

# 가이드 직직도를 고려한 슬라이드 가이드 테이블의 운동 정밀도 해석 Analysis of the Motion Accuracy of the Slide Table Considering Guide Straightness

\*김규하<sup>1</sup>, 김종현<sup>1</sup>, #이선규<sup>1</sup>

\*G. H. Kim<sup>1</sup>, J. H. Kim<sup>2</sup>, #S. K. Lee(skyee@gist.ac.kr)<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 광주과학기술원 기전공학과

Key words : Contact Deformation, Turcite, Machine Tool, Motion Error, Motion Accuracy, Straightness

## 1. 서론

공작기계분야에서 직선운동 요소로 사용되어온 슬라이드 가이드는 고부하, 고강성 등의 특성으로 인해 그 활용도가 큰 반면, 마찰 특성에 의한 Stick-Slip 발생, 운전 시간에 따른 특성 변화 등으로 위치 결정도가 떨어지는 단점을 가지고 있다. Turcite 와 같은 불화탄소 중합체는 낮은 마찰 계수 특성으로 공작 기계용 슬라이드 가이드의 안내면에 사용되고 있다. 그러나 Turcite 는 금속 재료에 비해 상대적으로 변형이 쉽고 이로 인해 공작 기계의 운동 정밀도와 가공 정밀도에 영향을 미친다.[1]

본 연구는 슬라이드 안내면에서 하중에 의한 변형 관계 실험식을 이용하여 하중 조건에 따른 테이블의 자세변화를 해석 방법을 제시하고 기존의 방법[2]에 의한 해석 결과와 비교하였다

## 2. 운동 정밀도 해석 이론

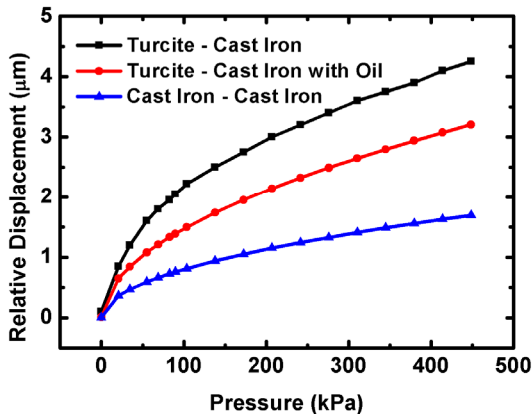


Fig. 1 Contact pressure and deformation

접촉면에서의 접촉 압력 P 과 변형량 δ의 관계식은 Fig. 1의 실험 그래프로부터 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.[1][2]

$$\delta = C \cdot P^m \quad (1)$$

여기서 C, m 은 재료의 표면 조도와 탄성 계수, 두면 사이의 매개체 유무에 의해 결정된다. Table 1 은 참조 논문[2]의 데이터로 Fig. 1의 데이터로부터 계산한 C, m 값으로 세 가지 경우(Turcite - Cast Iron 접촉면, 윤활제를 함유한 Turcite - Cast Iron, Cast Iron - Cast Iron)에 대해서 계산한 것이다.

Table 1 The value of C, m

Contact Condition	C	m
Turcite - Cast Iron	0.24	0.47
Turcite - Cast Iron with Oil	0.19	0.46
Cast Iron - Cast Iron	0.08	0.5

먼저 면측면에서의 변형량을 구하기 위해서 몇가지 가정을 하였다. 안내면과 테이블은 강체이며, 테이블의 운동

오차는 오직 Turcite 의 탄성 변형에 의해 발생하는 것으로 가정하였다. Fig. 2 와 같이 Turcite 변형량은 테이블의 Ideal 좌표계와 Real 좌표계를 이용하여 운동오차에 의해 테이블과 안내면이 겹치는 부분(ΔZUP)을 Turcite 의 변형으로 가정하였다. 여기서 Ideal 좌표계는 테이블의 탄성 변형과 운동오차, 안내면의 직직도 오차가 없는 이상적인 테이블의 좌표계를 의미하며 Real 좌표계는 테이블의 탄성 변형, 운동오차, 안내면의 직직도 오차를 가진 테이블의 좌표계를 의미한다.

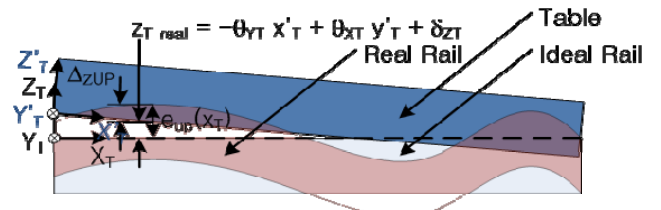


Fig. 2 Deformation Model of Two Planes

운동 오차에 의한 테이블의 좌표 변화와 안내면의 직직도를 이용하여 식(2)와 같이 Turcite 변형량 ΔZUP 를 구하였다. 여기서 e<sub>up</sub>(x<sub>T</sub>)는 안내면의 직직도, δ<sub>ZT</sub> 는 수직 운동오차, θ<sub>X<sub>T</sub></sub>는 rolling, θ<sub>Y<sub>T</sub></sub>는 pitching 을 의미한다.

$$Z_{T\_real} = -\theta_{YT}x'_T + \theta_{XT}y'_T + \delta_{ZT}, \quad Z_{T\_ideal} = 0 \quad (2)$$

$$\Delta_{ZUP} = e_{up}(x_T) - (-\theta_{YT}x_T + \theta_{XT}y_T + \delta_{ZT})$$

Turcite 면을 작은 요소로 나누어 각 요소에서의 변형을 이용하여 외력과 모멘트를 구한 다음, 이를 더하여 전체 외력과 모멘트에 대한 총 6 개의 힘-모멘트 평형 방정식을 구하였다. 이 평형 방정식은 운동 오차에 대해 비선형 방식으로 Newton-Raphson 법을 이용하여 테이블의 위치에 따른 운동오차(수평/수직 운동오차, yawing, pitching, rolling)와 마찰에 의한 필요한 추력을 계산한다.

## 3. 해석 검증

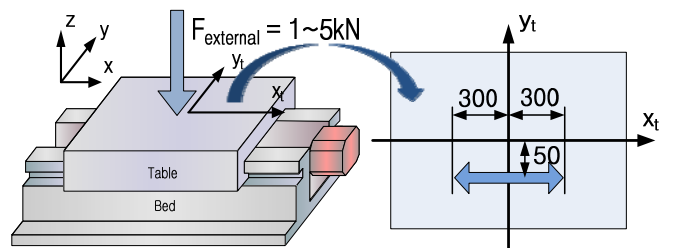


Fig. 3 Analysis Model for Comparison

해석 프로그램의 검증을 위해 기존 연구[2]에서 사용했던 모델을 이용하여 운동오차를 해석하고 기존 연구 결과와 비교하였다. 모델은 Fig. 3 과 같으며 외력의 방향은 수직 방향이고 외력의 크기는 1~5kN 이다. 외력의 작용점은 x<sub>T</sub>-y<sub>T</sub> 좌표계로 봤을 때 (300, -50)에서 (-300, -50)로 이동한다.

Fig. 4는 수직 운동 오차, rolling, pitching 에 대한 해석과 기존 연구 결과이다. 기존의 연구결과는 6 개의 힘-모멘트 평형 방정식 중 3 개의 방정식만 사용하였으나, 본 연구에서 사용된 해석 방법은 6 개의 평형방정식을 모두 사용했다. 이러한 해석 방법의 차이로 두 결과의 차이는 백분율로 나타냈을 때 3.6%이하로 나타났다.

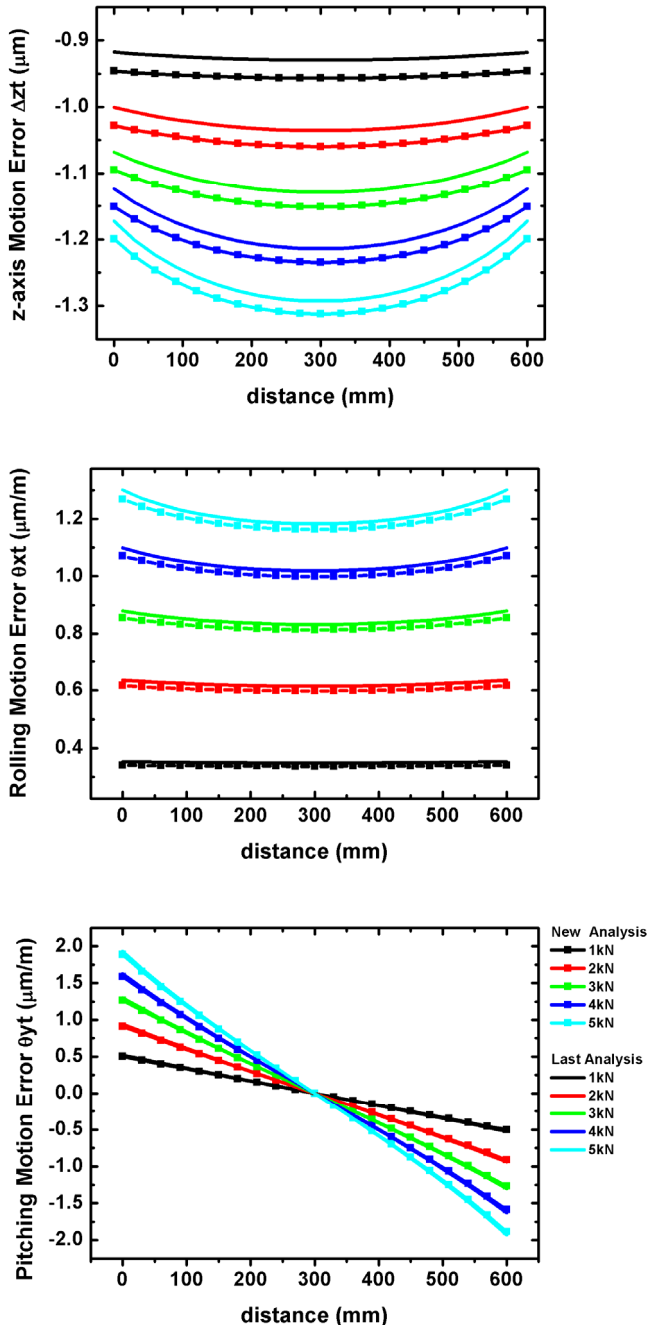


Fig. 4 Result Comparisons of New Analysis and Existing Analysis

본 연구의 해석은 기존 연구와 달리 안내면의 진직도를 고려하였다. 해석 조건으로는 테이블 길이는 0.9m, 안내면의 길이는 1.5m, 안내면의 진직도는 사인 함수로 가정했으며 주기는 테이블 길이인 0.9m, 진폭은 4 $\mu\text{m}$ , 7 $\mu\text{m}$ , 10 $\mu\text{m}$ 이며 외력은 없고 테이블 무게는 300kg 인 것으로 해석을 하였다. Fig. 5는 그 결과로 수직 운동 오차의 경우, 세 그래프 모두 주기는 0.450m 로 진직도 주기의 반이고, 진폭은 진직도의 진폭과 비교했을 때 0.625 $\mu\text{m}$ , 1.185 $\mu\text{m}$ , 1.715 $\mu\text{m}$ 로 줄어든다. Pitching 은 4 $\mu\text{m}$ , 7 $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$  로 증가함에 따라 7.51 $\mu\text{m}/\text{m}$  에서부터 -12.63 $\mu\text{m}/\text{m}$ , 12.57 $\mu\text{m}/\text{m}$  에서부터 -23.24 $\mu\text{m}/\text{m}$ , 17.53 $\mu\text{m}/\text{m}$  에서부터 -33.64 $\mu\text{m}/\text{m}$ 으로 변한다.

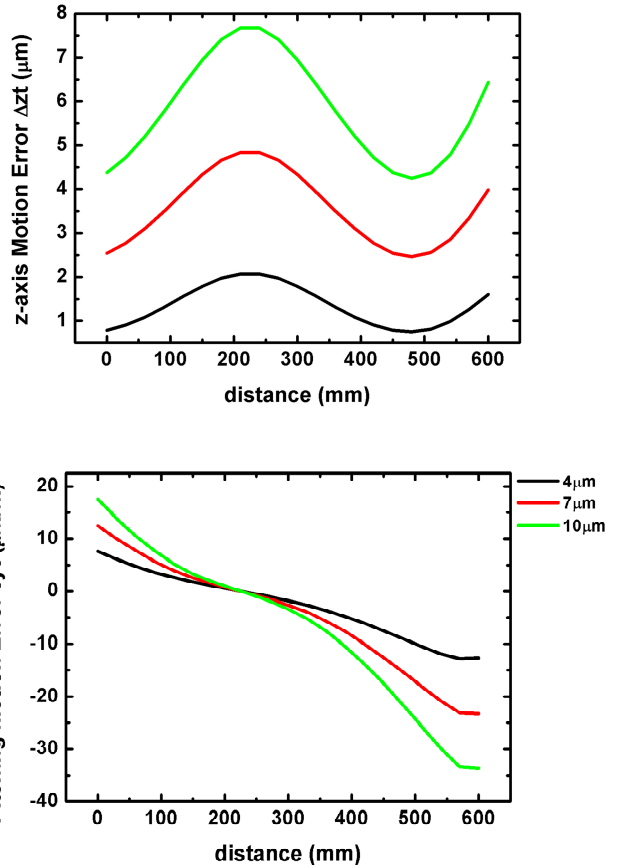


Fig. 5 Motion Error Analysis considering Straightness

#### 4. 결론

본 논문은 슬라이드 테이블의 운동 정밀도 해석에 대한 것으로 기존의 연구 결과와 비교하여 해석 방법에 대한 검증을 수행하였으며 그 차이는 3.6%이하이다. 또한 안내면의 진직도를 고려한 운동 오차 해석을 수행하였다.

#### 후기

이 논문은 기계장비 정밀도 시뮬레이션 플랫폼 기술개발 과제 지원을 받아 수행한 연구임.

#### 참고문헌

1. Yuji, F., and Nobuyuki, M., "Contact Deformation of a Machine Tool Slideway and Its Effect on Machining Accuracy," JSME International Journal, **30**, 868-874, 1987.
2. 양문수, "고속 고정도 슬라이드 가이드의 설계 및 운동 오차해석," 광주과학기술원 석사학위 논문, 1998.