

실험계획법을 이용한 대면적 미세 그루빙 머신의 변위 오차 예측 Displacement Error Estimation of a Large-Surface Micro- Grooving Machine by using Response Surface Methodology

*이희범¹, 이원재¹, #김석일²

*H. B. Lee¹, W. J. Lee¹, #S. I. Kim(sikim@kau.ac.kr)²

¹ 한국항공대학교 항공우주및기계공학과 대학원, ² 한국항공대학교 항공우주및기계공학부

Key words : Displacement error analysis, Micro-grooving machine, Response surface methodology

1. 서론

최근 LCD 도광판, 에너지 셀 등을 효율적으로 가공할 수 있는 대면적 미세 형상 가공 기술 중 직접 미세 형상을 가공하는 방법이 주목 받기 시작하고 있다. 본 논문은 실험계획법 중 하나인 중심 합성 계획법 기반의 반응 표면법을 이용하여 42inch LCD 도광판 금형을 직접 가공할 수 있도록 연구 개발된 대면적 미세 그루빙 머신의 X축, Y축 및 Z축 이송계의 위치에 따른 구조 변형이 공구대 선단의 변위 오차에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 구조 설계 및 해석 모델

대면적 미세 그루빙 머신은 Fig. 1 과 같이 문형 구조를 이루고 있으며 상세 제원은 Table

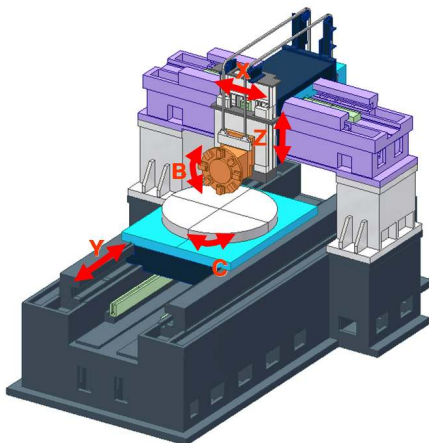


Fig. 1 Schematic diagram of a large-surface micro-grooving machine

Table 1 Specifications of the large-surface micro-grooving machine

Dimensions		42"(1,000×800)
X-axis	Guideway	Hydrostatic guideway
	Motor	Coreless linear motor with 900 mm stroke
	Feedback	Laser scale with 10 nm resolution
	Feedrate	Max. 18 m/min
Y-axis	Guideway	Hydrostatic guideway
	Motor	Coreless linear motor with 1,320 mm stroke
	Feedback	Laser scale with 10 nm resolution
	Feedrate	Max. 9 m/min
Z-axis	Guideway	Hydrostatic guideway
	Motor	Coreless linear motor with 116 mm stroke
	Feedback	Laser scale with 10 nm resolution
	Feedrate	Max. 3 m/min
B-axis	Bearing	Hydrostatic bearing
	Motor	Brushless DC servo motor
	Feedback	Encoder with ±0.0001° resolution
	Speed	10 rpm
C-axis	Bearing	Hydrostatic bearing
	Motor	Brushless DC servo motor
	Feedback	Encoder with ±0.001° resolution
	Speed	300 rpm

1 에 나타나 있다. 대면적 미세 그루빙 머신의 구조 해석 모델은 175,942 개의 절점, 645,213 개의 솔리드 요소, 그리고 1,204 개의 매트릭스 요소로 구성되었다. 이때 사용된 매트릭스 요소는 X축, Y축, Z축, B축 및 C축의 유정압 안내면 및 유정압 베어링, 그리고 리니어 모터의 축 방향 강성을 표현하기 위해 사용되었다. 또한 유정압 효과를 고려하여 유정압 안내면과 유정압 베어링에 1 Mpa의 리세스 압력을 부과하였고, 수직방향으로 베드의 20 개의 지지점을 구속하였다.

3. 구조 해석 및 변위 오차 예측

X 축, Y 축, 그리고 Z 축 이송계가 각 축 행정 거리의 중심에 있을 때의 구조 변형 해석 결과를 Fig. 2 에 나타내었으며, 이때 공구대 선단의 변위 오차는 X 축 1.101 μm , Y 축 31.558 μm , 그리고 Z 축 17.014 μm 로 예측되었다. Fig. 2 에서 볼 수 있듯이 크로스 빔을 중심으로 공구대 선단이 위로 들리는 결과는 Z 축 이송부 및 B 축의 자중에 의한 영향을 보상하기 위해 적용한 카운터 밸런스 및 이를 연결하는 B 축 와이어 후커의 위치가 Z 축 이송부 및 B 축의 무게 중심보다 앞에 위치해 있기 때문으로 판단된다.

대면적 미세 그루빙 머신의 가공 정밀도에 큰 영향을 끼치는 공구대 선단의 변위 오차를 예측하기 위해, 유한 요소 해석 횟수를 최소화 하면서도 유의미한 예측 모델을 만들 수 있는 중심 합성 계획법 기반의 반응 표면법을 적용하였다. 이때 독립 변수는 정규화한 X 축, Y 축, 그리고 Z 축 이송계의 이송위치이며, 반응 변수는 공구대 선단의 변위 오차로 설정하였다. 이러한 조건을 바탕으로 유한 요소 해석을 실시하여 얻어낸 측정값과 예측 모델에 의해 도출된 예측값을 각기 수평축 좌표와 수직축 좌표로 이용하여 Fig. 3 에 나타내었다. 예측값과 측정값이 동일할수록 그림에 나타난 45°의 기울기를 가지는 점선에 근접하게 되며, Fig. 3 에서 각 결과가 점선에 근접하는 것으로 보아 예

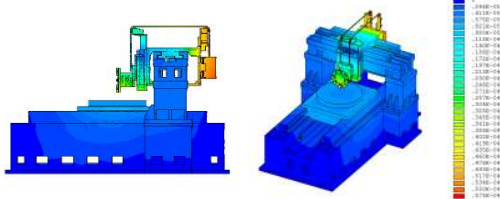
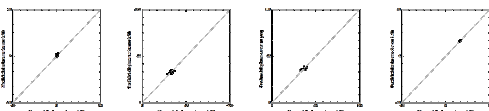


Fig. 2 Structural deformation of the large-surface micro-grooving machine



(a) X-axis (b) Y-axis (c) Z-axis (d) Total
Fig. 3 Relation between measured and predicted displacement error at tool tip

측 높은 모델의 신뢰도를 확인 할 수 있다.

X 축 이송계를 고정된 후 Y 축과 Z 축 이송계를 이송시켰을 때 공구대 선단의 변위 오차는 모두 Y 축에 대해 축 대칭 형상으로 나타난다. Y 축 이송계를 고정된 후 Z 축과 X 축 이송계를 이송시켰을 때 공구대 선단의 변위 오차는 모두 X 축에 대해 축 대칭 형상이며, Z 축 이송계를 고정된 후 X 축과 Y 축 이송계를 이송시켰을 때 X 축 방향 변위 오차는 X 축에 대해 점 대칭 형상이고, 다른 변위 오차는 X 축 대칭 형상이다. 이는 대면적 미세 그루빙 머신이 좌우 대칭의 구조를 가지고 있기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 이와 같은 예측 모델에 의해 나타난 공구대 선단의 변위 오차의 최대 편차에 가장 큰 영향을 주는 요소로는 Z 축 이송계의 위치, 그리고 X 축, Y 축 이송계의 위치 순으로 나타났다. Z 축 이송계의 이송 위치에 따른 영향이 가장 큰 이유는 Z 축 이송계의 위치에 따라 Z 축 이송계의 구조 강성이 변하기 때문이다. 그러나 X 축, Y 축, Z 축 이송계의 이송에 의한 변위 오차의 최대 편차는 5 μm 이내로서 대면적 미세 그루빙 머신의 구조 설계가 안정적으로 이루어졌음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문은 대면적 미세 그루빙 머신의 각 이송계의 위치에 따른 구조 변형과 공구 선단의 변위 오차를 실험계획법을 바탕으로 한 유한 요소 해석을 사용하여 분석하였고, 공구대 선단에 각 이송계의 위치가 미치는 영향을 규명하였다. 이를 통하여 대면적 미세 그루빙 머신의 구조 설계가 안정적으로 이루어졌음을 알 수 있다.

참고문헌

1. Park, C.H. and Song, C.K., "Large-Surface Micro-Machining Machine Technology," Annual Report of KSME, 39-44, 2008.
2. Lee, W.J., Lee, H.B., Lee, H.D., and Kim, S.I., "Structural Design Improvement of a Large-Surface Micro-Grooving Machine Based on a Finite Element Analysis," Spring Conference of KSPE, 730-731, 2010.