다.
- 4) 제품이 환경/사용조건이나 물류조건을 참조가 어렵다.
- 5) 고장의 범위와 같은 고장현상을 표현하기가 어렵다.
- 6) FMEA 실시 대상을 상세히 알고 있어야 한다.
- 7) 고장모드에 대한 지식의 부족으로 FMEA 양식 전개가 어렵다.

### 3. FMEA의 실시 목적에 따른 FMEA 양식

#### 3.1 효과적인 FMEA의 실시를 위한 요소

고장의 분류는 여러 가지 유형으로 분류할 수 있지만, 그 중에서 대표적으로 내재적 고장(intrinsic failure)과 외재적 고장(extrinsic failure)으로 분류할 수 있다. 내재적 고장은 규정된 사용조건이나 환경조건하에서 발생하는 고장들로서, 주로 부품과 관련된 설계미숙, 불량률의 재료 사용, 제조결합, 조립미스, 포장이나 보관미스 등에 의해 발생한다. 외재적 고장은 EOS(electrical overstress), ESD(electrostatic discharge), 물류(handling), 과부하(overload), 오용(misapplication) 등과 같이 제품이나 부품에 적용되는 외부 스트레스에 의한 고장들로서, 내재적 고장이 아닌 모든 고장들이다[Jensen, 1995].

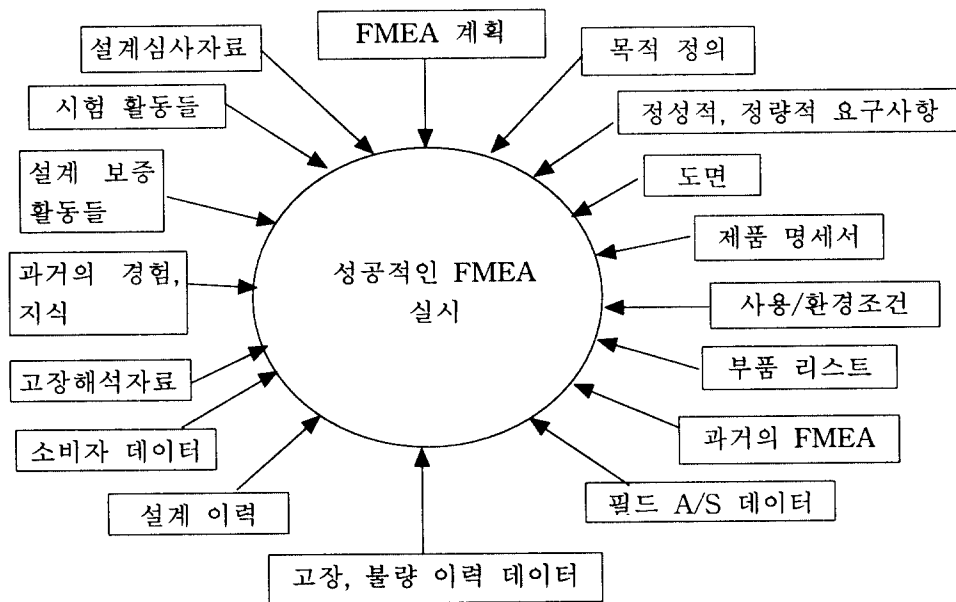
고장에 대한 또다른 유형은 고장의 발생 시간별로 초기고장, 우발고장, 마모고장으로 고장유형으로 분류하는 것이다. 초기고장의 발생원인은 주로 제조불량, 부적절한 설치, 부적절한 시동, 저장 및 운반중의 부품고장, 부적절한 포장 및 수송문제로 볼 수 있으며, 우발고장은 주로 과도한 외부 스트레스에 의한 고장이다. 한편 마모고장은 주로 수명이 짧은 부품의 사용이나 보전 등의 관리소홀로 야기된다. 이러한 고장들에는 내재적 고장과 외재적 고장이 혼합되어 있다.

이와 같은 고장유형들을 살펴보면 고장발생원인과 고장모드는 매우 다양하고 광범위하다는 것을 알 수 있다. 따라서 FMEA 실시과정에서는 이러한 면이 충분히 고려되어야 하는 바, FMEA의 실시목적이나 대상 등에 따라 고장발생의 원인이나 메카니즘별로 증별하여 고장모드를 선정하는 것이 중요하다.

고장을 예방하기 위한 성공적인 FMEA의 실시(수행)는 사용자(user), 공급자(supplier), 그리고 메이커사이의 원활한 의사소통(communication)에 달려있다고 할 수 있다. 이런 의사소통은 제품의 개념단계에서부터 시작되어 제품의 전 생애(life)에 걸쳐 계속되어야 한다. 적정 수준의 FMEA의 달성(완성)은 계획, 목적정의, 설계철학, 분석, 평가, 그리고 계속적인 향상을 위한 피드백 등이 요구된다. 또한 신뢰성 관리자는 최종적인 FMEA 문서 자체보다는 FMEA의 가치를 인식해야 하고 목적을 달성하기 위해 필요한 인력과 자원들을 투자해야 한다[Hatty와 Owens, 1994]. <그림 1>은

성공적인 FMEA 실시를 위한 관련된 요소들을 묘사한 것이다. 이러한 요소들의 의미 있는 문서화를 위해서는 팀어프로치에 의한 여러 기능들에서부터 입력이 되어야 한다.

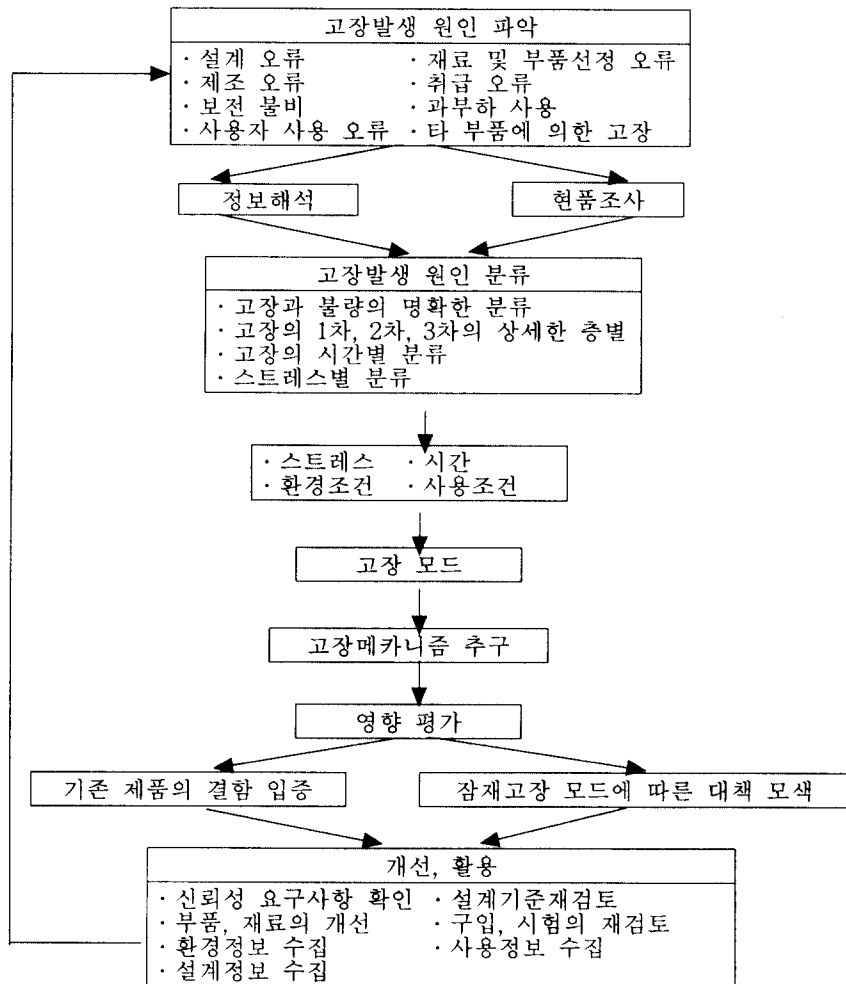
<그림 1>과 같은 요소들을 사전에 준비하여 FMEA를 실시함으로써 대부분의 고장들에 대한 원인을 증별할 수 있다. 그리고 잠재고장모드를 검지하고 고장의 영향을 파악함으로써 고장 예방의 효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라 고장의 영향을 효과적으로 검지할 수 있다. 이러한 요소들을 이용한 고장 예방차원의 FMEA를 실시하기 위해서는 <그림 2>와 같은 과정이 필수적이다. 이와 같은 과정은 단순히 고장난 제품을 바라보는 것이 아니라, 고장에 관련된 기초 데이터와 시스템의 구성·사용·보전조건, 설계·제조·시험등 이력을 고려하고 종합적으로 관찰하는 것이다.



< 그림 1 > 성공적인 FMEA 실시를 위한 관련된 요소들

신제품의 개발이나 설계과정, 새로운 시장, 새로운 환경 등에 사용될 제품에 대한 FMEA 실시에는 필요한 정보의 부족으로 인해 잠재 고장모드를 추론하는데 상당한 어려움에 처하는 경우가 많이 발생한다. 이와 같은 상황에서 유사제품의 고장사례와 같은 과거 경험은 설계에 대한 부품의 타당성을 입증하는데 중요한 역할을 한다 [Aldridge와 Taylor, 1991]. 과거의 경험, 지식과 더불어 <그림 2>의 과정에 의한 효과적인 FMEA가 실시되기 위해서는 환경 및 사용조건, 물류조건 등을 조사하여 작성한 <표 2>와 같은 스트레스 분석표를 이용함으로써 보다 효과적인 FMEA가 실시될 수 있다. 왜냐하면, 모든 고장 특히 외재적 고장이나 우발고장, 마모고장의 대부분의 원인은 그것에 가해진 스트레스가 시스템 혹은 제품의 강도를 상회하는 것에 의해 일

어나거나 열화에 의해 발생하기 때문에 효과적인 FMEA의 실시를 위하여는 이러한 스트레스들을 감안하여야 하기 때문이다. 특히 잠재 고장모드의 추론을 위하여는 실 사용 상태에서 가해지는 스트레스를 파악하는 스트레스 분석이 매우 효과적이라 할 수 있다. 제품의 구성부품은 정적이거나 동적인 상태에서 운용되기 때문에 부품상태에 따른 스트레스 파악이 되어야 한다. 그리고 스트레스의 형태에 따라 고장메카니즘이 달라지므로 고장메카니즘에 대한 연구가 병행되어야 하고 고장메카니즘의 분석은 근본적인 고장의 개선을 수행할 수 있는 기초가 되기 때문에 FMEA를 통해 고장메카니즘을 추구해야 한다. 그러므로 각 시스템이나 제품에 대한 주요 스트레스를 분석함과 동시에 고장메카니즘, 고장모드, 고장영향, 고장원인, 고장부위, 그리고 고장발생시간 등을 정리해 두어야 효과적인 FMEA를 수행할 수 있다.



< 그림 2 > 효과적인 FMEA 실시 과정

법례 : ◎ 강함, ○ 보통, △ 약함, - 없음

구분	물류조건				사용조건				환경조건						
	Overstress		Wearout		Overstress		Wearout		Overstress		Wearout				
스트레스	열적	진기적	방사선 / 환경	기계적	열적	전기적	방사선	기계적	열적	진기적	방사선 / 환경	기계적	열적	진기적	방사선
부품1															
부품2															
부품3															
부품4															
...															

< 표 2 > 스트레스분석표 작성예



스트레스 분석표의 작성은 각 물류조건, 사용/환경조건에 해당하는 스트레스를 X축에 나열하고 각 부품을 단품수준까지 분해하여 분석표의 Y축에 나열한다. 각 조건을 overstress와 wearout으로 나누고 overstress는 다시 기계적, 열적, 전기적, 방사선/환경스트레스로 나누고 wearout를 기계적, 열적, 전기적, 화학적, 방사선/환경스트레스로 각각 분류하여 각 스트레스 요인들을 나열한다. 각 스트레스 요인들을 나열할 때는 고장유발요인도 포함되고 특히 필드 고장이력을 중심으로 나열하면 효과적이다. X, Y축을 1 : 1로 대응시켜 스트레스 인자와 부품간의 영향도를 평가하여 영향도가 강하면 ◎로 표시하고, 영향도가 보통이면 ○로 표시하고, 영향도가 약하면 △로 표시하고, 영향도가 없으면 -로 표시하여 FMEA 양식 작성시 참조한다. 스트레스 분석표는 산재되어 있는 각종의 사용/환경 조건 데이터를 집약함으로써 고장발생의 원인을 규명하는 기초자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 각종의 시험을 기획하는데 사용될 수 있는 장점이 있기 때문에 사전에 조사해 두어야 한다.

또한 <표 2>의 스트레스 분석을 실시하면서 <표 3>과 같은 고장 요인별 분류를 정리함으로써 효과적인 FMEA 수행할 수 있다.

< 표 3 > 고장 요인별 분류 예

주요 스트레스	고장메카니즘	고장모드	고장영향
열	산화/환원	소음	오동작
습도	확산	진동	녹슴
압력	흡착	누락/분실	
화학	분해	누수	
환경	결합	파손	
진동	결정화	변형	
마찰	피로	단선	
	팽창/수축	이물 막힘	
		공기 누설	
		냉땀	
		나사풀림	
		적힘	
		마모	

실제적으로 FMEA 실시를 통해 고장 예방뿐만 아니라 고장해석과 제품의 개선이 가능해야 된다. 그러나 전통적으로 사용되고 있는 <표 1>과 같은 양식으로는 효과적인 FMEA이 실시에 필요한 요소들을 표현하기가 곤란하다.

### 3.2 FMEA 실시 목적

효과적인 FMEA가 실시되기 위해서는 우선적으로 FMEA 실시 목적을 보다 명확하게 하여야 한다. FMEA는 대체로 세 가지의 목적으로 구분할 수 있다. 첫째는 설계된

부품이나 제품의 잠재고장모드를 파악하는 것이고, 둘째는 부품의 고장모드가 시스템에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하는 것이고, 셋째는 시스템의 고장에 대한 대책 수립을 통한 개선이다. 물론 FMEA는 세 가지 목적 모두 필요하고 실시되어야 하지만 각 기업의 상황에 따라 나누어 실시되는 것이 바람직하다. 예를들면 전자회로에서와 같이 부품의 고장모드가 잘 알려져 있는 경우에는 그러한 고장모드를 열거하고 그 영향의 정도에 따라 방지대책을 세우는 데에 주력하여야 하나, 어떠한 고장모드가 발생하게 될 지 충분히 파악되지 않은 경우에는 해당 시스템에 고장을 유발할 수 있는 제반 요소 또는 스트레스들을 파악하여 그러한 요인들이 실제 고장을 유발할 수 있는지를 파악하는 데에 주력하여야 한다. 이를 위하여는 고장유발요인이나 스트레스에 대한 정보를 사전에 철저히 파악하고 있어야 한다.

### 3.3 새로운 FMEA 양식

고장의 유형에 따라 고장의 발생원인이나 고장모드가 매우 다양하고 광범위하게 나타나므로 FMEA 실시과정에 이러한 점들이 충분히 고려되어야 한다. 그러나 <표 1>과 같이 널리 사용되고 있는 FMEA 양식에서는 주로 고장재발방지를 위한 경우 즉, 고장모드가 잘 알려져 있는 경우에 활용하기 위하여 작성된 것이므로 전통적으로 사용되어 온 FMEA 양식으로는 효과적인 FMEA 실시되기 위한 요소들을 고려하기가 곤란하다. 그리고 FMEA의 실시목적이나 대상 등에 따라 고장발생의 원인이나 메카니즘별로 증별하여 고장모드를 선정하는 것이 중요하기 때문에 이러한 면들을 고려할 수 있는 FMEA 양식이 필요하다. FMEA의 양식은 각 기업체의 사정과 적용대상에 따라 달라질 수 있지만 본 연구에서는 전술한 효과적인 FMEA 실시 목적에 적합한 잠재 고장모드파악을 위한 FMEA 양식과 고장모드영향 평가를 통한 대책수립을 위한 FMEA 양식을 제안한다.

#### 3.3.1 잠재 고장모드 파악을 위한 FMEA 양식

잠재 고장모드의 파악은 FMEA 실시를 통해 내재적 고장이나 외재적 고장에 해당하는 고장모드들을 모두 찾아내야 한다. 잠재 고장모드의 파악을 위해서는 부품에 가해지는 부하나 발열 등과 같은 내부 스트레스와 환경 요소와 같은 외부 스트레스를 조사하는 것이 중요하기 때문에 사용조건, 환경조건, 물류조건 등에 관련된 스트레스 분석표를 참고하여 각 부품에 고장을 유발하는 주요 스트레스를 추론하여 FMEA 양식에 기록하고 이에 해당하는 조건들이 기록되어야 한다. 그리고 고장발생의 근본적 원인을 파악하기 위해 스트레스별 고장메카니즘을 기록한다. <표 4>는 잠재 고장모드 파악을 위한 새로운 FMEA 양식이다.

잠재 고장모드를 추론하기 위해서는 고장발생의 원인과 고장메카니즘 등을 증별해야하기 때문에 1차원인과 2차원으로 나누어 기록할 수 있는 열이 필요하다. 이렇게 증별된 원인으로부터 고장모드를 선정할 때 기술적 판단이 필요하므로 신중을 기하여야 한다. 특히 내재적 고장은 부품과 관련된 고장으로 과학적 혹은 기술적으로 판명이 안되는 고장이 있을 수 있기 때문에 고장메카니즘을 연구하여 어느 정도 가능성이

있는 고장모드를 찾는 것이 중요하다. 그리고 해당 고장모드에 대한 어셈블리나 어셈블리내의 타 부품으로의 영향과 시스템이나 시스템내의 영향으로 나누어 보다 구체적으로 기입한다. 마지막으로 대책을 세움과 동시에 평가를 위한 시험방법을 기록해야 한다. 잠재 고장모드 파악을 위한 FMEA 양식 작성방법을 정리하면 다음과 같다.

< 표 4 > 잠재 고장모드 파악을 위한 FMEA 양식

Failure Mode & Effect Analysis Sheet												
작성일		시스템명			참석자			결재				
작성자		서브시스템명										
부품번호	부품명	기능	주요 스트레스 (stress)	조건	고장부위	1차원인/고장 메카니즘	2차원인	고장 모드	1차 영향	2차 영향	치명도	대책/시험 방법

- 1) 시스템명 : 대상시스템명을 기록한다.
- 2) 서브시스템명 : 시스템을 여러개의 서브시스템으로 구분한 경우 해당 서브시스템을 기록한다.(생략가능)
- 3) 부품명 : FMEA 실시 부품명을 기입한다. 잠재 고장모드 파악을 위해서는 부품을 보다 세분화하여 단품 또는 그 이하 수준까지 분해하는 것도 필요하다. 미리 준비한 부품 리스트를 참조하는 것도 한가지 방법이다.  
 예) main gear, motor shaft, ball-bearing, bearing housing, cpu, memory 1, memory 2, capacitor, brush, commutator, shaft, 권선
- 4) 부품의 기능 : 부품기능의 정의는 명확하여야 하며 부품의 목표기능, 타부품과의 연관관계를 기술한다.
- 5) 주요 스트레스 : <표 2>의 스트레스분석표를 참조하여 부품에 영향을 미치는 스트레스를 기입한다. 특히 스트레스분석표에서 스트레스와 부품의 영향도가 강(◎)하거나 보통(○)으로 평가된 부품에 대해서는 철저한 분석이 요구된다. 이러한 부품들은 고장을 유발할 가능성이 크기 때문에 스트레스의 크기를 미리 추정하여, 제품의 강도에 충분한 안전계수를 설정해 주는 것이 중요하다. 주요 스트레스 선택에서는 스트레스 분석 뿐만아니라 과거의 FMEA 이력, 필드 A/S 데이터, 고장·불량 이력 데이터, 설계이력, 고장해석자료, 과거의 경험, 지식, 시험활동 등을 함께 참조하여야 한다.  
 예) 회로에서 열적스트레스로 인한 고장의 많은 부분은 연결부분의 열팽창계수의 차이로 인해 발생 - die bond failure, package seal failure



- 11) 1차영향 : 고장모드가 서브시스템 및 시스템에 미치는 효과를 기록한다. 필요에 따라 다른 부품에 대한 영향도 기록한다.
- 12) 2차 영향 : 2차 고장을 유발할 수 있으므로 이에 대한 영향도 기록한다.
- 13) 치명도 : 고장에 의한 영향을 평가한다.
- 14) 대책/시험방법 : 개선대책을 수립하고 검증을 위한 시험방법을 기록한다.

이와 같은 내용들을 FMEA 양식에 기록함으로써 전통적인 양식에 비해 효과적으로 잠재 고장모드를 파악할 수 있다. 이러한 잠재 고장모드 파악을 위한 새로운 FMEA 양식은 어떠한 고장모드가 발생하게 될 지 충분히 파악되지 않을 경우, 특히 신제품에 효과적이라 할 수 있다. 전통적으로 사용되어 온 양식과 비교해보면, 전통적으로 사용되어 온 양식에서는 고장모드의 예측을 너무 경험자에 의존함으로써 고장모드의 누락이 발생할 수 있었으나 새로운 양식에서는 주요 스트레스, 조건, 고장부위, 고장 메카니즘 등을 기록하고 이들을 증별한 고장모드의 파악이 가능함으로써 기존 양식에 비하여 효과적이다. 그리고 기존 양식으로는 고장발생의 원인을 체계적으로 정리하지 못함으로 인해 FMEA의 경험을 재사용하기가 곤란했으나 새로운 양식에서는 체계적 고장모드의 축적으로 이런 문제점을 해결할 수 있다. 특히 기존의 양식에서는 경험위주의 고장발생 정리에 불과한 문서화에 그치는 경우가 많았다. 제안된 양식에서는 FMEA의 실시에서 고장징후, 고장형태, 임무수행에 미치는 영향 등을 정확히 파악함과 동시에 고장메카니즘을 추구하는 것들이 특징이다.

### 3.3.2 고장모드영향 평가를 통한 대책수립을 위한 FMEA 양식

한편 고장모드영향 평가를 통한 대책수립을 위한 FMEA양식은 <표 5>와 같이 제안된다. 이 양식은 전통적으로 사용되고 있는 FMEA 양식과 유사하지만 <표 5>의 양식에서는 관련부품이나 시스템에 대한 영향을 보다 자세히 파악하여 고장모드의 치명도 평가와 대책마련을 자세히 기록하는 것이 특징이라 할 수 있다. 또한 이 양식은 고장모드의 영향 파악과 대책수립을 통한 개선에 목적이 있기 때문에 고장모드에 대한 충분한 정보를 가지고 있는 경우에는 치명적 고장모드들을 제거하기 위한 계획을 수립하는 것이 중요하다. 그러므로 이 양식은 기존 양산품을 대상으로 FMEA를 실시할 때 유용하다.

고장모드영향 평가를 통한 대책수립을 위한 FMEA 양식 작성방법을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 시스템명 : 대상시스템명을 기록한다.
- 2) 서브시스템명 : 시스템을 여러개의 서브시스템으로 구분한 경우 해당 서브시스템을 기록한다.(생략가능)
- 3) 부품명 : FMEA 실시 부품명을 기입한다.  
예) PCB assembly, motor, pulley, gear, controller, PLC 등
- 4) 부품의 기능 : 부품기능의 정의는 명확하여야 하며 부품의 목표기능, 타부품과의 연관관계를 기술한다.

< 표 5 > 고장모드영향 평가를 통한 대책수립을 위한 FMEA 양식

Failure Mode & Effect Analysis Sheet															
작성일		시스템명		참석자		결재									
작성자		서브시스템명													
부품번호	부품명	기능	고장모드	고장원인/고장메카니즘	관련부품	영향	검지법	치명도평가				대책			대책결과
								중요도	발생도	치명도	고장등급	대책안	담당	일정	

- 5) 고장모드 : 해당부품이 고장나는 방식을 기록한다. 만일 과거의 고장이력이 충분히 분석되어 고장모드를 잘 알고 있는 경우에는 그러한 고장모드들이 재발하겠는가의 여부를 판단하여 기록한다. 만일 그러한 고장은 충분히 예방되어진 설계라는 확신이 있는 경우에는 생략할 수 있다. 그리고 가급적 기준에 알려져 있는 고장모드를 모두 나열하고 고장모드의 선택은 그 발생가능성, 즉 빈도를 고려하여 선택하면 되고, 전혀 발생이 불가능한 고장모드들은 제외시켜야 한다. 여기서 중요한 점은 고장모드의 발생방지이므로 고장발생의 원인과 고장메카니즘을 찾아 기록할 수 있어야 한다
- 6) 고장원인/고장메카니즘 : 고려된 고장모드별로 그 원인을 추정한다. 각 고장모드에 대한 원인은 설계·생산·운반·사용·환경등 각 부문에서 종합적으로 검토하는 것이 바람직하나, 이와 같은 작업은 많은 시간과 노력을 필요로 하는 바, FMEA의 수행시는 주요한 원인들만 찾아 적고, FMEA 결과 알 수 있는 치명적 고장모드에 대해서는 FTA와 같은 별도의 분석으로 그 원인을 체계적으로 규명하고 이를 제품의 설계, 생산에 반영되어야 한다.
- 7) 관련부품 : 고장모드가 타부품에 영향을 주어 2차 고장을 유발할 수 있으므로 관련 부품들을 기록한다.
- 8) 영향 : 고장모드 발생시 시스템에 대한 영향을 기록한다. 타부품 또는 서브시스템에로의 영향을 고려하는 것도 좋다.
- 9) 검지법 : 고장모드 발생시 발견할 수 있는 방법을 서술한다.
- 10) 치명도 평가 : 중요도, 발생도, 치명도, 그리고 고장등급으로 나누어 조사하며, FMEA에서 고려된 많은 고장모드중 어떤 것부터 관리하여야 하는가 하는 중요 고장모드들을 선택하여야 한다. 이렇게 구해진 중요 고장모드는 제품의 설계단계부터 그 고장을 방지할 수 있는 방법을 모색하여 발생가능성을 제거하는 노력이 필요하다.

- 11) 대책 : 치명도 평점이 높은 고장모드에 대한 대책안을 마련하고 문제의 해결을 위하여 담당자를 기입하고 문제해결의 지연을 방지하기 위해 일정뿐만 아니라 수립 대책의 결과를 반드시 기입해야 한다. 또 필요하다면 설계변경, 시방변경, 각종 신뢰성 설계기법의 응용 등을 통하여 철저한 관리를 하여야 한다.

이와 같이 FMEA 실시 과정에는 고장에 대한 정보, 부품의 필드 고장이력, 검사이력, 시험이력 등 많은 정보가 필요하다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여는 과거의 경험한 고장과 그들의 발생한 조건은 물론 고장메카니즘에 대한 정보나 지식, 그들에 대한 대책 등을 관리하기 위한 정보관리 체제 마련이 중요하다. 특히 최근에는 컴퓨터 기술의 발전으로 이러한 정보관리 체제를 구축하는 것이 매우 용이하게 되었으므로 각 기업에서는 이러한 신뢰성 정보관리 체제를 확립하여 설계나 제조, 판매, 설치 등 제반활동에 활용하여야 한다. 그러한 방안중의 하나는 영업부나 대리점에 지원을 요청하여 필요한 정보유형을 미리 알려주어 A/S나 판매시 수집하는 것이다. 이를 위하여는 사전에 어떤 정보를 얻을 것인가에 대한 분석이 설계나 제조, QA 부서의 협의로 치밀한 계획이 이루어져야 할 것이다.

FMEA는 제품의 기획·개발·설계단계에서 수행되어야 함은 물론 생산, 운반과정에서도 실시하여 제품의 신뢰성을 향상시킬 수 있어야 한다. 특히 이 과정에서 중요 고장모드를 제거할 수 있는 대책이 마련되면 이 고장모드를 제외시킨 새로운 FMEA표를 계속 수정·보완하여야 하며 특히 외주품이나 제조결함에 의한 고장을 방지하기 위해서 제조공정과 외주품에 관한 FMEA도 실시되어야 한다.

FMEA는 설계자가 최대의 지식과 노력으로 설계를 하였다 하더라도 임무수행에 크게 영향을 주리라고 판단되는 고장, 발생빈도가 높으리라고 예상되는 고장내용을 파악함으로써 설계를 다른 각도에서 검토할 수 있는 수단이 된다. 그리고 개발될 시스템은 운용중 종국적으로는 여러 형태의 고장이 발생될 수 있다는 점에서 예방정비 내용 결정, 각 정비단계에서 보관해야 할 수리부속품 및 수량 결정, 정비교범에 수록할 고장형태 및 정비절차, 고장진단 절차, 정비요원에게 특별히 교육시켜야 할 새로운 정비기술 및 특수 시험시설 등을 판단하는 데에 FMEA가 기초자료로 활용될 수 있다는 점에서 그 유용성이 크다.

#### 4. 결론

고신뢰성 제품을 생산하기 위하여는 제품 설계시 그 설계 대안에 의해 제조된 제품에서 발생할 수 있는 고장들을 미리 예측하여 제거하고 그 결과를 각종의 신뢰성 시험을 통하여 확인하여야 하는데, 이와 같은 과정에는 필연적으로 많은 양의 새로운 정보가 필요하고 또 많은 양의 새로운 정보가 만들어지게 된다. 예를들어 제품 설계 시에나 공정의 설계시에는 시장정보, 환경정보, 경쟁품의 기능·성능에 관한 정보, 기존모델의 고장에 관한 정보, A/S 정보, 과거의 경험이나 지식 등등의 정보가 필요할

것이다. 이들을 효율적으로 관리하고 있어야, 해당 제품의 설계·생산시에는 물론 유사제품의 설계시에도 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 FMEA의 실시 목적들을 보다 구체적으로 나누어 분류하고 그 목적에 적합한 FMEA 양식을 제안하였다. 또한 효과적인 FMEA 실시에 필요한 요소들을 설명하였다. FMEA의 실시는 적용 대상이나 실시하는 목적에 따라 서로 다른 많은 정보들이 필요하기 때문에 FMEA 양식에 많은 정보들을 표현하여야 한다. 그리고 실제로 FMEA의 실시는 고장징후, 고장형태, 임무수행에 미치는 영향 등 개발하고자 하는 시스템을 잘 알지 않으면 효과적인 분석이 곤란하므로 설계자, 신뢰성 업무 담당자, QC업무 담당자, 영업 등 각 부서에서 공동으로 작성하여야 한다.

효과적인 FMEA 실시를 위해서는 고장메카니즘에 대한 많은 정보와 지식이 필요하다. 그러나 이와 같은 것을 사람의 경험에만 의존하는 것은 비효과적이고 과거에 경험한 고장과 그들이 발생한 조건은 물론 고장메카니즘에 대한 정보나 지식, 그들에 대한 대책 등에 대한 정보관리 체제 마련이 중요하다고 할 수 있다. 그리고 FMEA분석만으로 실제 고장을 해결할 수는 없는 경우가 있기 때문에 고장해결에는 사람, 기계, 정보, 환경, 기업과 정부의 대책 등과 같은 것을 함께 해석해야 한다.

## 참고문헌

- [ 1 ] 이 상용(1992), 「신뢰성공학」, 형설출판사.
- [ 2 ] Aldridge, J. R., Taylor, J.(1990), "The Application of Failure Mode and Effects Analysis at an Automotive Components Manufacturer," *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 8, No. 3, pp. 44-56.
- [ 3 ] Barbour, G.L.(1977), "Failure Modes and Effects Analysis by Matrix Method," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 114-119.
- [ 4 ] Bell, D., Cox, L., Jackson, S., and Schaefer, P.(1992), "Using Causal Reasoning for Automated Failure Modes and Effects Analysis," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 343-353.
- [ 5 ] Hatty, M., Owens, N.(1994), "Potential Failure Modes and Effects Analysis: a Business Perspective," *Quality Engineering*, Vol. 7, No. 1, pp. 169-186.
- [ 6 ] Jensen, F.(1995), *Electronic Component Reliability Fundamentals, Modelling, Evaluation, and Assurance*, John Wiley & Sons.
- [ 7 ] Jeong, K.H., Kume, H., and Iizuka(1995), "Implementing FMEA through Multiple Points of View," *ASIA Quality Management Symposium*, pp. 85-90.
- [ 9 ] Kara-Zaitri, C., Keller, A.Z., and Fleming(1992), "A Smart Failure Modes and Effects Analysis Package," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 414-421.



- [10] Legg, J.M.(1978), "Computerized Approach for Matrix-Form FMEA," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-27, No. 4, pp. 254-257.
- [11] Luthra, P.(1991), "FMECA : An Integrated Approach," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 235-241.
- [12] O'Connor, P.D.T.(1985), *Practical Reliability Engineering*, 2nd ed., John Wiley & Sons.
- [13] Palumbo, D.(1994), "Automating Failure Modes and Effects Analysis," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 304-309.
- [14] Price, C.J., Pugh, D.R., Wilson, M.S., and Snooke, N.(1995), "The Flame System: Automating Electrical Failure Mode and Effects Analysis(FMEA)," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 90-95.
- [15] Sexton, R.D.(1991), "An Alternative Method for Preparing FMECA's," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 222-225.
- [16] US DOD, Military Handbook 338, Electronic Reliability Design Handbook, 1984.
- [17] US DOD, Military Standard 1629A, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, 1980.