

기계류품 DR 및 공통원인고장 모델링

하영주*, 송준엽, 이후상(한국기계연구원 자동화연구부)

Design Review and Common-Cause Failure Modeling of mechanical Parts

Y. J. Ha, J. Y. Song, H. S. Lee (Automation Engineering, KIMM)

ABSTRACT

This paper shows an example of the Design Review and Common-Cause Failure(CCF) Modeling of mechanical Parts. Reliability should be continuously monitored during the entire period of design. Design Review is the procedure to improve the reliability for the product. We proposed the reliability assessment and design review method. CCF Model is the general dependent model considering the failure mode effects several component simultaneously. This study considers the computation of the network with dependent components. It is important that CCF model is applied for mechanical parts.

Key Words · Reliability Assessment (신뢰성 평가), Design Review (설계심사), Common-Cause Failure (공통원인 고장), RBD (신뢰도 블럭다이어그램), FMEA (고장모드영향분석)

1. 서론

기계류품이 첨단화되면서 신뢰성 확보 문제가 해당 기술 분야의 선도적 역할과 제품의 품질보증, 상용상의 안전성 측면에서 제고되고 있다. 이러한 기술 변화는 단편적으로 제품설계-시작품제작-성능시험-양산단계로 이어지던 개발과정에서 각 단계별 feedback사이클이 부가된 즉, 신뢰성 설계, 설계심사(Design Review), 신뢰성 실험 및 평가과정 등을 수반할 것을 요구하고 있다. 본 연구는 제품개발(설계)단계에서부터 신뢰성을 확보, 보증할 수 있도록 신뢰성 평가를 절차에 따라 실시하고 설계심사를 통하여 신뢰도를 예측하고자 한다. 또한 신뢰도에 영향을 크게 미치는 부분을 공통원인고장 모형에 적용시켜 구성요소간의 종속성을 고려하여 신뢰성 분석, 평가를 시도하고자 한다

2. 설계심사

2.1 설계심사의 개요

설계심사는 설계의 각 과정에서 설계안들을 다양한 각도에서 분석, 개선하는 것으로 신뢰성과 관련된 설계의 각 단계에서 요구되는 신뢰성을 확보할 수

있도록 설계안을 평가하고 개선 안을 다양한 전문가들의 팀이 되어 하는 활동이다.

설계 심사의 목적은 회사내의 집단적인 전문지식과 경험을 이용하여 제품에 의도된 품질이 설계단계에서 구현될 수 있도록 보증하는데 있다. 제품의 성능, 신뢰성, 보완성, 품질 및 가격 등에 대한 고객의 요구사항을 충족시키기 위해서는 제품 개발의 각 단계에서 설계심사가 이루어져야 하며, 여러 가지 심사 혹은 분석기법들은 정해진 순서에 따라 알맞게 적용되어야 한다.

일단 제품의 생산이 시작되면, 설계 변경은 현실적으로 불가능하거나 가능하더라도 비용이 엄청나게 소요되므로 모든 설계상의 하자는 본격적인 생산이 시작되기 전에 발견하고 수정하는 것이 좋다 설계상의 결함을 신속히 발견하고 수정하기 위해 설계심사시 다음 네 가지 지침을 준수하는 것이 바람직하다.

1. 예기치 못한 사고의 위험을 최소화하기 위해 설계자의 관점과 다른 시각에서 설계를 검토하고 심사할 것.

2. 설계에 참여하지 않은 회사 내부 혹은 외부인사 중에서 광범위한 경험을 가진 사람들을 이용하여 잠재적인 문제의 소지를 찾아내어 제거하도록 할

것.

3. 같이 사용될 다른 제품의 설계와 맞도록 하고 환경이나 사용자 혹은 예측되는 다른 응용에도 문제가 없도록 보증할 것.

4. 신뢰성과 안전성을 포함하여 요구되는 수행도를 만족시키는 설계 중 가장 경제적인 설계가 될 수 있도록 할 것

2.2 기계류품 설계심사의 적용연구

본 연구에서 준비하고 있는 신뢰성 평가 및 접근 절차는 설계 심사에서 설명한 것처럼 미래의 품질을 보증한다는 차원에서 시간의 함수로써 접근시키고자 한다. 특히 본 연구에서 추진하는 평가절차는 설계 심사에 중점을 두고 신제품의 설계단계에서부터 시료 및 보고된 규격 자료를 근거로 신뢰도를 예측하고, 취약 부분에 대한 고장해석 및 원인규명에 목표를 두 정립시키고자 한다. 신뢰성 분석 및 평가절차를 요약 도식한 것이 Fig. 1이다.

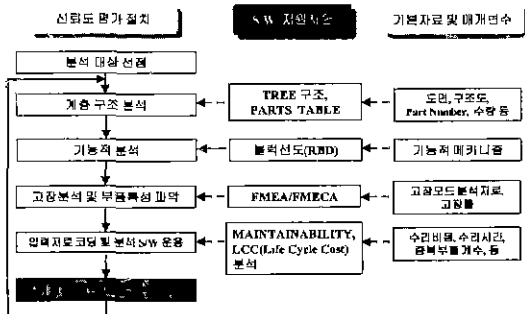


Fig. 1 Reliability assessment and analysis procedure

분석 대상 선정에 의한 계층 구조 분석에서는 실시간 대상품의 도면, 구조도, BOM 등의 기본자료를 토대로 기능정의와 신뢰성 평가에 필요한 분해 수준 및 범위를 결정하는 단계로써 신뢰성의 평가의 대상이 되는 부품이기 때문에 부품 선정에 일정한 규칙이 있는 것은 아니지만 관리 수준에 따라 어느 Item까지를 부품으로 할 것인가를 결정해야 한다. 부품을 단품 수준으로 결정하면 분석/평가는 용이하지만 특히 대상이 기계류품인 경우 고장 모드 선정 등에 어려움을 갖게 된다. 이 단계의 결과물은 대상품의 구조 Tree로서 제시될 것이다.

대상 기계류품은 대강 90여개의 part로 구성되어 있고 관리상 BOM이 8단계에 이르는 것이지만 기능성 메카니즘과 고장 모드 선정 최소화 기준을 제고하여 4단계까지 분해된 RBD를 구성하였다. 계구성한 구조블록도가 Fig. 2 이다.

기능적 분석 단계는 구성 Item/Part별 기능성 메카니즘을 파악하여 신뢰성 블록다이어그램 (Reliability Block Diagram)화하는 단계이다.

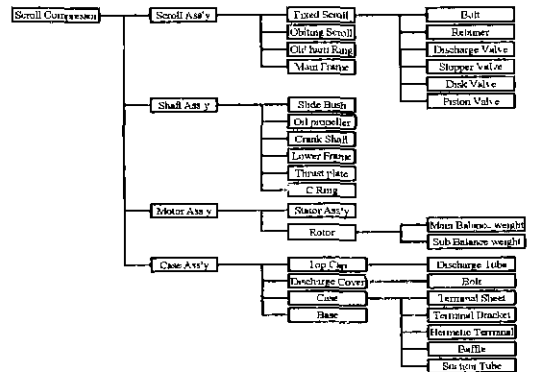


Fig. 2 System Tree Diagram of Scroll Compressor

제구성한 구조도에 의해 각 Sub Assembly를 구성하는 부품의 Part#, Category, Model, Description등을 선정하고, Part별 고장모드를 입력하여 단품별 고장률을 산출하였다. 기계류 부품의 고장률에 대한 정보가 국내에서 확보된 것이 없어 국외의 공개된 신뢰성 DB인 NPRD95를 활용하였다. 산출한 고장률은 직, 병렬 형태로 작성한 신뢰성 블록에 할애시키고, FMEA툴인 RELEX S/W를 이용하여 대상품에 대한 신뢰도 예측 및 치명도 분석을 시행하였다. 그 결과가 Fig. 3이다.

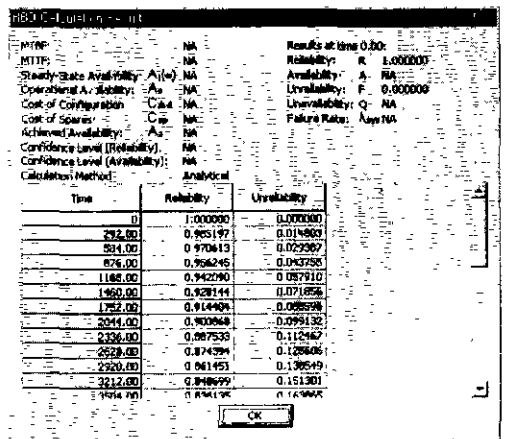


Fig. 3 RBD Calculation Results

이상의 신뢰도 예측 결과에서 대상시스템의 고장률은 39.44/백만, MTBF는 25, 352시간으로 2.9년간은 품질을 보증할 수 있다는 것을 확신할 수 있었다. 그러나 Sub Assembly단위의 고장률을 보면 용접부에서 높은 고장률을 나타내는 것으로 분석되어 품질보

증기간을 연장하기 위해서는 용접부에 대한 설계심사를 제고하여야 될 것으로 나타났다

나은 결과를 중심으로 개발, 설계 담당자와 설계심사에 의한 부분품의 신뢰도(품질기준, 환경조건)의 조정된 결과는 Table. 1과 같다

Table 1 DR에 의한 부분품의 신뢰도 조정

Part	1차 Design Review				2차 Design Review			
	품질 기준	환경 조건	고장율	자료원	품질 기준	환경 조건	고장율	자료원
Frame			0.2009		Unk	GM	0.9292	27030-000
Bushing	Com	GB	0.0190		Mit	GM	502.765	18283-000
Pin			0.0000		Unk	GM	0.0320	27030-000
Retainer			0.6214		Unk	GM	0.1562	27030-000
Plate	Unk	GM	0.0320	27030-000	Unk	GM	0.1602	27030-000
Ring	Unk	GM	0.4793	27030-000	Unk	GM	0.0320	27030-000
Cap	Unk	GM	1.9220	27030-000	Unk	Gm	3.0225	27030-000

전체적으로 고장률은 39.44/백만에서 59.5/백만으로, MTBF(평균고장간격)는 25,352시간에서 16,085시간으로 바뀌었다. 1차 설계 심사 후 신뢰도가 낮아진 것은 상기 Bushing부품에서 조정된 신뢰도가 시스템 성능에 크게 영향을 미친 것으로 판단된다.

시간에 따른 신뢰도 변화는 Fig. 4에 나타나 있다.

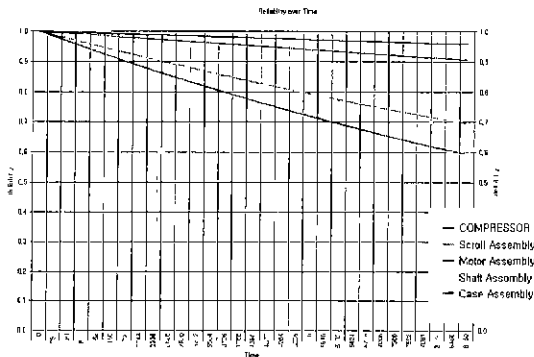


Fig. 4 Scroll Compressor's reliability on time

Bushing부품에서 조정된 신뢰도가 시스템 성능에 크게 영향을 미친 것으로 판단되므로 Bushing 주위의 구성품을 중심으로 고장의 중속성을 고려한 CCF 모형을 제시하고, 적용연구를 통한 정밀분석을 실시하도록 한다.

3. 공통원인고장 모델링

3.1 공통원인고장 모형

공통원인고장 모형은 가장 일반적인 중속 모형으로 여러 개의 구성요소에 동시에 영향을 미치는 고

장 요인을 고려하는 것이다. (기존의 독립적인 모형의 일종으로 여기서는 고장 분포를 가정한다). 즉, 하나의 공통 원인 고장이 일어나면 영향을 받는 구성 요소 전체가 고장이 난다고 가정하는 것이다 모형의 가정과 신뢰성 유도를 위한 기본 가정은 다음과 같다.

<가정>

1 공통원인이 지수 분포를 따르면서 발생하고 발생시 영향을 받는 구성요소들이 모두 고장난다.

2. 개별 원인에 의한 구성 요소의 고장 발생도 지수분포를 따른다

<기호>

λ_i : 구성요소 i 의 고장률 $i=1, \dots, n$

$\lambda_{(j)}$: 공통원인 j 의 고장률 $j=1, \dots, k$

F_j : 공통원인 고장 j 에 의한 고장 구성요소들의 집합

이 모형에서의 네트워크의 신뢰도를 산출하는 알고리즘은 네트워크의 최소절단집합(Minimal Cut Sets)의 정보를 이용하여 영향이 큰 공통원인(고장 구성요소의 수가 많은 것)부터 조건(발생유무)을 가하면서 모든 공통원인의 발생유무 조건 부여가 끝나면 최소 절단집합을 포함하는 경로는 종결시킨다 종결되지 않은 경로는 각 경로에서 고장 나지 않은 구성요소에 대해 개별 고장 유무 조건을 가한다. 남은 구성요소가 없으면 네트워크의 신뢰도를 계산한다. 제안된 알고리즘은 최소 절단 집합을 구하고 Decomposition방법을 사용하므로 네트워크 신뢰도 계산과 함께 중요도 그리고 공통원인고장의 변화 결과를 쉽게 재 계산할 수 있다.

네트워크의 신뢰도를 분석하거나 향상시키고자 하는 경우 각 구성요소나 공통원인의 중요도 척도를 고려하는 것이 매우 중요하다. 이는 네트워크 신뢰도의 개선시 중요한 기준으로 사용할 수 있다. 즉 중요도가 큰 개별원인이나 공통원인을 먼저 개선함으로써 전체 네트워크의 신뢰도를 더욱 효과적으로 개선할 수 있다.

중요도 척도로는 Birnbaum 중요도 개념을 이용하여 다음과 같이 공통원인과 개별원인의 중요도를 구한다.

공통원인 또는 개별원인의 Birnbaum 중요도는

$$I_j^B(P(t)) = \frac{\partial g(P(t))}{\partial P_j(t)} = g(1_j, P(t)) - g(0_j, P(t))$$

$g(P(t))$: t 시점에서 네트워크가 정상 작동할 확률

$g(1_j, P(t))$: j 개별원인이나 공통원인고장이 t 시점 이전에 발생하였을 때 t 시점에서 네트워크가 정상적으로 작동될 확률

$g(0, P(t))$: j개별원인이나 공통원인고장이 t시
 점 이전에 발생하지 않았을 때 t시점에서 네트워크
 가 정상적으로 작동될 확률

3.2 적용연구

앞에서 S제품의 bushing 주위부분을 공통원인고
 장 모형에 적용시켜보면 구성요소(Edge)가 5개이고
 연결 Vertex가 4개인 네트워크 모형으로 Fig. 5처럼
 표현할 수 있다.

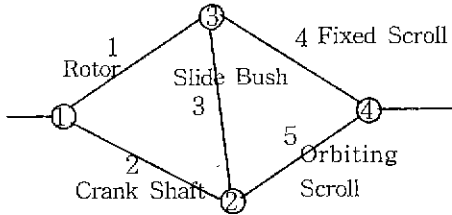


Fig. 5 Network model of around bushing

각 구성요소의 고장률은 앞의 신뢰도 예측에서
 구성요소별로 계산된 결과를 이용하였다.

$F_1 = \{3, 5\}$ 이고 공통원인 1의 고장률은 $\lambda_{(1)} = 0.00002$, $F_2 = \{1, 2\}$ 이며 공통원인 2의 고장률은 $\lambda_{(2)} = 0.005$ 이다. 즉, 공통원인 1이 발생하면 구성
 요소 3과5가 동시에 고장이 난다는 것을 의미한다.

위의 기본 자료들을 가지고 최소절단집합
 (Minimal Cut Sets)을 구한 것이 Fig. 6이다

번호	Minimal Cutset
1	1,2
2	2,3,4
3	1,3,5
4	4,5

Fig. 6 Minimal Cut Sets

Fig 7의 중요도를 계산한 결과를 보면 구성요소5
 인 Orbiting Scroll 이 중요도 1로써 가장 큰 영향을
 미친다고 나왔는데 이는 공통원인1의 요소인 결과로
 예측된다 그리고 공통원인1의 중요도에서는 공통원
 인2가 99%를 차지했는데 이는 높은 고장률과 함께

최소절단집합의 하나인 영향이 큰 것으로 분석된다.
 전체적으로 요약하면 이 시스템에서는 공통원인2와
 구성요소5를 잘 관리함으로써 신뢰도의 향상을 꾀할
 수 있게 된다. 즉, 고장률이 큰 구성요소의 고장률뿐
 아니라 고장률이 큰 공통원인도 발생률을 낮춤으로
 써 신뢰도를 높일 수 있게 된다.

EDGE 번호	IMPORTANCE 값	순위
1	0.00076515	4
2	0.00020166	5
3	0.00077697	3
4	0.00100495	2
5	0.00183556	1

Fig. 7 Edge's Importance

4. 결론

기계류품의 신뢰도 예측은 전자 부품과 달리 표
 준화가 되어 있지 않아 어려움이 많다. 본 연구에서
 는 이런 구조상의 문제를 극복하고 기계류품의 신뢰
 도 평가를 절차에 따라 시행하는 설계심사의 과정을
 제시하였다 또한 고장률이 큰 부분을 중심으로 종
 속을 고려한 공통원인고장 모형을 적용시켜 봄으로
 써 좀 더 현실적인 신뢰성 분석의 방법을 보여 주었
 다. 시스템의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 고장률
 이 큰 구성요소의 고장률뿐 아니라 최소절단집합 및
 고장률이 큰 공통원인도 발생률을 낮춤으로써 신뢰
 도를 높일 수 있게 된다

참고문헌

- 1 Michael Pecht, "Product Reliability, Maintainability, and Supportability Handbook", CRC Press, pp. 230-234, 1995.
- 2 송준엽 외, "기계류품 신뢰성 평가의 접근방법" 한 국정밀공학회 춘계학술대회 논문집 pp. 250-253, 2000
- 3 Misra, K. B, "Reliability Analysis and Prediction", A Methodology Oriented Treatment. Elsevier Silence, Netherlands, 1992.