

## FMEA에 의한 기계 부품의 신뢰도 분석

이상진\* · 고장주 · 강창학 (경남대학교 대학원), 이치우(경남대학교 기계자동화공학부)

### ABSTRACT

This paper dealt with FMEA, Which is a method of the analysis to secure safety and confidence coming up to customer's expectation in consideration of the environment of the corporation, the industrial environment, and the functional improvement. And by using FMEA, We showed the example analyzed the confidence of the reduction gear. It was proved by the result of the analysis that the rate of the breakdown which is usually regarded as the first important point to reform can't satisfy the selecting basis to improve. Also the result said that it is not right to depend on only the rate of the failure in making the list of the reform. Through the analysis of the breakdown, FMEA can present the important factors of the reform to improve the confidence of the system. In this study would show the important factors of the improvement in order to product the goods guaranteed confidence through the method of FMEA.

Key Words : FMEA, Machine Component, Reduction Gear, Failure, Reliability Analysis

### 1. 서론

FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)는 기본 설계 단계에서부터 생산단계에 이르기까지 제품의 의도한 대로 기능을 발휘할 것인가를 평가하고 만족하지 못할 때는 개선활동을 통해 고장을 사전에 예방하고자 하는 신뢰성 활동의 하나이다.[1].

FMEA가 품질보증의 일환으로 FMEA를 실시하거나 요구하는 기업이 늘어나고 있음에도 불구하고 기업에서 FMEA의 실시는 기대한 만큼의 효과를 거두지는 못하고 있는 실정이다. Jang [2].은 기업에서의 사용현황을 조사하여 FMEA가 여러 가지 면에서 유용성을 지니고 있지만 FMEA를 오랜 시간동안 실시하더라도 만족할 만 한 결과들을 얻지 못할 수 있으며 잠재고장모드의 확인을 경험에 의존함으로써 고장모드의 누락이 발생하고, 고장모드의 치명도를 평가하는데 어려움과 FMEA의 경험을 재사용하기가 어려움을 지적하고 있다.

신제품이나 새로운 환경에 사용될 제품의 잠재 고장모드 파악과 고장발생의 원인이나 고장 메커니즘을 구별, 제품의 환경/사용조건이나 물류조건의 참조, 고장모드나 고장현상을 표현하기가 어려우며 실시 대상을 상세히 알고 있어야 하고 고장모드에

대한 지식의 부족으로 FMEA 전개가 어려운 점을 지적한 바 있다. [3].

이와 같이 현실적으로 효과적인 FMEA의 실시 방안을 모색하는 것은 대단히 중요한 문제이다. 그동안 FMEA의 실시가 효과적으로 수행될 수 있도록 하기 위해 여러 종류의 FMEA양식을 비롯한 FMEA 방법들이 제안되었다.

본 연구에서는 FMEA 양식을 중심으로 FMEA의 효과를 향상시킬 수 있도록 하는 방안을 제시하고자 기계 시스템에서 핵심 기계 부품으로 사용되는 감속기를 사용 환경에 의한 고장률로 신뢰성 분석을 실시하였다.

### 2. FMEA의 전개와 실시

#### 2.1 FMEA 실시

FMEA는 정성적 신뢰성 예측 기법 또는 고장 해석 기법으로서 제품 개발 또는 공정 설계시에 많이 사용되고 있으며, 설계된 제품에서 발생할 수 있는 잠재적 고장모드와 원인을 부품수준으로부터 파악하여 그 영향을 알아내고, 시스템이나 기기의 가동에 치명적인 영향을 미치는 고장모드에 대하여 적절한 대책을 세움으로써 고장을 미연에 방지하고자 하는 방법이다. FMEA는 통상 신뢰도 시험 이전에

수행되며 설계가 진행됨에 따라서 반복적으로 수정 보완되어야한다. FMEA는 설계 변경과 더불어 수명 사이클 동안 지속적으로 갱신되어야하며 이에 대한 이력관리가 되도록 하여야 한다.

FMEA를 실시목적은 제품의 고장모드의 평가를 통한 신뢰성 보증을 하는 것과 새로운 설계대안에서 나타날 수 있는 가능한 고장모드를 조기에 발견하여 제거하는 신뢰성 개선에 있다고 할 수 있다.

FMEA를 효과적으로 실시하기 위하여는 이러한 목적을 명확하게 정의하여야 한다. 물론 FMEA 실시하는 경우 이러한 목적을 모두 달성하고자 하는 것이 바람직할 것이지만, 현실적으로 FMEA를 실시하는데 가장 큰 장애요인의 하나가 개발기간이 짧아서 설계제안을 검토할 시간이 충분히 주어지지 않으므로, FMEA를 효과적으로 실시하기 위하여는 이러한 목적이 명확하게 설정될 필요가 있다.

한편 새로운 고장모드의 발견보다는 과거에 동일 제품이나 유사 제품에서 경험하였던 고장모드나 관련 문헌이나 자료 등에서 수집되어진 고장모드들을 열거하고, 현재의 관리방법이나 적절한 가를 판단하여 미흡한 경우에 대한 대책을 마련하는 것에 중점을 둘 필요가 있다. 산업계에서 나타나는 많은 고장모드가 과거에도 경험하였던 것이 재발되는 것이고, 그 원인이 사전에 충분한 검토를 거치지 않았기 때문이라는 점을 감안하면 이러한 접근의 유효성을 판단할 수 있다.

## 2.2 FMEA 양식 작성

### (1) 부품 기술, 기능 정의

FMEA 양식 작성은 분류된 부품들을 기술하고 각 부품의 기능을 정의하는 데에서 출발한다. 이 때 기능의 정의는 명확하여야 하며, 제품의 목표 기능, 다른 부품들과의 연관 관계가 거론되는 것이 바람직하다.

### (2) 고장 모드 설정, 원인 추정 및 효과기록

가능한 고장 모드들을 선정하고, 그 고장 모드에 대한 원인을 추정한 다음 고장 모드가 부 시스템 및 시스템에 미치는 효과를 기록한다. 필요에 따라 다른 부품에 대한 영향도 기록한다.

### (3) 고장 검지법 기술

고장 발생 시 고장을 발견(검지)할 수 있는 방법

을 기술한다.

### (4) 고장등급 결정

고장에 의한 영향의 중요도와 발생 빈도 등을 종합적으로 판단하여 등급을 매기고 대응책의 범위와 실시의 우선도를 결정한다.

### (5) 개선 제안

고장 등급이 높은 것에 대하여 고장률 또는 영향 감소를 위한 대책이나 개선을 제안한다.

## 2.3 고장등급 결정

고장 평점법은 고장에 대한 평점 요소를 정하여 각 요소에 대한 계수  $C_i$ 를 기술적 판단에 의해서 평가하고 고장 평점  $C_s$ 를 계산하는 방법이다. 평점 요소는 아래와 같은 5가지 전부 혹은 일부의 평가 요소를 10점 만점으로 평가하여 그들의 기하 평균으로써 고장평점  $C_s$ 를 계산한다. 물론 다른 평가 요소도 추가 가능하며 5가지 평점 요소는 다음과 같다. 여기서

$C_1$  : 기능적 고장의 영향의 중요도

$C_2$  : 영향이 미치는 치명도

$C_3$  : 고장 발생의 빈도

$C_4$  : 고장 방지의 가능성

$C_5$  : 신규 설계의 정도

다섯 개 평가 요소를 모두 사용하는 경우의 고장 평점  $C_s$ 는 다음 식 [1]과 같이 구하며,

$$C_s(\text{고장평점}) = (C_1 C_2 \cdots C_n)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

여기서  $n=2,3,4,5,\dots$  이다.

다음에  $C_1$ 과  $C_3$ 의 2개 평가요소만을 사용하는 경우의 고장평점  $C_s$ 는

$$C_s = \sqrt{C_1 C_3} \quad (2)$$

로 계산되며,  $C_1 C_2 C_3$ 을 사용하는 경우의 고장평점  $C_s$ 는 다음과 같이 구한다.

$$C_s = (C_1 C_2 C_3)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

$C_1 C_2 C_3$  의 평가점 요소와 계수는 Table로 주어진다.

### 3. FMEA에 따른 감속기의 고장 및 신뢰성 분석

#### 3.1 감속기 작동원리

감속기는 Gear를 이용한 속도 변환기로서 구동원의 회전수를 필요한 회전수로 감속하는 동시에 큰 토크를 얻을 수 있는 기구적인 장치를 말하며 그 특징으로는 소형으로 전달 능력이 크고, 미끄러짐이 생기지 않으며 감속비가 매우 일정하고, 내구성이 좋다.

#### 3.2 감속기 일반적인 고장 분석

감속기의 고장형태와 원인은 감속기의 부품의 고장에 따라 다양하게 발생된다.

Table 1 감속기 FMEA의 도표

부품 명	고장 모드	추정원인	고장의 영향		검거법	고장 등급	비고
			기능상	시스템			
Shaft	수축 (Hock) 경도	1) Shaft의 손상 2) Shaft가 정밀	기능상	System 기능 저하	목시	III	
		1) Shaft의 마모 및 손실	기능상	System 기능 저하	목시	II	
Gear	단속의 원인 산화제의 침투	1) Gear 마모 2) Worm Gear에 Key에 비스	기능상	System 기능 장애	목시	I	
	Max Vibration	1) Bearing 손상 2) Bearing이 맞게 수명	기능상	System 기능 장애	목시, 충격	I	
Bearing	Shaft의 마모	1) Bearing의 Contact의 고장 발생	기능상	System 기능 저하	목시	II	
	윤활유 부족	1) Oil Seal의 마모	기능상	System 기능 저하	목시	III	
Case	윤활유 누출	1) Case 마모	기능상	System 기능 저하	목시	III	
Bolt	윤활유 누출 혹은 나사산 마모	1) Spring 마모	기능상	System 기능 저하	목시	III	
		1) Spring 마모	기능상	System 기능 저하	목시	III	

#### 3.3 감속기 부품별 특징과 고장 및 신뢰도 분석

##### (1) Shaft

감속기의 동력을 전달하는 장치로 Motor의 연결 input Shaft와 output Shaft로 구성되어 있으면 Shaft 끝단이나 중간에 이음 체결하는 key나 Spine이 가공되어 있는 것이 대부분이다. Shaft의 고장률은 감속기를 구성하는 다른 부품들 보다 신뢰도 크며, Shaft의 고장률은 다음 식(4)에 의하여 구한다.

$$(\lambda_{SH}) = \lambda_{SH.B} \cdot C_F \cdot C_T \cdot C_C \cdot C_{DY} \cdot C_{TLF} \quad (4)$$

- $\lambda_{SH}$  : Shaft의 고장률
- $\lambda_{SH.B}$  : Shaft의 기본 고장률
- $C_F$  : 표면의 마무리 질에 대한 계수
- $C_T$  : 재질의 온도 계수
- $C_C$  : 오염물 계수
- $C_{DY}$  : 축 변위 계수
- $C_{TLF}$  : 트러스트 하중 계수

##### (2) Gear

실제적으로 감속기의 감속비를 결정하는 핵심 부품이면 Gear의 종류에 따라 감속기의 감속비나 형태 구조가 바뀌는데 영향을 주는 중요한 부품 중의 하나이다.

기어의 고장유형, 기어 종류별 스펙과 표준 규격에 대한 국제적인 규격으로 널리 활용되는 미국 기어 제조자 협회의 기준을 많이 두고 있으며, 기어의 고장률은 다음 식(5)에 의하여 구한다.

$$(\lambda_G) = \lambda_{GB} \cdot C_{GS} \cdot C_{GP} \cdot C_{GA} \cdot C_{GL} \cdot C_{GT} \cdot C_{GV} \quad (5)$$

- $\lambda_{GB}$  : 기어제조사가 제공하는 기어의 고장률
- $C_{GS}$  : 속도 계수
- $C_{GP}$  : 기어 하중 계수
- $C_{GA}$  : Misalignment Multiplying Factor
- $C_{GL}$  : 윤활 계수
- $C_{GT}$  : 온도 계수
- $C_{GV}$  : AGMA 계수

##### (3) Bearing

감속기가 구동될 때 Shaft와 Case 부분 결합하는데 필요한 기계요소 부품이면 감속기의 구동의 원활함과 진동의 발생하는 영향에 미치는 부품이면 그 종류는 Shaft에 받는 축의 힘에 따라 Bearing의 종류가 결정된다.

베어링은 재료 사용에 의한 피로 속성 때문에 한정 수명을 위해 설계가 된 부품들 중 하나이다. 대부분 베어링은  $B_{10}life$ 로 수명을 지정할 수 있고, 의미는 동일한 Bearing은 90 % 정도가 수명을 유지하는 것이다.

$$\frac{\lambda_{BE}}{\lambda_{Be, B}} \approx \left(\frac{C}{P}\right)^y : \text{Standard equation} \quad (6)$$

$B_{10}life$ : 정격부하와 정격속도에서 90%의 베어링이 동작하는 총 시간

- $\lambda_{BE, B}$  ≍  $B_{10}life$ 으로부터 기본 고장률
- $C$  ≍ 기본 다이내믹 정격 부하. (lbs)
- $P$  ≍ 등가 방사 부하. (lbs)
- $y$  ≍ 상수, 볼베어링은 3.0, 풀러 베어링은 3.3

#### (4) Seal

Seal은 대부분은 감속기의 Oil seal로 사용되는데 역할은 감속기 내의 윤활유가 내부로 나오지 않게 하기 위해서 사용되거나 각각의 부품의 이음 부분의 틈새를 막기 위해서 사용되고 있고, Seal에는 정적 Seal 과 동적 Seal이 있으며, Seal의 고장률은 다음 식(7)에 의하여 구한다.

$$(\lambda_{SE}) = \lambda_{SE, B} \cdot C_Q \cdot C_H \cdot C_F \cdot C_V \cdot C_T \cdot C_N \cdot C_{PV} \quad (7)$$

- $\lambda_{SE, B}$  : 필드 실험 자료를 기본으로 하여 산출한 고장률
- $C_Q$  : 허용 누유율 계수
- $C_H$  : 재질 경도 계수
- $C_F$  : 표면 다듬질 계수
- $C_V$  : 유체점성도 계수
- $C_T$  : 밀봉온도
- $C_N$  : 오염원 계수
- $C_{PV}$  : 압력 · 속도 계수

#### (5) Case

감속기의 Gear의 종류에 따라 형태나 모양이 바뀌게 된다. 또한 감속기가 구동될 때의 발생하는 열을 빨리 방출하기 위해 실린더 형태의 열방출 표면이 되어 있는 부분이 있다.

#### (6) Bolt

Bolt는 감속기의 Case의 이음연결 부분에 사용되고 있으면 감속기의 감속비와 고장에 영향을 많이 미치는 부분에 Socket bolt를 사용하고 있다.

· Bolt의 고장에 미치는 영향

- 1) 수소취화 (Hydrogen embrittlement)
- 2) 피로 (Fatigue)
- 3) 온도 (Temperature)
- 4) 부하 및 토크 (Load and Torque)

#### 3.4 감속기 FMEA의 신뢰도 Relex의 적용

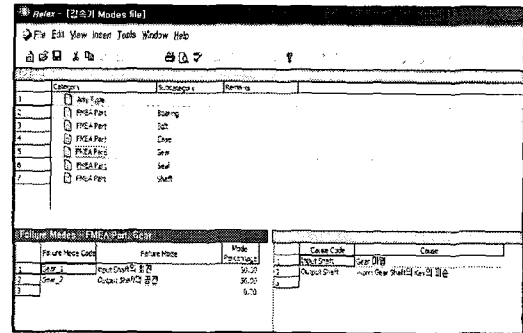


Fig. 1 FMEA Modes input

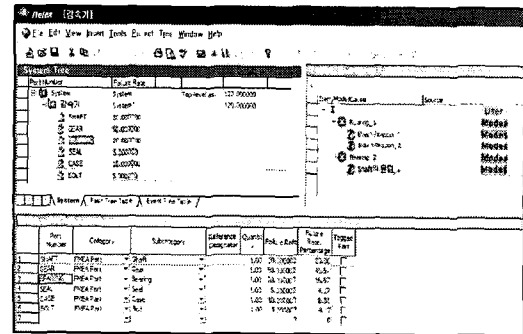


Fig. 2 FMEA Project input

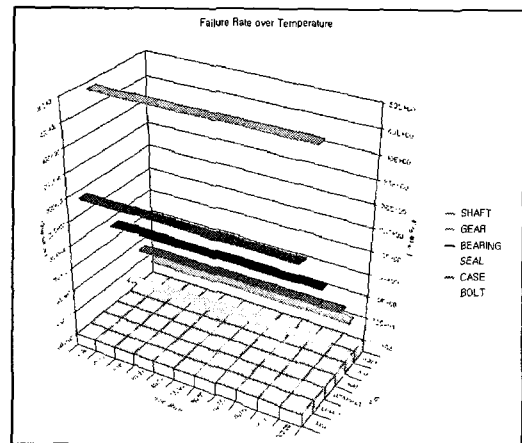


Fig. 3 Failure rate over temperature graph

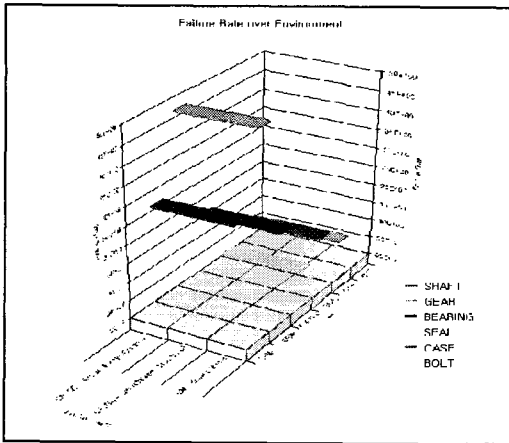


Fig. 4 Failure rate over environment graph

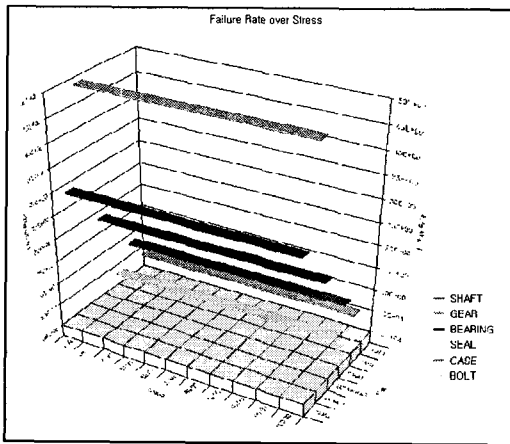


Fig. 5 Failure rate over stress graph

#### 4. 결론

본 연구에서는 기업 환경을 고려하여 소비자가 기대하는 정도의 안전성 및 신뢰도를 확보하기 위하여 FMEA에 의한 감속기의 신뢰도를 분석한 결과는 제품의 불량률에만 의존하여 개선항목을 선정하는 것은 타당하지 않음을 알 수 있었다. 또한 개선항목을 선정할 때에는 고장률을 종합적으로 평가하여 시스템의 고장발생을 방지하고 신뢰도를 높일 수 있는 시스템의 설계를 할 수 있어야 한다.

#### 참고 문헌

- [1] B. S Dhillon, C, Singh, Engineering Reliability, John Wiley and Sons, Inc. 1981

- [2] Jang J. S and Ahn, D. G (1997) "How to Perform FMEA Effectively" J. Korean Soc. of Quality Management. Vol. 25, No. 1 pp. 156-172
- [3] 이 치 우, 임 진 환 "신뢰성 공학" 보성각 2004. 3.
- [4] (주) 모아소프트 신뢰성기술연구소 "신뢰성예측 가이드" 교우사 2002. 8.