

고속 EFEM의 성능평가시스템 개발

(Development of Performance Evaluation System for the High Speed EFEM)

조정환* · 노희정

(Jeong-Hwan Cho · Hee-Jung Roh)

요 약

본 논문은 반도체 공정에 사용되는 고속 EFEM(Equipment Front End Module) 장치의 새로운 성능평가시스템을 제안한다. 다관절 로봇으로 구성된 EFEM은 실리콘 웨이퍼 또는 포토마스크를 클린 스토리지 캐리어와 각종 계측 및 테스트 시스템 사이를 이동시키는 반도체 자동화의 핵심장치이다.

성능평가 시스템 개발을 위한 이론과 실험적인 연구가 수행되었고, 그 결과는 고속 EFEM 장치의 성능평가시스템이 적합함을 입증한다. 특히, WTO/TBT(Technical Barriers to Trade) 협정 및 PL(Product Liability)법에 대처하는데 매우 효과적이다.

Abstract

This paper suggests the new performance evaluation system which is suitable for high speed EFEM(Equipment Front End Module) device using a semiconductor process. An EFEM consisting of multi-joint robots is the mainstay of semiconductor automation, shuffling silicon wafers or quartz photo-masks between ultra-clean storage carriers and a variety of processing, measurement and testing systems.

The theoretical and experimental studies for the development of performance evaluation system have been carried out. The presented results from the above investigation show considerably developed performance evaluation system for the high speed EFEM. Especially, it is efficient for preparing the WTO/TBT(Technical Barriers to Trade) Agreement and the PL(Product Liability) law.

Key Words : EFEM, WTO/TBT, PL, Evaluation System

1. 서 론

* 주저자 : 김포대학 IT학부 부교수
Tel : 031-999-4142, Fax : 031-999-4775
E-mail : jhcho@kimpo.ac.kr
접수일자 : 2009년 9월 15일
1차심사 : 2009년 9월 17일
심사완료 : 2009년 9월 30일

국제무역의 활성화를 위한 WTO/TBT(Technical Barriers to Trade) 협정에서는 소비자들의 안전을 확보하기 위해, 회원국이 국가표준을 새로이 제정하거나

개정할 경우 국제표준을 기초로 사용할 것을 규정하고 있고, APEC(Asia-Pacific Economic Cooperation) 정상회담에서는 자국의 국가표준을 선진국은 2010년, 개발도상국은 2020년까지 국제표준에 완전 일치시키겠다는 것을 합의하는 오사카 행동지침을 채택하였으며, 특히 전기전자기기, 기계류, 식품라벨링, 고무제품 등 4개 우선 일치화 대상 품목은 2010년까지 일치화를 협약하였다.

또한, 소비자 또는 제3자가 제조물의 결함으로 인해 생명, 신체, 재산의 피해를 입었을 경우 제조업자 또는 판매업자가 책임을 지고 손해를 배상토록 하는 제도인 PL(Product Liability)법은 우리나라 및 세계 각국에서 시행되고 있으며 손해배상은 불법행위 책임원칙에 따라 제조자 등의 고의·과실 및 제조물의 결함으로 인해 피해를 입었음이 입증될 경우 손해배상책임을 지도록 되어 있다. 이러한 제조물의 결함을 사전에 예방하기 위한 기준 중의 하나가 바로 성능평가 표준이다[1]. 즉, 제품 또는 부품의 고장이 설계, 제조, 사용과정에서 항상 발생할 수 있는 문제점을 대비하고 PL법에 의한 제조물 결함을 예방하기 위한 대책 수단으로 시험 및 평가에 관한 표준의 필요성이 증시되고 있다[2].

IT산업의 지능화 및 고도화에 따라 널리 생산되어 사용되고 있는 로봇은 그 중요성이 더욱 높아지고 있다. 특히, 산업현장에서 사용이 증가하고 있는 산업용 로봇은 공장자동화의 핵심구성 요소의 하나로 최근의 다품종 소량 생산체제인 FMS의(Flexible Manufacturing System) 주역으로 활용되고 있다. 제조업을 중심으로 생산현장에서 사용되어 온 산업용 로봇은 조립, 운반, 용접 등 광범위한 작업공정에서 보다 다양한 생산활동에 유연하게 대응하기 위한 FMS 체제로 응용되고 있다. 그러나 서비스 로봇에 대한 성능평가 표준은 확립되어가고 있으나, 상대적으로 적용 및 형태에 따라 다양성을 갖는 산업용 로봇에 대한 성능평가 표준은 매우 미흡한 실정이다[3].

따라서 본 논문에서는 국제무역의 활성화를 위한 WTO/TBT 협정을 준수하고 더 나아가 국제표준을 선도하며, 제조물의 결함에 의한 손해를 배상하는 PL법에 대비하기 위하여 반도체 공정에 많이 사용되며 다관절 로봇으로 구성된 EFEM(Equipment Front

End Module) 장치의 성능평가 표준을 제시하고 적합성 여부를 시험을 통하여 검증 하였다.

2. 산업용 로봇의 성능평가 표준

2.1 성능평가 절차

일반적으로 제품의 성능을 평가하는 신뢰성을 정의할 때 규정된 환경 하에서 일정 시간동안 정의된 기능을 만족스럽게 수행하는 신뢰성 인증체계를 그림1과 같이 정의한다[2].

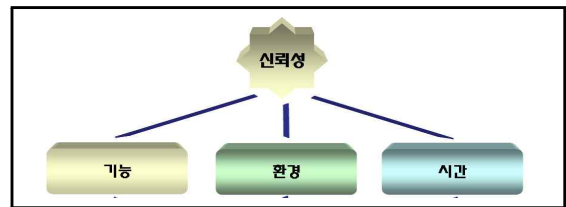


그림 1. 신뢰성 인증체계
Fig. 1. System of reliability certification

이 정의에는 세 가지 키워드가 있는데 기능, 환경, 시간이 그것이다. 제품의 신뢰성을 평가하기 위해서는 이와 같은 세 가지 키워드가 고려되어야 한다. 즉, 기능이 정상적으로 동작되는지 확인되어야 하고, 제품이 놓일 수 있는 환경조건 하에서 정상적인 기능 수행이 가능함이 입증되어야 하며, 정상적인 기능 수행이 목표한 기간동안 유지될 수 있는가 평가되어야 한다.

따라서 산업용 로봇에 대한 신뢰성 인증은 이와 같은 3가지 항목을 평가하여 신뢰성을 인증하는 체계로 구상되었고, 이 3가지 항목을 평가하는데 있어서 국내에서만 사용될 수 있는 기준을 만드는 것은 의미가 없으므로 국제적으로 통용될 수 있는 기준을 만들기 위하여 현재 국제적으로 사용되고 있는 여러 관련 규격 및 인증체계를 조사하여 신뢰성 인증 체계에 반영하고 있다.

신뢰성 평가 기준은 품질 시험(성능, 내환경 시험)과 수명/고장률 시험으로 이루어져 있으며 품질 시험을 정하는 절차는 그림 2와 같으며, 수명/고장률 시험을 정하는 절차는 그림 3과 같다.



그림 2. 품질시험 제정 절차
Fig. 2. Procedure establishing the quality test



그림 3. 수명/고장률 시험 제정 절차
Fig. 3. Procedure establishing the life and failure rate

2.2 산업용 로봇의 성능평가 표준

로봇은 제조업 분야에서 생산재로 이용되는 산업용 로봇과 제조업 이외의 분야에서 활약하는 서비스용 로봇으로 분류된다. 현재 산업용 로봇은 자동차 제조의 용접과 도장부문, 전기전자 제조현장에서는 전자부품실장, 반도체웨이퍼 반송 조립 등에서 활약하고 있다. 공장자동화 및 생산성을 증대시키는데 있어서 중요한 역할을 담당해 온 산업용 다관절 로봇은 작업자로 하여금 항상 작업현장에서 감시 및 조작을 해야만 했으며 이러한 과정에서 인간은 위험한 작업환경에 노출 되어야만 하였다.

현재 이러한 문제점을 해결하기 위해 원격제어 시스템에 대한 연구가 많이 이루어지고 있고, 그에 따른 활용방안도 제시 되고 있다. 원격제어 시스템은 일반적으로 작업을 수행하는 슬레이브 시스템(Slave system)과 인간의 판단이나 명령을 주제어기로 전달하는 마스터시스템(Master system), 그리고 두 시스템을 연결하는 통신링크(Communication link)로 나누어 질 수 있다.

다관절 로봇의 원격제어를 위하여, 조작자가 제어대상(다관절로봇)으로부터 직접 받을 수 있는 정보는 비전에 의한 영상정보, 초음파센서나 레이저센서를 통한 거리 정보 등 다양한 센서 정보가 작업의 종류에 따라

적용되고 있다. 근래에는 센싱 기술이나 협조제어기술이 발달됨에 따라 더 복잡한 조립공정에서도 로봇이 도입되고 있다[4].

특히, 반도체웨이퍼 반송 조립라인에서 널리 적용되고 있는 최근 다관절 로봇을 적용한 그림 4와 같은 고속 EFEM 모듈은 반도체 라인에서 카세트 내의 웨이퍼를 공정 모듈에 공급하는 공정장비의 표준 인터페이스 모듈로, 다관절 로봇 기구를 적용해 로봇이 고정된 상태에서 로봇 팔을 좌우로 이동해 카세트 내의 웨이퍼를 이송하는 기능을 수행한다. 모든 반도체 공정 장비에 널리 사용되며 생산성에 큰 영향을 미친다[5].



그림 4. EFEM 장치
Fig. 4. EFEM device

산업용 로봇의 표준화에 대해서는 용어, 기호 등의 기본적인 분야를 중심으로 국제표준(International Organization for standardization : ISO 8373, 9409-1, 9789, 9946)이 정비 되어 있고 일본 역시 일본 표준(Japanese Industrial Standard : JIS B-8431~8439)을 정비하고 있다. 그러나 로봇 기능의 다양화와 성능향상에 따른 특성의 시험법, 설계단계, 사용단계 등의 안정성, 로봇의 언어 및 데이터 통신방식, 로봇의 구조 및 형상에 대해서는 충분히 표준화 되어 있지 않은 것이 현실이다. 따라서 산업용 로봇을 자동화 공장에 도입하는 경우 산업용 로봇의 기종 또는 다른 장치와의 상호 접속성 제약, 특성 및 기능의 표시방법, 측정방법 등이 각 생산업체에 따라 다르기 때문에 새로운 산업용 로봇의 표준화 및 평가방법이 필요하다[6].

3. 제안된 성능평가 시스템

반도체 생산공정에 많이 사용하는 다관절 로봇을 이용한 EFEM은 구조상 고속, 고부하가 요구되는 작업을 하기 위해서는 모터와 감속기의 용량과 부하가 커지고, 이는 자체 부하로 작용한다. 앞단 링크에 부착된 모터와 감속기는 다음 단 링크의 구동모터의 부하가 되고 용량이 커질수록 부하가 증가하는 구조적인 단점을 갖는다.[7]

이러한 연쇄적인 다관절 로봇 구조로 이루어진 EFEM의 발생 할 수 있는 고장과 문제점들을 해결하기 위하여 그림 2와 그림 3의 절차에 따라서 성능평가 시스템을 마련하고 시험을 시행하였다. EFEM의 성능평가 표준을 위해서 제안된 시험방법은 표 1과 같은 표준 대기환경에서 실시되어야 하고 표준 후처리 조건은 특별한 조건이 없다면 후처리는 표준 대기조건에서 1~2시간 동안 대기한다.

표 1. 표준 대기조건
Table 1. Standard atmospheric conditions

온도	15~35[°C]
상대습도	25[%R.H.]~75[%R.H.]
대기압	86~106[kPa]

3.1 파티클 테스트(particle test)

3.1.1 시험조건과 판정기준

파티클 테스트 시험조건은 표 2와 같고, 이때 판정기준은 3회 측정 평균값은 파티클의 크기가 0.3[μm] 이하에서 106[ea/m³] 이하 이어야 한다.

표 2. 파티클 테스트 시험조건
Table 2. Test conditions for particle test

목록	시험조건
EFEM 모듈	EFEM 모듈의 내외부는 완전히 분리되고, FFU(Fan Filter Unit)는 이상없이 작동되어야 하며 FFU의 초기설정 및 기능 시험은 충분히 완료되어야 함
LPC 출력비	1.0[CFM](28.3[L/min]) (LPC: Laser Particle Counter)

3.1.2 시험결과

파티클 테스트 시험결과는 표3과 같다.

표 3. 파티클 테스트 시험결과
Table 3. Test results for particle test

횟수	측정시점	측정값 ([ea/m ³])	파티클 크기	시험결과
1	200 사이클 진행 이후 1분간	0.0	0.3[μm]	적합
2	400 사이클 진행 이후 1분간	35.2	0.3[μm]	
3	600 사이클 진행 이후 1분간	0.0	0.3[μm]	
평균		11.7	0.3[μm]	

3.2 MCBF(Mean Cycle Between Failure)

3.2.1 시험조건과 판정기준

MCBF의 시험조건은 표 4와 같다.

표 4. MCBF 시험조건
Table 4. Test conditions for MCBF

목록	시험조건
동작속도	연속운전프로그램에서 동작속도의 100[%]
가속 하중	2배
사이클 수	100,000회
소음측정시 기준거리	소음계에서 EFEM 중심까지 2[m]
소음측정시 동작축	R-T

이때, 판정기준은 초기, 50,000 사이클, 100,000 사이클에서 토크가 기준값 이상이어야 하고, 그림 5와 같은 소음시험에서 소음이 55[dB] 이하 이어야 하고, 감속기, LM가이드, 볼 스크류, 벨트, 풀리, 케이블에 파손된 부분이 없어야 한다.

3.2.2 시험결과

○ 초기

초기 MCBF의 시험결과는 표 5와 같다.

표 5. MCBF 시험결과(초기)
Table 5. Test results for particle test(start)

항목	항목	Min([%])	Max([%])	시험결과
토크	Z	35.48	54.8	적합
	T	1.63	122.14	
	R	3.99	125.18	
	L	0,18	21.91	
	V	0,13	18.24	
소음	R-T	51.4[dB]		적합

○ 50,000 사이클
50,000사이클 일때 MCBF의 시험결과는 표 6과 같다.

표 6. MCBF 시험결과(50,000사이클)
Table 6. Test results for particle test(50,000cycle)

항목	항목	Min([%])	Max([%])	시험결과
토크	Z	36.03	51.06	적합
	T	0.18	110.12	
	R	4.15	126.54	
	L	1.93	20.22	
	V	1.95	17.98	
소음	R-T	53.6[dB]		적합

○ 100,000 사이클
1000,000사이클 일때 MCBF의 시험결과는 표 7과 같다.

표 7. MCBF 시험결과(1000,000사이클)
Table 7. Test results for particle test
(100,000cycle)

항목	항목	Min([%])	Max([%])	시험결과
토크	Z	33.26	52.59	적합
	T	0.95	136.45	
	R	1.59	112.97	
	L	0.7	20.04	
	V	0.17	19.22	
소음	R-T	54.7[dB]		적합

3.3 반복정밀도(Repeatability)

3.3.1 시험조건과 판정기준

반복정밀도 시험조건에서 레이저 센서 정밀도는 0.01[mm] 이하이어야 하고, 이때 판정 기준은 반복정밀도가 0.1[mm] 이하 이어야 한다.

3.3.2 시험결과

반복정밀도 시험결과는 표 8과 같다.

표 8. 반복정밀도 시험결과
Table 8. Test results for repeatability test

횟수	R-T([mm])	Z([mm])	시험결과
1	0.0396	0.0068	적합
2	0.0398	0.0041	
...	
30	0.0449	0.0059	
빈복정밀도	0.0430	0.0050	



그림 5. 반복정밀도
Fig. 5. Repeatability test

3.4 부하상태처짐

(Deflection at loading position)

3.4.1 시험조건과 판정기준

부하상태처짐 시험조건에서 레이저 센서 정밀도는 0.01[mm] 이하이어야 하고, 이때 판정 기준은 부하상태 처짐이 ±1[mm] 이하 이어야 한다.

3.4.2 시험결과

부하상태처짐 시험결과는 표 9와 같다.

표 9. 부하상태처짐 시험결과
Table 9. Test results for deflection

Z축 높이 (mm)	중심축 좌표 (mm)	부 하	상관		하관		처짐	시험 결과
			기준 위치 (mm)	부하 장작후 위치 (mm)	기준 위치 (mm)	부하 장작후 위치 (mm)		
300	X:-233.215 Y:-399.995	1	0.0044	-0.4680	0.0054	-0.3647	0.4636 0.3593	적합
		2	0.0044	-0.9503	0.0054	-0.7442	0.9459 0.7388	적합

4. 결 론

본 논문에서는 WTO/TBT 협정을 준수하고 더 나아가 국제표준을 선도하며, 제조물에 결함에 의한 손해를 배상하는 PL법에 대비하기 위하여 다관절 로봇으로 구성된 고속 EFEM의 성능평가 표준을 제시하고 적합성 여부를 시험을 통하여 검증 하였다.

이러한 성능평가시스템의 개발을 통하여 EFEM의 설계, 제작, 사용과정에서 발생할 수 있는 고장과 문제점을 해결 할 수 있을 것이고, 이로 인하여 EFEM의 신뢰성이 향상되고 PL법의 제조물 결함을 예방하기 위한 대책 수단으로 활용할 수 있을 것이다.

향후 연구과제로는 지능제어와 IT 융합기술의 발전에 따라 더욱 고도화된 고속, 고정밀의 산업용 로봇에 적용할 수 있는 성능평가시스템의 개발이 필요할 것으로 분석된다.

본 논문은 2009학년도 김포대학 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Y.-S. Kim, K.-M. Shong, S.-G. Kim, "The Characteristics of Arc Scattering and Fusing Current of Copper Wire in the Fault Process DB System of Cables in a PL Environment," Journal of the KIEE Vol.22 No.3, pp. 52~58, 03. 2008.
- [2] 조정환 외, "부품·소재의 신뢰성 인증 제도," 한국조명·전기설비학회 제22권 5호, 10. 2008.
- [3] 문승빈 외, 지능형로봇 국내외 표준동향, 정보과학회지 제26권 제4호, pp79-88, 04. 2008.
- [4] Sakai, H. Amasaka, K., "The robot reliability design and improvement method and the advanced Toyota production system," The Industrial robot, Vol.34 No.4, pp.310-316, 2007.
- [5] Oomichi, T. et al., "System architecture for high reliability module mobile robot," Trans. Society of Instrument and Control Engineers, Vol.43 No.8 pp. 689-698, 2008.
- [6] 전자부품연구원, "일본산업용 로봇시장의 구체적 특징 및 Rising Technology," 03. 2008.
- [7] guz, H. Canbolat, H. "Simulation of a hybrid adaptive-learning control law for a rigid link electrically driven robot manipulator," Robotica, Vol.24 No.3, pp. 349-354, 2006.

◇ 저자소개 ◇

조정환(趙正煥)

1963년 12월 12일생. 1988년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1990년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2003년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 김포대학 IT학부 부교수. 산업계측제어기술사. 본 학회 편수위원.

노희정(盧熙正)

1961년 7월 7일생. 1985년 아주대학교 전자공학과. 1995년 서울시립대학교 대학원 졸업(석사). 2010년 인천대학교 대학원 졸업(박사). 1989~1998년 (주)한국통신 기술 근무. 1998년~현재 김포대학 유비쿼터스IT과 조교수.