

공작기계 핵심 Unit 의 신뢰성 평가 기법 및 활용에 관한 연구

이승우*, 송준엽*, 황주호*, 이현웅*, 박화영* (한국기계연구원 자동화연구부)

Method and Application of Reliability Evaluation for Core Units of Machine Tools

S. W. Lee, J. Y. Song , J. H. Hwang, H. Y. Lee and H. Y. Park (Automation Eng. Dept., KIMM)

ABSTRACT

Reliability engineering is regarded as the major and important roll for all industry. And advanced manufacturing systems with high speed and intelligent have been developing for betterment of machining ability. In this study, we have systemized evaluation of reliability for machinery system. We proposed the reliability assessment and designed and manufactured reliability test-bed to evaluate reliability. In addition we acquired reliability data using test-bed system and made database to handle reliability data. And also we not only use reliability data by analyzing reliability, but also apply design review method using analyzing critical units of machinery system. From this study, we will expect to guide and increase the reliability engineering in developing and processing phase of high quality product.

Key Words : Reliability(신뢰성), Failure mode(고장원인), Failure Rates(고장율), MTBF(Mean Time Between Failure: 고장 시간간격), Probability(확률), Function(기능)

1. 서론

최근 신제품 또는 첨단제품 등의 개발에 시스템 및 구성부품의 신뢰성 부여 문제 및 제품사용의 안전성 측면이 대단히 중요한 부분을 차지하고 있다.

국내에서 개발된 국산화 제품이 국내기업에서 조차 사용을 기피하는 가장 큰 이유중의 하나는 국산 개발 제품의 신뢰성에 대한 불확실성(Uncertainty) 때문이다. 제품 개발과정은 제품 Spec.을 결정하고, 설계, 제작 및 조립 후에 내구, 환경, 가속 및 성능 등의 각종 시험을 수행하고 이러한 과정 중에서 나오는 각종 기술적인 문제점을 수정 보완하는 피드백 사이클(Feedback Cycle)을 거친 후에야 최적의 설계도면이 그려지고 완성도면을 기준으로 대량생산에 착수한다.

공작기계 제품과 같은 기계시스템 및 구조물은 다수의 요소 부품 등으로 구성되어 있다. 개개 부품의 기능이 서로 관련되어 전체 시스템의 기능을 발휘하게 되며, 각 부품의 신뢰성이 곧 전체 시스템의 신뢰도를 결정하게 된다. 높은 신뢰성이 요구되는 기계부품의 설계 시에 사용 재료의 강도나 작용하는 하중 등에 존재하는 불확정성을 보다 정량적이고 객관적으로 통계적인 방법을 이용하여 적절히 처리하는 방법이 신뢰성 평가 기술이다[6].

향후 공작기계 제품의 발전방향은 고속 지능형 시스템을 추구하고 있으며 개발된 제품의 신뢰성을 향상하기 위해서는 개발된 제품에 대한 신뢰성을 평가하고 신뢰성 향상을 위한 분석기법 및 신뢰성 분석 데이터를 Feedback 하여 제품생산에 적용할 수 있는 시스템을 구축되어야 한다. 이와 같은 신뢰성 평가기술 개발을 통하여 체계적이고 과학적이며 세계에서 인증 받을 수 있는 신뢰성 평가기술의 확보가 가능하리라 생각한다..

본 연구에서는 공작기계 핵심 유니트의 신뢰성 제고를 설계 단계에서부터 부여하기 위해 대상 유니트의 신뢰성 예측을 통한 신뢰성 평가를 실시하고, 정확한 신뢰성 데이터의 확보를 위한 신뢰성 시험기 제작, 시험, 신뢰성 데이터 추출 방법 등을 제시하여 보다 정확한 신뢰성 평가를 가능하도록 설계에 반영하는 기법을 소개하고자 한다. 이러한 방법은 고속 지능형 가공시스템의 각 개발과제에서 개발된 제품들을 대상으로 적용연구를 실시하였다.

2. 신뢰성 평가 및 활용 절차

신뢰도(Reliability)는 부품, 장치, 장비 혹은 시스템이 주어진 조건하에, 특정한 기간동안, 의도된 기능을 수행할 확률로 정의 되어 진다[5].

일반적인 기계시스템의 개발과정은 제품설계-시제품제작-성능실험-양산단계 등으로 구성된다. 이러한 개발과정에서 설계단계에서부터 사용자가 요구하는 신뢰성을 부여하고 품질동향을 동시공학적으로 피드백시켜 고장율을 최소화하고 요구되는 신뢰성 목표치를 달성하는 것이 신뢰성 평가기술의 목표이다[1].

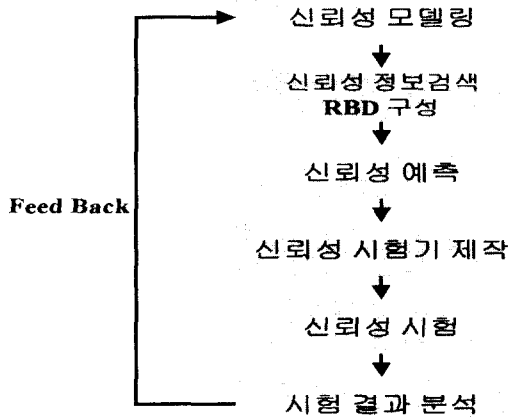


Fig. 1 Process of Reliability Evaluation

개발 제품의 경우 전체 시스템을 동시에 신뢰성 평가를 하는 것은 신뢰도 배분 등과 같은 매우 어려운 작업이 동반되므로 본 연구에서는 개발제품 혹은 유사 제품에서 현재 발생되고 있거나 예상되는 고장항목을 분석하여 신뢰성 평가 대상을 정하는 것으로 하였다.

Fig. 1 은 일반적인 신뢰성 평가절차를 나타낸 것이다. 대상 시스템의 고장 상태의 정의 및 고장 모드의 분류작업을 통한 신뢰도 목표치 등을 포함한 신뢰성 모델링이 이루어지면, 시스템의 신뢰성 예측을 위한 신뢰성 정보의 검색, 이를 통한 System Tree 구성, 신뢰도 Block Diagram 작성 등의 작업이 행해진다. 신뢰도 예측 척도로는 수리가능 체계에서 평균고장시간간격(MTBF; Mean Time Between Failure), 가용도(Availability), 신뢰도(Reliability), 고장율(Failure Rate) 등이 있다. 고장율은 시스템이 백만시간당 고장이 나 있는 시간을 나타낸 것으로 신뢰성 정보검색시 사용환경과 함께 고려해야 할 중요한 요소이다.

신뢰성 예측을 위한 다른 방법으로는 부품이 고장날수 있는 방식을 열거하고 각 고장방식이 시스템 전체에 미치는 특성과 결과를 추적하는 FMEA 기법, 사고 혹은 보다 일반적으로 체계고장의 잠재 원인을 결정하고 고장확율을 추정하는 FTA 기법

등이 있다.

그러나 상대적으로 전기/전자류품에 비해 기계류품의 신뢰성 데이터가 상대적으로 규정화가 미흡하고 부족하여 신뢰성예측에 많은 어려움이 있다. 따라서 부족하고 보다 정확한 신뢰성 데이터를 산출하기 위해 체계적인 신뢰성 평가방법 등이 적용된 신뢰성 시험기를 개발하여 성능 및 가속실험 등의 평가 방법을 통하여 얻어진 평가데이터를 정량화 한다. 얻어진 신뢰성 데이터는 MTBF, 고장율 등의 척도로 표시되어 정확한 신뢰도 산출 활용을 위한 신뢰성 모델링 및 재설계에 Feed Back 된다.

3. 적용연구

공작기계는 기능을 수행하기 위하여 다양한 구성부품과 여러 장치로 이루어져 있다. 일반적으로 서브시스템 기능을 분류하는 방법으로는 구성부품 관점의 분류방법과 기능적 관점의 분류방법이 적용된다. 구성부품의 관점은 해당된 기능에 따라 2-3 개의 서브시스템이 중복되어 분류되는 불합리한 점도 있으나 외형상 구분이 용이하여 쉽게 분류할 수 있는 장점이 있다.

여기에서는 공작기계의 핵심장치이며, 고속화의 목적을 달성하는데 필요한 고속주축에 대해 앞장에서 설명한 신뢰성 평가기법을 적용해 보았다.

3.1 고속주축시스템의 신뢰성 예측

평가 대상으로 선정된 고속 주축은 기존의 공작기계에서 사용하는 구조가 아닌 magnetic bearing 을 이용한 고속주축으로서 고속가공시스템의 신뢰성 제고를 위해서는 적절한 신뢰성 평가기법의 적용이 필요하다.

신뢰성 모델링 작업을 위해 먼저 고속 주축의 part list 와 부품구성표를 이용해 구조를 분석하였다. 고속 주축은 주축 Ass'y, Built In Motor Ass'y, Magnetic Bearing Ass'y 및 Spindle Cover Ass'y 등의 4 개 Unit 31 개 부품으로 구성되어 있다. Fig. 2 는 고속주축의 구성된 System Tree 를 나타내고 있다. 본 연구에서는 신뢰성 예측을 위하여 상용 도구를 사용하였으며, 사용된 신뢰성 데이터는 NPRD95 를 이용하여 고장율 정보를 입력하였다.

NPRD95 신뢰성 데이터는 기계류품의 신뢰성 데이터를 Part Type 과 sub Part Type 으로 분류하여 해당하는 구성품을 검색하고 사용환경과 고장율을 사용자가 선택하는 방식으로 되어 있다[3]. 그러나 앞서도 언급하였듯이 기계류품의 경우에는 현재 등록되어 있는 신뢰성 정보가 부족하므로 정확한 부품이 존재하지 않으면 가장 유사한 부품을 사용하는 방법을 사용하였다.

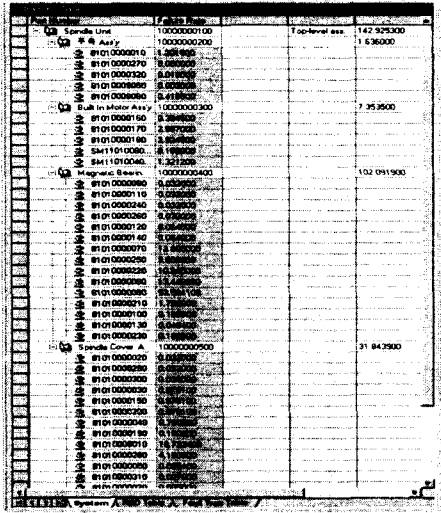


Fig.2 System Tree of High Spindle

고속주축의 신뢰성 예측결과는 MTBF 10,599 시간, 고장율 94.7028 시간/백만시간, 신뢰도 0.990574로 나타났다. 이는 공작기계 전체시스템의 평균 MTBF가 7,000에서 8,000 시간 정도 임을 감안할 때 Sub 시스템인 주축의 MTBF는 양호한 것으로 판단할 수 있다. 그러나 Fig. 3에 나타난 것 같이 시간에 따른 신뢰도가 급격히 저하되므로 이에 대한 대책이 필요하다. 이는 고속주축의 Sub Part 중 Magnetic Bearing Ass'y의 신뢰도가 시간이 지남에 따라 신뢰도가 저하되는 것을 알 수 있다.

따라서 신뢰성 평가 예측의 System Tree 구성 부분에서 Magnetic Bearing Ass'y부의 전기장 유도부의 신뢰성 데이터가 거의 존재하지 않았으므로 이의 확보를 위한 신뢰성 시험기의 제작이 필요하다.

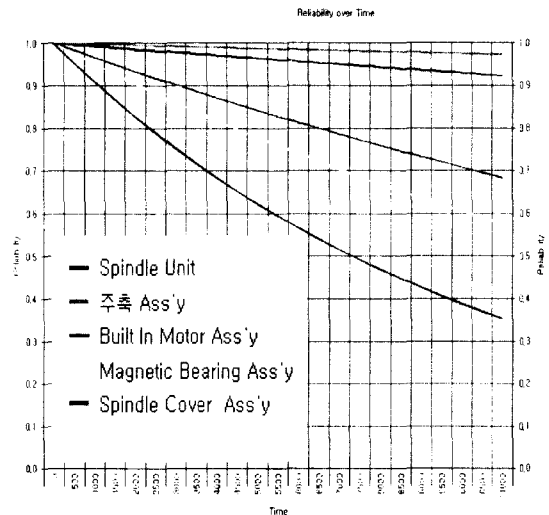


Fig.3 Reliability over Time of Sub Part of High Spindle

3.2 고속주축 핵심부품의 신뢰성 시험기 제작

고속 지능형 가공시스템의 고속화를 위하여 채택하고 있는 주축계는 Magnetic bearing을 사용하고 있으며 일반적으로 사용하는 서보모터를 대체하는 제품으로 가공기의 성능을 크게 좌우하는 핵심 unit이다.

고속주축의 특징은 기계부와 전기부를 가지고 있으며 기계부는 기존에 제작된 제품과 유사하여 요소부품의 수명을 A/S 데이터에서 예측할 수 있는 반면에 새롭게 채택된 자기베어링 부는 신개발품이 없어 A/S data가 없고 수명예측식도 정립되어 있지 않은 상태이다. Table 1은 고속주축의 고장 Mode/빈도를 나타내고 있다[4].

Table 1 Frequency and Failure Mode for High Spindle

제품	분류	요소부품	고장 Mode	고장 빈도
고속주축	기계부	Spindle	변형, Crack	△
		Tool holder	강성저하, 헐거움	
		냉각자켓	누유, 막힘	△
	전기부 (구동부)	구동모터	short, 단락	△
		자기 베어링	short, 단락	☆
		변위센서	오동작	△

(Unit Score : ☆ 9, 3, △ 1)

자기베어링의 구조는 적층된 규소강판에 코일을 감아놓은 유사한 형태를 하고 있고 전류에 의하여 힘을 발생시키는 장치이므로 Magnetic Bearing 요소부품의 수명을 실험할 수 있는 장치를 Fig. 4와 같이 구성하였다.

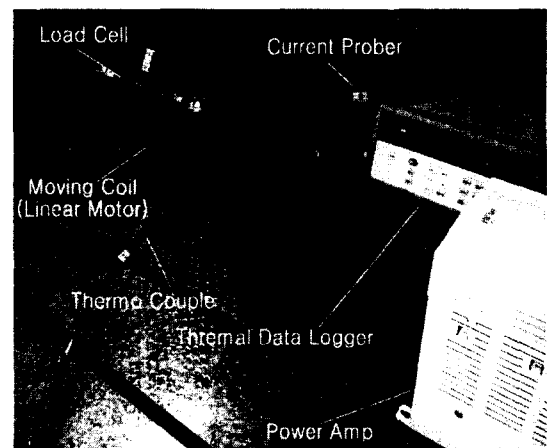


Fig. 4 Reliability Test-Bed for Inductive Guidance

구성된 신뢰성 시험장치의 특이 사항으로는 전원 공급장치가 PC 와 D/A Convertor 로 인터페이스 되어 있으며 10V 가 인가되면 전원공급에 사용자가 설정한 최대전류가 인가되도록 구성되어 있으며 0.5 초 이내에서 최고 100A 까지 인가할 수 있다. 개발된 시험기는 사용자에게 최대전류, 연속전류 등의 값을 알려주고 코일의 short 혹은 단락 되었을 때의 시간 및 통용 전류값 등을 기록할 수 있다.

신뢰성 시험에서는 온도, 하중, 전류의 값을 획득하여 사용하며 이의 측정은 Agilent 사의 34970A 와 이의 상용 프로그램을 사용한다. Fig. 5 는 연속적으로 전류를 인가하여 온도를 5 초 간격으로 측정 한 경향을 나타낸 것이다.

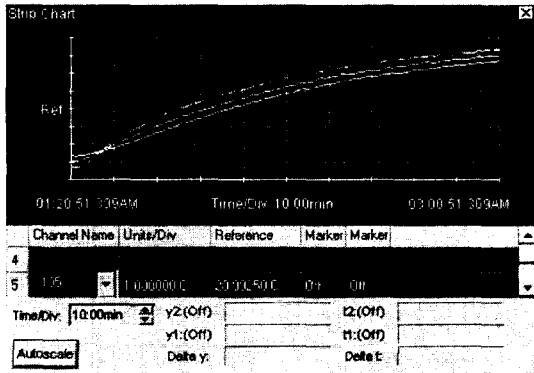


Fig. 5 Measurement of Temperature

시험 분석결과로는 연속전류 9A/18000sec 인가 시 상온(25℃) 대비 56℃ 상승하였다. 또한 최대전류 18A/0.5sec 인가 시 파손이 되지 않았으므로 현재 최대전류에 의한 피로 수명 시험을 진행 중에 있다. 일반적으로 수 십년의 사용수명을 가지고 있는 전기장 유도부의 수명을 측정하기 위해 오랜 시간이 소요되기 때문에 빠른 시간 내에 신뢰성 데이터를 취득하기 위해서 인위적인 가속조건 하에서 신뢰성 테스트를 하는 가속수명테스트 방법을 사용하였다.

즉, 제작사가 설계 시 정한 연속전류 인가시의 정상상태의 온도를 알았을 때 온도, 주파수, 전압, 하중에 의한 수명예측식을 다음과 같이 수립하였다.

$$FR_e \approx FR_b C_i C_v C_f \quad \text{-----(1)}$$

(여기에서 FR_b : 기본고장빈도, C_i : 사용온도계수,
 C_v : 하중계수, C_f : 주파수 계수)

이는 신뢰성 데이터베이스의 하나인 NSWC 의 회전모터 수명식에 개발된 시험기를 통한 가속실험을 통해 전기장 유도부의 고장율을 구하는 것이다.

이와 같은 방법을 통해 구해진 전기장 유도부의 고장율은 고속주축의 신뢰성 평가를 위한 실제 데이터로 사용되어 보다 정확한 신뢰성 예측이 이루어질 예정이다.

4. 결론

본 연구에서는 시장에서 요구되는 고품질, 고신뢰성의 문제점들을 해결하기 위해 동작기계를 중심으로 한 고속 지능형 시스템에 대한 신뢰성 평가 체계를 제시하였다. 신뢰성 평가를 위해 발생하는 고장형태의 분류와 요인을 분석하여 평가대상을 선정하고 모델링하여 결과치를 예측하여, 이들 결과를 중심으로 개발품의 신뢰성 시험기를 제작/시험하는 신뢰성평가 방안 및 활용에 대한 process 를 제시하였다.

이를 위한 적용 연구로 Magnetic Bearing 을 이용한 고속주축에 대해 신뢰도를 예측한 결과 MTBF 10,599 시간과 Magnetic Bearing Ass'y 부의 신뢰도가 낮음을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 Magnetic Bearing Ass'y 취약부인 전기장 유도부의 신뢰성 시험을 위한 Test-Bed 의 제작과 시험을 통한 신뢰성 데이터 축적 등의 연구를 수행하였다.

이와 함께 전기장유도부의 수명예측을 위한 가속 수명식을 수립하여 가속수명 테스트를 하고 있으며, 향후에 개발된 시험기를 통해 얻어진 신뢰성 데이터를 신뢰성 예측에 feed back 하여 보다 정확한 신뢰성 분석작업을 실시할 예정이다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 중기거점기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. H. Paul Barringer, David P. Weber, "Where is my data for making reliability improvements?," 4th international conference on process plant reliability, 1995.
2. Parmley R.O., "Mechanical Components Handbook", McGraw-Hill Book Co., NY, 1985
3. "Nonelectric Parts Reliability Data", Reliability Analysis Center, 1995.
4. "Failure Mode/Mechanical Distribution," Reliability Analysis Center, 1997.
5. 한국공업표준협회, 신뢰성의 분포와 통계, 1992
6. 이민우, 이성우 편저, 응용 신뢰성, 구성사, 1996