

기계류 시스템 신뢰성 예측 데이터베이스 시스템 구축 방안

김연수

인천대학교 산업공학과

Implementation Scheme of Database System for Reliability Prediction of the Mechanical System

Yon Soo Kim

Department of Industrial Engineering, University of Incheon

ABSTRACT

This paper describes procedure to build a generic reliability analysis database structure and failure data during the conceptual design phase. Reliability prediction utilizing such supporting database system enable the designer to quantify the effects of varying design and operational constrains on mechanical component's failure rate. This leads to compare competing alternatives to the reliability improvement efforts.

1. 서론

부품·소재 및 시스템·제품 등이 주어진 사용 환경 또는 조건에서 일정기간 동안 고장 없이 최초의 품질(성능)을 유지하는 특성을 신뢰성이라고 하는데 이러한 신뢰성이 고부가가치 산업으로 떠오르고 있는 부품·소재 산업 발전을 위한 필수 요소로 인식되면서 그 중요성이 점점 강조되는 상황이다.

최신의 신기술을 반영한 신제품이나 첨단 기계류 제품, 장치, 시스템 등은 다 기능의 많은 서브시스템, 부품 및 요소들로 결합되어 있어 이들의 사용 환경도 점차 고속 운전 환경 및 지능형 시스템 하에서 운영되고 있다. 자동차 10년, 공작기계, 비행기 30년 등 각 제품이 요구하는 일반적인 사용 연한에 맞추려면 설계 단계에서 고장 원인을 분석해 설계를 변경해야 하는데 이러한 기계류 관련 모든 제품의 고장 원인을 체계적으로 분석하고 평가하여 그 대책을 수립할 수 있도록 해결방안을 제시하는 기계 신뢰성 연구가 필요하고 이를 활용 가능하게 하는 기초 자료의 축적 Enabler로써 신뢰성 데이터베이스 시스템을 필요로 하게 되었다. 신뢰성을 확보하기 위해 제품의 전 라이프 사이클에 일어나는 데이터를 품질은 현재 규격을 기준으로 하며 신뢰성은 앞으로 나타날 고장 해결에 중점을 두어서 수집하여 과거의 연구들을 분석해 구축한 지식베이스를 병행하여 활용한다면 수명예측과 설계 검토 등이 용이하게 된다.

설계단계에서부터 필요한 분석 및 평가에 필요한 비교기준으로서 신뢰성 척도를 사용하여 이러한 기계류 제품의 고장 메커니즘을 세분화시켜 접근하는 고장 물리적 관점에서 기계 시스템을 구성하고 있는 요소들의 고장 물성과 이에 영향을 미치는 요소들과의 관계를 계량화하여 이를 비교하여 고장 원인 해결정보로 활용하게 된다. 본 논문에서는 기계류 제품의 신뢰성 예측에 필요한 신뢰성 데이터베이스 시스템을 구축하기 위한 제반 사항들과 데이터베이스 시스템의 설계에 관한 내용을 기술하게 된다. 본 논문의 구성은 연구의 필요성을 나타내는 서론 부분과 기계 신뢰성 분석, 평가 및 예측 절차와 기존의 전자류 부품 및 시스템에서의 적용 가능한 방법론과의 차이점과 문제점을 알아보고 데이터베이스 설계를 위한 필요 엔티티(Entity)와 그 프로세스를 다루며 이를 통하여 데이터베이스를 구축하기 위한 방법론과 과정을 다룬다.

2. 기계 신뢰성 분석, 평가 및 예측

기계류 제품은 시장조사, 타사 제품의 벤치마킹 자료와 소비자의 요구정보로부터 제품을 개념 설계하게 되는데 이때 제품의 기능, 성능 신뢰성 요구사항을 정의하고 사용조건이나 사용 환경을 정의하게 된다.[3,12] 기계류 제품을 구성하고 있는 BOM(Bill of Materials)으로부터 RBD(Reliability Block Diagram)이 주어지면 이를 가지고 기계 신뢰성 예측을 위한 데이터베이스로부터 기계신뢰성 분석 및 평가를 하게 된다. 정확하고 시기적절 한 신뢰성 예측은 잘 구성된 신뢰성 프로그램의 중요한 부분이 되며 적절한 신뢰성 예측은 구상중인 제품의 설계와 정비부분에서의 통찰력을 제공할 수 있게 되며 이에 대한 경제성 평가의 기본 자료로 이용

될 수 있다.

기계류 시스템은 시스템 설계 단계에서 첫째로 시스템이 우리가 받아들일 수 있고 요구되는 안전수준(Safety Levels)을 준수하면서 운영 또는 운전할 수 있어야 하며 둘째로 최소의 비용으로 요구되는 성능(Performance)을 구현하여야 하며 셋째로 최소의 운영 및 유지보수 비용을 지출할 수 있도록 설계되어야 한다. 이러한 서로 상충되는 조건을 이해하고 기계 시스템 신뢰성 예측 모델을 사용하여 설계 및 제작에 관여하는 사람들이 미리 예측 가능한 대안들을 준비할 수 있게 하여 주는데 이 고장 수치는 단일 수치로 주어지기 때문에 이에 따른 위험의 분포에 정보가 결여되어 있다.

분석 하고자 하는 기계 시스템의 고장률의 분포 및 그 모습과 신뢰구간의 상한과 하한을 알게 되면 이는 의사결정에 유용한 정보가 될 수 있다.

2.1 기계 신뢰성 분석을 위한 선결 조건

- 1) 고장의 정의
- 2) 사용할 수 있는 신뢰성 척도의 일치
- 3) 운영환경(Operating Environment/Condition)
- 4) 기계 시스템에 대한 로딩(Loading)
- 5) 이용률(Utilization)

기계제품의 신뢰성 예측에는 기계 시스템에 대한 로딩(Loading), 운영환경, 이용률(Utilization) 과 고장의 정의를 동시에 고려해야 한다. 이를 요인 변수 사이에 서로 독립적인 관계를 설정하면 좀더 쉬운 예측 관계식을 도출하지만 대부분 종속적인 관계이고 이들 사이의 교호작용에 의한 효과는 대개 2차 항, 3차 항 이상 발생하지만 그 효과를 정확하게 반영하는 문제는 지극히 힘든 문제이다.

2.2 기계 신뢰성 데이터베이스

기계 신뢰성 데이터베이스는 전자 제품과 같은 다양하고 여러 분야의 데이터베이스는 없지만 다음과 같은 두 종류의 데이터베이스를 기초로 예측 모델을 구성하기 위한 자료로 사용할 수 있다. 이러한 데이터베이스를 사용해서 얻을 수 있는 것은 고장률에 대한 절대치가 아니라 이들 자료를 이용했을 때의 각 신뢰성 디자인 대안들에 대한 변화 정도의 비율 및 비례 관계(proportion)가 더 중요하게 된다. [3,4,5,6,7]

- 1) NPRD95 데이터베이스

이 데이터베이스는 현재 기계시스템에서 시스템 고장률 예측에 자주 응용되며 <그림 1>와 같은 형식 및 항목으로 구성되어 있다.

PartType과 PartSubtype은 주요한 부품조합과 특정한 부분 타입의 고장을 포함하여 분류하여 부품의 분류설명 그 상세 설명을 표시한다. Quality는 부품의 품질 등급을 표시하며 Mil-Spec, Commercial, Unknown으로 표시되며 각각 MIL 규격에 준한 품질, 상용등급 품질, 사용자가 부품의 품질을 모르는 경우를 나타내고 있다.

Environment는 필드 동작 조건, 사용 환경을 나타낸 것이다. Data Source는 자료번호로써 문서에서 명시한 자료 출처번호로 문서를 참조한다. Failure Rate는 각각의 개별 등록 데이터(부품 타입, 환경, 품질, 데이터 출처)에 대한 고장률로 총 고장 수를 유닛의 총 수명으로 나눈 것이다. Mile에 Yes로 되어 있는 고장률은 단위가 100만 마일당 고장률이고 그 외에는 100만 시간당 고장률이다.

NPRD	
ID:	AutoNumber
PartType:	Text(50)
PartSubtype:	Text(50)
Quality:	Text(20)
Environment:	Text(50)
DataSource:	Text(20)
FailureRate:	Double
Mile:	Yes/No

그림 1: NPRD 95의 필드와 형식

이 자료는 환경이나 재질, 등급 등에 대한 유사품목을 임의로 설정하기 때문에 사용자와 업체, 연구소에 따라 지정부품이 다를 수 있으며 모든 구성요소의 물리적인 고장률에 대한 지식을 필요로 하고 이들의 고장률과 수명에 대한 지식과 이들이 의도한 환경에서 사용되는 등의 배경지식이 필요하다. 이 데이터베이스의 가장 중요한 사용목적은 MIL-HDBK-217과 같은 신뢰성 예측 방법론을 보완시키기 위하여 데이터를 제공하는 것이다.[1]

2) NSWC-98/LE1 데이터베이스

미국 해군의 NSWC (Naval Surface Warfare Center)에서 제정하였으며, 현재NSWC-98/LE1 버전 사용되고 있다. 전기전자부품과 달리 기계류 부품은 광범위한 고장률 분산분포와 사용환경, 스트레스에 대해 민감한 고장률 변화를 가지므로 기계부품의 공통적인 몇 가지 특성을 고려하여 고장률 예측에 이용하게 된다. 규격내의 부품종류는 <표1>과 같이 Seals, Gaskets, Spring, Motor, Bearing 등을 포함하여 14개 항목으로 분류하였고, 22가지의 MIL-217 타입의 예측 식을 사용하여 사용자는 각 부품에 대한 실측정보를 입력해야 고장률 예측이 가능하다.

2.3 기계 신뢰성 분석 평가 모델

기계 신뢰성을 예측하기 위해서는 대처할 수 있는 부품 자료를 분석하고 Stress/Strength Interference Analysis를 거치며 Empirical Reliability Relationships를 통한 경험적 분석을 거쳐 Part Failure Data Analysis를 하게 된다. 기존의 데이터베이스에 구할 수 없는 자료는 개발 설계 또는 양산 단계에 걸쳐서 기계부품 신뢰성시험을 통해서 구해야 되지만 기계 신뢰성 시험은 시료나 시험 예산이 한정되어 있으며 이들 시험에서 나오는 데이터들을 센서들을 연결해서 예측해야 하고 만일 센서등의 제약으로 인한 데이

터가 결여되어 있을 때는 예측이 불가능 하거나 예측 신뢰도가 낮아서 상용으로 사용할 수 없게 된다. 또한 시험이 Multi-Axial/Combined 테스트일 때는 이들의 교호작용을 분리해 낼 수 없게 된다.

수명시험 같은 경우에는 가속 수명 방법론을 적용하게 되며 이는 각각 가속 수명시험(ATL : Accelerated Life Testing)과 가속 스트레스 시험(ACL : Accelerated Stress Testing)으로 나누고 그 목적도 ATL은 사용조건에서의 수명 추정이며 ACL의 경우는 설계 결함 또는 완성도 평가이다. 방법도 전자는 수명/스트레스 관계식 사용 일정 스트레스 적용하며 후자는 복합 환경시험, 계단형 스트레스 적용하게 된다. 그 시험 대상도 가속 수명 시험은 주로 부품 레벨에서 행해지고 가속 스트레스 시험은 그 대상이 PBA이다.

기계류 제품의 신뢰성 예측에 따른 계산식은 기본 고장률 (base failure rate) 에다 다양한 조건 및 요소(Operating Environment, Utilization, Loading등)들을 고려해 이들의 영향을 반영한 고장률을 MIL-HDBK 217 스타일의 공식을 사용해 도출하게 된다. 데이터베이스에 있는 고장률 데이터를 이용하여 고려중인 제품이나 시스템, 서브시스템 및 부품레벨의 고장률은 다음과 같이 계산된다.

$$\lambda = \sum_{i=1}^m (\lambda_{B_{ij}} \prod_{j=1}^n \pi_{ij}) \quad (1)$$

단, $i=1,2,\dots,m$ (구성요소의 수)

$j=1,2,\dots,m$ (특정부품에서 고려해야 할 보정 계수의 수)

λ : 분석중인 전체 시스템의 고장률

$\lambda_{B_{ij}}$: 각 구성 요소의 기본 고장률

π_{ij} : 각 구성요소의 이용률, 로딩, 환경, 품질등의 보정계수

표 1: NSWC 기계 부품 신뢰성 예측 모델 분류

Type	Style
1	Seals 1.1 Static and Gasket 1.2 Dynamic
2	Springs
3	Solenoids
4	Valve Assemblies 4.1 Poppet 4.2 Sliding Action 4.3 Housing
5	Bearings
6	Gears 6.1 Standard 6.2 Gear Spline
7	Actuator
8	Pumps 8.1 Shaft 8.2 Casing 8.3 Fluid Mover
9	Filters
10	Brakes
11	Clutch
12	Compressors 12.1 Metal Diaphragm 12.2 Rubber Diaphragm
13	Motor Windings 13.1 Fractional 13.2 Integral
14	Fixed

3. 신뢰성 데이터베이스 시스템

데이터베이스 시스템을 구축하기 위해서는 다양한 기계 신뢰성 문헌을

- 1) 발표된 기술 보고서 및 논문
- 2) 정부 및 연구 단체로부터 수집한 자료
- 3) 군사 정비 자료 수집 시스템으로부터 수집한 자료
- 4) 상용 보증 수리 시스템으로부터 수집한 자료
- 5) 산업의 정비 유지 보수 데이터베이스로부터 수집한 자료
- 6) 방산조직에서 수집한 고장 데이터베이스등의 다양한 곳으로부터 취합한 일반 고장률 데이터를 가지고 일련의 정제 과정을 거쳐서 데이터를 선별 작업을 하여야 한다. 데이

터의 수집 및 정제 과정은 <그림2>에 나타나 있다.

기계 신뢰성 데이터 분석 및 평가 과정은

- | | |
|--------------------|-------------------|
| 1. 고장 데이터 수집 | 2. 고장 데이터 분류 |
| 3. 고장 메커니즘 규명 | 4. 고장 데이터 분류 |
| 5. 데이터 분석, 해석 및 평가 | 6. 원인 및 대응 특성을 규명 |
| 7. 고장률 및 수명 예측 | |

을 거치게 되는데 이를 저장, 유지, 보수할 정보 구조 데이터베이스 스키마를 작성하여야 한다. 기계류 제품에서 요구되는 평가 및 추진 절차는 <그림 3>과 같이 전개된다. 이에 필요한 일반 적인 정보요구 사항과 이에 대응하는 스키마를 반드시 구성하여야 한다.

3.1 데이터베이스 스키마

다음 사항이 테이블로 정의되게 된다.

기계제품의 구성에 관한 데이터	구성부품의 도면
전기 배선도	블록 다이어그램
BOM(부품구성표)	기계제품의 운영에 관한 데이터
운전사항(정상운영, 비정상 운영)	정기 및 비정기 테스트 사항
정비에 관한 사항	수리에 관한 사항
신뢰도 및 가용도에 관한 사항	부품식별번호
고장률	고장의 내용
수리작업에 관한 사항	수리기간

이중에서 기계 시스템을 이루는 시스템의 구조 정보는 시스템-서브시스템-Part-Component-Element/material과 같은 계층 구조로 분류하고 이를 트리 구조로 나타내게 된다.

이들 기계류 제품을 구성하는 시스템 구성을 나타내는 테이블의 구조는 <표2>와 같다. 설계된 제품의 시스템 구조를 저장하는 트리구조를 나타내게 되고 부모-자식 관계에 의하여 설정되어 있는 엔지니어링 BOM구조를 수용할 수 있다.

기계제품의 경우 계층 구조 별로 분류된 시스템의 경우 고려하여야 할 파라미터가 NSWC에서 제공하는 분류이외에는 사용자 정의 테이블로 만들어 넣어야 하고 NSWC경우에도 각 분류의 경우 마다 파라미터 리스트의 테이블을 보유하여야 한다.

[10] 예를 들면 Bearings의 경우

<표2>에서 요구하는 정보 외에 다음 <표3>에 있는 파라미터 리스트와 이들의 기본 값을 필드로 갖는 테이블을 구축하여야 한다.

표 1: 기계 시스템 구성 테이블

데이터 필드		데이터 형식
1	시스템구성 번호	String
2	상위시스템번호	String
3	시스템명	String
4	BOM단계레벨	String
5	시스템 설명	String
6	계층구조단계번호	String
7	도면번호	String
8	특기사항	String
9	보정계수번호	String
10	Base Failures	Double
11	Failure Rate	Double
12	Duty Cycle	Double

표 2 : Bearings 파라미터 리스트 및 기본 값

필드명	기본값
부품명코드	
고장률	
온도	섭시 40도
Duty Cycle	1
Bearing type	Roller
L10 Design B10 life	370816 시간
Actual radial load	1.7056 lbs
Spec radial load	1.8307 lbs
Alignment error	0.015 radians
Oper viscosity	0.00002 lb min/in ²
Spec viscosity	0.00000021 lb min/in ²
Oper Material	80000 psi
Base Material	80000 psi
Contaminant level	100 Og/m^3
Watercontamination	5%
기본 고장률	

3.2 데이터베이스 시스템 인터페이스

위의 정의된 데이터베이스 스키마에 의하여 데이터베이스가 구축되면 <그림 4>과 같은 사용자 인터페이스를 통하여 시스템 정보를 구축하고 각각의 설계대안에 대하여 신뢰성 분석, 평가를 거쳐서 설계변경을 거치게 된다.[11] 신뢰성 활동에서 새로 발생하는 정보들은 이벤트 베이스 별로 데이터를 입력하고 이를 활용하는 지식데이터베이스의 기본을 이루게 된다. 본 논문에서는 기계 데이터베이스 시스템의 개념적인 설계부분만 기술되고 실제 구축된 시스템에 대해서는 추후 논문에 기술하기로 한다.

4. 결론

기계류 제품, 장치 또는 시스템의 신뢰성 예측 및 평가는 전자 제품류, 장치 또는 시스템과는 달리 표준화된 프로세스와 적용할 모델이 결여되고, 기계 시스템의 제반 특성들을 반영하여야 하기 때문에 신뢰성을 예측하기가 어렵다. 기존의 데이터베이스를 활용하여 기계 제품의 설계 단계에서 설계되는 제품을 신뢰성 있게 설계하고 분석하고 평가하기 위한 지원 데이터베이스를 구축하기 위한 방법론에 대해서 알아보았으며 이를 활용한 시스템이 마이크로 소프트웨어 환경에서 여러 사이트에서 활용하기 위한 웹서비스가 구축되어 활용되면 설계생산성 향상과 고장원인 파악 및 규명을 명확화 하여 효율적인 정보 시스템을 운영 할 수 있게 된다.

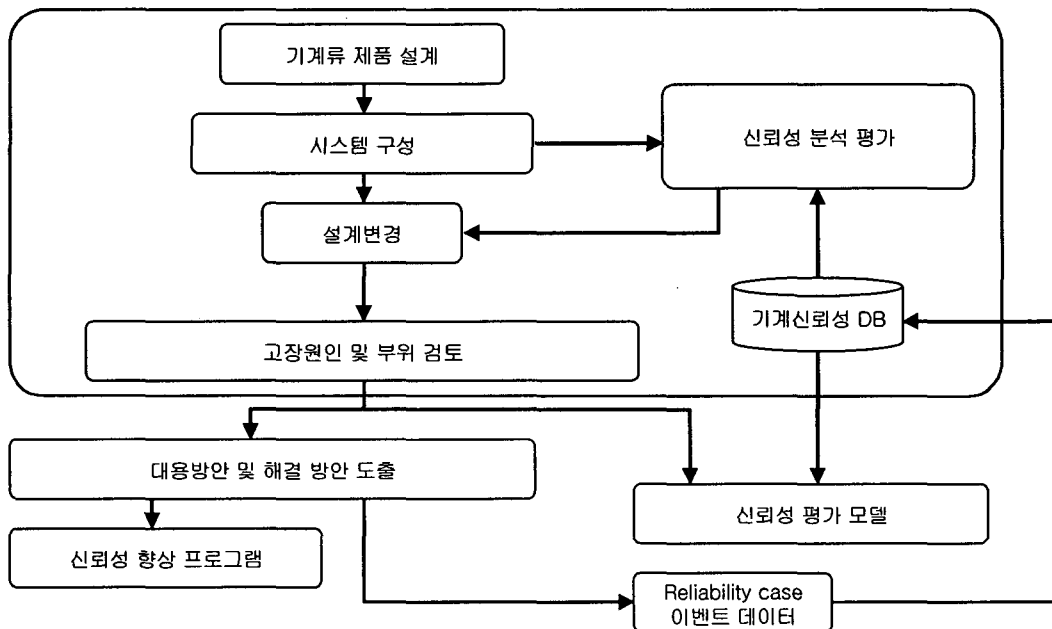


그림 4 : 기계 신뢰성 지원데이터베이스 시스템 사용자 인터페이스

참고문헌

1. (주) 모아소프트 신뢰성 기술 연구소(2002), 신뢰성 예측 가이드, 교우사.
2. 송준엽(2000), “공작기계 핵심 부품의 신뢰성 평가 시스템 구축 기술”, 기계류 신뢰성 평가 및 분석 기술 세미나 발표집, pp. 63-75.
3. Cooke, R.(1996),” Design of reliability data bases, part I: review of standard design concepts”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 51, pp.137-146.
4. Cooke, R.(1996),” Design of reliability data bases, part II: competing risk and data compression”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 51, pp.209-223.
5. Cooke, R.(2002). and Bedford T., “Reliability Databases in Perspective”, IEEE Transactions on Reliability, Vol.51, No.3, pp. 294-310.
6. Denson, Crowell, Jaworski and Mahar(2002), Failure Mode/Mechanism Distribution, Reliability Analysis Center.
7. Fragola, J.R.(1996), “Reliability and risk database development: an historical perspective”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 51, pp.125-136.
8. Jones, J.A. and Hayes, J. A.(1997), ” Use of a field failure database for improvement of product reliability”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 55, pp.131-134.
9. MaFadden, R.(1990), “Developing a Database for a Reliability, Availability, and Maintainability Improvement Program for an Industrial Plant or Commercial Building”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.26, No. 4, pp. 735-740.
10. Pinna, T., and Cadwallader, L.C.(2000), “Component failure rate data base for fusion applications”, Fusion Engineering and Design, Vol. 51-52, pp. 579-585.
11. Quanterion(1997), Reliability Toolkit: Commercial Practices Edition, Reliability Analysis Center.