

고속 Line Center의 ATC 신뢰성 평가

이승우*(한국기계연구원), 김동훈(한국기계연구원), 이화기(인하대), 신동환((주)성림)

Reliability Evaluation of ATC for High Speed Line Center

S. W. Lee(KIMM), D. H. Kim(KIMM), H. K. Lee(INHA Univ.), D. H. Shin(SungLim Co., Ltd)

ABSTRACT

Recently, the reliability evaluation and analysis are applied for many industrial products, and many products are required to guarantee in quality and in efficiency. The purpose of this paper is to present some of reliability evaluation methodologies that are applicable to machine tools. Especially ATC(Automatic Tool Changer), which is core component of line center, was chosen as the target of the reliability evaluation and analysis. The scope of research is reliability prediction, reliability test and evaluates their results. The results of this research has shown the failure rate, MTBF(Mean Time Between Failure), reliability for those components and real tests reliability through constructed reliability test-bed. It is expected that proposed methodologies will increase reliability for high speed line center.

Key Words : Reliability Evaluation(신뢰성 평가), Failure Rate(고장률), MTBF(평균고장간격시간), Reliability Test-Bed(신뢰성 시험기)

1. 서론

신뢰성이란 일반적으로 성능이라는 요소에 시간이라는 요소가 합쳐진 하나의 품질척도라고 할 수 있다. 이러한 신뢰성 품질척도가 초기의 전기전자부품 및 방산제품에서 최근에는 전 산업분야에 적용되는 품질 기준이 되고 있다. 특히 공작기계 제품과 같은 기계시스템 구조물은 1만 여종의 요소부품들로 구성되어 있으며 이러한 부품들이 유기적으로 연결되어 공작기계와 같은 전체 시스템의 기능을 발휘하므로 각 부품이 가지는 신뢰성은 전체 시스템의 신뢰성을 결정하는 것이라 할 수 있다.

신뢰성 평가의 종류는 크게 신뢰성 예측과 신뢰성 시험으로 구분할 수 있으며, 신뢰성 예측 방법으로는 FMEA(Failure Mode & Effect Analysis), FTA(Fault Tree Analysis), Worst Case Analysis, 고장률 데이터베이스 조합법 및 A/S 데이터의 사용법 등이 있다. 신뢰성 시험 방법은 시험 시간의 절약을 위하여 가속 조건에서 수행하는 가속수명시험, 내구성 및 내환경 시험 등이 있으며 이러한 방법들은 신뢰성 평가방법에 의해 적절히 선택되어 진다.

그러나 신뢰성이 나타내는 제품의 취약부 및 품질노출 등의 특수성 때문에 기계류 부품에 대한 신뢰성 정보는 전기전자류 부품에 비해 매우 열악한 편이며 신뢰성 시험에 있어서도 적합한 가속수명모델을 찾기 힘들고 많은 시간이 소요되기 때문에 제대로 수행되지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 일반적으로 고속 라인센터에서 가장 고장발생빈도가 높은 ATC(Automatic Tool Changer)의 신뢰성 제고를 위해 고장률 데이터베이스 조합에 의한 신뢰성 예측을 실시하고 예측된 결과에서 분석된 취약부품의 내구성 테스트를 할 수 있는 신뢰성 시험기를 제작하여 신뢰성 평가한 결과 사례를 소개하고자 한다.

2. 고속 라인센터 ATC의 신뢰성 예측

2.1 ATC 고장모드 및 구조 분석

라인센터는 전용기가 설치되어 자동차의 트랜스퍼 가공라인을 구축하는 생산라인에서 발전한 유연라인(flexible line)을 구성하기 위한 핵심적인 기계라고 할 수 있다. 라인센터의 특징으로는 기존의 머시

닝센터와 비교해 폭이 좁고 주축회전수가 높으며 부가 장치의 탈/부착으로 쉽게 라인을 구성할 수 있다. 이러한 부가장치중 핵심장치로는 빠른 속도로 필요한 공구를 공구보관소에서 취출하여 주축에 있는 기존 공구와 교체하여 빠른 가공이 이루어지게 하는 ATC(Automatic Tool Changer)가 있다. ATC는 라인센터의 상단 혹은 측면에 설치되어 공장기계 구성부품중 가장 움직임이 많고 2001년 한국공작기계 협회의 조사 자료에 의하면 수평형 머시닝센터의 고장발생 빈도 중 1순위 유닛은 ATC & Magazine으로 조사되었으며, 다음이 APC, 주축 제어장치, 구동부 순으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 라인센터 전체 시스템의 신뢰성 향상을 위해 고장발생 빈도가 가장 높은 ATC의 신뢰성을 평가하여 평가된 결과를 피드백 하기로 한다.

ATC의 종류로는 매거진의 Tool Pocket에 있는 공구를 Arm이 주축에 있는 공구와 동시에 교환하는 Twin Arm Type과 공구의 홀더 측면이 매거진에 직접 장착되어 ATC가 움직이면서 공구를 교환하는 Umbrella Type이 있다. 본 연구에서는 Fig.1에 나타낸 것과 같이 Umbrella Type에 대해 신뢰성 평가를 실시하였다. Umbrella Type을 사용한 이유는 구조가 간단하고 이에 따라 경량화와 고속화를 추진할 수 있기 때문이다.

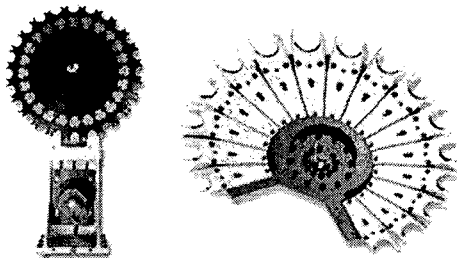


Fig.1 Umbrella Type ATC

ATC의 고장현상 및 원인으로서는 Table 1주로 공구의 낙하 현상과 공구를 잡는 Gripper의 스프링 파손 및 이완으로 분석되었다.

Table 1 Failure Mode and their causes of ATC

| 고장현상 | 고장요인 |
|------------------|-------------------|
| ATC Gripper 변형발생 | NC 프로그램 에러 |
| 공구인식 불가 | 매거진 회전용 Relay 불량 |
| 공구교환 불가 | Motor Gear 파손 |
| 매거진 Overload 발생 | Gripper Spring 파손 |
| 공구 착/탈 불량 | Bearing 마모 |
| 공구낙하 현상 발생 등 | 근접스위치 오작동 |

신뢰성 평가에 사용된 ATC는 크게 Main부와 Arm부로 구분할 수 있으며 Main부는 4개 서브유닛 40부품으로 구성되어 있으며 Arm부는 3개 서브유닛 26부품으로 구성되어 있으며 모두 16개의 공구를 장착할 수 있다.

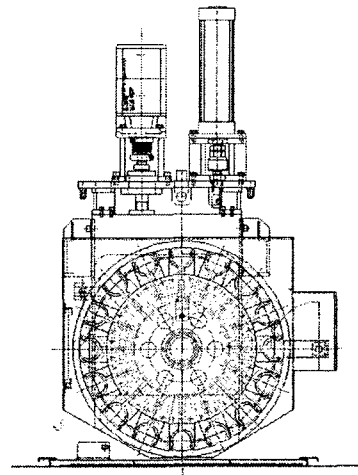


Fig.2 The structure of Reliability Analysis for Target ATC

Fig.2는 신뢰성분석에 사용된 ATC의 구조를 나타내고 있으며 공구의 교환순서는 ①ATC Down→② Tool Unclamp→③Z축 후진→④ATC 회전→⑤Z축 전진→⑥Tool Clamp→⑦ATC Up→⑧Tool Check 으로 약 5초 정도 소요된다.

2.2 ATC 신뢰성 결과 분석

앞 절에서 분석된 ATC의 구조분석을 바탕으로 신뢰성 예측을 실시하였다. 예측을 위한 기본 자료로는 ATC시스템의 부품도, 부품구성도, 설계도 및 기능 설명 등을 바탕으로 시스템 트리를 구성하였으며, 기계류 부품의 대표적인 고장률 데이터베이스인 NPRD(Nonelectric Part Reliability Data)를 사용하여 고장률 데이터를 구성하였다. 필요한 경우 ATC에 사용되는 전기/전자 부품에 대해서는 MIL-HDBK-217F N2 규격서를 참고하였으며 사용된 고장률 데이터베이스는 모두 지수분포를 따른다는 가정 하에 고장률이 산출한 것이다. 또한 구성 부품들의 고장률에 따른 ATC 시스템의 기능적 신뢰도를 평가하기 위해 공구교환 메커니즘 상에 있는 서브 유닛들을 이용하여 신뢰성 블록다이어그램으로 구성하였다.

Fig. 3은 이러한 구성 후에 ATC 시스템의 예측된 결과를 나타내고 있다. 예측결과로는 MTBF 6,131시간, 고장률 163.099241 Failures/백만시간, 신뢰도 0.992288로 산출되었으며, 예측조건은 Duty Cycle 100%, 운전조건 GB 및 상운운전 이다.

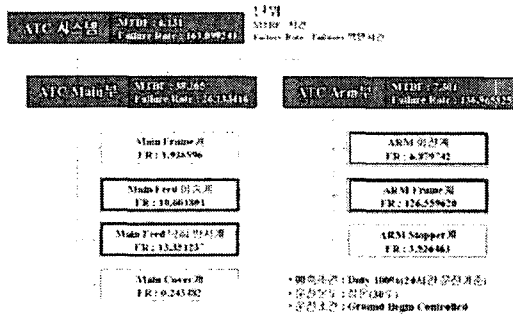


Fig.3 Results of reliability prediction of ATC

신뢰성 예측결과에서 분석된 취약부품은 매거진 디스크 회전용 서보 모터와 Index 결정용 근접 스위치와 상하 작동을 하는 메인 피드계의 근접 스위치의 고장률이 높게 분석되었으며, 특히 공구를 잡고 있는 Arm 프레임계의 압축→복귀 작동을 하는 스프링과 Hinge 등의 고장률이 높게 나타났다. 이로 인해 Fig.3에 제시된 것 같이 ATC를 구성하는 서브 유닛 중 Arm 프레임계의 고장률이 다른 서브 유닛에 비해 월등히 높게 분석되어 대부분의 고장이 공구가 탈/부착되는 Arm 프레임계에서 발생할 것으로 예상된다.

3. ATC 신뢰성 시험

3.1 ATC 매거진 디스크의 구조해석

ATC 매거진 디스크의 변형 및 강도평가를 위해 구조해석을 실시하였다. 매거진 디스크의 소재는 SM45C이며 탄성계수(Gpa) 210, 프와송비는 0.3 이다. 유한모델 구성을 위해 3차원 솔리드 모델 및 사면체 요소를 사용하였으며 요소수는 5,081, 결점수는 10,086이다.

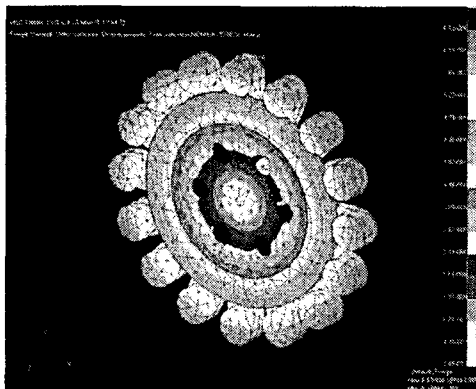


Fig. 4 Distribution of displacement - Full

경계조건은 축의 끝단고정으로 하고 하중조건으로는 ATC의 회전속도(최대 35rpm)에 의한 원심력으로 하였으며 여기에는 공구를 전부 다 장착(16개)한 경우와 공구를 절반만 장착하여 위치에 따른 무게의 편심을 고려하였다. 공구의 무게는 최대 8kg이다.

매거진 디스크에서 응력이 가장 크게 발생하는 취약부위는 디스크와 회전축이 연결되는 부위이다. 공구를 전부 장착한 경우 응력과 변위분포는 축 대칭으로 발생하고 편심지게 장착한 경우에는 축대칭으로 발생하지 않고 있다. Fig.4에 공구가 전부 장착된 매거진 디스크의 변위분포를 나타내었다. 최대변위는 공구를 전부 장착한 경우 공구의 끝단에서 발생하며, 0.00653mm로서 ATC의 위치 정밀도에는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 따라서 ATC의 강도나 강성에 영향을 미치는 것은 공구의 편심 유/무보다는 공구의 장착 개수가 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3.2 ATC Arm 프레임계 내구성 시험

ATC의 신뢰성 예측에서 고장률이 가장 높게 계산된 ATC Arm 프레임계의 신뢰성 향상을 위하여 Fig. 5와 같은 신뢰성 시험기를 제작하였다. 평가 방법은 ATC의 공구 Gripper에서 공구의 낙하를 고장으로 정의하고 주축으로부터 공구를 잡은 상태로 135도 회전 및 주축으로 복귀 후 다시 공구를 주축에 Clamping하는 순으로 하였다. 시험 중 공구의 낙하 유/무를 검출하기 위하여 근접센서를 설치하였다.

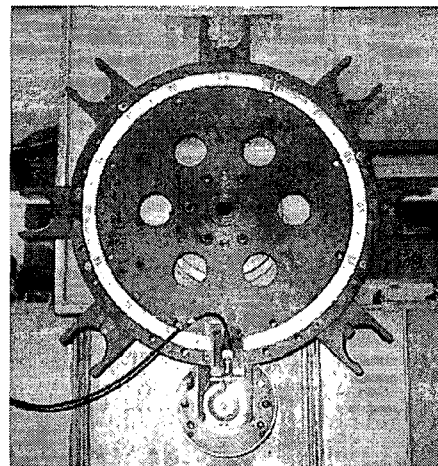


Fig. 5 Reliability test-bench for endurance

시험조건 Gripper가 공구를 잡은 채 무부하 연속 운전하는 것으로 하고 회전속도는 최대 35rpm, 시험의 편의성을 위해 8개의 Gripper와 1개의 공구만을 사용하였다.

일반적으로 라인센터가 하루 8시간 필드에서 작

동된다고 가정할 때 ATC는 하루 평균 약 500회 정도의 공구교환이 발생할 것으로 예상된다.

Gripper는 이러한 반복동작으로 인해 공구와 직접 접촉되는 부위가 마멸되며, 마멸 Failure가 발생되는 횟수는 170만회로 측정되었다. Fig.6은 반복된 공구 탈착으로 공구를 잡는 부위가 마멸된 Gripper를 개선한 것을 나타낸 것이다.

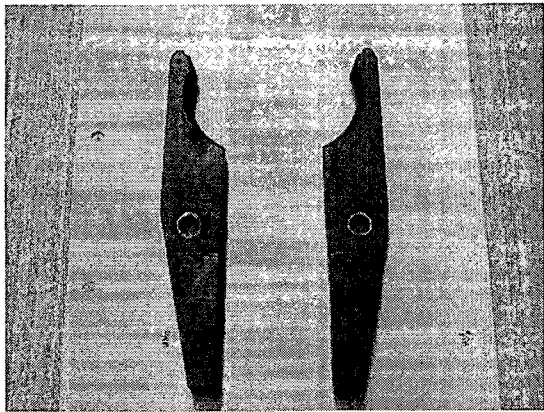


Fig.6 Improvement of Gripper's material & hardness

공구홀더용 마모의 개선을 위해, 재질 SM45C, 경도 H_RC 45에서 재질 SCM435, 경도 H_RC 50으로 변경하였고 인장강도를 70 kgf/mm²에서 95 kgf/mm²으로 설계 변경하여 적용하였다.

또한 신뢰성 예측결과와 필드에서 발생하는 공구낙하의 주요 원인인 스프링을 개선하였다. 개선내용으로는 스프링의 강성이 40 kgf/mm²에서 52 kgf/mm²으로 개선된 제품을 사용하였다. Fig.7에 개선 전/후의 스프링형상을 나타내었다.

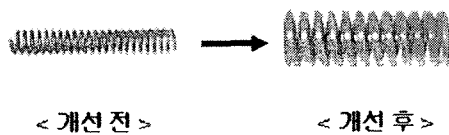


Fig.7 Replacement of improved stiffness

4. 결론

본 연구에서는 고속 라인센터의 ATC 신뢰성 평가를 위해 고장률 데이터베이스를 이용한 신뢰성 예측방법과 내구성 실험을 통한 신뢰성 개선 방안을 제시하고 개선작업을 실시하였다. 신뢰성 예측치에서 분석된 취약부품의 개선을 위해 실제 시험기를 통해 내구성 실험을 하였으며, 그 결과 2건의 취약부품명과 개선을 하였다. 신뢰성 평가결과로는 예측치

로 MTBF 6,131시간과 공구홀더용 Gripper의 재질 및 인장강도를 개선하고 공구낙하의 주요원인인 스프링을 개선하여 신뢰성 향상을 추구 하였다. 이러한 과정을 통하여 점차 ATC의 신뢰성 개선뿐만 아니라 기타 유사한 기계류 부품에 대한 신뢰성 향상 작업이 이루어지리라 사료된다. 추후에는 보다 많은 신뢰성 실험을 통하여 추출된 데이터를 이용한 고장률 정보를 확보함으로써 정확한 신뢰성 평가가 이루어져야 한다.

후기

이 연구는 중소 부품·소재기업 신뢰성 향상지원 사업으로 진행되었음.

참고문헌

1. H. E. Blanton, R. M. Jacobs, "A Survey of Technique for Analysis and Prediction of Equipment Reliability," Trans. IRE RQC, 18, 1961.
2. 윤상운, 신뢰도 분석, 자유아카데미, 1996.
3. (주)모아소프트 신뢰성 기술연구소, 신뢰성 예측 가이드, 교우사, 2002.
4. 이승우, 이화기, "VDI Turret의 신뢰도 예측," 산업경영시스템학회지, 제28권, 제1호, pp. 49-540, 2005.
5. 이승우, 송준엽, 이화기, "공작기계 핵심부품의 신뢰성 평가·분석에 관한 연구," 신뢰성 응용연구, 제3권, 제1호, pp. 41-58, 2003.