

공작기계 부품의 고장 데이터 해석 및 데이터베이스 프로그램 개발

이수훈*(아주대 기계 및 산업공학부), 김종수(아주대 대학원 기계공학과)
송준엽, 이승우, 박화영(한국기계연구원 자동화연구부)

Development of the Failure Data Analysis and Database Program for Machine Tools Parts

S. H. Lee, J. S. Kim, J. Y. Song, S. W. Lee, and H. Y. Park

Abstract

The reliability data analysis for components of CNC machining center is studied in this paper. The failure data of mechanical part is analyzed by Exponential, Weibull, and Log-normal distributions. And then, the optimum failure distribution model is selected by goodness of fit test. The reliability data analysis program is developed with ASP language to use on the Internet. The failure rate, MTBF, life, and failure mode of mechanical parts are estimated and searched by this program. The failure data and analysis results are stored in the database.

1. 서론

최근 모든 산업 분야에서 소비자의 요구와 권리가 커지고 제품의 내구성이 강조됨에 따라 신뢰성 개념을 도입한 제품의 설계와 평가의 중요성이 날로 증대되고 있다. 신뢰성이란 제품을 구성하는 재료, 부품, 제품 또는 소프트웨어가 고장 혹은 오류 없이 운용될 가능성의 정도를 나타내는 정성적 기준을 나타내며, 이러한 신뢰성 평가를 통해 미래의 품질이나 고장을 예측하고, 보증할 수 있다.

공작기계 시스템은 수많은 기계와 전자 부품으로 이루어져 있고 개개의 구성부품들이 서로 연관되어 전체 시스템의 성능을 발휘하므로 공작기계 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 설계 시 신뢰성 높은 부품의 선정이 필요하다. 이를

위해서는 각 부품에 대한 고장율과 같은 신뢰성 지표를 알아야 하며 이러한 부품별 신뢰성 데이터를 이용해 설계된 전체 시스템의 고장율을 예측할 수 있고 설계 목표를 충족하는가를 확인할 수 있다. 전자 부품에 대한 신뢰성 데이터들은 많이 축적되어 있으나 기계 부품에 대한 신뢰성 연구는 미진하여 확보된 데이터가 많지 않다. 기계류에 대한 기존의 신뢰성 데이터베이스로는 NPRD-95, NSWC, Bellcore 등이 있다. 1차적으로는 기존의 신뢰성 데이터베이스를 활용하지만 자료가 없는 부품들은 신뢰성 시험이나 현장으로부터 구한 고장이력 데이터들을 이용하여 고장율을 예측하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 공작기계의 부품이나 제품의 고장이력 데이터 또는 신뢰성시험 데이터를 이용한 신뢰성 데이터 해석과 데이터베이스 구축에 대한 연구를 수행하고 관련 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 신뢰성 데이터 해석 프로그램은 신뢰성 데이터 중 고장 부품, 고장이력 데이터와 해당 고장에 대한 고장모드를 수집하여 부품의 고장율과 평균고장시간을 예측하고 고장모드의 빈도분석을 한 후 그 결과들을 데이터베이스화하고 검색할 수 있는 프로그램이다. 웹(web)상에서 누구나 쉽게 데이터를 입력하여 결과를 알 수 있도록 하였으며 이러한 데이터들은 모두 데이터베이스에 축적되어 공작기계 뿐만 아니라 일반 기계류의 신뢰성 설계와 평가시에 유익하게 쓰일 수 있도록 하였다.

2. 신뢰성 데이터 해석의 방법

2.1 고장분포함수의 추정

신뢰성 분석을 위해 수집해야 할 신뢰성 데이터로는 고장부품, 고장시간, 고장메커니즘/고장모드, 고장원인, 사용조건, 고장조치내역 등이 있다. 이 중 고장시간과 사용조건, 고장 개수는 고장을 예측에 사용되어지며, 고장메커니즘/고장모드, 고장원인 등은 고장모드해석(FMEA: Failure Mode and Effective Analysis)에 이용된다. 고장모드란 부식, 파괴, 마모 등 고장이 일어나는 물리적 형태를 의미한다. 신뢰성 데이터 해석에서 가장 중요한 개념은 고장을 함수에 대한 것이다. 고장을 함수 $\lambda(t)$ 는 장비의 수명과, 그 당시의 단위시간 당 고장 발생회수인 고장빈도와와의 관계를 나타낸다. 고장을 함수는 신뢰도 육조 곡선(reliability bath tub curve)과 신뢰도 함수 $R(t)$, 그리고 확률밀도함수 $f(t)$ 와 직접적인 관계를 갖고 있다. 일반적인 신뢰도 데이터 해석 과정은 Fig. 1과 같다.

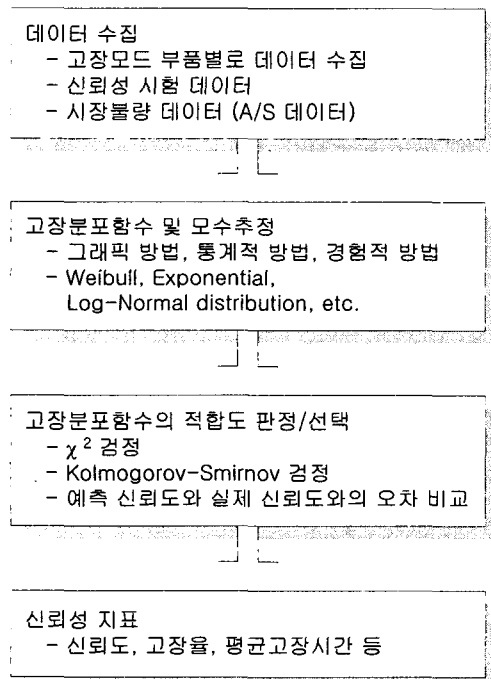


Fig. 1 Procedure of reliability data analysis

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 고장 데이터를 이용해 부품이나 제품의 고장율을 알기 위해서는 여

러 가지 고장분포함수를 사용하여 고장을 함수를 추정하여야 한다. 각 확률분포 함수들의 모수 추정 방법에는 최대우도추정법(maximum likelihood method) 또는 최소제곱추정법(least squared method) 등이 쓰인다. 신뢰성 분석에 주로 쓰이는 고장분포함수로는 지수분포, 와이블분포, 대수정규분포 등이 있다. 각 분포 함수들의 신뢰도 함수와 고장을 함수를 Table 1에 나타냈다.⁽¹⁾

Table 1 Reliability and failure rate functions

	Reliability, $R(t)$	Failure rate, $\lambda(t)$
Exponential	$e^{-\lambda t}$	λ
Weibull	$e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m}$	$\frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1}$
Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_t^\infty \frac{1}{t} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} dt$	$\frac{\frac{1}{t} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}}{\int_t^\infty \frac{1}{t} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} dt}$

지수분포함수는 수학적 유도가 용이하며 전자 제품 등 많은 제품들의 수명이 지수분포를 따르므로 고장분포함수로 많이 쓰인다. 와이블분포는 모수의 값에 따라 지수분포를 포함한 대부분의 고장분포함수를 묘사할 수 있고 형상모수 m 의 크기에 따라 초기고장, 우발고장, 마모고장을 판단할 수 있다. 대수정규분포는 금속의 피로, 반도체와 같은 부속의 수명자료 분석에 널리 쓰인다.⁽²⁾ 기존의 연구 결과에 따르면 기계류의 고장분포는 와이블분포나 대수정규분포가 적합한 것으로 알려져 있다.⁽³⁾

2.2 고장분포함수의 적합도 검정

확보된 고장 이력 데이터를 이용해 고장분포 함수를 추정한 후, 추정된 분포함수가 실제 데이터의 분포를 잘 표현하고 있는지 확인하는 과정이 필요하다. Fig. 1에서 보듯이 Kolmogorov-Smirnov 검정이나 χ^2 검정을 이용하여 추정된 고장분포함수의 적합도를 판정한다. 기계부품류의 경우 고장이 일어나기까지의 시간이 길고 현장 데이터의 확보가 어려워 단지 몇 개의 한정된 데이터를 가지고 고장을 함수를 예측하여야 하므로 신뢰도 높은 확률분포함수를 선정하는 것이

매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 하나의 고장 데이터 군에 대해 여러 가지 확률분포로 추정 한 후 각각에 대한 검정을 수행하여 가장 적합한 확률분포를 선택하는 방법을 택하였다. 가장 적합한 고장확률분포의 선택 기준을 다음과 같이 결정하였다.⁽³⁾

- 1) Kolmogorov-Smirnov 테스트 결과 D_{max} 가 최소인 확률분포
- 2) 신뢰도함수 $R(t)$ 의 오차가 최소인 확률분포
- 3) 확률밀도함수 $f(t)$ 의 오차가 최소인 확률분포

Kolmogorov-Smirnov 적합도 검정은 예측된 신뢰도 함수가 주어진 데이터의 신뢰도 특성을 충분히 나타내고 있는가를 알아보기 위해, 예측된 불신뢰도함수(누적밀도함수) $F_E(t)$ 와 실제 관측된 불신뢰도함수 $F_0(t)$ 를 비교하는 것이다. 즉, $D = |F_E(t) - F_0(t)|$ 의 최대값을 D 의 허용치 D_c 와 비교하여 주어진 유의수준에서 $D_{max} < D_c$ 라면 검정결과에 대해 만족하게 되는 것이다. D_c 값은 표본수와 유의수준에 따라 결정된다. 이를 식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$D_{max} = \max_{1 \leq i \leq n} \{F_E(x_i) - F_0(x_i)\} \quad (1)$$

여기에서, n 은 데이터의 수이다. 신뢰도함수의 오차와 확률밀도함수의 오차는 식 (2), (3)을 통해 구한다.

$$\epsilon_R = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \{R_E(x_i) - R_0(x_i)\}^2} \quad (2)$$

$$\epsilon_f = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \{f_E(x_i) - f_0(x_i)\}^2} \quad (3)$$

여기에서, R_E 와 f_E 는 예측된 신뢰도함수와 확률밀도함수이고, R_0 와 f_0 는 관측된 신뢰도함수와 확률밀도함수이다.

3. 공작기계 부품의 신뢰성 데이터 해석 및 데이터베이스 프로그램 개발

3.1 신뢰성 해석 프로그램의 개요

공작기계 부품의 고장 이력 데이터 또는 신뢰성 시험 결과를 이용한 신뢰성 데이터 분석을 누구나 쉽게 할 수 있게 하고 이 결과들을 데이터베이스화하는 프로그램을 개발하였다. 신뢰성 데이터 분석을 위한 상용 프로그램이 다수 개발되어 사용되어지고 있으나 이들은 모두 입력된 데이터에 대한 각각의 확률분포 해석 결과와 신뢰성 지표들을 보여주는 데 그치고 있다. 본 연구에서 개발된 신뢰성 데이터 해석 프로그램은 공작기계부품을 선택한 후 그 부품에 대한 고장데이터와 고장모드를 입력하면 여러 확률분포에 대한 해석을 수행하고 그 결과들을 보여준 후 가장 최적의 고장분포함수를 선택한다. 입력된 고장데이터와 고장모드들은 모두 데이터베이스에 축적되어 추후 해당 부품에 대한 신뢰성 지표(고장율, MTBF 등)를 검색할 수 있게 하였다. 또한 부품의 고장모드를 검색하면 저장된 데이터베이스로부터 해당 부품의 고장모드를 백분율로 순위화하여 고장모드별 히스토그램을 도시하도록 하였다. 인터넷으로 접속하여 웹상에서 데이터를 입력하고 결과를 볼 수 있도록 ASP(Active Server Pages)를 사용하여 프로그래밍하였다. 입력 형태의 표준화를 위하여, 머시닝센터의 설계도와 파트리스트를 기본으로 구성한 공작기계의 분류도로부터 부품명들을 추출하였으며, 고장모드는 상용 데이터베이스인 FMD-97자료를 바탕으로 추출한 후 이를 DB화하여 부품명과 고장모드를 선택할 수 있도록 하였다. 기본적으로 구성된 공작기계의 서브시스템과 부품들은 Fig. 2와 같다.⁽⁴⁾

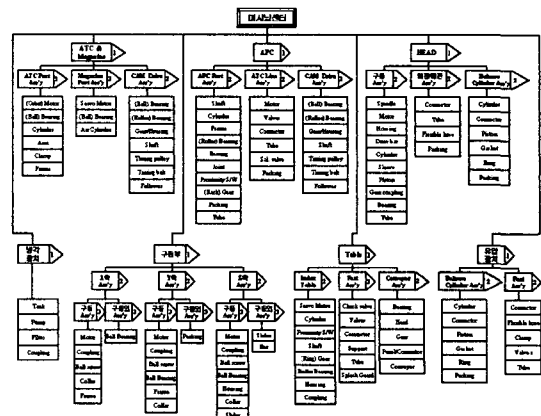


Fig. 2 System block diagram of a machining center

분류된 리스트에 없는 부품과 고장모드들은 사용자가 추가로 입력할 수 있게 하여 데이터베이스를 확장할 수 있도록 하였다. 신뢰성 데이터 해석 프로그램의 흐름도는 Fig. 3과 같다.

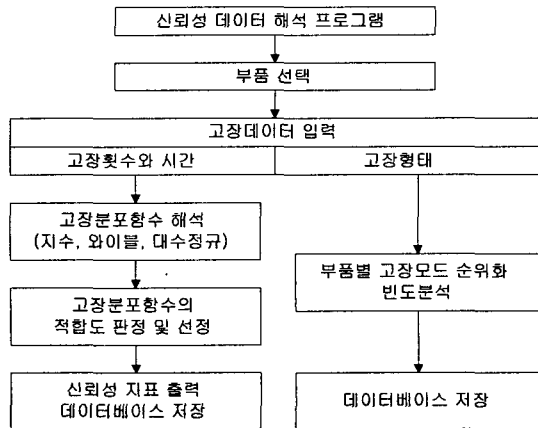


Fig. 3 Flowchart of the failure data analysis program for machining center parts

3.2 신뢰성 해석 프로그램 실행 예

신뢰성 데이터 해석 프로그램은 크게 다음과 같은 3가지 메뉴로 구성되었다.

- 1) 고장 분포 해석
- 2) 고장모드 빈도검색
- 3) 고장 분포 검색

[고장 분포 해석]은 사용자가 직접 고장 데이터를 입력하여 신뢰성 데이터 해석을 하는 부분이고 [고장모드 빈도검색]은 선택된 부품의 데이터들을 기존 사용자들에 의해 축적된 데이터베이스로부터 검색하여 고장 빈도수와 고장모드별 히스토그램을 출력해주는 부분이다. [고장 분포 검색]은 데이터베이스에 저장된 부품들의 고장분포함수를 검색하고자 할 때 사용되는 메뉴이다.

[고장 분포 해석]에서는 먼저 동작기계의 서브 시스템을 선택하면 선택한 서브 시스템을 구성하는 주요 부품들이 나열된다. 이 중 입력하려는 부품을 선택하고 입력하고자 하는 데이터 수를 지정한 후 가지고 있는 고장 이력 데이터나 신뢰성 시험 결과를 입력한다. 해당 고장에 대한 고장모드가 있다면 해당 부품에서 일어날 수 있는 고장모드 리스트 중에서 선택한다. 고장모드는 FMD 97의 결과를 이용하여 데이터베이스화

였다. 해당되는 고장부품이나 고장모드가 없다면 사용자가 입력하여 추가할 수 있다. 데이터 입력 후 해석이 이루어지며 각 확률분포의 모수 추정 결과와 평균고장간격시간(MTBF), 경고사용시간, 오차 등이 출력된다. 오차가 가장 작은 분포함수를 선정하여 하단에 출력하도록 하였다. 이렇게 사용자가 입력한 데이터들은 모두 데이터베이스 파일에 저장되어 축적되게 된다. 데이터 입력화면을 Fig. 4에, 해석 결과 출력화면을 Fig. 5에 나타냈다.

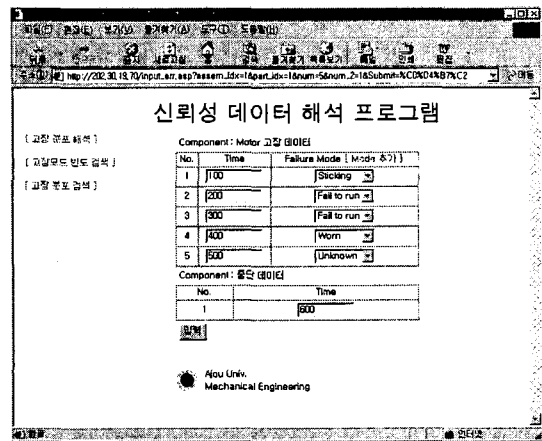


Fig. 4 Input of failure time and failure mode

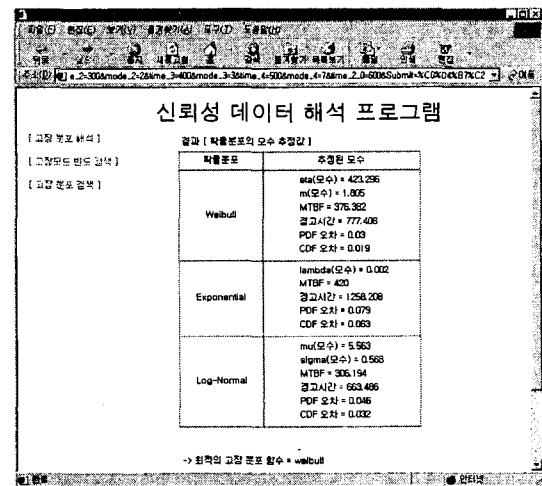


Fig. 5 Result of failure data analysis

[고장모드 빈도검색] 메뉴는 저장되어 있는 데이터베이스로부터 알고자하는 부품의 고장빈도

를 고장모드별로 검색할 수 있는 메뉴이다. [고장 분포 해석]과 마찬가지로 서브시스템과 부품을 선택하면, 선택된 부품의 데이터를 데이터베이스로부터 검색하여 고장빈도수와 고장모드별 빈도수를 Fig. 6와 같이 히스토그램과 백분율로 출력해준다. 해당 부품에 대한 FMD-97의 결과도 하단에 그래프로 출력하여 두 개의 데이터베이스 결과를 서로 비교할 수 있도록 하였다.

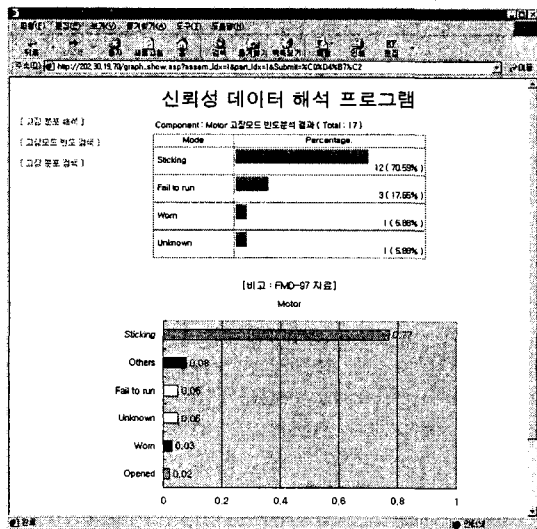


Fig. 6 Failure mode frequency histogram

[고장 분포 검색] 메뉴에서는 저장된 데이터베이스로부터 알고자 하는 부품의 고장분포함수를 검색할 수 있다. 마찬가지로 서브시스템과 부품을 선택하면 그 부품에 해당하는 지금까지 저장된 고장데이터를 검색해 고장분포함수를 재계산해서 출력해준다. 같은 부품의 고장을이라도 고장모드별로 이를 나타내는 고장분포함수가 다를 수 있다. 따라서, 고장모드별로도 고장분포함수를 검색할 수 있도록 하였다.

4. 결론

본 연구에서는 공작기계 부품의 고장이력 데이터 또는 신뢰성시험 데이터를 이용하여 고장율, 평균고장시간 등의 신뢰성 지표들을 예측하고 이를 데이터베이스화하는 연구와 프로그램 개발을 수행하였다. 기계류의 고장데이터는 많지

않기 때문에 보다 정확한 고장분포함수 예측을 위해 하나의 데이터군을 여러 가지의 확률분포함수로 추정한 후 가장 오차가 작은 함수를 최적고장분포함수로 선정하도록 하는 방법을 사용하였다. 신뢰성 데이터 해석 프로그램은 웹상에서 누구나 쉽게 데이터를 입력하여 신뢰성 예측 결과를 얻을 수 있도록 하였으며 각 부품에 대한 신뢰성 결과와 고장모드나 빈도분석 결과도 검색할 수 있도록 하였다. 향후 데이터가 많이 축적되게 되면 NPRD-95(Nonelectronic Parts Reliability Data)와 FMD-97(Failure Mode Mechanism/Distributions)과 같은 외국의 상용데이터베이스와 유사한 우리나라 공작기계에 대한 신뢰성 데이터베이스가 도출될 것으로 예상된다.

후기

본 연구는 산업자원부의 중기저점기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. 한국공업표준협회, "신뢰성의 분포와 통계," 1991.
2. 김원경, "신뢰도공학," 교우사, 1999.
3. Yiqiang Wang, Yazhou Jia, "Failure Probabilistic Model of CNC Lathes," Reliability Engineering and System Safety, Vol. 65, 1999.
4. 김봉석, 김중수, 이수훈, 송준엽, 박화영, "머시닝센터의 고장모드 해석에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제18권, 제6호, 2001.