

진공용 3 자유도 얼라인먼트 스테이지 개발

박희재(서울대 기계공학부), 박종호*(서울대 대학원 기계공학부),
한상진(서울대 대학원 기계공학부)

Development of Three D.O.F. Alignment Stage for Vaccume Environment

H. J. Pahk(School of Mech. Eng., SNU), J. H. Park *(School of Mech. Eng., SNU),
S. J. Han(School of Mech. Eng., SNU)

ABSTRACT

Alignment system is a system to locate an object to it's accurate position in multi-d.o.f space. According to process of application, it is needed to align an object in 3 or 6 d.o.f. space. And alignment system is used in various environments. Especially in PDP application, alignment process is carried out in vaccume environment. In this paper, we developed 3 d.o.f alignment system for vaccume environment, performed kinematic analysis and improved it's positional accuracy.

Key Words : Alignment system(얼라인먼트 시스템), 3 D.O.F. stage (3자유도 스테이지), Vaccume chamber(진공 챔버), Link mechanism(링크구조), Parallel link(평행 링크). Error compensation(오차보정)

1. 서론

국내의 PDP생산이 급속도로 증가하면서 PDP생산을 위한 설비투자 또한 증가하고 있다. 얼라인먼트 시스템은 PDP생산 장비중 필수적인 생산장비의 하나이며 얼라인먼트 시스템의 수요 또한 증가하고 있다. 그러나 대부분의 생산설비는 국내에서 조달하지 못하고 있는 상황이다. 얼라인먼트 장비 또한 국내에서 조달하는데 있어서 어려움이 많다. 이러한 얼라인먼트 시스템의 개발은 국내 PDP생산 증가 뿐만 아니라 국내 PDP생산장비의 발전에 기여함으로써 PDP생산 증가에 상응하는 PDP생산 장비의 개발과 생산장비 국산화의 측면에서, 균형적인 PDP산업의 발전에 이바지할 수 있을 것이다.

얼라인먼트 시스템은 다자유도 공간상에서 물체의 정확한 위치를 잡아주는 역할을 수행하며, 얼라인먼트가 적용되는 공정에 따라서 3자유도 내지는 6자유도의 다자유도 공간에서 동시에 위치 제어가 수행되어야 한다. 얼라인먼트 시스템은 다양한 환경하에서 사용되며, 특히 PDP생산공정에서는 진공 환경에서 사용된다. 따라서 본 연구에서는 진공용 얼

라인먼트 시스템을 개발하고자 한다. 이러한 기술의 개발은 비단 PDP생산장비 뿐만이 아니라 얼라인먼트가 수행되는 다른 분야에서도 널리 적용될 수 있다.

2. 얼라인먼트 스테이지의 설계 및 제작

평면상에서 얼라인먼트를 수행하기 위해서는 3자유도의 스테이지 운동이 필요하므로 최소 3개의 구동기가 필요하다. 또한 본 연구개발의 얼라인먼트 위치 분해능은 $\pm 5\mu\text{m}$ 이며, 최대 구동량은 약 10mm 정도 이므로 볼스크류와 스텝모터를 이용하여 스테이지를 구동하도록 하였다.

개발하고자하는 얼라인먼트 스테이지는 스텝모터를 이용하여 구동하게 되어 feedback loop를 형성하지 않으므로 알고리즘을 통한 스테이지 강성향상이 불가능하다. 따라서 얼라인먼트 메커니즘의 최대 부하 및 토크는 모터와 운동전달 메커니즘에 의해서만 결정되어지게 되므로 얼라인먼트 스테이지의 구조를 간단히 해주어야 한다.

스텝모터-볼스크류 스테이지에서 발생된 직선운

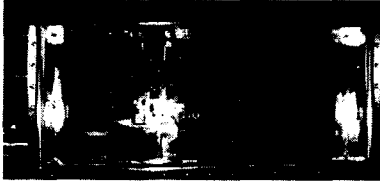


Fig. 1 Alignment stage

동은 링크 기구를 통하여 얼라인먼트 스테이지로 전달되며, 링크기구 3개를 이용하여 3자유도의 평면운동을 얻을 수 있도록 하였다. 그림 1은 설계 제작된 3자유도 얼라인먼트 스테이지의 내부 모습이다.

링크구조는 lucas pivot을 이용하였으며, lucas pivot은 탄성힌지의 일종으로 부드럽고 연속적인 구동이 가능하며, 일정 하중내에서는 수명이 영구적이다. 또한 탄성 변형에 의하여 운동을 구현하므로 베어링을 사용할 경우와 비교하여 가공 및 조립공차에 의한 백래시 등의 요인을 제거할 수 있다. 뿐만 아니라 주변의 기계 요소들이 한 몸으로 구성되어 있어서 온도가 변할 경우 발생할 수 있는 예하중의 변화 및 기구 간섭등을 방지할 수 있다. (그림2)

베어링과 비교할 경우 최대 허용 하중이 작은 단점은 있으나 본 연구에서 개발한 얼라인먼트 스테이지는 lucas pivot에 큰 하중이 전달되지 않도록 하중의 방향과 스테이지의 구동 방향이 분리되도록 설계하여 lucas pivot의 장점을 살릴 수 있도록 하였다.

얼라인먼트 스테이지는 고진공과 고온의 환경에서 얼라인먼트 작업을 수행하게 된다. 일반적인 모터의 온도 상한선은 모터의 표면온도가 100℃이내이며, 대기 온도가 65℃이내 이어야 모터를 안정적으로 사용할 수 있다. 따라서 모터의 온도가 올라가지 않도록 조절해주어야 한다.

구동 메커니즘은 모터, 볼스크류와 shaft guide를 사용하였으므로 윤활이 반드시 필요하다. 따라서 이러한 조건에서는 진공내에서 사용이 불가능하므로 진공 챔버 내에서 모터를 포함한 구동 메커니즘을 사용할 수 있도록 얼라인먼트 챔버를 제작하여 구동 기구를 모두 챔버 속에 위치하도록 하였다. 따라서 진공중에서의 봉착 배기 공정에 무리가 없도록 전체 진공 챔버의 진공도를 유지할 수 있으며, 모터를 사용할 수 있는 환경을 얻을 수 있다.

얼라인먼트 챔버에 의하여 챔버의 외부와 내부가 완벽하게 격리되며, 모터의 구동 운동이 진공중의 얼라인먼트 스테이지에 전달되기 위해서는 자유롭게 움직일 수 있으며 틈새가 없는 탄성체가 필요하다. 따라서 세 개의 모터에서 발생하는 X, Y, θ 축의 구동 변위가 스테이지로 전달될 수 있도록 벨로우즈를 사

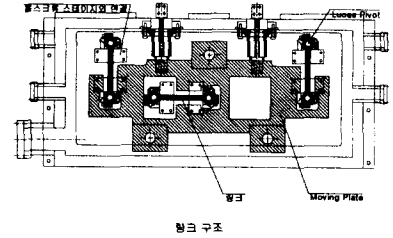


Fig. 2 Link mechanism of alignment stage

용하였다. 벨로우즈는 그림 2에서의 moving plate에 용접이 되어 있으며, 챔버의 벽면과는 플랜지를 통해서 연결하도록 하여 고진공을 유지할 수 있으며, 조립 및 분해가 가능하도록 하였다.

스테이지의 얼라인먼트 작업은 거대한 진공 챔버 내에서 이루어지며, 최대온도가 350℃ 이상으로 상승하게 된다. 스테이지에 radiation으로 가해진 열은 스테이지의 금속 frame을 통해서 얼라인먼트 챔버로 전달되며, 얼라인먼트 챔버 내에는 스텝모터가 작동하고 있으므로 열원으로 작용하게 된다. 이러한 방식으로 전달 및 발생된 얼라인먼트 챔버의 열은 진공 환경으로 인하여 외부로의 유출이 극히 제한되어 있다. 따라서 원활한 모터의 작동 및 메커니즘의 보호를 위해서 강제적으로 얼라인먼트 챔버의 온도를 낮추어야 한다.

얼라인먼트 챔버내부의 온도를 낮추는 방식은 두 가지를 병행하기로 하였다. 첫 번째로는 350℃에 이르는 얼라인먼트 스테이지로 부터의 열량 유입을 막기 위하여 스테이지 방향의 얼라인먼트 챔버 외벽에 강제로 냉각수를 흘려보내 주어서 얼라인먼트 챔버 내로의 열량 유입을 차단하는 방법이며, 또 다른 한 가지는 내부로부터 발생하는 모터의 발열로 인한 온도 상승을 막기 위하여 얼라인먼트 챔버 내부로 냉각 공기를 불어넣어서 얼라인먼트 챔버내부에 강제 대류에 의한 냉각이 이루어지도록 하는 방법이다. 이러한 냉각방식이 구현되도록 얼라인먼트 챔버에는 냉각수와 냉각 공기의 유입 및 배출을 위한 플랜지를 설치하여 설치하여 호스를 통해 외부와 연결되도록 하였다. 스텝모터를 구동하기 위하여 electrical-feedthrough를 이용하며, electrical-feedthrough를 연결하기 위한 플랜지를 설치하였다. (그림 3)

링크 구조에 의한 3자유도 운동의 구현은 X-Y평면에서의 자유도와 연관을 가지므로 X-Y평면 이외의 자유도 운동은 발생해서는 안된다. 따라서 X-Y평면 이외의 운동이 발생되지 않도록 그림 4의 moving plate 양면에 트러스트 베어링의 내륜을 배치하여, 평면운동만 가능하도록 하였다.

4. 구동 실험

4.1 오차측정

제작된 스테이지의 정밀도 측정을 위하여 Renishaw사의 레이저 인터페로미터(분해능:10nm)를 이용하여 성능평가를 수행하였다. 실험은 실제 구동 범위(5mm)에 대하여 10회 왕복운동하였다.

Table 1 Positional accuracy(before error compensation)

	X axis	Y axis	Rotation
Range	$\pm 2.5\text{mm}$	$\pm 2.5\text{mm}$	$\pm 8\text{mrad}$
Accuracy	$4.6\mu\text{m}$	$8.8\mu\text{m}$	0.08mrad
Repeatability (3σ)	$2.4\mu\text{m}$	$2.3\mu\text{m}$	0.006mrad

정밀도의 측정결과 개발목표의 $\pm 5\mu\text{m}$ 범위를 약간 넘어서나 반복정도(3σ)는 $2.5\mu\text{m}$ 이내로 나왔다. 실험결과는 반복정밀도가 우수하게 나오며, 이것은 지배적인 위치 오차가 계통오차임을 의미한다. 따라서 위치오차 보정 기술에 의거 계통오차 성분을 제거할 수 있다. 계통오차는 반복적으로 발생하는 오차를 지칭하며, 스테이지 가이드의 형상오차 및 백래시등의 요인으로 발생한다.

4.2 오차보정

계통오차를 줄이기 위하여 오차맵을 구성하고 오차 보정량을 계산하여 위치오차 측정을 수행하였다. 오차 보정을 통한 스테이지의 위치정밀도는 x, y 방향으로 $\pm 2.0\mu\text{m}$ 이하이고, θ 방향으로는 $\pm 1.5 \times 10^{-2}\text{mrad}$ 이하의 수준으로 향상되었다.

5. 결론

볼스크류와 스텝모터를 이용하여 3자유도 열라 인던트 스테이지를 제작하였다. 볼스크류의 직선운동으로부터 3자유도운동이 가능하게 하기 위하여 Lucas Pivot을 이용한 링크 구조를 적용하였고, 고진공, 고온의 환경에서 작동할수 있도록 열라인던트 챔버를 구성하였다.

스테이지 구동 알고리즘 및 보정 알고리즘을 개발하였다. 스테이지의 정밀도 측정을 통해서 반복정밀도(3σ) $2.5\mu\text{m}$ 이하의 정도로 위치 결정이 가능함을 보였으며, 계통 오차 성분의 보정을 통해서 x, y 방향으로 $\pm 2.0\mu\text{m}$, θ 방향으로 $\pm 0.015\text{mrad}$ 의 위치 정확도를 얻었다.



Fig. 8 Alignment system with laser optics.

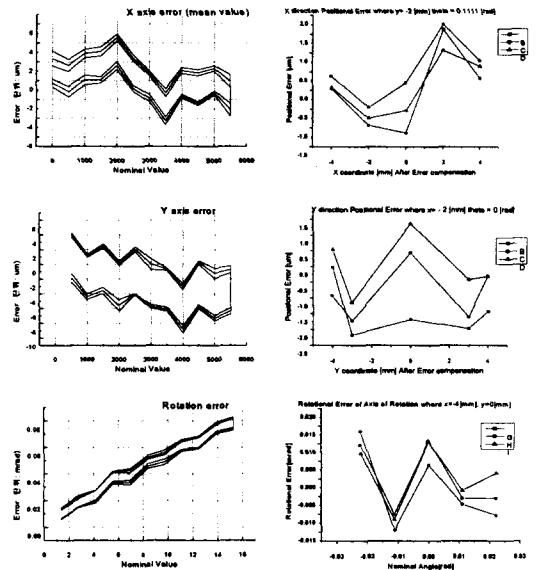


Fig. 9 Measured error(left) and its compensated value(right)

참고문헌

1. 류길하, 조병관, "6자유도 병렬형 로봇 매니플레이터의 기구학적 해석," 한국정밀공학회지, 제12권, 제5호, pp. 149-156, 1995.
2. K.M.Lee, D.K.Shah, "Kinematic Analysis of a Three Degree of Freedom In-Parallel Actuated Manipulator", IEEE Conference of Robotics and Automation, pp. 345-350, 1987
3. 이계영, 한창수, "미세구동을 위한 3자유도 병렬식 매니플레이터 개발에 관한 연구," 한국정밀공학회 97년도 추계학술대회논문집 pp. 1067-1070, 1997.
4. Hung-Kang Jan, Chong N. Chu, and C. Richard Liu, "A Configuration Independent Error Model of Machine Tools : Hyperpatch Model and Metrology Pallet," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol 9, pp. 201-210