

공작기계 핵심 Units 의 신뢰성 예측 및 Design Review

이승우*, 송준엽, 이현용, 박화영(한국기계연구원 지능형정밀기계연구부)

Reliability Prediction & Design Review for Core Units of Machine Tools

S. W. Lee, J. Y. Song, H. Y. Lee, H. Y. Park(Intelligence & Precision Machine Dept. KIMM)

ABSTRACT

In these days, the reliability analysis and prediction are applied for many industrial products and many products require guaranteeing the quality and efficiency of their products. In this study reliability prediction for core units of machine tools has been performed in order to improve and analyze its reliability. ATC(Automatic Tool Changer) and interface Card of PC-NC that are core component of the machine tools were chosen as the target of the reliability prediction. A reliability analysis tool was used to obtain the reliability data(failure rate database) for reliability prediction. It is expected that the results of reliability prediction be applied to improve and evaluate its reliability. Failure rate, MTBF (Mean Time Between Failure) and reliability for core units of machine tools were evaluated and analyzed in this study.

Key Words : Reliability Prediction(신뢰성 예측), Design Review(설계심사), MTBF(평균고장시간간격), Failure Rate Database(고장률 데이터베이스), Reliability Block Diagram(신뢰성 블록 다이어그램)

1. 서론

최근 모든 산업분야에 최첨단의 메카트로닉스 기술이 적극 활용됨에 따라 기존의 단순한 안전계수, 공차개념을 바탕으로 한 제품의 설계, 생산방법 보다는 신뢰성(Reliability) 개념을 도입한 생산기술의 적용이 요구되고 있다.

공작기계와 같은 기계시스템 및 구조물은 1 만 여종 이상의 요소 부품들로 구성되어 있으며, 이러한 요소 부품이 서로 연계되어 전체 시스템의 기능을 발휘하게 되므로, 구성되는 부품 및 서브시스템의 신뢰성이 곧 전체 시스템의 신뢰성을 결정하게 된다. 특히, 설계단계에서의 신뢰성 설계 및 평가는 제품의 생산 전에 제품의 문제점을 파악할 수 있고, 보전성을 포함한 신뢰성 향상을 위한 수단을 조기에 강구하여 사용시의 손해를 미연에 방지할 수 있기 때문에 신뢰성 예측 기술은 시간적, 경제적으로 매우 유용한 기술이다. 이 기술의 핵심은 지금까지 축적되어 있는 신뢰성 정보(A/S, 성능 및 신뢰성 실험 등)를 적극적으로 활용하고 부품의 고장데이터를 종합하여 서브시스템 혹은 시스템의 신뢰성을 예측하여 목표를 설정하는 것이다.

신뢰성 예측은 설계단계에서 목적이 만족되고 있는지를 분석하여 취약부를 규명하고, 그 결과를 설계에 반영하여 설계심사를 하는 것이다. 본 논문에서는 공작기계에서 고장발생 빈도가 높은 공작기계 핵심 units 중의 하나인 Magazine & ATC (Automatic Tool Changer)와 PC-NC 의 Interface 카드를 대상으로 신뢰성 예측 기법을 적용해 예측된 결과를 소개하고자 한다.

2. 신뢰성 예측 기술의 고찰

넓은 의미에서 신뢰성은 시스템의 의지성, 성공적 운용, 고장이나 실패의 결여를 의미하지만, 공학적 분석을 위해서는 신뢰성을 확률로써 정량적으로 정의할 필요가 있다. 즉 신뢰도(Reliability)는 부품, 장치, 장비 혹은 시스템이 주어진 조건 하에서 특정한 기간동안 의도된 기능을 수행할 확률로 정의할 수 있다. 즉, 신뢰성이란 시간적 측면에서 본 품질로서 일정기간 동안에 주어진 기능을 원활하게 수행할 수 있는 제품의 능력을 말하는 것으로, 제품을 오랫동안 고장 없이 잘 사용할 수 있다면 신뢰성이 높은 제품이라고 할 수 있다.

시스템의 신뢰도를 정확히 평가하기 위해서는 시스템에 요구되는 기능이 정확히 무엇인지 정의되어야 하고 해당 시스템이 사용되는 환경, 조건 등이 규정되어야 한다. 또한 전자류 부품의 수명과 기계류 부품의 수명은 기준척도가 다를 수 있으므로 시스템의 사용기간을 측정할 수 있는 시간 혹은 이에 준하는 척도가 마련되어야 한다. 따라서 신뢰도는 기준척도에 따라서 해석을 달리할 수 있다.

신뢰도 외에 시스템의 신뢰성을 특성 짓기 위한 다른 척도로는 평균수명(무고장시간, Mean Time To Failure, MTTF or Mean Time Between Failure, MTBF)과 고장률(Failure Rate) 등이 있으며, 수리가능체계에서는 가용도(availability)와 평균수리시간(Mean Time To Repair, MTTR)도 신뢰성의 척도로 사용된다.

신뢰도 예측은 신뢰성 분석작업의 시작점이라고 할 수 있으며, 이는 시스템(서브시스템 또는 부품)의 고장률을 예측하는 것이라 할 수 있다. 신뢰성 예측의 방법으로는 시스템 각 부분의 연결 및 설계에 사용되는 부품들의 관계를 나타내는 신뢰성 블록 다이어그램 방법과 부품이 고장 날 수 있는 방법을 열거하고 각 고장방식이 시스템에 전체에 미치는 특성과 결과를 추적하는 FMEA 기법 및 사고 혹은 보다 일반적인 시스템 고장의 원인을 결정하고 고장확률을 추정하는 FTA 등이 있다. 본 연구에서는 각 부품의 고장률 데이터베이스를 기반으로 한 블록 다이어그램 방법을 이용하여 신뢰성 예측치를 산출 하였다.

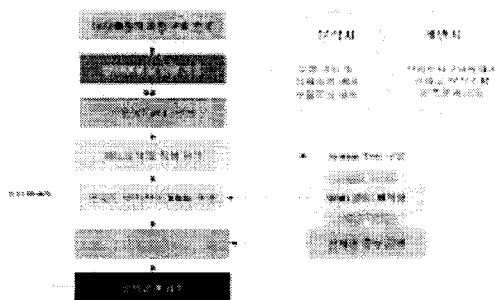


Fig. 1 Process of Reliability & Evaluation

설계된 시스템의 신뢰성 예측을 위해서 본 연구에서는 Fig. 1 과 같은 신뢰성 예측 업무 흐름을 정의 하였다. 첫 단계로 예측 대상을 선정하여 크기(규모)에 따른 예측방법, 모델링, 과거 신뢰성 정보 등의 기초자료를 수집하고, 부품도, 부품구성도, 설계도면 등을 바탕으로 시스템의 구조분석이 이루어져야 한다. 여기에서는 시스템의 단순한 구성부품의 구조뿐만 아니라 블록 다이어그램 작성의 선행 작업으로 각 부품의 기능적 측면에서의 분석도 필요하다. 특히 기계시스템은 사용조건의 상태에 따

라 동일한 부품 및 서브시스템이라도 적용되는 품질기준, 사용환경에 따른 고장률이 다르기 때문에 구조분석단계에서 이에 대한 조사가 필요하다.

사용부품에 대한 고장률 검색은 기계류 부품과 전자류 부품에 대한 고장률 데이터베이스로 구분할 수 있다. 기계류 및 비전자 부품류에 대한 대표적인 고장률 데이터베이스로는 NPRD95 와 NSWC-98/LEI 등이 있는데, 기계시스템의 경우 광범위한 고장률 분산분포와 사용환경, 다양한 스트레스에 대한 고장률 변화로 인해 신뢰성 정보의 획득에 많은 어려움이 있다. 여기에서는 신뢰성 분석도구가 제공하는 NPRD95 를 사용하였다. NPRD95 는 각 부품군에 대한 20 년간의 산업평균 고장률을 반영하고 있으며 다양한 소스들로부터 유사한 부품/부품 조합의 고장률을 추출하여 간략화 한 것이 특징이다. 전자류 부품의 경우 같은 부품/서브부품이라도 운영환경과 응용 파라미터(열기 지수, byte 수, gate 수, 품질레벨 등)에 따라 고장률을 산출하는 알고리즘을 가지고 있으며, 전 PC-NC 의 Interface 카드의 신뢰성 평가에는 MIL-HDBK-217FN2 를 사용하였다.

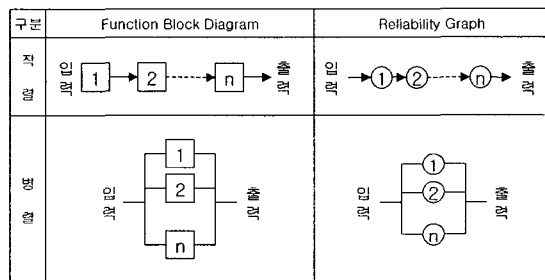


Fig. 2 Representation of Reliability Block Diagram

블록 다이어그램은 블록과 블록을 연결시켜주는 연결선을 사용하여 작성한다. 각 블록은 물리적인 부품그룹 혹은 기능적인 개체와 일치하며, 이들은 서로 독립적인 고장을 목적으로 선정된다. 블록들의 상호관계는 Fig. 2 에 나타낸 것 같이 직렬 또는 병렬구조로 표현할 수 있으나 모든 시스템을 블록 다이어그램으로 표현하는 것은 어려우며, 경우에 따라서는 시스템의 기능 혹은 상태를 중심으로 표현할 수 있다. 즉, 블록 다이어그램의 작성은 시스템에 부여되는 물질흐름(material flow), 구조적 힘의 흐름(structural force flow), 에너지 흐름(energy flow) 및 정보흐름(information flow) 등과 같은 시스템 내의 관련 부품들의 기능을 표현하여 각 부품들의 고장률에 따른 시스템의 신뢰도를 평가하고 예측할 수 있다.

예측결과와 평가는 가정사항과 시스템의 구체적인 제약 조건들, 환경조건, 작동시간대의 임부, 장치의 정의(신뢰성 모델링 및 블록 다이어그램의 작

성)하는데 있어 신뢰도 목표 대 예측을 비교/고려하여 설계자와 분석자의 협력이 필요하다. 협의과정에서의 문제점은 신뢰성 모델을 재 모델링 하거나 부품별 고장률 정보와 블록 다이어그램을 재 작성하여 예측결과를 검토하게 된다.

3. 신뢰성 예측 및 Design Review 적용연구

공작기계의 고장발생 빈도는 Magazine & ATC, APC, 주축, 제어장치 순으로 조사되었으며, 여기에서는 Magazine & ATC와 PC-NC의 Interface 카드를 대상으로 적용연구를 실시하였다.

3.1 Magazine & ATC

Magazine & ATC는 머시닝 센터가 공작물을 가공하는 동안 빈번한 공구교환과 함께 고속화를 위해 빠르게 운동하는 특징이 있다. 고장발생 항목으로는 공구교환 불량, 실린더 작동 불가, Magazine 작동불가, 공구호출 불가, 볼트 풀림으로 인한 유격 발생 및 작동불량이 있으며, 공구인식부, Magazine, 회전부, 직선 이동부 등 6개의 서브시스템이 있다.

구성 부품에 대한 고장률 소스는 Fig. 3과 같이 NPRD95를 사용하였다. 기계류 부품의 경우 Part의 유형과 이 유형에 포함되는 Part의 Sub Type을 선정하면 품질레벨과 사용환경에 맞는 고장률 리스트가 출력되며, 설계자는 적절한 고장률을 선택하여 부품의 구성수량과 곱하여 고장률을 계산한다.

Quality	Environment	Data Source	Failure Rate	Miles
---	---	---	7.6673	
MHSpec	GR - Ground Module	18253-000	500.7652	
Unknown	GR - Ground Module		7.6713	
Unknown	ARW - Airborne Rotary Winged	18499-000	291.4521	
Unknown	AUT - Airborne Unpowered Trans	18496-000	6.8764	
Unknown	GE - Ground Bevel	27027-000	0.35	
Unknown	GE - Ground Bevel	18499-000	5.9544	
Unknown	GR - Ground Module	18499-000	12.4025	
Unknown	NU - Navy Unpowered	18496-000	6.2566	

Fig. 3 Search of failure rate for Gear shaft of Rotation

기계류 부품의 경우 전자류 부품에 비해 신뢰성 정보가 부족하고 분류가 한정되어 있기 때문에 정확히 일치되는 부품이 없으면 가장 유사한 부품의 고장률을 선택하는 유사부품 비교법을 사용하였다.

Magazine & ATC의 블록 다이어그램은 공구교환을 위한 동력전달 흐름을 중심으로 작성되었으며, Fig. 4에 동력전달과정에 있는 구성부품이 직렬로 연결되어 있는 블록 다이어그램을 나타내었다.

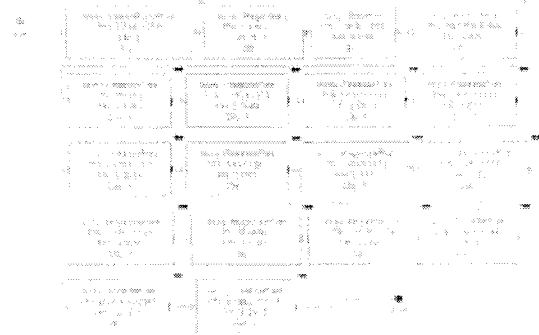


Fig. 4 Block Diagram of Magazine & ATC

고장률 95.4 Failure/백만시간, MTBF 10,489 시간, 신뢰도 0.9905로 예측되었다. 시스템레벨의 목표 MTBF가 약 5,000~6,000 시간 정도임을 감안하면 서브시스템의 MTBF는 양호한 것으로 판단된다. 실제로 고장률 데이터베이스를 사용해 예측된 신뢰도와 목표 신뢰도와 차이가 발생하는 경우가 있는데 이는 기계류 부품에 대한 신뢰성 정보 특성상 정확히 일치되는 부품이 없을 경우 유사부품비교법에 의한 고장률 검색방법 때문인 것으로 사료된다.

Table 1 Failure Rate of Sub System of Magazine & ATC

서브-시스템	고장률(Failure/백만시간)
공구인식부	13.5685
Magazine Sliding 부	0.6709
Magazine 부	38.6278
Rotation 부	37.9833
Linear Motion 부	2.3555
Base 부	2.1312

Magazine & ATC 서브-시스템의 고장률은 Table 1과 같이 계산되었으며, Magazine 부와 Rotation 부의 고장률이 가장 높은 것으로 분석되었다. 특히 Magazine 부의 경우 공구가 장착되는 12pot 중 1pot의 수량만을 고려하였는데도 고장률이 높게 분석되어 구성 부품에 대한 신뢰성 정보 재검색과 함께 설계에 대한 검토가 필요할 것으로 나타났다. 그리고 공구인식부의 근접 센서의 경우 한 부품의 고장률이 전체 서브-시스템 고장률의 96%를 차지하므로 사용센서에 대한 신뢰성 분석과 대체 부품에 대한 기술적 검토가 필요한 것으로 분석되었다.

3.2 PC-NC의 Interface 카드

전기/전자류품의 신뢰성 정보는 기계류 부품에 비해 풍부하고, 고장률 산출이 정형화 되어 있어 설계에 사용된 부품의 정확한 사양만 알면 보다 정확한 신뢰성 평가가 가능하다는 장점이 있다.

Interface 카드는 동작기계의 각종 제어기들과 광통신을 이용하여 CAN 으로 연결되어 운영되는 핵심 제어부로서 IC, Capacitor 류 등 총 54 종의 부품으로 구성되어 있으며, 구성부품의 고장률 산출은 MIL-HDBK-217FN2 를 사용하였다. 이 규격서에 따른 고장률 산출 알고리즘은 입력정보에 따라 틀려지는데, 메모리의 경우 용량을 나타내는 Bits 수, 품질, Packaging 방식에 따른 열적 영향요소 및 부품의 생산연한(안정화 년수) 등을 종합하여 계산한다. 같은 Category 에 있는 같은 제품이라도 입력요소에 따라 고장률은 틀리게 계산되어 지므로 입력요소에 대한 분석과 필요한 경우 별도의 환경실험이 필요할 수도 있다.

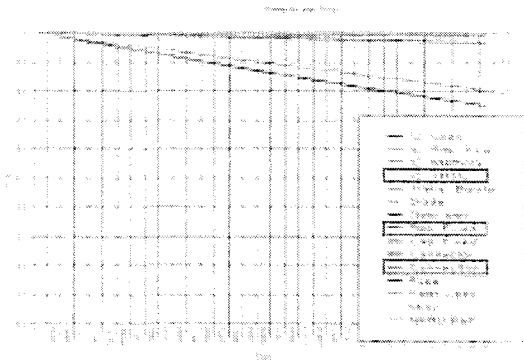


Fig. 5 Reliability of group of part over time

신뢰성 예측결과로 고장률 31.43 failure/백만시간, MTBF 31,814 시간, 신뢰도 0.9968 로 산출되었으며, 시간 변화에 따른 부품군의 신뢰도 변화를 Fig. 5 에 나타내었다. IC 의 VHSIC, 저항, Connection 제품군의 신뢰도 저하가 다른 제품군에 비해 빨리 발생됨을 알 수 있다. 전자류 부품의 경우 온도(열)에 대한 신뢰도가 민감하므로 온도 변화에 따른 부품군의 고장률과의 상관관계를 분석하였으며 결과를 Fig. 6 에 나타내었다.

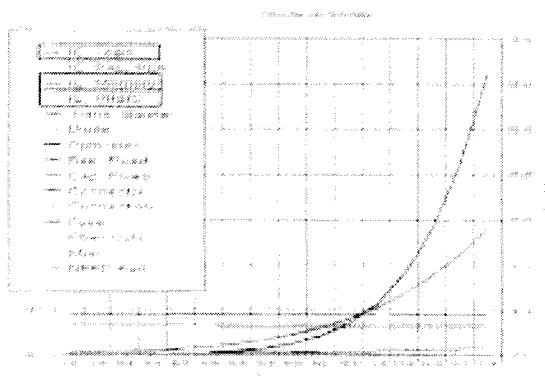


Fig. 6 Failure rate of group of part over temperature

최고 상승온도를 150℃로 설정하고 온도를 증가시켰을 때 각 부품군들의 고장률은 70℃에서부터 증가하기 시작해서 100℃를 넘어서면 IC 군의 logic, Memory, VHSIC 부품들의 고장률이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 이들 부품군의 열에 대한 방지와 기술적인 설계검토가 필요한 것으로 분석되었다.

4. 결론

신뢰도란 지금까지 활용되었던 성능이라는 단기간의 품질(Short-Term Quality)에 비해 보다 장기간의 관점에서 측정/평가되는 장기간의 품질(Long-Term Quality) 보증 기술이라 할 수 있다. 본 연구에서는, 설계단계에서부터의 신뢰성 부여를 위해 고장률 데이터베이스를 이용한 신뢰성 예측기법을 사용하여 동작기계에서 가장 고장발생 빈도가 높은 Magazine & ATC 와 PC-NC 의 Interface 카드를 대상으로 신뢰성 평가/분석 적용연구를 해 보았다. 사용된 부품들의 고장률은 기계류 부품의 경우 NPRD 95 와 전자류 부품의 고장률 계산 Document 인 MIL-HDBK-217FN2 를 사용하였으며, 산출된 고장률은 설계제품의 목표 신뢰성을 설정하는 기반자료와 취약부를 예상할 수 있는 기초자료로 활용이 가능하다.

후 기

본 연구는 중기거점 기술과제 “고속·지능형 가공시스템의 개발”의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. H. E. Blanton, R. M. Jacobs, "A Survey of Technique for Analysis and Prediction of Equipment Reliability," Trans. IRE RQC, pp. 18, 1961.
2. 한국기계연구원, "고속·지능형 시스템의 신뢰성 평가기술 개발 1 단계 최종 보고서," 산업자원부, 2002.
3. 이수훈, 송준엽, 박화영 외, "머시닝센터의 고장 모드해석에 관한 연구," 한국 정밀공학회지, 제 18 권, 제 6 호, pp. 74-79, 2001.
4. 이승우, 송준엽, 박화영 외, "공작기계 핵심 Units 의 신뢰성 평가 방법 및 활용에 관한 연구," 한국 정밀공학회 추계학술대회, pp. 43-46, 2001.
5. ㈜모아소프트 신뢰성기술연구소, "신뢰성 예측 가이드," 교우사, 2002.