

## 기계류 핵심 유니트의 신뢰성 평가기술

이승우\*, 송준엽, 강재훈, 황주호, 이현용, 박화영(한국기계연구원 자동화연구부)

### Evaluation of Reliability for critical unit of machinery system

S. W. Lee, J. Y. Song, J. H. Kang, J. H. Hwang, H. Y. Lee, 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 developed for the betterment of machining ability. In this study, we have systemized evaluation of reliability for machinery system. We proposed the reliability assessment and design review method using analyzing critical units of high speed and intelligent machine system. In addition, we have not only designed and developed test bed system for acquiring reliability data, but also have constructing WEB system for suppling reliability which is provided in design phase. From this study, we will expect to guide and introduce 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:고장시간간격), Probability(확률), Function(기능)

#### 1. 서론

최근 모든 산업 분야에 최첨단의 신기술의 사용이 증가함에 따라 기존의 단순한 안전 계수를 바탕으로 한 제품의 설계·생산보다는 신뢰성(Reliability) 개념을 도입한 생산기법이 사용되고 있다. 특히, 신제품 또는 첨단제품을 개발할 경우 시스템 및 구성 부품의 신뢰성 부여 문제는 해당 기술 분야의 선도적 역할과 제품 사용의 안전성 측면에서도 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 발

휘하게 되며, 각 부품의 신뢰성이 곧 전체 시스템의 신뢰도를 결정하게 된다. 높은 신뢰성이 요구되는 기계부품의 설계 시에 사용재료의 강도나 작용하는 하중 등에 존재하는 불확정성을 보다 정량적이고 객관적으로 통계적인 방법을 이용하여 적절히 처리하는 방법이 신뢰성 평가 기술이다.

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 시스템이 구축되어야 한다.

이를 위해서는 표준화되고 체계적인 시험 데이터의 수집 및 분석, 시험 항목 및 방법, 시험 장비 개발, 계획 및 절차 등이 수립되어야 하며, 신뢰성 평가기술의 개발 및 구축을 위해서는 고속·지능형 시스템의 신뢰성 평가기술 등과 같은 연구사업을 통하여 체계적이고 과학적이며 세계에서 인증 받을 수 있는 신뢰성 평가기술의 확립이 필요하다.

#### 2. 신뢰성 평가체계 구축 및 구성형태 분석

본 연구에서는 Fig. 1처럼 공작기계 신뢰성 평가

패러다임을 정립하고, 고속·지능형 시스템의 개발시스템, 핵심 유니트 개발과정에 적용할 수 있는 기반 기술을 개발·적용할 수 있도록 준비하였다.

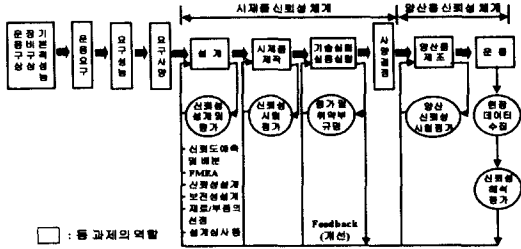


Fig. 1 Paradigm of reliability evaluation for machinery system

신뢰성 평가절차 및 방법은 개념설계단계에서 제품의 신뢰도 목표치를 설정하는데 필요한 비교 제품의 Benchmarking과 고장상태의 정의 및 정량화, 고장모드의 분류작업 등이 이루어진다. 상세 설계 및 시제품 제작단계에서는 신뢰도 배분을 위한 기능분석 및 고장단계 범위설정, 고장형태 영향 및 치명도 분석, 고장계통분석 및 설계심사 과정 등이 추진된다. 개발 제품의 신뢰성 분석 및 평가단계에서는 신뢰도 및 성능시험, 평가방법 및 분석의 정량화에 의한 품질검증 등이 수행된다.

시스템의 신뢰성 특성을 나타내기 위한 척도로서 신뢰도(Reliability), 고장률(Failure Rate), 평균고장시간(MTBF : Mean Time Between Failure)과 불가용도(Unavailability) 등이 있으며, 고장률과 평균고장시간이 기계시스템에 적합한 척도로 알려져 있다. 시스템이 대용량화·다기능화 되어 신뢰성이 중요한 문제로 제기되면서 시스템을 구성하는 기본 단위인 구성 부품의 고장률이 중요하게 되었고, 구성부품의 정확한 고장률 예측이 시스템 수준의 신뢰도 예측의 정확성에 큰 영향을 미치게 되었다.

공작기계 시스템 및 구성부품에 대한 신뢰성 예측기법으로는 부품 고장데이터 분석법과 고장모드 평가·분석방법으로는 고장모드 및 영향분석법(FMEA : Failure Mode and Effect Analysis)이 유용한 방법으로 알려져 있다. 본 연구에서는 일반적인 공작기계의 경우인 머시닝센터를 대상으로 전체 시스템을 ATC(Auto Tool Changer) & Magazine, APC(Auto Pallet Changer), HEAD, 구동부, Table, 유압장치, 냉각장치, 킬럽 및 베드 그리고 제어장치의 모두 9개의 1차 서브시스템으로 분류하였다. 일반적으로 머시닝센터는 650여개 이상의 구성부품으로 되어 있으나 주요부품을 중심으로, 파트리스트를 기본으로 하여 5단계 레벨의 49개 구성부품으로 간소화 작업을 수행하였다.

이와 같은 작업을 통하여 공작기계의 RBD 구성과 고장형태 및 항목 등을 바탕으로 공작기계 개발

제품에 대해 분류와 신뢰성 평가항목 및 방안을 분석하였다. Table 1에 초고속 지능형 machining center의 신뢰성 평가항목 및 방안을 나타내었다.

Table 1. Evaluation Factor of Reliability for high speed and intelligent machining center

개발 제품	평가대상	평가항목	평가내용	장비 보유	
머시닝 센터	시스템	가공성능 시험	조건내의 주축전류 가공정도 공구수명	KIMM	
		일반성능	위치정도 열변형오차		
		강성	진동, 소음		
	구성 Unit 및 부품	장치	장치	교환시간 교환정도 내구성	장비 제작
			콘트롤러	내구성	
		주축	유니트	회전정도	Run-out
정/동강성				조립오차, 고유진동수	
열변형				변형오차, 성능안정성	
이송부	구성품	내구성	소음,진동	장비 제작	

고속·지능형 시스템의 운전시 발생하는 문제점들은 고속 운전시의 소음, 진동, 내구성 등이 있다. 본 연구에서는 조사된 고장발생 예상 원인과 분석 결과를 바탕으로, 고속 이송시 소음의 발생이 가장 큰 Sliding Cover와 고속 이송 및 회전을 하는 주축 및 이송계의 신뢰도 측정을 위한 신뢰성 시험기를 개발하기로 하였다.

### 3. 핵심 Unit 및 Sub 시스템의 신뢰성 시험기 설계 및 제작

#### 3.1 Sliding cover의 신뢰성 시험기

고속 가공용 machining center의 경우 다량으로 강하게 공급되는 절삭유와 다량으로 배출되는 칩 등으로부터 습동부를 보호하기 위하여 sliding cover에 대한 고려가 세심하게 요구되며, 액상 및 기상으로 비산되는 성분들에 대한 실링과 고상으로 배출되는 스크랩 등에 의한 이물질 혼입 방지 등의 기능을 향상시키는 한편, 가혹한 조건과 환경 분위기 하에서의 사용을 고려하는 것이 개발하는 급속 이송 속도 방식의 고속 가공 시스템 모델의 경우 더욱 바람직하다고 할 수 있다. 일반적으로 보편화

되어 사용되는 고속 머시닝 센터의 급속 이송 속도는 약 40~60m/min 정도이나 앞으로 개발되는 120m/min에 달하는 급속 이송 속도의 조건하에서는 내구성과 신뢰성이 문제될 것이며, 일반적으로 이러한 내구성 측면에서의 신뢰성은 소음과 진동 요소를 대상으로 평가할 수 있게 된다. 현재 사용되는 Sliding cover의 수명은 보통 8시간/일 작업 시간으로 약 6~12 개월 정도로 조사되었다.

개발중인 Test-bed의 X, Z축의 길이는 가공 시스템 모델의 제원과 실험실 내의 구축 공간 등을 종합적으로 고려하여 초기에 650×500, 550×500mm로 설정되었다. Fig. 2에 현재 제작중인 Sliding Cover 신뢰성 시험기 제작 사진을 나타내었다.

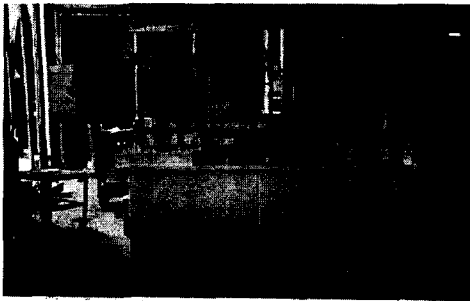


Fig. 2 Test Bed of sliding cover for acquiring reliability data

### 3.2 주축 및 이송 유니트의 신뢰성 평가

일반적으로 공작기계의 가공품질에 영향을 미치는 기계적 요소부품은 공구를 회전시키는 주축과 공작물을 위치시키는 이송계이며, 많은 공작기계 사용자들은 유지보수에 있어서 이 두 가지 요소부품을 중요하게 관리한다. 고속·지능형 가공시스템의 개발에서 고속화를 위하여 채택하고 있는 주축과 이송계는 각각 자기베어링과 리니어 모터를 사용하고 있으며, Table 2는 두 유니트의 주요 부품들 특성을 비교한 것이다.

두 유니트 중 주로 스틸로 이루어진 기계적 부분은 기존의 것을 많이 사용하고 있어서 예전의 신뢰성 정보를 사용할 수 있지만, 새로이 개발되는 자기베어링과 리니어 모터는 기존의 데이터가 전무한 상태이므로 두 요소의 신뢰성 평가를 할 수 있는 실험장치가 필요하다. 자기베어링은 규소강판에 코일을 적층하고 있으며, 이의 구조는 리니어 모터의 이동자와 유사한 구조를 가지고 있으며 전류의 변화에 의하여 자기장을 형성하여 힘을 발생하는 요소부품이다. 전기장 유도부의 신뢰성 test를 위한 실험장치를 Fig. 3과 같이 구성하였다.

두 요소장치는 전류의 크기에 의하여 발생하는 힘의 크기로 결정되어 지는데 일반적으로, 이론적

계산을 통하여 온도 상승량을 구할 수 있다. 하지만 실제로는 제작시 발생하는 코일간의 유격, 조립 부품, 몰딩 재료 등에 따라서 연전도율이 크게 바뀌며 이론결과는 어느 정도의 오차를 가지게 된다. 따라서 이러한 장치를 통하여 제품이 견딜 수 있는 전류의 크기를 결정하게 된다.

Table 2. Characteristics of spindle using magnetic bearing and feeding unit using linear motor

	부품명	특징	기존 사용	
자기베어링을 이용한 고속주축	스핀들	스틸제품	◎	
	모터	Built-in 방식 : 수입	○	
	베어링	Magnetic 방식 : 개발	△	
	전원장치	서보모터용 Amp 사용	◎	
리니어 모터를 이용한 고속 이송계	가이드	LM 가이드	◎	
	리니어 모터	이동자	철심형 리니어모터 : 개발	△
		고정자	회토류 자석 : 수입	△
	전원장치	서보모터용 Amp 사용	◎	

- ◎ : 기존제품에 매우 자주 사용
- : 기존제품에 자주 사용
- △ : 기존제품에 사용 적음

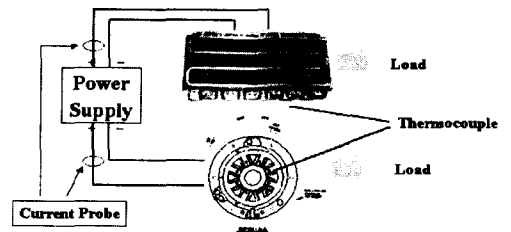


Fig. 3 Test bed of magnetic induction part

실험장치의 구성

- 전원공급 : 최대전류 100A, 다사테크
- 온도측정 : 열전대 + HP3 4970A (온도측정장치)
- 전류측정 : Hall Effect Sensor, Tektronix
- Load조절 : Cas 로드셀 + 힘 조절장치

### 4. 신뢰성 Web Service 시스템 및 신뢰성 예측

고속·지능형 시스템의 신뢰성 제고를 위하여 설계 단계에서 NPRD95나 FMD97과 같은 상용 신뢰성 Database의 Service와 핵심 Unit 및 Sub 시스템의 신뢰성 테스트를 위해 제작된 시험기를 통해 획득

된 데이터를 관리할 Database 기능이 필요하다.

구축된 Web system은 신뢰성 정보를 제공하기 위해 4분류로 구성되어 있다. 구성메뉴는 크게 DB Service, 신뢰성 평가 Document, 신뢰성 평가장비 및 신뢰성 평가분석지원 모듈로 구성되어 있다.

Fig. 4는 신뢰성 data의 검색을 통해 Web상에서 출력된 신뢰성 정보 검색결과를 나타내고 있다.

신뢰성 평가를 위한 Document는 시스템을 관리하는 관리자 혹은 회원들에 의해 정보가 공유되며 주로 File 혹은 사진으로 관리하게 된다. File은 회원의 level에 따라 download/upload 기능이 제한되며, 현재는 일반 문서로 제공되지만 추후에는 PDF File로 Service될 예정이다.

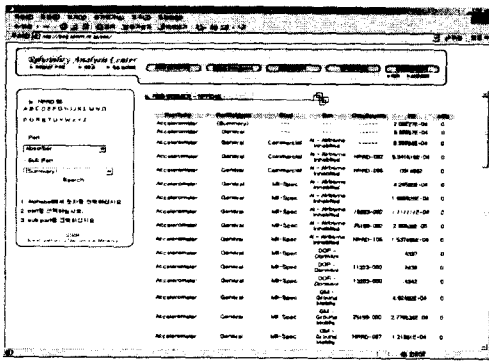


Fig. 4 Searching reliability data in NPRD95

개발중인 제품의 신뢰성 평가를 위하여 개발중인 수평형 machining center를 대상으로 신뢰성 예측 기법을 적용하였다. 설계도면을 기준으로 NPRD95 Data를 사용하여 시스템 tree와 RBD를 구성하고 신뢰성 척도의 하나인 MTBF를 계산하였다.

구성된 품목은 1차적으로 품목정보 625, 제품구성정보 920(50개 유니트)을 작성하고 평가 대상항목으로 품목정보 211부품, 제품구성정보 218개를 최종적으로 확정하여 분석하였다.

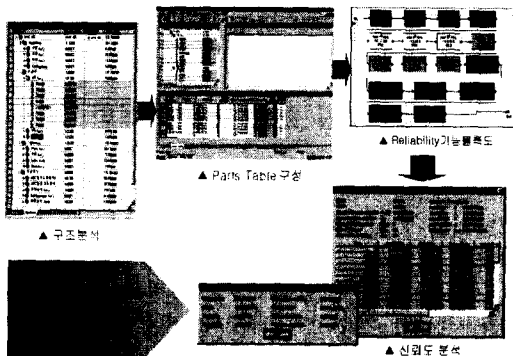


Fig. 5 Procedure of reliability prediction

신뢰성 평가 예측을 위하여 상용 S/W를 이용하여 구조 분석을 시행하고 RBD(Reliability Block Diagram)를 작성하여 신뢰도를 분석하였다. Fig. 5에 신뢰성 예측평가 절차를 나타내었다.

계산결과 MTBF(평균고장간격)는 1,985.8시간이라는 결과가 나왔다. 이번 신뢰도 예측평가 결과는 1차 적으로 전체 시스템을 대상으로 분석되었지만 기존 단품들의 신뢰도(고장율) 정보 부족으로 정확한 해석/평가가 이루어지지 못한 것으로 판명되기 때문에 부족한 고장모드 해석결과를 향후 핵심 유니트를 대상으로 보완하여 평가 신뢰도 향상에 반영시킬 예정으로 있다.

## 5. 결론

기계류 부품 중에서 특히 공작기계의 개발방향은 고속 지능화 되어 가고 있는 추세이며, 이와 함께 고품질, 고정도의 기능을 갖는 제품이 요구되어지고 있다.

본 연구에서는 공작기계를 중심으로 한 고속 지능형 시스템에 대한 신뢰성 평가 체계의 구축과 신뢰성 평가를 위해 고속 지능형 시스템에 발생하는 고장형태의 분류와 요인을 분석하고, 이들 결과를 중심으로 신뢰성 평가항목 및 방안을 수립하였다.

또한 고속 운동시 발생될 수 있는 문제점 test를 위해 Sliding Cover 시험기와 새로운 개념의 이송 및 주축장치로 사용되는 리니어 모터와 자기 베어링을 이용한 고속 주축의 신뢰성 평가를 위해 전장품(코일류) 시험기의 제작과 설계단계에서 신뢰성 있는 부품의 사용을 위해 신뢰성 정보 Service를 위한 Database의 구조 및 Web 시스템의 일부를 설계/구축하고, 개발품목에 대해 신뢰성 예측기법을 적용하여 고장율과 MTBF를 산출하였다.

이와 같은 신뢰성 연구를 통하여 체계적이고 과학적인 신뢰성 평가기술을 확립하여 개발중인 제품들이 세계에서 인증 받을 수 있는 원동력이 될 것으로 사려된다.

## 참고문헌

1. Yiqiang Wang, Yazhou Jia, "Failure Probabilistic Model of CNC Lathes," Reliability Engineering and System Safety, Vol. 65, 1999.
2. "Nonelectric Parts Reliability Data", Reliability Analysis Center, 1995.
3. "Failure Mode/Mechanical Distribution," Reliability Analysis Center, 1997.
4. 김원경, "시스템 신뢰성 공학," 교우사, 1999.
5. 윤상운, 신뢰성 분석, 자유아카데미, 1996