

공차가 초정밀위치결정기구의 성능저하에 미치는 영향에 대한 연구

A study on performance degradation of precision nanopositioning devices caused by tolerances

*#허재성¹, 김기현², 강동우³, 곡병만⁴

*#J. S. Huh(jshuh@kari.re.kr)¹, K. Y. Kim², D. W. Kang³, B. M. Kwak³

¹한국항공우주연구원 회전익기사업단, ²특허청, ³삼성전자, ⁴한국과학기술원

Key words : Nano-positioning system, Performance degradation, Parasitic motion, Tolerance,

1. 서론

초정밀 위치결정 시스템은 다양한 산업 분야에서 필수적이며 중요한 기술이며, 설계 요구조건 역시 매우 까다롭다. 그래서 관련 공차도 엄격하게 관리를 하나, 조립체의 경우는 엄격히 제한된 공차가 누적되어 성능에 악영향을 미칠 개연성이 있다. 본 연구에서는 조립체 형식인 초정밀위치결정기구에서 각 구성품의 정밀 공차에 의한 성능 저하에 대해 연구하고자 한다.

2. 해석 모델

본 연구에서 고찰하고자 하는 초정밀위치결정기구(Nano-positioning system)는 그림 1 과 같은 100mm x 100mm x 50mm 크기의 시편 스캔용 XY-stage 이며, 2mm(±1mm)의 운행범위, 10nm 의 분해능과 기생운동(parasitic motion) 최소화 구현한 시스템이다.

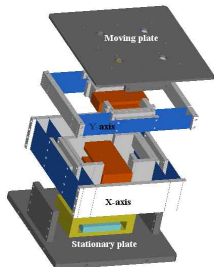


Fig. 1 Description of the XY stage

이러한 XY-stage 의 성능에 공차가 미치는

영향을 분석하기 위해서는 그림 2 와 같은 유한요소모델을 구성하였으며, 시험 데이터와 해석 결과와의 비교 및 검증은 완료되었다. [1]

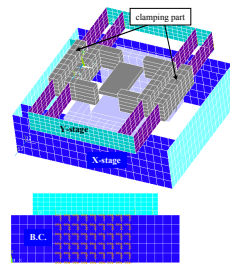


Fig. 2 Finite element model

3. 공차의 영향성 분석

그림 1 의 XY-stage 는 기생운동을 기구학적으로 제거하기 위해 그림 3 처럼 이중복합 선형 스프링(double compound linear spring) 구조를 채택하였다. 일반적으로 판 스프링 유연기구는 줄 방전가공을 사용해 단일체로 제작하는 것이 일반적이나, 큰 구동 범위를 얻기 위해 두께가 얇은 판 스프링을 사용하여 그림 3 과 같은 조립체로 제작되었다.

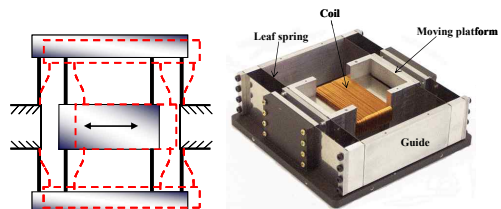


Fig. 3 Design concept and manufactured X-stage

본 연구에서는 이러한 조립체를 구성하는 판 스프링의 두께, 판스프링을 연결하는 양측면의 가이드 부품의 길이에 대한 공차가 XY-stage의 기생운동에 미치는 영향에 대해 분석하고 하며, 이를 위해 표 1 과 그림 4 와 같은 치수의 공차를 변수로 고려하고자 한다. 분석에 앞서 표 1 의 평균에서 제작공차가 [-0.023, +0.023, -0.023, +0.023, -0.023, 0.0, -0.023] 과 같이 발생하였다고 가정하여 해석하면, x 축 방향으로 1mm 움직일 때, -146.7nm 의 기생운동이 발생하므로, 설계 목표인 분해능 10nm 를 10 배 이상 초과하게 된다.

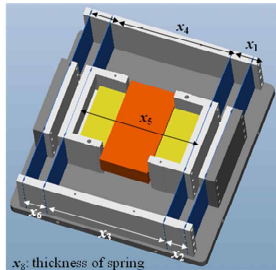


Fig. 4 Description of random variables

Table 1 Definition of random variables

Dimension	Mean[mm]	S.D.[mm]
X1	10.3	0.050/3.0
X2	10.3	0.050/3.0
X3	60.8	0.050/3.0
X4	60.8	0.050/3.0
X5	60.8	0.050/3.0
X6	10.3	0.050/3.0
X7	10.3	0.050/3.0
X8	0.25	0.050/3.0

시스템 성능에 미치는 영향성 분석은 실험계획법의 일환인 D-Optimal Design 방법을 적용하여 53 개의 실험점에서 성능 데이터로 2 차원 regression 모델을 추정하였으며, 그 모델의 주요 항 및 계수를 표 2 와 같이 정리하였다. 표 2 에서 x_1, x_2 와 x_6, x_7 의 계수가 다른 변수의 계수보다 월등히 크므로, 다른

변수에 비해 기생운동에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또한 x_1, x_2 와 x_6, x_7 의 계수 부호가 반대인 것으로부터, 서로 마주보고 있는 부품의 상대적 오차가 작으면 기생운동이 작아짐을 알 수 있다. 분석된 regression 모델로부터 조립체 시스템의 기생운동을 최소화하기 위해서, 각 공차를 축소하거나 보정장치를 추가하는 대신에 제작된 단품들의 정확한 치수측정, 추가가공, 짝짓기가 기생운동을 최소화할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 이러한 추가적인 작업을 통해 가능한 대칭성을 최대한 보장하게 되면 기생운동이 최소화되게 된다.

Table 2. Main coefficients of regression model

term	coefficient	term	coefficient
x_1	2.797	x_2^2	22794.3
x_2	-2.739	x_3^2	-17550.1
x_3	0.197	x_4^2	-38271.7
x_4	0.0527	x_1x_2	-89731.2
x_5	-0.096	x_1x_6	-2522.2
x_6	-2.648	x_1x_7	5288.2
x_7	2.914	x_2x_6	-2278.5
x_8	-0.232	x_2x_7	-7535.0
x_1^2	35595.1	x_6x_7	107164

4. 결론

조립체인 초정밀위치결정기구의 각 단품의 공차에 의한 기생운동 크기가 분해능의 10 배 이상을 초과할 수 있음을 확인한 뒤, 실험계획법을 통해 추정된 2 차원 regression 모델로부터 기생운동을 최소화할 수 있는 방안을 확인하였다. 이는 설계 개념인 대칭성을 최대한 확보하기 위해 마주보는 단품의 상대 오차를 최소화하는 것이다.

참고문헌

1. 허재성, “신뢰도 해석을 위한 함수 근사모멘트 방법의 개발과 강건 최적설계에의 적용,” 박사학위논문, 한국과학기술원, 2006.