

고장모드 분석 프로그램을 통한 공작기계의 신뢰성 평가

김봉석*, 이수훈⁺, 송준엽⁺⁺, 이승우⁺⁺
(논문접수일 2004. 9. 16, 심사완료일 2004. 11. 22)

Reliability Assessment of Machine Tools Using Failure Mode Analysis Programs

Bong-Suk Kim*, Soo-Hun Lee⁺, Jun-Yeob Song⁺⁺, Seung-Woo Lee⁺⁺

Abstract

For reliability assessment for machine tools, failure mode analyses by two viewpoints were studied in this paper. First, this study developed the reliability data analysis program, which searches for optimal failure distribution like failure rate or MTBF(Mean Time Between Failure) using failure data and reliability test data of mechanical parts in the web. Moreover, this data analysis program saves both failure data or reliability test data and their failure rate or MTBF for database establishment. Second, this paper conducted failure mode analysis through such performance tests as circular movement test and vibration testing for machine tools when reliability data is not available. A developed web-based analysis program shows correlations between failure mode and performance test result, and also accumulates all the data. These kinds of data analysis programs and stored data furnish valuable information for improving the reliability of mechanical system.

Key Words : Machine tool(공작기계), Failure mode(고장모드), Reliability(신뢰성), Probability distribution(확률분포), Circular movement test(원운동시험), Vibration(진동)

1. 서론

최근 모든 산업분야에서 소비자의 요구와 권리가 커지고 제품의 내구성이 강조됨에 따라 신뢰성 개념을 도입한 제품의 설계 및 평가와 제품 사용에 대한 안전성의 중요성이 날로 증대되고 있다. 신뢰성(reliability)이란 제품을 구성하는 재료나 부품 또는 소프트웨어가 고장 혹은 오류 없이 운

용될 가능성의 정도를 나타내는 정성적 기준을 나타내며, 이러한 신뢰성 평가를 통해 미래의 품질이나 고장을 예측할 수 있다.

공작기계 시스템은 수많은 기계와 전자 부품으로 구성되어 있으며 개개의 부품이 서로 연계되어 전체 시스템의 기능을 발휘하게 되므로 각 부품 혹은 서브어셈블리의 신뢰성이 전체 시스템의 신뢰성을 결정하는 아주 중요한 요

* 아주대학교 대학원 기계공학과 (vibguy@ajou.ac.kr)
주소: 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지
+ 아주대학교 아주대학교 기계공학과
++ 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

소가 된다.

신뢰성의 여러 평가기법 중 공작기계와 같은 기계류의 경우 고장이 발생하는 횟수가 상대적으로 적고 고장의 구분이 불명확한 경우가 많기 때문에 부품에 발생 할 수 있는 고장의 형태와 그 고장으로 인한 시스템의 영향을 분석하는 고장모드 영향분석법(FMEA: Failure Mode and Effect Analysis)을 이용한 신뢰성 평가가 널리 연구되고 있다^(1,2). 기계시스템의 신뢰성 평가 및 예측을 위하여 1차적으로는 기존의 신뢰성 데이터베이스를 활용할 수 있지만 자료가 없는 부품들은 신뢰성 시험이나 현장의 고장 이력 데이터 등을 이용하여 고장율이나 평균고장시간(MTBF: Mean Time Between Failures)을 예측하여야 한다. 기계류에 대한 기존 신뢰성 데이터베이스로는 외국의 NPRD(Non-electronic Parts Reliability Data)-95, NSW, Bellcore 등이 있지만 국내의 경우 특히 기계류 부품에 대한 고장을 데이터베이스나 평가 및 분석 방법 등의 신뢰성 평가를 위한 자료는 아주 부족한 실정이다.

본 연구에서는 머시닝센터 구성 부품을 바탕으로 공작기계류 신뢰성 평가를 위하여 두 가지 방법으로 고장모드분석을 수행하였다. 첫 번째는 기계류 부품이나 제품의 고장 이력 데이터나 신뢰성 시험 데이터를 확보하여 해당부품을 알고 이를 통해 고장율이나 평균고장시간을 예측하고 이를 데이터베이스화하는 웹 기반(web-based) 프로그램을 개발하였다. 두 번째 연구로는 고장 이력 데이터나 신뢰성 시험 데이터가 거의 전무한 실정에서 이를 대체하기 위한 방법으로 원운동 정밀도 시험과 주축 진동시험의 공작기계 성능시험과 고장모드와의 상관관계를 통해 고장모드와 부품을 파악할 수 있고 이와 관련된 모든 정보를 데이터베이스화되도록 하는 웹상에서 구동되는 해석 프로그램을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 웹 기반 프로그램들은 고속지능형 가공시스템 개발의 공작기계 신뢰성 평가 및 웹 기반 RA(Reliability Assurance) 네트워크 시스템 구축을 위한 RDB(Reliability Database)서비스, 신뢰성 Document, 고장모드 해석, 평가분석 지원, 신뢰성 평가 장비의 5개 서브시스템 중에서 신뢰성 데이터와 고장모드를 해석하는 모듈로서 사용자에게 다양한 신뢰성 평가와 정보를 쉽게 이용할 수 있도록 웹 서비스를 지원하는 기능을 수행하도록 개발되었다⁽³⁾.

2. 고장데이터 분석을 통한 신뢰성 평가

2.1 고장분포함수의 추정과 검정

신뢰성 분석을 위해 수집해야 할 신뢰성 데이터로는 고장 부품, 고장시간, 고장메커니즘/고장모드, 고장원인, 사용조건,

고장대응 조치내역 등이 있다. 이 중 고장시간과 사용조건, 고장 개수는 고장을 예측에 사용되어지며, 고장메커니즘/고장모드, 고장원인 등은 고장모드영향분석에 이용된다. 고장모드는 부식, 파괴, 마모 등 고장이 일어나는 물리적 형태를 의미하며, 고장모드해석은 발생할 수 있는 모든 부품의 고장모드에서 시스템이 잠재적으로 경험할 수 있었던 고장의 모든 결과를 추적해 나가는 상향식 방법으로 구성 부품의 고장모드가 시스템에 어떠한 영향을 미치는가를 평가할 수 있다. 본 연구에서 수행되어진 데이터 해석과정은 Fig. 1과 같다.

고장데이터를 이용하여 고장율이나 평균고장시간과 같은 신뢰성 지표를 알기 위해서는 먼저 여러 가지 고장분포함수를 사용하여 고장을 함수를 추정하여야 한다. 고장데이터를 입력하면 하나의 데이터군을 신뢰성 분석에서 주로 쓰이는 지수분포, 와이블분포, 대수정규분포로 모델링 한 후 각 모수를 추정하게 된다. 각 분포함수들의 신뢰도 함수와 고장율 함수를 Table 1에 나타내었다^(4,5). 기계 부품의 경우 고장이 일어나기까지의 시간이 길고 현장 데이터의 확보가 어려워 단지 몇 개의 한정된 데이터를 가지고 고장을 함수를

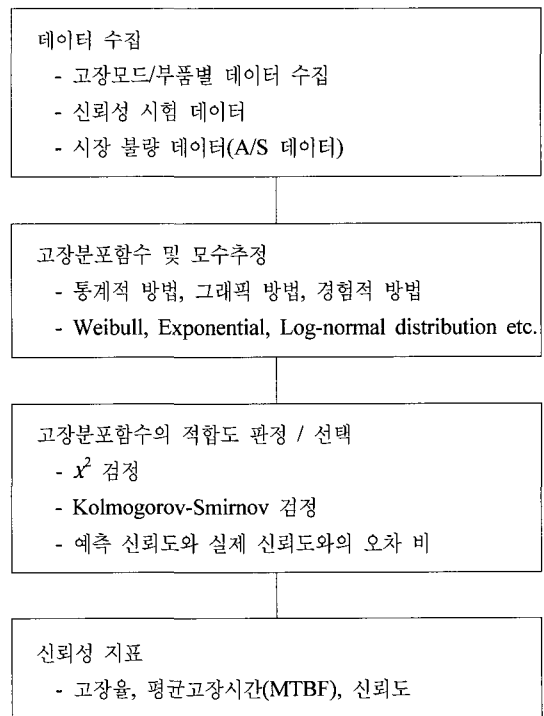


Fig. 1 Reliability data analysis procedure

Table 1 Probability distribution and its functions

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

예측하여야 하므로 신뢰도 높은 확률 분포함수를 선정하는 것이 매우 중요하다.

Table 1에서 λ 는 고장을 함수, m 은 형상모수, η 는 척도모수, μ 는 평균, σ^2 은 분산을 나타낸다.

본 연구에서는 고장데이터를 여러 확률분포로 추정한 후 각각에 대한 검정을 수행하여 가장 적합한 확률분포를 선택하도록 하였다. 가장 적합한 고장확률분포의 선택을 위한 기준은 다음과 같다⁽¹⁾.

- (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 $F_O(t)$ 를 비교하여 허용치 D_c 보다 작으면 추정 결과를 만족하는 것이다. 식으로 표현하면 식 (1)과 같다. 여기서, n 은 데이터의 수이다.

$$D_{max} = \max_{1 \leq i \leq n} \{|F_E(x_i) - F_O(x_i)|\} < D_c \quad (1)$$

신뢰도함수의 오차와 확률밀도함수의 오차는 식 (2), (3)을 통해 구한다.

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

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

여기에서, R_E 와 f_E 는 예측된 신뢰도함수와 확률밀도함수이고, R_O 와 f_O 는 관측된 신뢰도함수와 확률밀도함수이다.

전술된 데이터 분석방법을 이용하여 Table 2의 임의의 고장 이력 데이터를 해석하였다. Table 2에서 Censored data는 관측중단 데이터로서 해당 시간까지 관측한 결과 고장이 나지 않은 데이터이다. 각 확률분포의 모수 값을 추정하여 적합도 검정을 수행한 결과를 Table 3에 나타내었다.

고장 이력 데이터 10개와 관측중단 데이터 3개를 이용하여 95% 유의수준에서 세 분포함수 모두 Kolmogorov-Smirnov 적합도 검정에서 허용치 $D_c = 0.322$ 를 만족하지만 Table 3의 결과에서 알 수 있듯이 Table 2에 나타난 고장데이터의 패턴을 가장 잘 묘사하는 분포함수로 와이블분포를 선택할 수 있으며 계산결과 평균고장시간은 128.7 시간이다.

Table 2 Motor failure data (hours)

Failure No.	Failure data	Censored data
1	50	170
2	67	170
3	80	170
4	92	-
5	103	-
6	114	-
7	125	-
8	135	-
9	146	-
10	156	-

Table 3 Result of goodness of fit test

	Exponential	Weibull	Log-normal
K-S test, D_{max}	0.269	0.094	0.095
Error of $R(t)$	0.048	0.013	0.017
Error of $f(t)$	0.040	0.020	0.026

2.2 고장데이터 분석 프로그램

본 연구에서는 웹상에서 공작기계 부품을 선택한 후 그 부품에 대한 고장 이력 데이터 또는 신뢰성 시험 데이터를 입력하면 여러 확률분포에 대한 해석을 수행하여 그 결과를 보여준 후 가장 최적의 고장분포함수를 선택해 주는 웹 기

반 고장데이터 분석 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 누구나 인터넷으로 접속하여 신뢰성 데이터 분석을 할 수 있도록 ASP(Active Server Pages)를 사용하여 프로그래밍 되어졌고, 또한 관련된 모든 자료들은 Microsoft-Access 2000을 이용하여 데이터베이스로 구축할 수 있도록 하였다. 입 · 출력된 모든 정보는 데이터베이스로 축적되어 추 후 해당 부품의 고장율이나 평균고장시간과 같은 신뢰성 지표를 검색할 수 있도록 하였다.

프로그램 입력 형태의 표준화를 위하여 머시닝센터의 분류도로부터 추출된 부품명들을 바탕으로 하였으며⁽²⁾, 고장모드는 상용 데이터베이스인 FMD(Failure Mode Distribution)-97 자료⁽⁶⁾를 바탕으로 추출한 후 이를 데이터베이스화하여 부품명과 고장모드를 선택할 수 있도록 하였다. 분류된 리스트에 없는 부품과 고장모드들은 사용자가 추가로 입력할 수 있게 하여 데이터베이스를 계속 확장할 수 있도록 하였다. 데이터 해석 프로그램의 흐름도는 Fig. 2와 같다.

고장데이터 분석 프로그램은 크게 [고장분포 해석], [고장모드 빈도 검색], [고장분포 검색]의 세 가지로 구성되어있다.

[고장분포 해석]은 사용자가 직접 신뢰성 데이터 해석을 하는 부분으로 공작기계의 해당 서브시스템과 입력하려는 부품을 선택한 후 가지고 있는 데이터 수를 지정하고 A/S 데이터와 같은 고장 이력 데이터나 신뢰성 시험 데이터를 Fig. 3과 같이 입력한다. 여기서 해당 고장에 대한 고장모드가 있다면 리스트 중에서 선택한다. 입력하고자 하는 고장 부품이나 고장모드가 없을 경우 사용자가 이를 추가할 수

있도록 하였다. Fig. 3의 화면에서 <입력> 버튼을 누르면 Table 1과 같은 여러 함수식에 의하여 지수분포, 와이블분포, 대수정규분포 각각에 대한 확률 분포함수의 모수 추정 결과, 평균고장시간, 경고사용시간, 오차 등의 다양한 신뢰성 지표가 Fig. 4와 같이 출력된다⁽⁴⁾. 또한, 세 가지 확률 분포함수에서 오차가 가장 작은 확률 분포함수가 화면 하단에 제시되도록 하여 평균고장시간과 같은 최적의 신뢰성 지표를 알 수 있도록 하였다.

[고장모드 빈도 검색]은 저장되어 있는 데이터베이스로부터 알고자 하는 부품의 고장빈도를 고장모드별로 검색할 수 있는 메뉴이다. [고장분포 해석]과 마찬가지로 서브시스템과 부품을 선택하면, 선택된 부품의 데이터를 데이터베이스

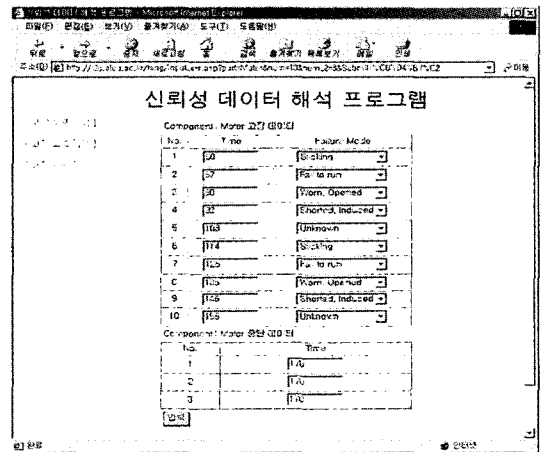


Fig. 3 Input of failure times and modes

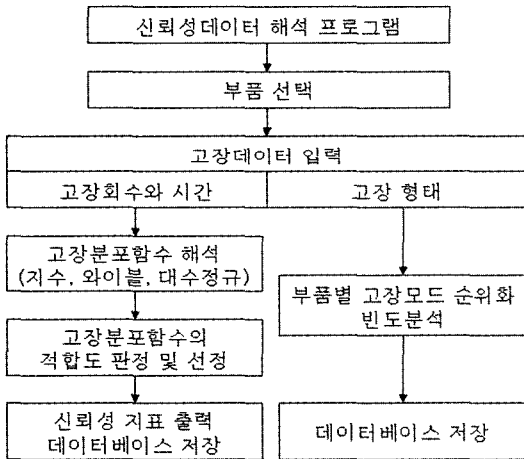


Fig. 2 Flow chart of the reliability analysis program for machining center parts

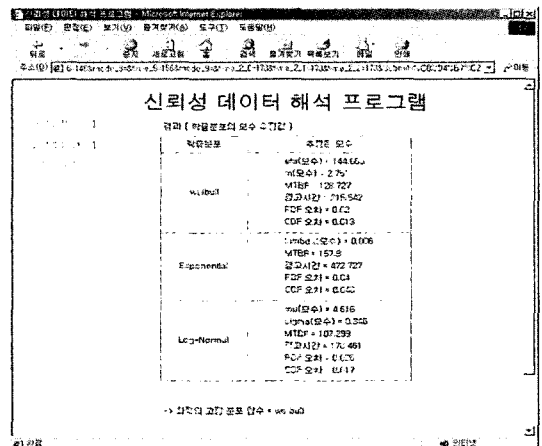


Fig. 4 Analysis result of failure data

스로부터 검색하여 고장빈도수와 고장모드별 빈도수를 그림 Fig. 5와 같이 히스토그램과 백분율로 출력해 준다. 해당 모드에 대한 FMD-97의 결과도 화면 하단에 그래프로 출력하여 비교 할 수 있게 하였다.

[고장분포 검색]에서는 저장된 데이터베이스로부터 알고자 하는 부품의 고장분포함수를 검색할 수 있다. 서브시스템과 부품을 선택하면 그 부품에 해당하는 고장데이터를 검색하여 고장분포함수를 재계산해서 Fig. 6과 같이 출력해 준다. 같은 부품의 고장율이라도 고장모드별로 이를 나타내는 고장분포함수가 다를 수 있기 때문에 고장모드별로도 고장분포함수를 검색할 수 있도록 하였다.

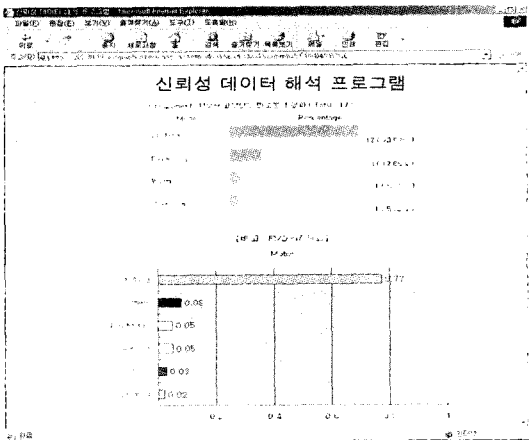


Fig. 5 Failure mode frequency histogram

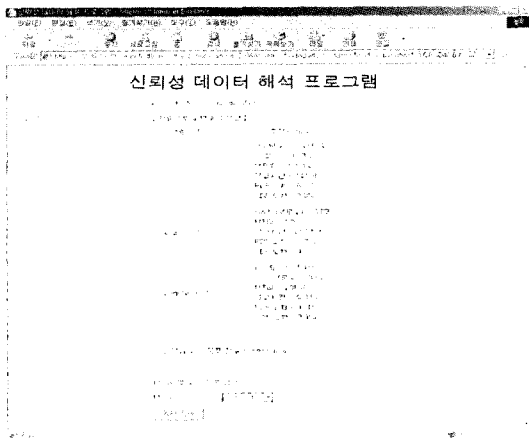


Fig. 6 Analysis result of failure distribution

3. 성능시험 데이터를 이용한 고장모드해석

3.1 원운동 정밀도 시험과 고장모드해석

가공물의 정밀도는 공작기계의 성능을 평가하는 대표적인 방법으로 정밀도 평가에는 각각에 대한 평가법과 측정장비가 있지만, 공작기계의 이송 축 상호간 직각도, 위치결정 정밀도, 반전 스파이크, 백래시나 이송 서보의 밸런스의 상위를 원호 운동에 의해 진원도를 측정하여 평가하는 원운동 정밀도 시험 방법이 공작기계의 종합적인 평가방법으로 연구되어 ISO230-4, JIS B6194, KS B4308 등으로 규격화 되어 있다.

측정장비로는 기준 바와 1차원 변위계에 의한 방법, 기준 원판과 2차원 변위계에 의한 방법, 두개의 볼 사이의 변위차를 측정하고 이를 해석하는 기구 볼바에 의한 방법 등이 있다. 원운동 시험으로부터 얻어지는 NC 공작기계의 오차 특성들은 오차의 발생요인에 따라 분류할 수 있으며 이러한 다양한 오차들은 각각 공작기계 시스템이나 부품의 고장모드가 된다⁽⁷⁾.

일반적으로 원운동 시험 데이터의 오차 해석은 공작기계의 3차원 작업 공간에서 x, y, z 세 방향으로 나타나는 오차량을 각 축의 위치 오차, 진직도 오차, 직각도 오차 등의 여러 가지 오차 성분들로 모델링하고 이들의 합으로 3차원 오차식을 구성하여 해를 구한다. 원운동 시험 데이터 해석과 정의 개념을 Fig. 7에 나타내었다.

3.1.1 원운동 정밀도 측정 실험과 해석

본 연구에서 사용된 Fig. 8의 시험장비를 이용하여 원운동 시험을 실시하고 데이터 해석을 수행하였다. 원운동 정

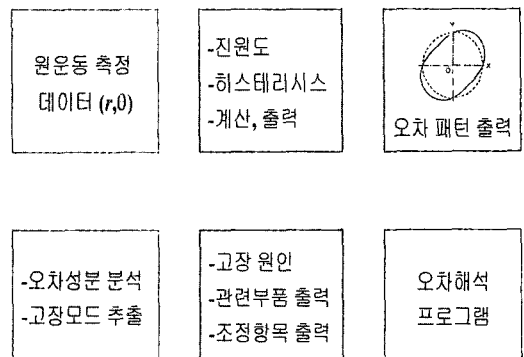


Fig. 7 Schematic diagram of circular test data analysis

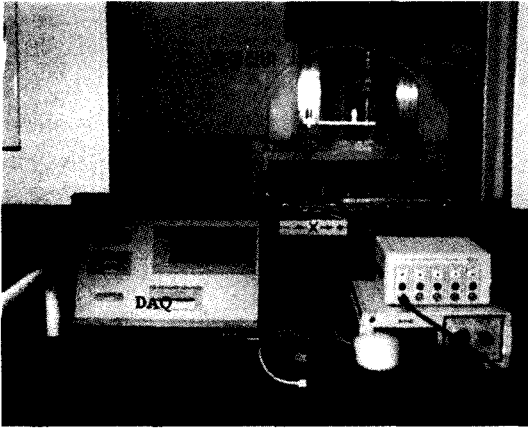


Fig. 8 Experimental setup for circular movement test

밀도 측정은 기준 바와 1차원 변위계(gap sensor) 방식을 사용하였다. 동작기계는 상용 수직형 머시닝센터를 이용하였다.

측정평면은 X-Y로 하였고 원호반경은 120mm, 이송 속도는 500mm/min으로 하였으며 시계방향(CW)과 반시계방향(CCW)에 대해 측정하였다. 오차 측정 결과를 통해 분석된 진원도 오차는 시계방향 45.377 μ m, 반시계방향 33.229 μ m와 히스테리시스 오차 31.781 μ m이다. 원운동 정밀도 시험 결과로부터 각 오차의 성분을 분석하였으며 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 여기서, 구성율은 발생한 오차에서 각 오차항목이 차지하는 비율을 나타낸다.

3.1.2 원운동 데이터 고장모드해석 프로그램

공작기계의 정밀도 향상을 위하여 계산된 오차량 만큼

Table 4 Analysis result of each error

오차 항목	오차값(μ m)	구성율(%)
x방향 위치오차	32.026	40.74
x-y 평면 직각도 오차	14.789	18.81
y방향 위치오차	14.129	17.97
y에 대한 x방향 lateral play오차	6.398	8.14
x에 대한 y방향 lateral play오차	5.494	6.99
y방향 백래쉬 오차	2.272	2.89
x방향 백래쉬 오차	1.860	2.37
y에 대한 x방향 진직도 오차	0.298	0.38
x에 대한 y방향 진직도 오차	0.284	0.36

NC컨트롤러에서 보정하여 오차를 줄이는 것도 중요하지만 그보다는 오차의 원인과 관련된 공작기계의 부품 및 서비스 시스템을 찾아내어 조정항목을 선정하고 신뢰성 관리 항목의 순위를 가리는 것이 보다 근원적인 접근 방법이다.

원운동 정밀도 시험결과와 분석으로 알 수 있는 각종 오차와 관련된 고장부품 또는 고장모드를 조사하여 Table 5에 나타내었다⁽⁸⁾. 관련 부품과 고장모드 명칭은 본 연구에서 개발된 모든 프로그램들과 호환되도록 하기 위하여 고장모드 데이터베이스인 FMD-97을 참고하였다.

원호 가공물의 반경 측정 데이터와 같이 다른 임의의 방법과 장비를 이용해 측정된 데이터라도 누구나 쉽게 인터넷에서 해석할 수 있는 웹 기반 오차 해석 프로그램을 개발하였다. 프로그램 사용을 위하여 측정데이터의 파일은 시계/반시계 방향 측정값의 두 개의 열로 구성되어진 ASCII 형식의 파일이고, 측정 반경과 데이터 수와 같은 측정 파라미터와 측정 데이터 파일을 입력하면 각 결과를 출력해준다. 결과 화면은 Fig. 9와 같고 굽힘이나 정렬불량의 고장모드를 갖는 Guideway가 고장 부품으로 판별되었다. 원운동 패턴과 진원도 결과들을 출력하고 각 오차 항목을 순위화하여 나타내주며 관련된 고장모드/부품을 검토할 수 있도록 하였다. 관련된 모든 정보는 프로그램을 통하여 데이터베이스에 저장되도록 하였다.

3.2 주축 진동시험과 고장모드 해석

KS 규격의 “공작기계의 진동 검사 방법”에 따르면 정지,

Table 5 Cause of each error and related parts

오 차	고장부품 / 고장모드
Scaling error	Ball screw / overheating, pitch error Axis tape / tension
Squareness	Axis / misalignment, bent Guideway / worn
Straightness	Guideway / bent, misalignment
Backlash	Ball screw / excessive windup, worn Guideway / worn
Lateral play	Guideway / looseness
Stick slip	Guideway bearing/worn, lack of lubrication
Cyclic error	Encoder / eccentric Ball screw / eccentric
Reversal spikes	Servo-motor / inadequate torque inadequate response time
Servo mismatch	Servo loop gains / mismatch

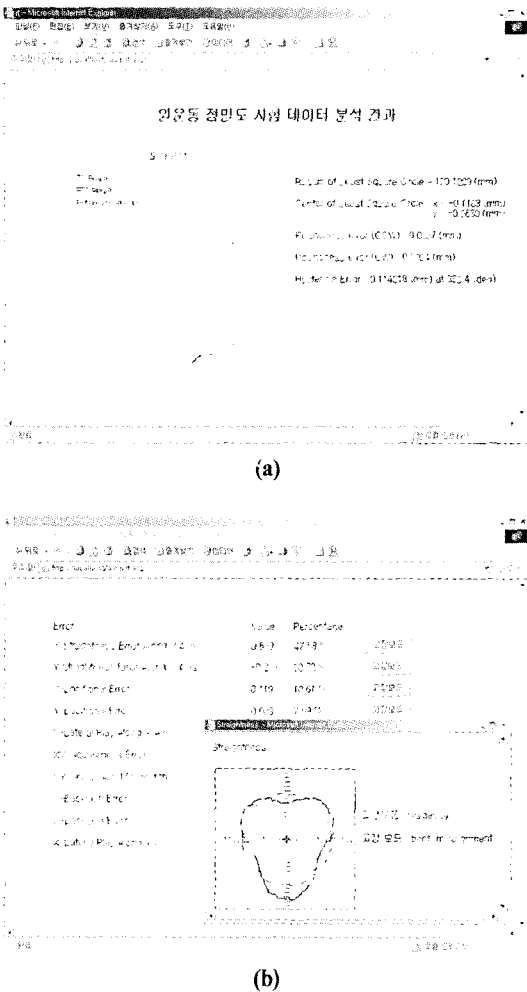


Fig. 9 Result of program for circular test data analysis

무부하 운전, 부하 운전, 테이블 운전 시 공작기계의 주축이나 테이블의 진폭, 진동수 및 가속도를 측정하여 진동을 분석하도록 되어있다. 공작기계는 작동 시 여러 원인에 의하여 진동이나 소음이 발생하게 되고, 이로 인해 가공 정밀도가 떨어지며 공작기계의 급격한 성능 저하를 가져온다.

주축의 진동은 대표적인 회전체 진동 문제로서 측정된 진동 신호가 가지고 있는 여러 가지 주파수 성분들을 분석하면 이와 연계되어 고장 난 공작기계 부품을 유추해 낼 수 있으며 이를 고장모드분석과 접목할 수 있다. 주축의 진동 측정 데이터 해석에 대한 흐름도를 Fig. 10에 나타내었다.

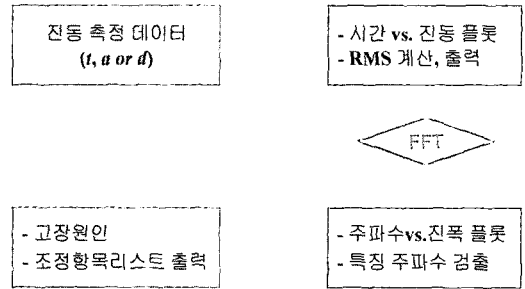


Fig. 10 Schematic diagram of vibration data analysis

3.2.1 주축진동 측정 실험과 해석

본 연구에서 사용한 주축 진동 측정 시험 장비를 Fig. 11에 나타냈다. 주축의 X, Y방향에 가속도계를 장착한 후 무부하 회전 시 각 회전속도에 따른 주축 진동을 측정하였다.

3.2.2 고장모드 추정 알고리즘

진동신호의 각 주파수 성분들과 관련된 고장 원인과 공작기계 부품들간의 관계를 Table 6에 정리하였다^(9,10). 여기서, 1X는 1배수로 주축 회전 주파수와 같은 주파수 성분을 의미한다. 고장부품과 고장모드의 명칭은 원운동 정밀도 시험과 마찬가지로 고장모드 데이터베이스인 FMD-97을 참고하였다.

각 주파수 성분에 대한 고장모드를 판별하는 알고리즘 중 본 연구에서는 현상마다의 특징 파라미터를 이용하여 판별논리를 가지 분할 논리형식으로 정리하여 계단적으로 판단을 진행하는 결정나무(decision tree)법을 이용하였으며 Fig. 12와 같다⁽¹¹⁾. 결정나무법을 이용하여 정확한 결과를 얻기 위해

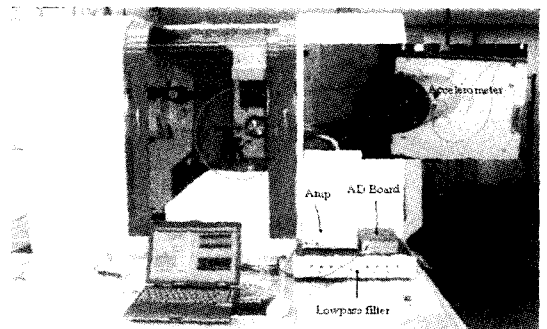


Fig. 11 Experimental setup for spindle vibration test

Table 6 Cause of each frequency component and related parts of machine tool

특징 주파수	고장원인	고장부품/고장모드
1X	불평형	Spindle / out of balance
2X	로터 비대칭	Shaft / asymmetric
1X, 2X	축굽힘	Shaft / bent
1X, 2X	로터 크랙	Shaft / crack
1X, 2X, 3X	정렬불량	Spindle / misalignment
1X, harmonics	부품 느슨함	Parts / looseness
1X, subharmonics	접촉	Parts, casing / rubbing
0.35X ~ 0.47X	유막베어링	Fluid film bearing / worn
0.3X or 0.5X	베어링 느슨함	Journal bearing / loose
0.65X ~ 0.85X	히스테리시스	Rotor system / hysteresis
High frequency	베어링 마모	Roller bearing / worn

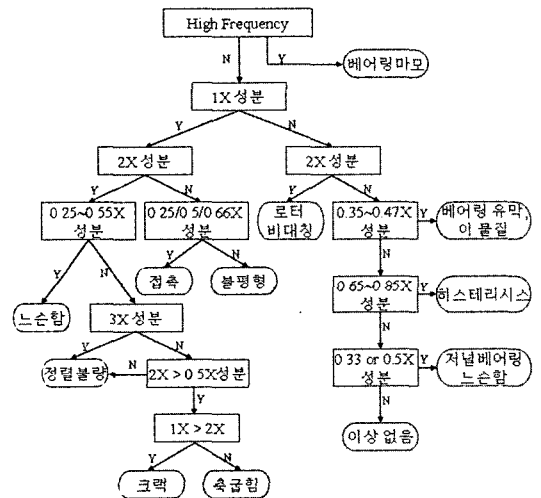


Fig. 12 Decision tree for vibration diagnostics

서는 회전 주파수, 위험속도, 위상변화 등의 많은 데이터가 있어야 하는데 위험속도, 위상변화 등을 산업현장에서 측정하기에는 어려움이 있으므로, 본 연구에서는 진동데이터와 고장진단에 유용한 회전 주파수를 이용하여 고장모드를 결정하였다.

3.2.3 주축 진동 시험 데이터 해석 프로그램

측정된 진동데이터를 이용하여 인터넷에서 고장모드를 해석 할 수 있는 웹 기반 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램 초기화면은 Fig. 13과 같다. 회전속도 4,800rpm에서 측정 되어진 ASCII 형태의 주축 진동 시험 데이터를 입력파일로 선택하고 데이터 수, 샘플링 주파수, 측정 회전 속

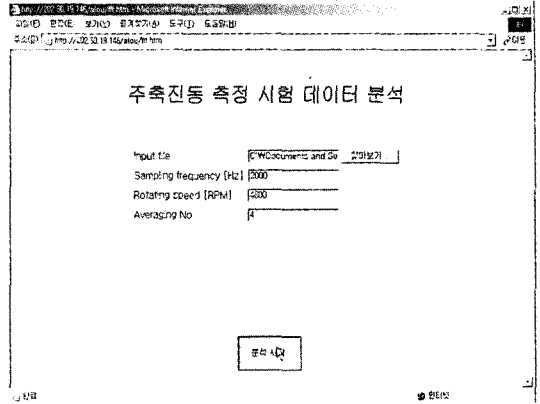


Fig. 13 Input of vibration test data analysis

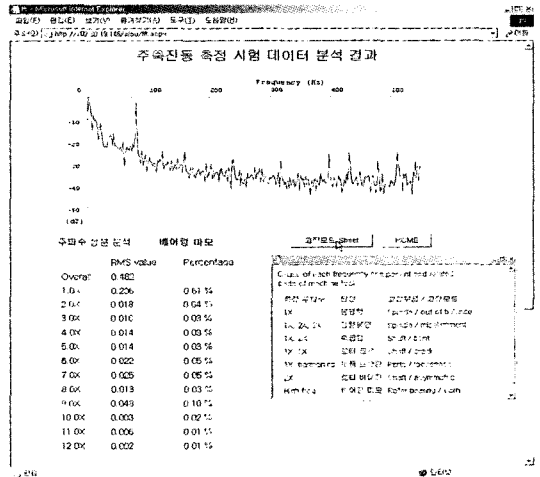


Fig. 14 Result of vibration test data analysis

도와 같은 실험 정보를 입력한다. 입력데이터의 FFT 결과와 결정나무법을 통해 추정된 고장부품/고장모드를 출력한 후 전체 진동신호의 RMS(Root Mean Square) 값을 계산하고 몇 개의 특징 주파수 성분 신호를 추출하여 각 RMS 값과 구성 비율을 표로 출력한다. 각 주파수 성분 추출을 위해 주파수 필터를 사용하였다. 주축 진동 측정 데이터에 대한 프로그램의 해석 결과화면은 Fig. 14와 같다. 특징 주파수를 분석한 결과 Fig. 14의 FFT 결과 그래프에서처럼 추출된 다수의 5X 이상 고주파성분에 의하여 고장의 원인은 베어링 마모로 판별되었다. FFT 결과 1X 성분이 다소 큰 경향을 가지지만 본 연구에서 제시한 Fig. 12의 고장모드 추정 알고리즘은 고주파성분이 존재할 경우 이를 우선순위로 두었기 때문에 고장원인을 베어링 마모로 판단하였다.

또한, 프로그램에서 입력되는 정보뿐만 아니라 출력되는 모든 정보를 데이터베이스 구축에 이용되도록 하였다.

4. 결론

본 연구에서는 고장모드해석을 통하여 공작기계의 신뢰성 평가를 위한 신뢰성지표를 예측하고 이와 관련된 고장모드나 부품을 추출해내는 연구를 수행하였다.

먼저 신뢰성 평가에 있어 가장 중요한 시스템의 신뢰성 지표를 예측하기 위하여 고장데이터 분석과 이를 데이터베이스화하는 연구를 수행하였다. 부품의 고장 이력 데이터나 신뢰성 시험 데이터와 이에 대한 고장모드를 이용하여 여러 확률 분포함수에 대한 고장율이나 평균고장시간과 같은 신뢰성 지표를 예측할 수 있는 웹 기반 해석 프로그램을 개발하였고, 관련된 모든 데이터들을 데이터베이스로 축적하도록 하였다. 기계류 시스템의 특성상 보다 정확한 고장분포함수 예측을 위하여 여러 확률 분포함수로 추정한 후, 이 중 최적의 고장분포함수를 선정하도록 하였다.

다음으로 고장 이력 데이터나 시험 데이터의 부족과 확보가 어려운 현실에서 이를 대체하기 위한 방법으로 작업현장에서 공작기계의 성능 정도를 측정하기 위한 여러 성능 평가항목 중, 다양한 형상오차와 운동오차를 평가할 수 있는 원운동 정밀도 시험과 주축의 진동측정 시험을 선정하였으며, 시험 데이터 해석을 통하여 고장모드와 관련된 부품을 유출해내고 이를 데이터베이스화하는 해석 프로그램을 개발하여 얻어진 모든 정보가 웹상에서 구동되도록 하였다.

이러한 일련의 신뢰성 데이터 해석 작업과 데이터베이스화는 공작기계에서 뿐만 아니라 일반 기계류 신뢰성 설계와 평가 시에 중요한 정보를 제공해 주게 될 것으로 기대되며, 향후 데이터가 많이 축적되면 NPRD-95와 FMD-97과 같은 외국의 상용 데이터베이스와 견줄 수 있는 국내 기계부품에 대한 신뢰성 데이터베이스가 도출될 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 중기거점 기술개발사업 “고속지능형 가공시스템 개발”의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Wang, Y., and Jia, Y., 1999, "Failure Probabilistic Model of CNC Lathes," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 65, pp. 307~314.
- (2) Kim, B. S., Kim, J. S., Lee, S. H., Song, J. Y., and Park, H. Y., 2001, "A Study on Failure Mode Analysis of Machining Center," *Journal of the Korea Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 6, pp. 74~79.
- (3) Park, J. K., 2000, "Development of a High-speed Intelligent Machining System for Next Generation," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 1, pp. 20~23.
- (4) Korean Standards Association, 1992, *The Distribution and Statistics of Reliability*.
- (5) Lee, S. H., Kim, J. S., Song, J. Y., Lee, S. W., and Park, H. Y., 2001, "Development of the Failure Data Analysis and Database Program for machine Tools Parts," *Proceedings of KSMTE Autumn Conference 2001*, pp. 209~213.
- (6) Reliability Analysis Center, 1997, *Failure Mode / Mechanical Distribution*.
- (7) Park, J. H., 1992, "Accuracy of Contour Motion in NC Machine Tool," *Journal of the Korea Society of Mechanical Engineers*, Vol. 32, No. 5, pp. 441~455.
- (8) Lee, S. H., Kim, J. S., Park, Y. W., Song, J. Y., and Lee, S. W., 2002, "The Failure Mode Analysis of machine Tools using Performance Test and Development of Web-based Analysis Program," *Proceedings of KSMTE Autumn Conference 2002*, pp. 435~439.
- (9) Ehrich, F. F., 1992, *Handbook of Rotordynamics*, McGRAW-Hill, pp. 4.1~4.85.
- (10) Rao, J. S., 1996, *Rotor Dynamics*, New Age International, pp. 391~429.
- (11) Yang, B. S., Park, C. H., and Kim, H. J., 2000, "An Efficient Method of Vibration Diagnostics for Rotating Machinery Using A Decision Tree," *International Journal of Rotation Machinery*, Vol. 6, No. 1, pp. 19~27.