

공작기계의 신뢰성 평가 시스템

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

Reliability Evaluation System for Advanced Mother Machine

J.H.Kang*, S.W.Lee, J.Y.Song, H.Y.Park, J.H.Hwang, H.Y.Lee, C.H.Lee, H.S.Lee (KIMM)

ABSTRACT

Recently, reliability engineering is regarded as the major field for aerospace and electronics, semiconductor related industry to improve safety and life cycle. And advanced manufacturing systems with high speed and intelligent have been developed for the betterment of machining ability. In this case, reliability prediction has also important roll from design procedure to manufacturing and assembly process. Accordingly in this study, reliability evaluation system has been developed for prevention trouble, quality and life cycle improvement extremely for advanced mother machinery.

Key Words : Reliability(신뢰성), Prediction(예측), Evaluation(평가), Mother machine(공작기계)

1. 서론

산업의 발전과 더불어 소비자의 소득수준 향상 및 다양한 욕구충족으로 인하여 사용하는 제품의 기능이 다양한 다기능화 및 주어진 환경에서 성능이 좋고, 고장이 나지 않으면서 가격이 저렴한 제품 및 시스템의 필요성이 증가하고 있다.

다기능화를 위해서 제품의 구조는 더욱 복잡하게 설계되고, 시스템에 따라 구성부품의 수가 수십개에서 수 만개에 이르고 있으며, 고장원인 및 빈도가 증가하게 되고 고장에 따른 비용의 증대를 가져오고 있다. 이에 따라 제품의 신뢰성과 가용도를 높이고 유지보수 비용을 절감할 수 있는 신뢰성 공학 기법들이 연구되고 있다.

신뢰성이란 제품을 구성하는 재료, 부품, 제품, 인간 또는 소프트웨어에 대하여 고장 혹은 오류가 없이 운용될 가능성의 정도를 나타내는 정성적 기준으로 생각할 수 있다. 신뢰성의 정도는 상황에 따라서 주관적일 수 있어서 동일한 대상에 대하여 사람마다 다르게 측정될 수 있으므로 신뢰성을 정량적 기준으로 표현하는 것은 쉽지 않기 때문에 신뢰성을 객관적인 척도로 정의하고 평가하는 것이 매우 바람직하다. 최근 공작 기계에 대한 요구는 가공 정도뿐만 아니라 상반되기는 하나 동시에 생산성 향상을 위한 가공 능력의 극대화까지 포함하고 있으며, 이에 대응하기 위한 고속 가공화가 추구하고 있으며, 이에 지능화의 기능까지도 지닌 첨단 기종까지도 개발 대상이 되어 관련 연구를 착수하기에 이르렀다. 이러한 시스템의 개발은 그림 1과 같이 수요의 제한성은 있지만 장기적인 측면을 고려할 때 차세대형 핵심 전략 산업으로 관련 기술의 발전

을 가속화할 수 있을 것으로 기대되나 고속·대형·복잡화 및 고비용화와 실패의 위험성 등이 수반되므로 신뢰성에 관한 연구 역시 병행되어 진행되어야 할 필요가 있다.



그림 1. 고속·지능형 첨단 공작 기계 시스템의 특성과 신뢰성의 관계

따라서 본 연구에서는 기존의 성능 시험 검사의 한계를 타개하고 신뢰성 향상을 위한 체계적인 분석 및 향상 기술 등을 정립함으로써, 관련 연구를 통하여 개발된 신형 시스템에 대한 신뢰성 평가를 효율적으로 수행하여 이와 같은 국산화 공작 기계의 세계 일류화를 도모할 수 있는 신뢰성 평가 기술의 확립을 최종 목표로 하고 있다.

2. 신뢰성의 정의

신뢰성에 대한 공학적인 분석을 위해서는 신뢰성을 정량적인 척도로 정의할 필요가 있다. 신뢰도는 시스템의 신뢰성을 확률로 나타낸 것으로 "시스템, 기기 및 부품 등이 정해진 사용조건에서 의도하는 기간 동안 요구되는 기능을 수행할 확률"로 정의할 수 있다.

기계 부품 및 시스템에 관한 신뢰성 공학의 역

사는 2차 세계 대전 중에 전쟁에 사용하기 위하여 설계된 통신기, 레이더, 항공기 등 전자 장비의 신뢰성을 제고시키기 위하여 시작되었다. 항공기에 사용되는 진공관 부품들이 제조 당시부터 불합격품이었던 것은 아니고, 설계 도면에 의해 정밀하게 제조되어 합격된 제품들이 충격, 온도, 습도 등의 환경변화 요인에 의하여 고장이 발생하게 되었는데, 그 원인은 기존의 생산 기술 및 검사 과정 외에 제품의 고장이 발생하지 않게 하는 특성이 결여되어 있기 때문이라고 여기게 되었으며, 이러한 특성을 신뢰성이라고 표현하게 되었다.

당시에 신뢰성 보증을 위한 최초의 규격인 고신뢰성을 위한 규격이 제정되어 신뢰성 설계의 계기가 되었으며 신뢰성 공학이 새로운 학문 분야로 분류되기에 이르렀다. 특히, 1958년에는 NASA가 창설되고 막대한 예산이 투입되어 우주 개발을 위한 인공 위성의 개발 연구가 착수되면서 특히, 기계 관련 장비에 관한 신뢰성 이론의 큰 발전이 이루어지게 되었다.

기계 장비와 관련된 부품 및 시스템의 신뢰성은 고유 신뢰성(Inherent Reliability)과 사용 신뢰성(Operational Reliability)으로 구별할 수 있다. 고유 신뢰성은 이상적인 사용 조건 또는 규정된 작동 조건에서 제품을 사용할 때, 제품의 설계 단계에서 정해지는 잠재적인 신뢰도를 의미한다.

고유 신뢰성은 설계 단계에서 품질 목표와 제품 규격을 정하고 설계, 시각, 시험, 제조, 검사를 거쳐서 제품이 완성되기까지의 모든 단계에 관계되며 부품의 고장 데이터로부터 이론적으로 구할 수 있다. 사용 신뢰성은 현장에서 제품을 사용할 때 특정한 사용 환경 또는 작동 조건에서의 경험된 신뢰도를 말하며 취급, 운반, 저장중의 열화, 환경, 설치, 보전, 사용자의 작동능력 등 많은 사용 조건에 영향을 받는다.

제품의 고유 신뢰도는 여러 사용 조건과 특정한 환경 조건에 따라 감소하기 때문에 사용 신뢰성을 고려하여 고유 신뢰성을 설계할 때에는 제품의 기능 및 환경 분위기와 부하에 대한 고려가 있고 설계단계에서부터 부품 및 시스템의 신뢰성, 보전성, 가용성, 안정성 등을 고려해야 하며, 실제의 고장 데이터를 해석하여 신뢰성 향상을 위한 설계 단계로의 피드 백이 이뤄져야 한다.

설계 단계에서의 설계 심사(Design Reviews)란 설계 과정에서 다양한 관련 전문가들이 팀을 이루어 설계안들을 다양한 각도에서 분석, 개선하는 것으로서, 신뢰성과 관련된 설계 단계에서부터 요구되는 신뢰성을 확보할 수 있도록 설계안을 기준으로 평가하고 개선하는 활동이다. 이러한 활동 과정에서 FMECA(Failure Mode Effects and Criticality Analysis), 결함나무분석(Fault Tree Analysis, FTA)와 같은 기법들은 설계 단계에서 신뢰성 제고를 위하여 유용하게 사용될 것이다.

3. 공작 기계의 신뢰성

CNC 머시닝 센터를 현재 상용되는 공작 기계류 중 가장 대표적인 것으로 들 수 있으며, CNC 터렛 선반이나 CNC 그라인딩 센터 등은 동작성 측면에서 유사하나 틀림에 있어서 차이가 난다고 할 수 있다. 최근 금형이나 자동차 부품 등의 생산 현장에 있어서 제품 납기의 단축이나 대량 생산화가 더욱 요구되면서 작업 능률 향상의 측면이 고려되어 고속화 가공 방식을 채택하고 있는 추세이다. 또한, 수요자의 제품에 대한 대형화 및 미려하고 섬세한 외관으로의 기호도가 심화되면서 이와 같은 공작 기계류에 대한 고속화뿐만 아니라 대형화 및 고정도화가 같이 요구되고 있다.

그러나 이러한 측면을 모두 구비한 공작 기계라 할지라도 작업 측면에 있어서 공구의 신속한 교환 및 급속이송, 초기 가공 기준 지점의 정확한 포지셔닝, 고속 가공 공정 등의 사이클이 반복되는 과정에 대한 가공 능률과 가공 정도를 동시에 만족시키며 역할을 수행한다는 것 역시 그다지 쉬운 일은 아니다. 중절삭 가공 범위까지를 만족시키기 위한 주축의 고속화는 컬럼 부위의 비대화를 수반하게 되며, 이는 급속 이송시에 가속화에 따른 과도한 관성 모멘트의 발생을 야기시켜 신속하고 정확한 초기 가공 기준 지점의 포지셔닝을 곤란하게 할 수 도 있다. 따라서 고속 가공용 공작기계류에 있어서 주축과 이송 속도간의 고속화는 상대적으로 제한 받을 수도 있다.

또한, 다중 가공 작업 공정에 따른 톨 메거진의 대형화에 대한 ATC 구조 및 위치 최적 설정화와 공구 교환 시간의 단축을 위한 ATC의 신속하고 정확한 운동 위치 제어 대응화도 총체적인 고속 가공의 기능을 만족시키기 위하여 세심하게 배려될 필요가 있다. 그리고 고속화 이송이 반복적으로 이뤄짐으로 인한 슬라이딩 가이드 카버의 내구성을 감안한 최적화 설정도 역시 해결해야 할 주요한 문제점들 중의 하나라고 할 수 있다.

공작 기계는 기계 부품류 및 유닛트와는 다소 다른 측면에서 구성상의 특성을 파악할 필요가 있다. 예를 들어, 스크롤 압축기의 경우는 구성 조립상의 최하단에 있어서는 기어나 볼트 및 와셔 등의 가장 기본적인 부품들로 이뤄져 이러한 것들이 유닛트 자체의 신뢰성에 직접적인 파급 영향을 미치는 대부분의 주요한 인자라고 할 수 있으나, 공작 기계 역시 최하단의 구성 부품들로서는 유사하지만 시스템의 주요 구성 부위가 크게 분류하여 주축부, 이송부, ATC 및 제어부와 구조물 등으로 이뤄짐으로써 이 들 구성 부위별 유닛트들 자체가 공작 기계의 신뢰성에 미치는 영향도 역시 주요하게 다루어야 할 필요가 있다.

일반적으로 가공 작업에 있어서의 4대 요소들로서 공작 기계, 공구, 소재 및 작업자들을 들 수 있

으며, 공작 기계의 성능 및 기능 저하에 따른 수명 측면의 신뢰성에 있어서는 공작 기계를 구성하는 부품이나 유닛들의 영향을 고려할 수 있으나 고장 등을 고려한 총체적인 측면에 있어서는 작업자의 숙련도 역시 영향을 미칠 수 있다고 할 수 있다. 특히, 고속 가공용 공작 기계의 경우는 가공 열을 냉각시키기 위한 장치가 부착되기는 하나 부분적인 열의 과급에 의한 인접한 부위 및 시스템으로의 영향과 공구와 공작물간에 발생하는 채터 진동, 모터, 펌프 등에 의한 고유 진동과 맥동 현상 등이 시스템에 대하여 미치는 영향 등도 세심하게 고려할 필요가 있다.

현재 대부분의 고속 가공용 공작 기계 생산 제조 업체들은 모터, 스크류, 이송 가이드 및 주축 유닛 등 선진국들로부터의 수입에 의존하고 있으며, 수급 업체의 성능 평가 데이터 자료만에 의존하고 있는 실정으로써 경우에 따라서는 조립과 동시에 초기의 성능이 제대로 발휘되지 않는다는 평을 하기도 한다. 이러한 현상은 공작 기계의 신뢰성 측면에서 단위 부품 및 유닛들 자체뿐만 아니라 조립 과정의 영향 역시 배제될 수 없다는 것을 의미하기도 한다.

일반적으로 공작 기계 생산 제조 업체들은 나름대로 축적된 경험에 의한 노하우와 제품의 요구 성능 등을 기준으로 한 고유 검사 성적서를 기준으로 하여 출고 직전에 전량 성능 검사를 수행하고 있다. 그러나 거의 유사한 항목과 기준들로서 정적 상태에서의 정밀도나 운동 및 열 변형 오차 등을 대상으로 한 것이며, 핵심 구성 유닛들 중 고속 주축 등의 가동 테스트를 수행하고 있기도 하나 엄밀하게는 일종의 성능 평가 작업이라고 표현할 수 있다.

이와 대비하여 공작 기계의 경우는 정상적인 가공 조건 내에서 제품을 사용할 때 설계 단계부터 정해지는 잠재적인 신뢰도를 의미하는 고유 신뢰성 보다 특정한 사용 환경 또는 임의의 넓은 작업 범위 내에서의 사용 경험에 의한 신뢰도를 의미하는 사용 신뢰성의 측면을 더욱 고려할 필요가 있다.

엄밀하게 표현하여 성능 평가를 수행한다는 것은 제품을 완성한 후 합격 여부를 판별하여 단지 출고 가능한 것들을 선택하는 작업에 불과하다고 할 수 있으나, 이전의 유사한 생산 제품의 고장 등에 대한 트러블 발생 및 원인 분석, 진단 등의 이력을 토대로 하고 관련 S/W 프로그램 등을 통한 신뢰성 평가를 수행함으로써 개발 제품에 대한 신뢰성 관련 자료를 획득한 후 피드백하여 제품의 설계 단계서부터 신뢰성 향상을 도모하도록 할 수 있다는 큰 장점이 있다.

본 연구에서는 국내 공작 기계의 신뢰성 현황 조사 데이터와 참여 기업들의 기존 제품들에 대한 신뢰성 기본 자료들을 기초로 하는 한편, NPRD95 등의 상품화된 기존 부품 신뢰성 자료 D/B를 사용하여 누락되거나 추가로 보충될 부분이나 공작 기

계에 있어서 특히, 핵심적으로 다뤄야 할 고유 부분에 대한 신뢰성 분석을 직접 제작 개발할 예정인 평가 분석용 장비나 고유 S/W로 수행하여 개별 모델별 신뢰성 평가를 다루고자 하며, 최종적으로는 그림 2와 같이 획득한 자료를 D/B화 하여 Web site 로 제공할 수 있는 것을 목표로 하고 있다.

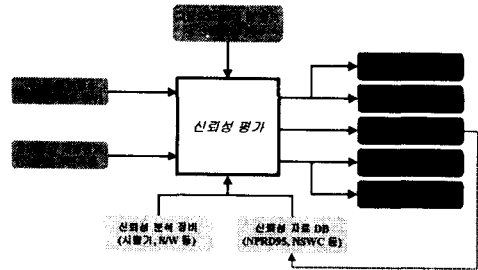


그림 2. 고속·지능형 공작 기계의 신뢰성 평가 구축 방안

4. 공작 기계의 신뢰성 평가 방안

현재 공작 기계의 생산 제조 업체에서는 일반적으로 새로운 모델의 제품을 개발하는 경우 그림 3과 같이 기능과 용도 및 특성에 적합하도록 핵심 요소 부품 및 구성 유닛들과 구조물 등을 설계하고, 가공 제작과 구매를 거쳐 시제작 조립 완성한 후 성능 평가를 통하여 목표의 적부합성과 경쟁품과의 비교를 타진하는 한편, 보완하여 최종적으로는 양산하는 과정에서 성능 시험 검사를 수행하여 합격, 불합격 여부를 확인하여 출고를 결정하여 판매하고 있다.

본 연구에서는 신뢰성을 평가하고 신뢰도를 예측함으로써 초기의 설계안에 대한 재검토를 하는 한편, 유닛 및 부분 조립 상태에서의 내구성, 내환경성 테스트와 구성 제작된 상태에서의 성능, 특성 평가를 수행함으로써 그 결과들을 피드백하여 역시 설계안에 대한 보완, 재고가 이뤄지도록 하는 그림 4와 같은 패러디엄의 내용을 추진한다. 거의 대부분의 경우 성능 평가와 신뢰성 평가의 역할을 동일하거나 유사한 것으로 혼동하고 있으며, 신뢰성 평가에 대한 필요성을 인지하고는 있으나 아직 이에 대한 국내의 관련 연구는 전무한 실정이다.

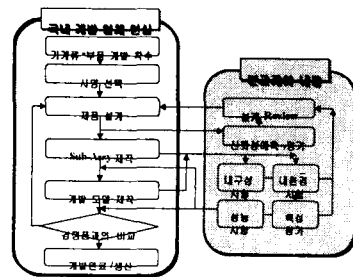


그림 3. 공작 기계의 개발 과정

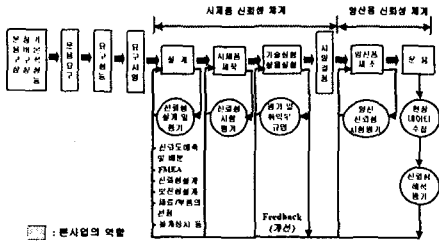


그림 4. 공작 기계의 신뢰성 평가 패러다임

본 연구에서 구축하고자 하는 신뢰성 평가 체계는 그림 5와 같다. 부품의 신뢰성 평가 기준 D/B와 평가 장비를 활용한 부품 및 시스템의 성능 평가를 통한 결과로 신뢰성 평가 체계를 구축하는 한편, 신뢰성 모델링 및 예측 기술의 개발을 통하여 그 결과를 설계의 재고에 활용하고 Web site를 이용할 수 있는 신뢰성 분석 평가 지원 관련 기법을 개발하여 수요 측에 대한 신뢰성 평가 기준 D/B를 제공하고자 한다.

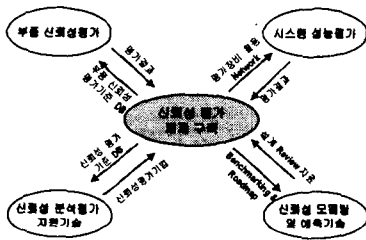


그림 5. 신뢰성 평가 체계 구축안

공작 기계의 신뢰성 평가 항목으로는 그림 6과 같이 일반적인 성능 검사 시험에서 다루는 정특성을 비롯하여 동특성, 온도 특성 및 절삭 성능 등 사용 환경 하에서의 신뢰성을 모두 포함한 다양하고 광범위한 것들이 대상으로 설정될 수 있다.

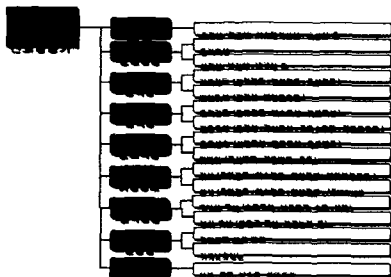


그림 6. 공작 기계의 신뢰성 평가 사항

신뢰성 평가의 단계별 추진 Roadmap은 그림 7과 같이 설정할 수 있다. 우선 고속·지능형 공작 기계 시스템의 개발 품목 Structure 및 신뢰성 기술

을 도출하고 신뢰성 평가 시스템을 구축한 후, 최종적으로는 신뢰성을 향상할 수 있는 고속·지능형 공작 기계 시스템용 신뢰성 평가 시스템을 개발하고자 한다.

세부적으로는 개발 대상 부품들의 기술 수준 및 신뢰성에 관한 Benchmarking, 신뢰성 평가를 위한 계획, 절차 및 기준을 수립하고 대상 부품 구조 분석, 평가 항목 선정 및 평가 방법 체계화하여 신뢰성 평가 체계 구축을 위한 기반을 조성한다. 그리고 대상 시스템의 시험 분석 장비 및 시스템을 설계 및 구축하고 신뢰성 관련 규격, 분석 DB화 및 평가 시스템을 Network화하고 신뢰성 평가 용 S/W의 개발과 지원을 수행함으로써 신뢰성 평가 시스템을 구축한다. 최종적으로는 신뢰성 향상을 위한 종합적인 기법을 개발 및 적용하고 대상 시스템의 부품 및 유니트별 그리고 개발 시스템의 신뢰성 시험, 평가, 분석과 피드백을 수행하여 신뢰성 평가 용 서비스와 향상책을 확립한다.

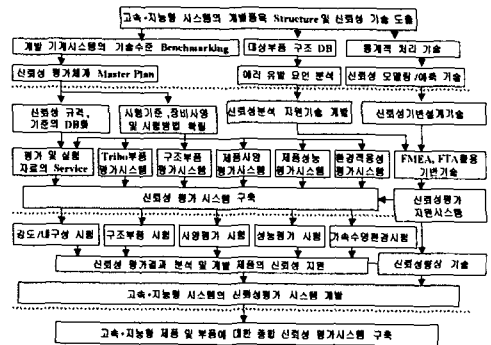


그림 7. 신뢰성 평가 Roadmap

5. 결론

본 연구는 한국기계연구원원이 주관하여 공작 기계 생산 제조 업체 4사 및 관련 부품 생산 제조 업체 3사가 참여 기업으로 2 개의 위탁 연구 기관 등이 공동으로 수행하고 있다.

본 연구를 수행함으로써 기계 시스템에 대한 체계적인 신뢰성 평가/향상 시스템 구축을 통하여, 안전성/품질/신뢰성 향상 및 고장률 저하 등에 기여하는 한편, 신뢰성 제고로 인한 수입 대체 및 수출증대 효과와 개발 제품에 대한 성능 평가 기간의 단축 및 제품 개발 기간을 단축하고 국가 공인기관에서의 신뢰성 보증으로 인한 공신력 확대 등의 효과를 획득할 수 있을 것으로 예측된다.

참고문헌

1. NSWC Cardrock Division, "Handbook of Reliability Prediction Procedure for Mechanical Equipment", NSWC-98/LE1, 1998.