

## 반도체 장비용 직교 로봇의 스틸 밴드 마모 문제 해결에 관한 연구

김종균\* · 이송연\* · 허용정\*\*†

\*한국기술교육대학교대학원 메카트로닉스공학과, \*\*한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

### A Study on Wear Problem of Cartesian Robot for Semiconductor Equipment

Jong Gyun Kim\*, Song Yeon Lee\* and Yong Jeong Huh\*\*†

\*Mechatronics Engineering, Graduate School of Korea University of Technology and Education,

\*\*School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

#### ABSTRACT

Cartesian robot is used in semiconductor manufacturing. Friction between steel band and mover wears the steel band. The emission of wear particle from steel band contaminates semiconductor equipment. At the manufacturing site, the steel band is replaced periodically to minimize the generation of wear particle. But this is not a good way to minimize the generation of wear particle, because it is hard to specify the moment of replacement. We suggested the methodology to minimize the generation of wear particle using TRIZ technique. Also we made prototype robot which the solution is applied, and the performance of the solution was verified through experiments. As a result of verification, it was confirmed that the solution significantly reduced the generation of wear particle compared to the standard way.

**Key Words** : Cartesian Robot, Mover, Steel Band, TRIZ, Wear Particle

#### 1. 서 론

직교 로봇은 정밀한 직선운동을 구현하는 모듈로써 다양한 분야의 기계장비에 이용되고 있다. 또한 산업 별 특징에 맞추어 직교 로봇은 다양한 형태의 구조를 가진다.

반도체 생산 공정[1]에서는 미세 분진 및 이물질은 매우 엄격하게 제한해야한다. 때문에 반도체 장비에 사용되는 직교 로봇은 로봇 내부에서 발생하는 미세 분진을 차폐하기 위한 구조를 채택하고 있다.

스틸 밴드(Steel band)는 0.1~0.5mm 두께의 스테인리스강 계열 박판으로, 직교 로봇 내부에서 발생하는 미세 분진

을 차폐한다. Fig. 1에 개방된 직교 로봇과 차폐된 직교 로봇을 도시하였다.

반도체 장비용 직교 로봇에서는 스틸 밴드와 무버의 접촉면에서 마찰이 발생한다. 마찰로 인해 스틸 밴드가 마모된다. 이때 생성된 마모 입자는 무버에 쌓인 뒤, 로봇의 외부로 이동하여 반도체 장비를 오염 시킨다.

Fig 2에 마모 입자가 쌓인 무버의 모습을 도시하였다. Fig. 3에는 마모 입자가 로봇의 외부로 이동하는 과정을 도시하였다.

제조 현장에서는 마모로 인해 표면이 거칠어진 스틸 밴드를 주기적으로 교체하여 마모 입자 발생을 최소화하려는 방안을 사용한다. 하지만 로봇의 구동 조건 및 산업현장의 환경에 따라 마모 양상이 달라 적절한 교체시기를 지정하기 어렵다는 한계점을 갖는다.

†E-mail: yjihuh@koreatech.ac.kr

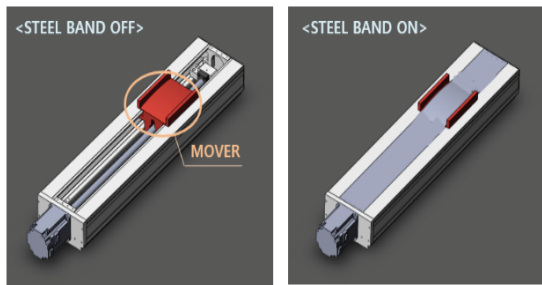


Fig. 1. The open and closed type cartesian robot.

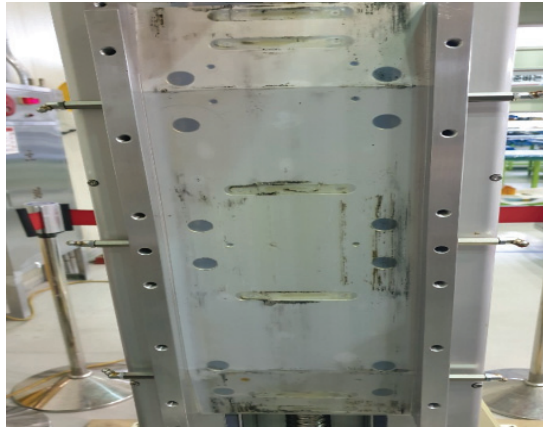


Fig. 2. Wear particle on mover.

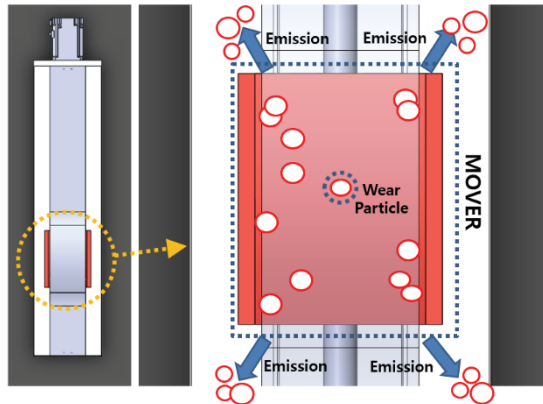


Fig. 3. Emission of wear particle.

본 논문에서는 실용TRIZ방법론인 6SC기법을 이용하여 스틸 밴드의 마모 입자 발생을 최소화 할 수 있는 해결방안을 선정하였고 실험을 통하여 해결 방안의 효과를 정량적으로 확인하였다.

## 2. TRIZ를 이용한 문제 해결 방안

실용 TRIZ 방법론인 6SC기법은 문제 해결 단계를 6단계로 나누어 문제의 해결 방안을 체계적으로 도출할 수 있다[2]. 6SC기법은 문제 영역 도식화, 시스템 기능 분석, 이상 해결책 가정, 모순과 분리 원리, 요소-상호작용 분석, 해결방안과 평가로 구성되어 있다.

### 2.1 문제 상황

무버가 이동하면서 스틸 밴드와의 접촉면에서 마찰이 일어난다. 마찰에 의해 스틸 밴드가 마모된다. 발생한 마모 입자는 반도체 장비를 오염시킨다.

### 2.2 문제 영역 도식화

문제가 되는 영역을 도식화하여 문제의 원인을 명확하게 표현하는 단계이다. 무버가 이동할 때, 무버와 접촉하는 부분의 스틸 밴드가 마모되어 마모 입자가 발생한다. Fig. 4에 무버가 이동할 때 스틸 밴드가 마모되는 문제 영역을 도식하였다.

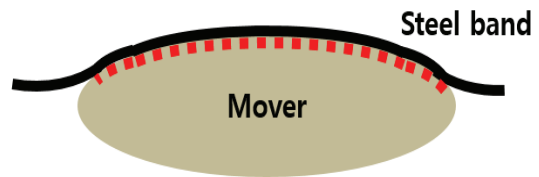


Fig. 4. The Problem area of steel band wear.

### 2.3 시스템 기능 분석

시스템 기능 분석은 문제 영역의 시스템 구성 요소들과 환경 요소들의 상호관계를 확인하여 유용한 기능(Useful Function), 유해한 기능(Harmful Function), 과도한 기능(Excessive Function), 부족한 기능(Insufficient Function)으로 정의하는 단계이다[3].

문제 영역의 시스템은 프레임, 축, 무버, 스틸 밴드로 구성되어 있다. 유익한 기능은 다음과 같다. 프레임은 축, 스틸 밴드를 지지하고 스틸 밴드는 로봇을 차폐한다. 유해한 기능은 다음과 같다 무버는 스틸 밴드에 마찰을 일으키고 스틸 밴드는 마모 입자를 발생시킨다. Fig. 5에 반도체 장비용 직교 로봇의 시스템 기능 분석도를 도식하였다.

유해한 기능을 확인하여 무버의 움직임에 의해 발생하는 마찰을 최소화하거나 마모 입자의 발생을 최소화하는 방법을 도출한다.

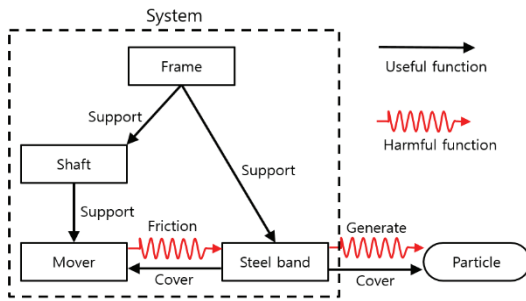


Fig. 5. Function analysis of the cartesian robot system.

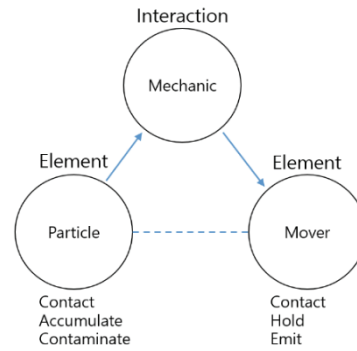


Fig. 6. Element-interaction analysis of particle and mover.

### 2.4 이상 해결책

이상 해결책은 유용한 기능을 보존하면서 유해한 기능을 제거하는 가장 이상적인 해결책을 의미한다. 스틸 밴드가 로봇을 차폐하면서 마찰 및 마모 입자가 발생하지 않는 것이 본 연구의 이상해결책이다.

### 2.5 모순과 분리 원리

#### 2.5.1 모순

모순은 관리적 모순, 기술적 모순, 물리적 모순으로 나뉜다[4]. 반도체 장비용 직교 로봇의 문제 상황은 물리적 모순[5]으로 표현할 수 있다. 물리적 모순은 한 개의 물리적 변수가 서로 상충되는 성질을 동시에 가져야 하므로 문제 상황은 다음과 같이 표현될 수 있다. 스틸밴드와 무버는 접촉하면서 접촉하지 않아야 한다.

#### 2.5.2 분리 원리

물리적 모순을 해결하기 위해 시간, 공간, 조건, 전체와 부분에 의한 분리를 사용한다. 이 중 공간에 의한 분리 원리를 활용하여 무버에 롤러를 배치하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이때 미끄럼 마찰을 구름 마찰로 전환하여 마찰을 줄일 수 있다. 또한 무버에 미세한 타공을 내어 공압을 주입하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이때 공기압 스틸 밴드를 띄워 마찰을 줄일 수 있다.

### 2.6 요소-상호작용

문제의 핵심 요소 두 가지와 그 둘의 상호작용에 집중하여 문제 상황을 해석하는 단계이다[6].

Fig 6에 핵심 요소인 마모 입자와 무버의 상호작용을 도시하였다.

마모 입자와 무버는 기계적 상호작용을 한다. 마모 입자의 경우 무버에 접촉하며, 축적되고 그리고 무버를 오염시키는 성분을 가지고 있다. 무버의 경우는 마모 입자와 접촉하며, 붙잡아두고 그리고 결국 방출하는 성분을 가지고 있다.

이때 무버의 방출하는 성분을 이용하여 마모 입자와 무버의 기계적 상호작용을 약화하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 무버에 경사와 배관을 구성하여 마모 입자의 방출 위치를 특정할 수 있다. 유도한 위치에 이물 받이를 설치하여 오염을 방지한다.

### 2.7 해결책과 평가

도출된 해결방안들을 종합하여 해결책을 선택하고 평가하는 단계이다. 모순과 분리 원리를 이용하여 무버에 롤러를 삽입하여 마찰력을 줄이는 방법, 그리고 무버에 공압을 주입하여 마찰을 줄이는 방법을 생각해냈다. 또한 요소-상호작용 분석 단계에서는 배관 및 이물 받이를 설치하는 방안을 고안해냈다.

세가지 해결안 중 가장 경제적인 방안은 롤러를 사용하는 방안이다. 롤러 모듈의 구매 가격이 공압 모듈 구매 가격과 배관 가공비보다 더욱 저렴하다. 또한 롤러는 다양한 크기의 로봇에 손쉽게 적용할 수 있는 반면에, 공압 모듈과 이물 받이는 소형 로봇에 적용하기 어렵기 때문에 실용적이지 못하다. 본 논문에서는 롤러를 삽입한 무버를 최종 해결안으로 채택하였다.

## 3. 실험을 통한 검증

### 3.1 실험 장비

마모된 스틸 밴드의 중량을 측정하기 위해 전자 저울을 사용하였다. 사용한 전자 저울은 Satorius사의 MSE224S-100-DU 모델이다. Table 1에 실험에 사용한 전자 저울의 사양을 정리하였으며, Fig 7에는 이미지를 도시하였다.

Table 1. Specification of cubis analytical balance

	Parameter	Conditions
1	Resolution	0.1mg
2	Repeatability	±0.07mg
3	Payload	220g(max.)



Fig. 7. The measuring equipment used in weighting steel Band.

### 3.2 해결 방안이 적용된 무버 제작

해결 방안의 성능을 평가하기 위해서 일반 무버와 해결안 무버를 제작하여 직교 로봇에 적용하였다. Fig. 8에 일반 무버의 모델링과 실제 제작된 모습을 도시하였다.

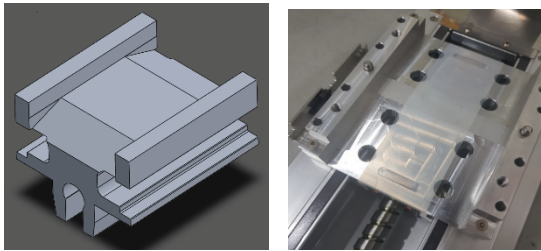


Fig. 8. The standard type mover.

해결 방안이 적용된 무버에는 2줄의 롤러가 장착되어 있다. Fig. 9에는 해결안 무버의 모델링과 실제 제작된 모습을 도시하였다.

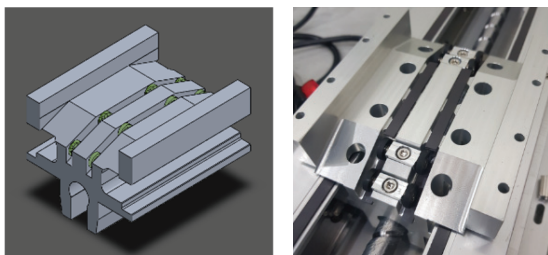


Fig. 9. The solution type mover.

### 3.3 실험 방법

일반 무버와 해결안 무버를 장착한 로봇을 각각 구동하였다. 무버는 볼스크류에 취부 되어 왕복 직선운동을 수행한다. 볼스크류의 리드는 20mm, 모터샤프트의 회전

수는 3000rpm으로 왕복 직선 운동의 최대 속도는 1000mm/sec이며 60일간 구동하였다.

전자 저울을 이용하여 구동 전의 스틸 밴드의 무게와 구동 후의 스틸 밴드의 무게를 측정했다. 측정한 무게의 차이는 스틸 밴드에서 탈락한 마모 입자의 무게이며 이는 마모량이다.

Table 2에 로봇의 구동 조건을 도시하였다.

Table 2. Specification of robot

	Parameter	Conditions
1	Stroke	400 mm
2	Acceleration time	0.3 sec
3	Velocity	1,000 mm/sec
4	Motor	200W

### 3.4 실험 결과

실험을 통해 스틸 밴드에 마모가 발생하였으며 적용한 무버에 따라 마모 범위 및 유형이 서로 다름을 확인하였다.

적용한 무버에 따른 마모 범위의 차이는 다음과 같다. 실험 전 스틸 밴드는 Fig. 10에 도시한 모습과 같이 흠집이 없는 깨끗한 상태이다. 그러나 일반 무버를 적용한 로봇의 구동 후에는 Fig. 11처럼 넓은 범위에 마모가 발생하였다. 이는 무버 위에 스틸 밴드가 얹혀져 서로 접촉하는 면적이 넓기 때문이다. 그리고 해결안 무버를 적용한 로봇의 구동 후에는 Fig. 12처럼 2열의 좁은 범위에서 마모가 관찰 되었다. 이는 스틸 밴드가 좁은 폭의 롤러에만 접촉하기 때문이다.

또한 적용한 무버에 따라 마모 유형에 차이가 있음이 발견되었다. 해결안 무버를 적용한 실험에서는 스틸 밴드에 스크래치가 발생하지 않았으나 일반 무버를 적용한 실험에서는 스틸 밴드에 많은 스크래치가 발생하였다. 이는 일반 무버를 적용한 실험에서는 스틸 밴드 마모 입자가 무버 표면에 축적되는 문제점이 있는데, 이것이 무버 표면을 고르지 못하게 만들기 때문인 것으로 보인다.

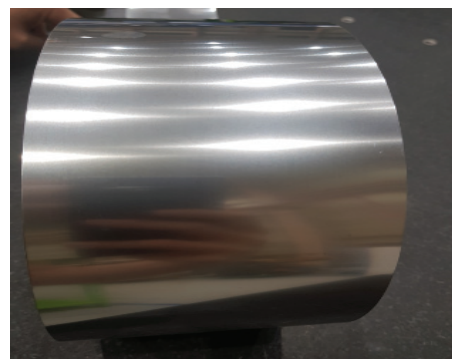


Fig. 10. The clean steel band before the experiment.



Fig. 11. The steel band worn by normal type mover.

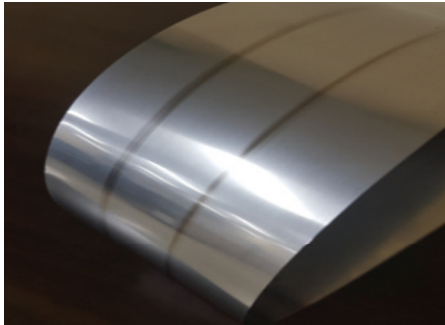


Fig. 12. The steel band worn by solution type mover.

Table 3. Steel band weight measured in experiment

	Steel band weight (Before experiment)	Steel band weight (After experiment)	Wear amount
1	50.7092g	50.2905g	0.4187g
2	50.5791g	50.5715g	0.0076g

Table 3에는 구동 전후 스틸 밴드의 무게와 그 차이인 마모량을 정리하였다. 1번 행은 일반 무버 적용시 스틸 밴드의 측정 결과이며 2번 행은 해결안 무버 적용시 스틸 밴드의 측정 결과이다.

일반 무버를 적용했을 때의 스틸 밴드 마모량은 0.4187g이며 마모율은 0.825%이다. 해결안 무버를 적용했을 때의 스틸 밴드 마모량은 0.0076g이며 마모율은 0.015%이다. 이때 마모량은 구동 전 스틸 밴드의 무게와 구동 후 스틸 밴드의 무게의 차이이며, 마모율은 구동 전 스틸 밴드의 무게 대비 마모량의 비율이다.

실험을 통해 약 55배의 마모율 차이를 관찰하였으며 이를 통해 해결안 무버에 적용된 2열의 롤러가 마모율을 현저하게 줄일 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 반도체 장비용 직교 로봇의 스틸 밴드 마모로 인한 문제를 개선하기 위해 TRIZ를 이용하여 해

결안을 고안하였다. 또한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 6SC를 이용하여 문제를 해결할 수 있는 세가지 아이디어를 고안해냈다. 첫번째는 롤러를 삽입하는 방법, 두번째는 공압을 이용하는 방법, 세 번째는 배관 가공과 이물 받이를 이용하는 방법이다. 도출한 개선안 중 가장 경제적이고 실용적인 방안은 롤러를 삽입하는 방법이다.
2. 실험을 통하여, 일반 무버와 해결안 무버를 적용하였을 때 관찰한 스틸 밴드의 마모율은 각각 0.825%와 0.015%로 그 차이는 55배이다. 해결안 무버를 통해 마모율을 현저하게 줄일 수 있다.

#### 참고문헌

1. Chae Hun An, Jeong Hee Choi, Joon Soon Park and Min Su Park, "A Review of Experimental Evaluation Method to Floor Environment Vibration Criteria for Semiconductor and Display Equipment," J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 20, No.1 pp. 25-31, 2021.
2. Song-Yeon Lee, Yong Jeong Huh and Jong Soon Park, "A Study on Warpage Reduction of FDM 3D Printer Output Using TRIZ Method," J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 15, No.2 pp. 1-5, 2016.
3. Song-Yeon Lee and Yong Jeong Huh, "A Study on Manufacturing Condition of PLGA Scaffold Using 3SC Practical TRIZ and Design of Experiments," J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 17, No.4 pp. 70-75, 2018.
4. Song-Yeon Lee and Yong Jeong Huh, "A Study on Problem Solving of 3D Printing Production of Scaffold Using ADRIGE TRIZ Algorithm and DOE," J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 18, No.2 pp. 92-97, 2019.
5. Jong Hyeong Kim, Hyung-jik Kim, Jae Nam Jung, Dong-hee Jang and Hyuk-dong Kwon, "Portable-size Drone Design Using TRIZ Method," J. of the Korean Society for Manufacturing Technology Engineers Vol. 26, No. 2, pp. 230-237, 2017.
6. Sa Hwan Leem, Seong Do Hong and Yong Jeong Huh, "A Study on the Creative Design of Solar Flower using TRIZ(6SC)," J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 10, No.2 pp. 19-23, 2019.

접수일: 2021년 9월 7일, 심사일: 2021년 9월 14일,  
게재확정일: 2021년 9월 16일