

초정밀 평면 X-Y스테이지의 최적 설계

조웅[†] · 고현준* · 김종형**

Optimal Design of a Ultra-precision Planar X-Y Stage

Woong Cho, Hyun-Jun Ko and Jong-Hyeong Kim

KeyWords: FEM(유한요소법), Gantry Stage(정밀 스테이지), Optimal Design(최적 설계)

Abstract

Bridge is Most from stay of Gantry structures part. In compliance with oneself weight of the bridge deflecting, this occurs drops the location precision of the work tool. Also accelerative at the time of gives a serious load to Y axial motors which transfer the bridge damages. The motor with high-speed transfer of location control which is accurate makes disrupt. The malleability of the bridge to maintain consequently and necessary to minimize a weight. This paper the structural FEM interpretations of the stone and the aluminum alloy with the material by which will be used in the bridge and static deflected and a candle precise plane X-Y stage optimal design with character the interpretation result.

1. 서론

최근 정보통신, IT 및 바이오산업 등을 중심으로 수내지 수십 나노급의 초정밀 위치결정 시스템에 대한 수요가 증가하고 있으며, 시스템의 요소기술 및 이를 조합하는 기술 개발이 절실하게 요구되고 있다. 또한 디스플레이 시장을 중심으로 작업면적이 큰 대형 스테이지에 대한 수요가 급증하고 있으며, 점차 높은 위치정밀도를 요구하고 있다. 이와 같은 요구를 동시에 만족하기 위해서는 나노급 초정밀 스테이지의 개발이 필요하다.

종래의 기계 가공방법이나 대면적 초정밀 스테이지를 이용한 에너지 빔 가공, 포토 리소그래피, 초정밀 측정기 등의 고정도를 실현하기 위해서는 초정밀 위치결정기술이 필수적이다. 초정밀 위치결정기술은 현존하는 다양한 이송운동 메카니즘 가운데 최고의 정밀도를 구현할 수 있는 선별된 메카니즘으로 이송시스템의 각 요소가 구성되고 구축된 이송시스템에 대해 최적의 제어기법을 적용하여 이송방향을 제외한 이송체의 5자유도 자세를 가능한 한 일정하게 유지하면서 목표위치에 정확하고 신속하게 도달시킬 수 있는 기술을 일컫는다.

이러한 스테이지와 관련한 연구들로는 Tusda 등은 5자유도를 가지는 자기부상 시스템을 구성하여 1 μ m급의 정밀도를 달성하고 있다.[1] Busch는 반도체 장비의 검사용 프로브에 적용하기 위한 2자유도의 위치결정기구를 개발하였다.[2] Trumper는 정밀한 자기베어링을 이용한 스테이지

† 책임저자, 서울산업대학교 산업대학원 기계설계학과

E-mail : likew@freechal.com

TEL : (02)973-6357 FAX : (02)973-6357

* 서울산업대학교 나노.마이크로로봇시스템

** 서울산업대학교 기계설계자동화공학부

를 개발하여 포토리소그래피(Photo-lithography)에 응용을 시도하였다.[3] 이 시도는 기존의 기계적인 베어링을 이용한 웨이퍼 스테이지를 대체할 자기부상방식 스테이지 연구의 시발점이 되었다. Kim은 6자유도를 가지는 자기부상 스테이지를 개발하였고 Holmes는 이동범위가 큰 스캐닝 스테이지를 개발하여 서브나노미터의 위치정밀도를 구현하였다.[4]

현재 FPD 분야에 적용되어 있는 스테이지는 대부분이 두 축은 석정반에 부착되고 그 위를 가로지르는 브리지를 가지는 Gantry 구조를 가장 많이 사용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 FPD 분야에서 사용할 수 있는 1 μ m급 Gantry 구조를 가지는 초정밀 X-Y 평면 스테이지를 설계하고 제작하였다. 각 요소들의 부품을 선정하고 Gantry 구조를 가지는 스테이지에서 가장 중요한 부분인 브리지(bridge)부를 재료별로 FEM 해석 프로그램인 ANSYS Inc.의 Work Bench 10.0을 사용하여 브리지부의 정적 처짐을 구하였다.

2. 각 요소 부품 선정

스테이지의 구성 요소로는 크게 구동부, 안내부, 측정부와 제어부가 있다. 본 연구에서는 구동부와 안내부만을 다룬다.

2.1 구동부의 선정

구동 기구는 각종 에너지로부터 동력을 만들어 내서 직선운동이나 회전 운동 등의 기계적 에너지로 변화시키는 장치를 말한다. 일반적으로 수십 mm 이상의 이송거리를 요구하는 곳에서는 전기적 구동장치인 로터리 모터나 리니어 모터를 사용하게 된다. 로터리 모터는 회전 운동을 하기 때문에 직선운동을 하기 위해서는 반드시 볼스크류와 함께 사용하였었다. 그러나 볼스크류 타입은 구동계의 마찰과 탄성변형에 기인한 back-lash 및 lost motion이 존재하여 위치 결정 오차가 발생하기 때문에 이러한 단점들을 보완한 리니어 모터를 사용한다.

2.2 안내부의 선정

안내기구는 이송테이블의 운동정도를 책임지는 구성요소로서 운동방향을 제외한 5자유도에 대한 자세 변화가 없이 정밀하게 구속되어야 한다. 이

운동 정도는 크게 안내기구의 마찰 특성과 부하 능력에 크게 좌우된다. 안내 방식으로는 미끄럼 안내방식, 공기나 기름을 이용한 정압 안내기구와 직선 운동용 베어링으로 대표적인 LM 가이드가 있다. 본 연구에서는 고강성, 고속성을 갖추고 클린룸이라는 환경에 적합한 기구인 LM 가이드를 안내 기구로 사용하였다.

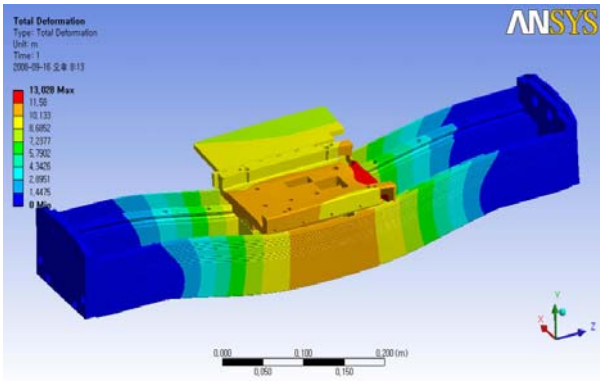
3. 브리지 부의 유한요소해석 및 최적 설계

3.1 브리지 부의 유한요소해석

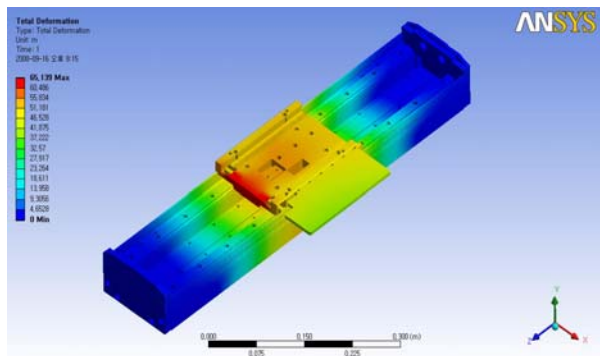
Gantry 구조의 스테이지에서 가장 중요한 부분은 브리지이다. 브리지에 작업 툴(tool)을 장착하고 작업을 하게 되는데 작업 툴의 무게와 브리지 자체의 무게로 인하여 처짐이 발생하게 되어 위치 정밀도 감소를 유발하고 Y축 모터에 감가속 시 심한 부하를 주어 모터의 손상을 유발하며 고속 이송과 정확한 위치 제어도 방해하게 된다. 따라서 브리지의 강성은 유지하면서 중량을 최소화하는 것이 필요하다. 이에 브리지의 재질 별로 FEM 해석을 진행하여 최적의 재료를 구하고 브리지의 재료에 따른 정적 처짐을 구하였다. 먼저 재료로서 구조강(structural steel), 석재(granite), 알루미늄 합금(aluminum alloy)을 사용하였다. FEM 해석 프로그램은 ANSYS 사의 상용프로그램인 Work Bench 10.0을 사용하여 정적 처짐 해석을 진행하였다. Table 1.은 각 재료별 주요 물성치와 자중에 의한 처짐을 나타내고 있다.

Table 1. A part of material property

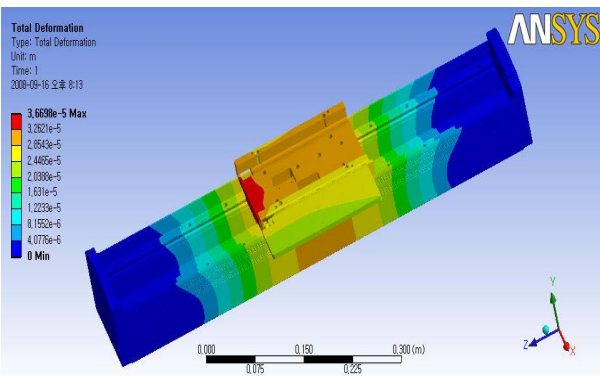
	Structural Steel	Granite	Aluminum Alloy
Young's Module (GPa)	200	40	71
Density (kg/m ³)	7850	2660	2770
Part Mass(kg)	17.912	5.215	6.122



(a) Structural Steel



(b) Granite



(c) Aluminum Alloy

Fig. 1 Total deformation

Table 2. A part of Deflection

	Structural Steel	Granite	Aluminum Alloy
Deflection (mm)	13	65	3.67

이번 유한요소해석에서 가장 중요한 것이 하중 조건과 구속 조건을 결정하는 것이다. 하중 조건은 브리지의 자중과 작업 툴을 지지하는 지그 무게 3.43kg, 측정 장비인 API의 무게 0.63kg을 합한 의 값이고, 구속 조건은 브리지의 지지를 받는 양쪽 끝단 부분으로 정하였다.

Fig. 1에서 FEM 해석의 각 재료별 처짐의 결과를 그래프로 나타내었고 Table 2에서 도식적으로 보여주었다. Fig. 1의 (a)는 구조강, (b)는 석재, (c)는 알루미늄 합금의 처짐량을 보여준다. 처짐량을 살펴보면 구조강이 이고 석재는 이며 알루미늄 합금은 3.67mm로 가장 적은 처짐량을 가짐을 알 수 있었다. 중량을 살펴보면 석재가 5.125kg으로 가장 가벼웠으며 알루미늄 합금은 6.122kg으로 석재와 별반 차이가 없고 구조강이 17.912kg으로 가장 중량이 많이 나간다는 것을 알 수 있었다. 따라서 중량은 석재보단 많이 나가지만 큰 차이는 없고 처짐이 가장 좋은 알루미늄 합금을 브리지 부의 재료로 사용하는 것이 가장 타당함을 알 수 있었다.

3.2 브리지 부의 최적 설계

최적 설계는 시스템에 악영향을 미치는 변동의 원인을 제거하는 것이 아니라 그 영향을 최소화하여 시스템의 성능을 향상시키는 획기적인 방법이다.[5] 이번 절에서는 3.1절에서 해석한 결과를 토대로 브리지의 최적 설계를 진행하였다. 브리지는 전체 길이가 680mm이고 직사각형의 형상을 취하고 있으며 가로 변의 길이가 135mm, 세로 변의 길이는 30mm이다. 그리고 아랫면이 Y축 위에 접지 되어있고 재질은 유한요소해석을 바탕으로 알루미늄 합금을 사용하여 Fig. 2와 같은 형상을 설계할 수 있었다.

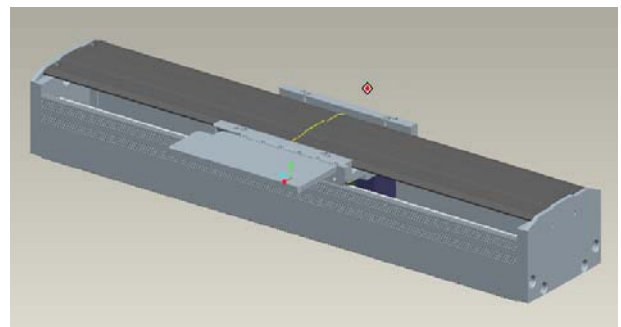


Fig. 2 A schematic of bridge

4. 전체 조립도

위에 선정된 기계 요소들을 기초로 하여 Fig. 3과 같은 스테이지를 설계하였고 Fig. 4와 같이 제작을 하였다. X축 방향의 브리지 부인 리니어 모터와 브리지를 받치는 Y축 방향인 리니어 모터 2대로 550mm X 450mm 이송을 할 수 있는 스테이지를 설계하였다.

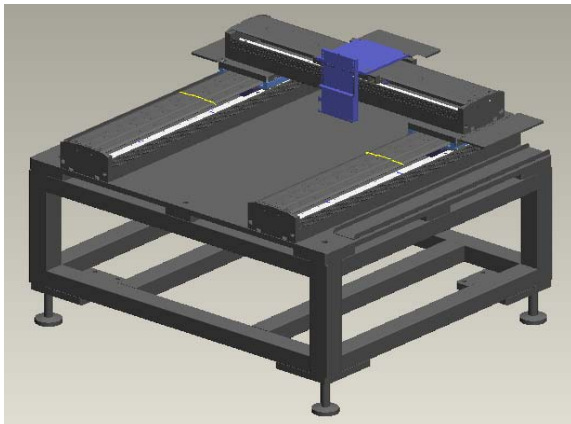


Fig. 3 X-Y Stage Modeling

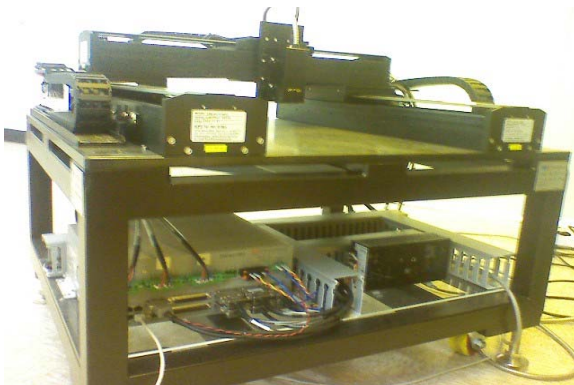


Fig. 4 X-Y Stage

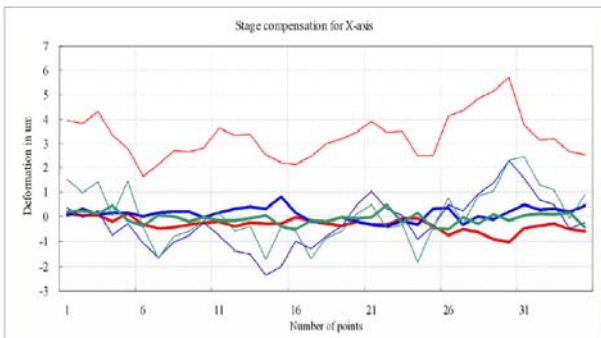


Fig. 5 Stage Compensation for X-axis

설계 프로그램은 PRO-E Wildfire 2.0을 사용하였다. 그림에서 파란 색 부분으로 표시한 부품이 작업 툴을 지지하는 지그 부분으로 알루미늄 합금을 가공하여 제작 되어질 것이다.

측정부와 제어부는 상용 시스템인 (주)옵토다이 나믹스사의 API라는 제품으로 정밀 위치 측정을 시행하고, (주)원택오토메이션사의 ACS제어기를 사용하여 1 μ m급의 제어를 담당하였다.

구동은 먼저 API로 정밀 위치 측정을 하여 받아진 측정 데이터를 바탕으로 ACS제어기에 되먹임 제어를 하여 실시간으로 측정 및 보정이 가능하도록 시스템을 설계 및 제작하였다.

Fig. 6은 정밀 평면 X-Y 스테이지의 위치 결정도를 보여주기 위한 그래프를 나타내었다. 그래프에서 보면 가는 선들은 보정 전을 나타낸 것이고 굵은 선은 초기 측정 후 30분이 지난 뒤의 보정 상태를 나타낸 것이다. 적색의 가는 선은 보정 전 최대 5.8 μ m의 변형을 보였으나 보정 후 적색의 굵은 선으로 표시한 것처럼 최대 1 μ m의 변형이 있는 보정 결과를 보였다. 다음 날 실험한 녹색 선은 보정 전 최대 2.5 μ m의 변형이 있었으나 보정 후 최대 0.5 μ m로 보정되었고 그 다음에 실험한 파란색 선은 보정 전 최대 2.4 μ m의 변형을 보였으나 보정을 실행한 결과 0.8 μ m로 보정이 되었음을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 1 μ m급의 초기 위치에서 목적위치로의 정밀 위치를 달성하는 스테이지의 최적 설계를 제안하였다. 제안한 결과를 토대로 초정밀 평면 X-Y스테이지를 설계하였고 제작하여 실제 위치 정밀도가 1 μ m이하로 떨어지는지 확인하였고 그 결과 스테이지의 안정성과 정밀도가 목표 정밀도에 달성하였음을 확인하였다.

추후 이 스테이지를 활용하기 위하여 실제 현장에서 쓰이는 작업 툴을 부착하여 불확실성을 가진 변수에 대한 연구를 통해 현장에 적용할 수 있도록 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구는 서울산업대학교의 서울시 기술기반 구축 사업인 “3D Microsystem packaging을 위한

접합공정 및 장비개발”의 지원을 받았음.

참고문헌

1. M., Tsuda, T., Higuchi and S., Fujiwara, 1992, "Magnetic Levitation Servo for Flexible Assembly Automation", *The International Journal of Robotics Research*, Vol.11, No.4, pp.329-345
2. I., J., Busch-Vishniac, 1995, "Magnetically Levitated Automated, Contact Analytical Probe Tool", *Journal of IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, Vol.18, pp.72-78
3. D., L., Trumper et al, 1991, "Precision Magnetic Suspension Linear Bearing", in *NASA International Symposium on Magnetic Suspension Technology*, pp.89-103,
4. W., J., Kim, 1997, "High-Precision Planar Magnetic Levitation", Ph.D. *Dissertation*, *Massachusetts Institute of Technology*,
5. J., Huh, B., C., Jung, T., Y., Lee and B., M., Kwak, 2006, "A Study on the Robust Optimal Supporting Positions of TFT-LCD Glass Panel", *KSME(A)*, Vol. 30, No. 8, pp.1001-1007